Johannes Alram

Post-Merger-Netzwerk-Integration aus der Sicht von Belly-Fracht

am Beispiel der Lufthansa, Austrian Airlines und Swiss
Europäischer Luftfrachtmarkt, Recht und Wettbewerb, Strategie, Kostenfunktion, Netzwerkgestaltung und Modell zur Optimierung der Flugrouten im Kontext von Belly-Fracht

kassel university press

Johannes Alram

Post-Merger-Netzwerk-Integration aus der Sicht von Belly-Fracht am Beispiel der Luf-thansa, Austrian Airlines und Swiss

Europäischer Luftfrachtmarkt, Recht und Wettbewerb, Strategie, Kostenfunktion, Netzwerk-gestaltung und Modell zur Optimierung der Flugrouten im Kontext von Belly-Fracht

kassel university press

Die vorliegende Arbeit wurde vom Fachbereich Wirtschaftswissenschaften der Universität Kassel als Dissertation zur Erlangung des akademischen Grades eines Doktors der Wirtschafts- und Sozialwissenschaften (Dr. rer. pol.) angenommen.

Erster Gutachter: Prof. Dr. Richard Vahrenkamp
Zweiter Gutachter: Prof. Dr. Lothar Schulze

Tag der mündlichen Prüfung 3. November 2010

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek
Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über http://dnb.d-nb.de abrufbar

Zugl.: Kassel, Univ., Diss. 2010
ISBN print: 978-3-86219-012-6
ISBN online: 978-3-86219-013-3
URN: http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0002-30135

© 2011, kassel university press GmbH, Kassel
www.upress.uni-kassel.de

Printed in Germany

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis ..... **III**
Abbildungsverzeichnis ..... **VIII**
Tabellenverzeichnis ..... **X**
Abkürzungsverzeichnis ..... **XI**
Formelzeichen ..... **XIII**
Zusammenfassung ..... **XV**
Abstract ..... **XVII**
1 Einleitung **1**
1.1 Motivation 1
1.2 Aufbau der Arbeit 3
2 Charakterisierung der Luftfracht im Kontext von Belly-Fracht **7**
2.1 Luftverkehrsmarkt und dessen Akteure 7
2.2 Einteilung der Luftverkehrsgesellschaften 8
2.3 Luftfracht und Luftfrachtmarkt 12
2.4 Luftfrachtgut 12
2.5 Vorteile von Luftfracht 14
2.6 Nachteile von Luftfracht 14
2.7 Transportmöglichkeiten von Luftfracht 15
2.8 Lademittel verschiedener Belly-Flugzeugtypen 16
2.9 Laderäume von Belly-Flugzeugen 22
2.10 Transportbehälter für Belly-Frachtstücke 23
2.11 Typen von Containern und Paletten sowie ULD-Nummer 27
2.12 Lower-Deck-Kapazitäten bei Narrowbody-Flugzeugen 33
2.13 Netzstruktur bei Belly-Frachttransporten (Hub-and-Spoke-Struktur) 35
2.14 Bedeutung von Belly-Fracht für den intra-europäischen Luftfrachttransport 35
2.15 Merkmale bzw. typische Eigenschaften von Belly-Fracht 36
2.16 Vorteile von Belly-Fracht 37
2.17 Nachteile von Belly-Fracht 38
2.18 Verhältnis von Belly-Frachtaufkommen zum Gesamtluftfrachtaufkommen 38
3 Kennzeichen des europäischen Luftfrachtverkehrsmarktes **39**
3.1 Vergleich der Struktur des Luftverkehrsmarktes in Europa und den USA 39
3.2 Gegenwärtige intra-europäische Luftverkehrsströme 42
3.3 Bedeutung der Luftfracht für die global vernetzte Wirtschaft 45
3.4 Relevante Kennzahlen zur europäischen Luftfracht 47
3.4.1 Historische Entwicklung der Luftfracht 47
3.4.2 Weltweite Luftfrachtkennzahlen und -merkmale 47
3.4.3 Luftfrachtkennzahlen und -merkmale in Europa 51

3.4.4 Luftfrachtkennzahlen und -merkmale in Deutschland 52
3.4.5 Luftfrachtkennzahlen und -merkmale in der Schweiz 55
3.4.6 Luftfrachtkennzahlen und -merkmale in Österreich 57
4 Institutioneller und rechtlicher Rahmen des Luftfrachtsektors 60
4.1 Institutionen und rechtlicher Rahmen eines europaweiten Luftverkehrsbetriebs ... 60
4.1.1 Institutionen des Luftverkehrs in der EU und in Deutschland 60
4.1.2 Rechtlicher Rahmen in der EU und in Deutschland: EU-Liberalisierung 61
4.2 Kartellrecht bei M&A-Transaktionen im europäischen Luftverkehrssektor 61
4.2.1 Europäische Fusionskontrolle 62
4.2.2 Deutsche Zusammenschlusskontrolle 63
4.2.3 Fusionskontrollanwendung in der europäischen Luftfahrtbranche 66
4.2.4 Situation in der Schweiz 66
4.2.4.1 Luftverkehrsabkommen zwischen der Schweiz und der EU 66
4.2.4.2 Wettbewerbsrecht für den Luftverkehr in der Schweiz 67
4.2.5 Vereinbarungen zwischen Wettbewerbern nach Art. 81 EG bzw. § 1 GWB ... 70
4.2.6 Zusammenfassung 70
5 Wettbewerb auf der Netzebene im Kontext einer Übernahme 71
5.1 Wettbewerbstheoretische Grundlagen 71
5.1.1 Netzsektor als natürliches Monopol 72
5.1.2 Theorie der Bestreitbarkeit der Märkte 73
5.1.3 Theorie der monopolistischen Bottlenecks 74
5.2 Wettbewerbssituation beim Lokationsproblem 75
5.2.1 Marktmacht von Flughafenbetreibern 76
5.2.1.1 Anwesenheit von Subadditivität und Größenvorteilen auf Flughäfen 76
5.2.1.2 Anwesenheit irreversibler Kosten auf Flughäfen 77
5.2.1.3 Netzzugangsbeschränkung durch institutionelle Marktzutrittsbarrieren 79
5.2.1.4 Fazit zu den Wettbewerbshemmnissen auf der Ebene der Flughäfen 80
5.2.2 Netzbedingte Marktmacht von Netzwerk-Carriern 80
5.2.2.1 Marktmacht von Netzwerkfluggesellschaften durch Allianzen 81
5.2.2.2 Marktmacht von Netzwerkfluggesellschaften durch Übernahmen 82
5.2.2.3 Marktmacht von Fluggesellschaften durch Slot-Konzentration/-Hortung 84
5.2.2.4 Fazit zur netzbedingten Marktmacht von Fluggesellschaften 88
5.2.3 Fazit zur Lokationsfrage (Zugang zu Flughäfen) 88
5.3 Wettbewerbssituation beim Allokationsproblem 89
5.3.1 Bedienung von Flugstrecken aus Wettbewerbssicht 89
5.3.2 Wechselwirkung zwischen Lokation und Allokation 90
5.3.3 Fazit zur Allokationsfrage (Bedienung der Flugstrecken) 91
5.4 Coopetition und spieltheoretische Betrachtung der Lokationsfrage 91
5.4.1 Kooperative und wettbewerbliche Symbiose 91
5.4.2 Spieltheoretische Betrachtung des Lokationsproblems 93
5.5 Wettbewerbsbedingter optimaler Preis für Belly-Fracht 97
5.5.1 Effizienter Preis in regulierten Luftverkehrsmärkten 97
5.5.2 Konklusionen für Kosten von Belly-Frachttransporten 102
5.6 Zusammenfassung 102

6 Intra- und intermodaler Wettbewerb von Belly-Fluggesellschaften 106
6.1 Intra- und intermodaler Wettbewerb der Belly-Fluggesellschaften 106
6.1.1 Intramodaler Wettbewerb 106
6.1.2 Intermodaler Wettbewerb 109
6.2 Wettbewerbssituation kleiner Netzwerkfluggesellschaften 111
7 Strategien von Netzwerkfluggesellschaften 112
7.1 Rahmenbedingungen zur Strategieformulierung von Belly-Fluggesellschaften ... 112
7.2 Strategien für Belly-Fracht bei großen Netzwerkfluggesellschaften 113
7.2.1 Produkt-/Markt-Portfolios für Belly-Fracht 116
7.2.2 Mögliches Business-Modell für Produkt-/Markt-Portfolios für Belly-Fracht ... 117
7.3 Wettbewerbsstrategien für Belly-Fracht 124
7.4 Strategien bei der Netz-Logistik 127
7.5 Kostenfunktion zur Bewertung von Flugrouten im Luftfrachtbereich 127
7.5.1 Absatz und Preisbewertung von Belly-Frachtprodukten 128
7.5.2 Kostenfunktion zur Bewertung der Flugrouten in einem Netzwerk 128
7.5.2.1 Grundlagen zur modellhaften Kostenplanung 128
7.5.2.2 Betriebskosten einer Passagiermaschine 131
7.5.2.3 Transportkosten für Belly-Frachttransporte 133
7.5.3 Kostenfunktionen 134
7.5.3.1 Bewertung der Flugstreckenverkehrskosten 134
7.5.3.2 Bewertung der Transportkosten für Belly-Fracht 136
8 Netzintegration als Post-Merger-Aufgabe nach der Akquisition 139
8.1 Netzmerkmale vor und nach der Integration aus der Sicht von Belly-Fracht 139
8.2 Vorteilhaftigkeit von Hub-Konfigurationen 142
8.3 Multiplikator- und Konzentrationswirkung bei Multi-Hubs und Subnetzen 146
8.4 Vor- und Nachteile von Subnetzen 148
8.5 Weitere Vorteile des Hub-and-Spoke-Prinzips 148
8.6 Die Konzentrationswirkung von Belly-Fracht beim Interkontinentalverkehr 151
8.7 Die Konzentrationswirkung von Belly-Fracht beim Inlands- und Europaverkehr .. 152
8.8 Luftfrachtbedingte Anforderungen an die Hub-Struktur 153
8.9 Zusammenfassung 154
9 Planung, Verfahren und Modelle bei Hub-and-Spoke-Netzwerken 155
9.1 Netzwerkgestaltung als Teil der strategischen Planung 155
9.2 Netzwerkgestaltungsproblem, Klassifikation und Techniken 157
9.2.1 Netzwerkgestaltungsproblem und Netzwerkflussmodelle 157
9.2.2 Klassifikation des Netzwerkgestaltungsproblems 157
9.3 Exakte Lösungsverfahren 162
9.3.1 Branch-and-Bound-Verfahren 162
9.3.2 Extrempunkt-Ranking 163
9.4 Heuristische Verfahren 164
9.4.1 Lokale Linearisierung 164
9.4.2 Dekomposition der Problemstellung 165
9.4.3 Klassifikation von Local-Search-Verfahren 166

9.4.4 Strategien und Metaheuristiken für die Nachbarschaftssuche 172
9.4.5 Relaxationsansätze in der linearen Programmierung 178
9.5 Zusammenfassung 179
10 Netzwerkgestaltungsprobleme und Hub-and-Spoke-Modelle 180
10.1 Behandlung von Netzwerkgestaltungsproblemen in der Location Theory 180
10.1.1 Varianten von Netzwerkgestaltungsproblemen 180
10.1.2 Modelltypen zur Gestaltung von Netzwerkproblemen 181
10.2 Kriterien zur Gestaltung hub-orientierter und linearer Netzwerklayouts 182
10.3 Konkrete p-Hub- und p-Hub-Median-Modelle für Luftverkehrsnetze 187
10.4 Spezielles Hub-and-Spoke-Modell für Zwischenstopps und Feeder 192
10.5 Vorteilhaftigkeit einer Zwischenstopp- und Feeder-Strategie 194
10.6 Zusammenfassung und Kommentierung der Untersuchungen 195
11 Ein-, Zwei- und p-Hub- sowie p-Hub-Median-Modelle 198
11.1 Klassifikation der Modelle 198
11.2 Ein-Hub-Modell 198
11.3 Zwei-Hub-Modell 202
11.4 p-Hub-Modell 206
11.5 p-Hub-Median-Modell 209
11.6 Das p-Hub-Modell mit Kapazitätsbeschränkung und Direktflügen 211
11.7 Zusammenfassung und Würdigung 212
12 Gestaltung eines Multihub-Netzwerks mit Feeder-Subnetzen 214
12.1 Geeignetes Modell zur Lösung der Problemstellung 214
12.2 Beschreibung des Netzwerkes 215
12.2.1 Beschreibung des Netzwerkes und des Flugbetriebs 215
12.2.2 Menge der Flughäfen im 3L-Netzwerk 216
12.3 Vergleich des 3L-Netzwerks mit dem reinen Hub-and-Spoke-Netzwerksystem 217
12.4 Reduktion des 3L-Netzwerkes auf die luftfrachtrelevanten Verbindungen 218
12.5 Vergleich des 3L-Netzwerkes mit dem Netzwerk bei Kuby und Gray 218
12.6 Annahmen bzw. Vereinfachungen bei der Modellierung 220
12.7 Konzepte des Modells und Definition von Bögen, Pfaden und Routen 222
12.7.1 Pfad-, Bogen- und Routenkonzept am Fallbeispiel des 3L-Netzes 224
12.7.2 Pfadgenerierung und Begrenzungsregeln für Pfade bei Kuby und Gray 226
12.7.3 Pfadgenerierung in dieser Arbeit 227
12.7.4 Stopover- und Feeder-Prinzip 228
12.7.5 Annahmen zur DLR-Statistik 228
12.7.6 Untersuchungsgegenstände 229
12.7.7 Abschließende Würdigung des Forschungsbeitrags von Kuby und Gray 229
13 Länderübergreifende Flugrouten im 3L-Netzwerk 231
13.1 Luftfrachtaufkommen im 3L-Netzwerk 231
13.2 Belly-Frachtkapazitäten 234
13.3 Flugverbindungen der Lufthansa im 3L-Netzwerk 235
13.4 Flugverbindungen der Austrian Airlines und der Swiss im 3L-Netzwerk 244

14 Modell zur Optimierung der Routen in einem Luftfrachtnetzwerk 248
14.1 Dekomposition der Problemstellung 248
14.2 Repräsentation von Netzwerken in Datenstrukturen 249
14.3 Modellierung des Multihub-Network-Design-Problems 250
14.3.1 Modellaufstellung 251
14.3.2 Matrizen, Variablen und Befehlssatz der Algorithmen 252
14.3.3 Erläuterung der Modellgleichungen und geeignete Lösungsalgorithmen 253
14.4 Festlegung von modellspezifischen Parametern 258
14.4.1 Pfadgenerierung 258
14.4.2 Bewertung der Bogen-Distanzen, E_a 259
14.4.3 Bewertung der Fracht-Kapazitäten der Belly-Flugzeuge 260
14.4.4 Bewertung der Flugzeiten der Flugzeuge auf den Bögen, T 261
14.4.5 Bewertung der Betriebskosten auf Flugrouten, D_r 262
14.4.6 Bewertung der Flugstreckenverkehrskosten, C_a 263
14.4.7 Bestimmung des Transportaufkommens T_w 264
15 Zusammenfassung und Würdigung der Ergebnisse 265
15.1 Vorgehensweise 265
15.2 Erkenntnisse und Würdigung der Ergebnisse 267
15.3 Ausblick 274
Begriffliche Definitionen ..... A-I
Literaturverzeichnis ..... A-VII

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Konventionelles Verfahren im Vergleich zu Systemanbietern 8
Abbildung 2: Einteilung der Luftfrachtgesellschaften 11
Abbildung 3: Einteilung des Luftverkehrs in Passage und Luftfracht 11
Abbildung 4: Fracht- versus Belly-Flugzeug 16
Abbildung 5: Lower-Deck-Spezifikation B 737-300/500 17
Abbildung 6: Lower-Deck-Spezifikation B 757-200/300 17
Abbildung 7: Lower-Deck-Spezifikation B 777-200 18
Abbildung 8: Lower-Deck-Spezifikation A 300-600 18
Abbildung 9: Lower-Deck-Spezifikation A 319-100 18
Abbildung 10: Lower-Deck-Spezifikation A 320-200 19
Abbildung 11: Lower-Deck-Spezifikation A 321-100 19
Abbildung 12: Lower-Deck-Spezifikation A 330-300 20
Abbildung 13: Lower-Deck-Spezifikation A 340-200 20
Abbildung 14: Lower-Deck-Spezifikation A 340-300 21
Abbildung 15: Lower-Deck-Spezifikation A 340-600 21
Abbildung 16: Lower-Deck-Spezifikation Avro RJ85 22
Abbildung 17: Lower-Deck-Spezifikation CRJ 100 22
Abbildung 18: PKC-Palette 24
Abbildung 19: AKH-Container 24
Abbildung 20: Verschiedene Typen von Containern und Paletten 30
Abbildung 21: Konfiguration eines A320 bzw. A321 mit Containern und Paletten 31
Abbildung 22: Verschiedene Typen von Containern und Paletten 32
Abbildung 23: Verschiedene Typen von Containern und Paletten 33
Abbildung 24: Hub-Struktur in den USA und Europa 42
Abbildung 25: Westeuropäischer Ballungs- und Kernraum 44
Abbildung 26: Boeing World Air Cargo Forecast 2008/2009 49
Abbildung 27: Wachstumsverdreifachung im Frachtverkehr in den nächsten 20 Jahren 49
Abbildung 28: Entwicklung der Luft-Fracht-Volumen; größte Frachtfluglinien in 2008 51
Abbildung 29: Luftverkehrsströme von Deutschland 54
Abbildung 30: Cournot-Modell für das Spiel Flughafen und Fluggesellschaft 97
Abbildung 31: Modulares Business-Modell der Lufthansa 120
Abbildung 32: Verkehrserlöse der Lufthansa-Logistik nach Verkehrsgebieten in % 123
Abbildung 33: Operative Entwicklung im Luftfrachtsektor in 2008 124
Abbildung 34: Kostenblöcke der Lufthansa in 2008 131
Abbildung 35: Direktflugnetz versus Hub-and-Spoke-Netz 143
Abbildung 36: LH-Interkontinentalverkehr mit den Hubs Frankfurt und Hongkong 145
Abbildung 37: Inbound-Zubringernetze für den Interkontinentalverkehr 146
Abbildung 38: Multiplikator- und Konzentrationswirkung bei einer Multihub-Strategie 147
Abbildung 39: Konkave Kostenfunktion für ein Multicommodity-Flussproblem 160
Abbildung 40: Stopp-Service-Politiken 184
Abbildung 41: Single Allocation im Vergleich zu Multiple Allocation 185
Abbildung 42: Lineares Layout versus Hub-Layout 186
Abbildung 43: Hub-and-Spoke-System mit Feeder und Stopover im Vergleich 195
Abbildung 44: Ein-Hub-Modell mit streckenproportionalen Kosten und acht Nichthubs 199
Abbildung 45: Partionen im Zwei-Hub-System nach O'Kelly (1986A) 203
Abbildung 46: p-Hub-System mit Single Allocation 206
Abbildung 47: Routen-, Bogen- und Pfad-Konzepte bei Kuby und Gray 224

Abbildung 48: Routen-, Bogen- und Pfad-Konzepte am Beispiel.....224
Abbildung 49: Algorithmus zur Vorbelegung von Y_r.....254
Abbildung 50: Algorithmus für Modellgleichung (14-1) 255
Abbildung 51: Algorithmus für Modellgleichung (14-2) 256
Abbildung 52: Algorithmus für Modellgleichung (14-3a) 258
Abbildung 53: Algorithmus zur Ermittlung der Belly-Frachtkapazitäten.....261
Abbildung 54: Algorithmus zur Ermittlung der Betriebskosten 263
Abbildung 55: Algorithmus zur Ermittlung der Flugstreckenverkehrskosten 263

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Variablen, Konstanten, Indizes, mathematische Zeichen XIV
Tabelle 2: Kapazitäten und Dimensionen von Frachträumen in Flugzeugen 26
Tabelle 3: Varianten von Unit Load Devices und deren Eigenschaften 27
Tabelle 4: Varianten von Unit Load Devices und deren Eigenschaften 29
Tabelle 5: Dimension unterschiedlicher Luftfracht-Paletten 29
Tabelle 6: Dimension unterschiedlicher Luftfracht-Paletten 30
Tabelle 7: Belly-Frachtkapazitäten auf ausgewählten Flugzeugtypen 35
Tabelle 8: Weltweites Wachstum der Luftfracht zwischen 2008 und 2027 48
Tabelle 9: Luftfrachtveränderungen 50
Tabelle 10: Acht Freiheiten des Luftverkehrs der Schweiz 68
Tabelle 11: Marktportfolio bei Belly-Fracht 116
Tabelle 12: Maximale Gewichtsgrößen für Belly-Fracht für bestimmte Fluggeräte 117
Tabelle 13: Leistungsvergleich zwischen der Direktflug- und der Ein-Hub-Variante 144
Tabelle 14: Trade-off zwischen der Direktflugvariante und der Ein-Hub-Variante 144
Tabelle 15: Klassifikation des Netzwerkgestaltungsproblems 162
Tabelle 16: Charakteristika für Heuristiken zur Nachbarschaftssuche 172
Tabelle 17: Klassifikation der Netzwerklayout-Parameter 187
Tabelle 18: Modelle von Hub-and-Spoke-Netzen und passende Lösungsverfahren 198
Tabelle 19: Tabelle der Flughäfen, IATA-Flughafenkürzel und Flughafenfunktion 217
Tabelle 20: Mögliche Bögen und Routen für Flüge von TXL nach KLU 225
Tabelle 21: Mögliche Pfade von TXL nach KLU 225
Tabelle 22: Luftfrachtaufkommen dt. Flughäfen nach Österreich und in die Schweiz 232
Tabelle 23: Luftfrachtwerte von D nach D und von D nach A bwz. CH (08/2009) 233
Tabelle 24: Passagierflüge von deutschen Flughäfen nach Österreich/in die Schweiz 234
Tabelle 25: Durchschnittliches Ladegewicht auf Belly-Flugzeugen 234
Tabelle 26: Direktflugverbindungen der Lufthansa von D nach A und CH 237
Tabelle 27: Flugangebot, Frequenzen, Flugzeugtyp, Kapazität und Nachfrage bei LH 238
Tabelle 28: Keine Direktflugverbindungen im Lufthansa-Flugplan 238
Tabelle 29: Gegenüberstellung des Frachtangebots und der -nachfrage 239
Tabelle 30: Flughäfen, für die Stopover-Flüge nach A bzw. CH notwendig sind 240
Tabelle 31: Ausgewählte innerdeutsche Flugverbindungen nach FRA bzw. MUC 241
Tabelle 32: Kumulierte Frachtwerte 241
Tabelle 33: Belly-Kapazitäten auf den Stopoverflügen nach Frankfurt und München 242
Tabelle 34: Belly-Kapazitäten auf Transferflügen nach Österreich und in die Schweiz 242
Tabelle 35: AUA-Direktflüge von deutschen Flughäfen nach Österreich 246
Tabelle 36: Swiss-Direktflüge von deutschen Flughäfen in die Schweiz 247
Tabelle 37: Beispiel für eine Knoten-Kanten-Inzidenzmatrix 250
Tabelle 38: Indizes und Modellvariablen 251
Tabelle 39: Inzidenzmatrix (Pfad/Bogen) 259
Tabelle 40: Inzidenzmatrix (Pfad/Ursprungsflughafen) 259
Tabelle 41: Durchschnittliches Ladegewicht auf Belly-Flugzeugen 260
Tabelle 42: International gebräuchliche Luftfahrt- bzw. Luftfrachtbegriffe ..... A-IV
Tabelle 43: Befehlssatz für die verwendeten Algorithmen ..... A-VI

Abkürzungsverzeichnis

A	Abkürzung für Austria (= Österreich)
AAGR	Annual average growth rate
ABl.	Amtsblatt
Abs.	Absatz
ACI	Airport Council International
ADV	Arbeitsgemeinschaft Deutscher Verkehrsflughäfen
AEA	Association of European Airlines
AFTK	Available Freight Tonne Kilometers
Art.	Artikel
ASK	Available Seat Kilometers
ATAG	Air Transport Action Group
AUA	Austrian Airlines
bspw.	beispielsweise
BGBl.	Bundesgesetzblatt
BMI	British Midland
bzw.	beziehungsweise
CAB	Civil Aeronautics Board
CH	Abkürzung für die Schweiz
CPLP	Capacitated Plant Location Problem
Comp.	Company
D	Abkürzung für Deutschland
d. h.	das heißt
DHL	DHL Worldwide Express
DLR	Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt
dt.	deutsch
ECAC	European Civil Aviation Conference
EG	Europäische Gemeinschaft
EU	Europäische Union
e. V.	Eingetragener Verein
EWG	Europäische Wirtschaftsgemeinschaft
EWR	Europäischer Wirtschaftsraum
FedEx	Federal Express
FLF	Freight Load Factor
FTK	Freight Tonne Kilometers
GA	Genetischer Algorithmus
GATS	Genetic Algorithm and Tabu Search
GRASP	Greedy Randomized Adaptive Search Procedure
GWG	Gesetz gegen Wettbewerbsbeschränkungen
HMP-M	Single-Allocation-p-Hub-Median-Problem
HMP-S	Multi-Allocation-p-Hub-Median-Problem
IATA	International Air Transport Association
IBM	International Business Machine
ICAO	International Civil Aviation Organisation
Kap.	Kapitel
KEP	Kurier-, Express-, Paketdienste

KLM	Koninklijke Luchtvaart Maatschappij NV
LAT	Latest acceptance time
LH	Abkürzung für die Fluggesellschaft Lufthansa
km	Kilometer
km²	Quadratkilometer
LAT	Latest Acceptance Time (Annahmefrist für Luftfrachtgut)
LTU	Lufttransportunion
M&A	Mergers and Acquisition
MCMF	Minimum Cost Multicommodity Flow
Mill	Million(en)
Mio	Millionen
MPX	Maximal Preservative Crossover
Mrd.	Milliarde(n)
MNDM	Multihub-Network-Design-Modell
MNFP	Min-Cost-Network-Flow-Problem
MHDP	Multihub-Network-Design-Problem
No	Number
NRW	Nordrhein-Westfalen
OECD	Organization for Economic Cooperation and Development
OR	Operations Research
OS	Abkürzung für die Fluggesellschaft Austrian Airlines
p. a.	per annum
PLF	Passenger Load Factor
RN	Randnummer
RPK	Revenue Passenger Kilometers
RTK	Revenue Tonne Kilometers
SAS	Scandinavian Airlines System
tkm	Tausend Kilometer
t·km	Tonnenkilometer
Tsd	Tausend
u. a.	unter anderem
ULD	Unit Loading Device
UPLP	Uncapacitated Plant Location Problem
UHP-M	Multi-Allocation-Uncapacitated-Hub-Problem
UHP-S	Single-Allocation-Uncapacitated-Hub-Problem
UPS	United Parcel Service
US/USA	United States/~ of America
vgl.	Vergleiche
VO	Verordnung
z. B.	zum Beispiel
§	Paragraf

Formelzeichen

Variablen und Konstanten außerhalb der Algorithmen		
Bezeichnung	Einheit	Beschreibung
a	-	Proportionalitätsfaktor
C_{kk}	-	Kapazität auf k
D	[1;0]	logische Variable
D*	[1;0]	logische Variable
$\underline{\underline{D}}$	-	Direktflugmatrix
H	-	Bezeichnung für Hub
h1h2	[t·km]	Interhub-t·km-Leistung von Hub1 nach Hub2
h2h1	[t·km]	Interhub-t·km-Leistung von Hub2 nach Hub1
K	-	große positive Konstante
K_s	[t·km]	Kosten für die Einrichtung einer Flugstrecke
l	$L \in \{1,2,3,4\}$	Zählvariable
L	[t]	Frachtaufkommen
n	[-]	Anzahl Knoten
p	-	Anzahl Hubs
p	-	Ortsvektor
[P]	-	Menge von Knoten (Flughafenstandorte)
$[P^{NH}]$	-	Menge aller Nichthub-Knoten
$[P^{H}]$	-	Menge aller Hub-Knoten
$[P^{D}]$	-	Menge aller Knoten mit Direktflugverbindung
s	[km]	Flugstrecke
S	[km]	Entfernung
$\underline{\underline{S}}$	-	Flugstreckenmatrix
U	[1;0]	logische Variable
V	[1;0]	logische Variable
x	[cm]	Koordinate
y	[cm]	Koordinate
Z	[t·km]	Tonnenkilometerleistung
Z_{kk}	[t·km]	Kosten der Einrichtung eines Hubs auf k

Indizes tief gestellt, außerhalb der Algorithmen		
Bezeichnung	Einheit	Beschreibung
1	-	Hub 1
2	-	Hub 2
:	:	:
p	-	Hub p
direkt	-	ausgehend vom Direktflugnetz
H	-	Hub
i, j	$i,j \in \{1,..,n\}$	Knoten, Start- bzw. Zielort
K	-	Knoten
m	-	Knoten

Indizes tief gestellt, außerhalb der Algorithmen		
Bezeichnung	Einheit	Beschreibung
S	-	Startort
Z	-	Zielort

Mathematische Zeichen		
Bezeichnung	Einheit	Beschreibung
$\sum$	-	Summenzeichen
$\times$	-	Vektorprodukt, Kreuzprodukt (kartesisches Produkt)
Min{ }=	-	Minimiere Klammerausdruck { }
$\forall$	-	für alle
$\lvert\ldots\rvert$	-	in Betrag
$\exists$	-	Es gibt
$\in$		Symbol für „ist Element“
$\mathbb{N}$		Symbol für die Menge aller natürlichen Zahlen
$\mathbb{Z}$		Symbol für die Menge aller ganzen Zahlen
$\mathbb{R}$		Symbol für die Menge aller reellen Zahlen
$\perp$		Symbol für Projektion
$\wedge$		Symbol für „und“-Verknüpfung
$\vee$		Symbol für „oder“-Verknüpfung
$\subseteq$	-	Teilmenge aus oder gleich
$\subset$		Teilmenge aus
$\binom{n}{k}$	-	Binominalkoeffizient

Tabelle 1: Variablen, Konstanten, Indizes, mathematische Zeichen

Zusammenfassung

Eine Folge der Konsolidierung des europäischen Luftverkehrssektors ist, dass einige der kleineren, ehemals staatlichen Luftverkehrsgesellschaften in Europa von den großen europäischen Netzwerkfluggesellschaften übernommen werden. Die Post-Merger-Netzwerk-Integration ist die logistische Integrationsphase, bei der die Luftverkehrsnetze hinsichtlich Netzstruktur und Flugbetrieb harmonisiert und aufeinander abgestimmt werden, um durch die Bündelung der Flugverkehre eine bessere Auslastung der Flugzeuge und ein besseres Flugangebot zu erzielen.

Das Ziel dieser Arbeit ist, die kartellrechtlichen Auflagen, die Wettbewerbsbedingungen, die unternehmensstrategischen Ziele und die logistischen Voraussetzungen zur Integration von europäischen Flug-Netzwerken zu identifizieren, die Folgen für die Integration unter dem Blickwinkel des Luftfahrtprodukts Unterflurfracht (engl. Belly Freight) in Passagiermaschinen abzuleiten und Annahmen zu treffen, wie der Problemgegenstand modelliert und die Problemdaten gewonnen werden können. Das formulierte Modell identifiziert eine optimale Menge von Flugrouten in einem vorgegebenen Netzwerk-Design (integrierte Flugnetzwerke mit fixen Hub- und Nichthub-Flughäfen und fest allokierten Slots), indem die totalen Kosten für den Transport von Unterflurfracht, minimiert werden. Zu dem Belly-Frachtaufkommen und den Frachtkapazitäten in den Passagiermaschinen werden realitätsnahe Modellannahmen getroffen. Es berücksichtigt die für Belly-Fracht-Transporte relevanten betriebs- und verkehrsstreckenbezogenen Kostenbestandteile, die in einer Kostenfunktion formuliert werden. Als Restriktion gilt auch, dass Belly Fracht als automatisch anfallendes „Beiprodukt“ des Passagiertransports betrachtet wird.

Am Beispiel der praxishaften Übernahmen der Austrian Airlines und der Swiss durch den Lufthansa-Konzern wird unter Einbeziehung des aufgestellten Modells und unter der Annahme von integrationsspezifischen Zielen wissenschaftlich untersucht, ob die beiden M&A-Transkationen unter dem Aspekt von Unterflurfracht-Transporten plausibel sind bzw. Unterflurfracht als Luftfahrtprodukt überhaupt im Kalkül einer Übernahmeentscheidung ist. Die Untersuchung wird realitätsnah unter Einbeziehung der Luftfrachtstatistik-Daten, den offiziellen Flugplänen und –frequenzen für die Länder Deutschland, Österreich und Schweiz, den tatsächlichen Frachtkapazitäten der hierbei eingesetzten Passagiermaschinen durchgeführt. Die aufgezeigten Rahmenbedingungen für die Netzwerkintegration werden ausführlich herausgearbeitet und die Implikationen auf die Post-Merger-Netzwerkintegration dargelegt. Es wird dabei disziplinübergreifend eine rechtliche sowie eine Wettbewerbsanalyse vorgenommen und das wettbewerbliche Strategieverhalten von Flughafenbetreiber und Fluggesellschaft spieltheoretisch erklärt.

Auf Basis der Fallstudie können zur Post-Merger-Netzwerk-Integration im Luftfrachtbereich die folgenden Ergebnisse aufgezeigt werden: Aus kartellrechtlicher Sicht müssen bei der Netzwerk-Integration erteilte Auflagen, die sich in dem Verzicht von einzelnen Slots als Mittel gegen die Marktbeherrschung der erwerbenden Fluggesellschaft kenntlich machen, berücksichtigt werden. Als integrierter Netzwerktyp entsteht ein Multi-Hub-and-Spoke-System, mit der Folge, dass im abgestimmten Flugbetrieb bei Belly-Frachttransporten die länderübergreifenden Hub-Hub-Flugverbindungen dominieren und sich somit einerseits die Hub-Routendominanz einer Netzwerk-Fluggesellschaft und andererseits sich die Multiplikator- und Konzentrationswirkung die netzbedingten Verbundvorteile und Vorteile aus der Verbindungsvielfalt von Flügen verstärken, hingegen Größenvorteile hingegen nicht bedeutsam

sind und dass die Hub-Flughäfen bei der Netzwerk-Integration negative Netzwerkeffekte induzieren. Falls die Grenzkosten für Frachttransporte in Belly-Flugzeugen niedriger sind als die Durchschnittskosten in Frachtmaschinen, dann ist der Transport von Frachtgut in Belly-Flugzeugen vorzuziehen, da die Gesamtkosten niedriger ausfallen. Damit richtet sich die Vermarktung von Frachtgut bei der Netzwerkintegration unter Kostengesichtspunkten primär auf Belly-Flugzeuge.

Die Fallstudie selbst bringt als Ergebnis zutage, dass in dem integrierten Netzwerk die Lufthansa mit der eigenen Flotte die Belly-Frachtnachfrage abdecken kann, Hub-Hub-Verbindungen dominieren, auf den meisten Flugrouten Überkapazitäten von Belly-Fracht bestehen, im integrierten Netz eine hohe Netzdichte auf den Strecken bestehen, die vorher die Lufthansa schon inne hatte und in der Folge Belly-Fracht kein kritischer Erfolgsfaktor bei einer M&A-Übernahmeentscheidung ist.

Das Modell kann für eine Fluggesellschaft im Rahmen der Flugnetzwerkplanung hilfreich sein, wenn das Luftfrachtprodukt Belly-Frachttransport Kalkül der Übernahmeentscheidung ist.

Abstract

As a consequence of the consolidation of the European aviation market, smaller and formerly European flag carriers are taken over by the large network airlines. The post-merger-network-integration is the logistically integration phase, where the structures from the flight networks are harmonized and the flight schedules are coordinated in order to enable the concentration of air traffic and to achieve a better variety of flight connections.

The objective of the paper is to identify antitrust law related conditions, conditions of the European aviation market competition, corporate strategy goals and logistic premises of the integration of European flight networks with respect to belly freight transports and how to model the problem issue and its data. The model identifies an optimal set of aircraft routes minimizing the total costs of air transportation for the system, provided that the network design is fixed (integrated flight networks with fixed hub and non-hub airports and determined allocated slots). Concerning belly freight demand and freight capacity in combination carrier real world based assumptions are made. The cost function related to the model covers the total costs of belly freight transportation comprising operational based and haul-line based cost types. Belly freight is thereby treated as a by-product of passenger transport in the model.

The model is then applied to the post-merger-network-integration of the Austrian Airlines and Swiss networks. The latter flag carriers were recently taken over by the Lufthansa holding. One of the goals of the study is to gain more detailed insights whether the air product belly freight transport is part of the decision of a takeover of an airline. The research is done on a real world scenario. Real world data is involved in the test problem data of the research, e.g. the air freight statistics data, the official flight schedules and flight frequencies of Lufthansa, Austrian Airlines and Swiss, the actual freight capacities of the operating combination aircrafts are considered. The premises of the network integration are carved out and the implications on the post-merger-network-integration are exposed. The relevant legal and competition conditions are analyzed and subsumed to the problem issue. Additionally the strategic competition behavior between the airport operator and the airline company is explained by modeling it as a behavior game with respect to game theory in Operations Research.

Based on the case study the following essential results can be derived from the post-merger-network-integration in the aviation market: From the point of antitrust law the takeover of an airline is usually permitted under the constraint that flight slots that are classed as being operated monopolistically after integration the takeover network are dismissed. The integrated network type is a multi-hub-and-spoke-system. Hub-hub-connections are dominated by belly flight transports as results of the network structure and the aligned flight operations. The network airlines can strengthen the hub dominance and gain network induced advantages of economies of density and economies of scope by having a better variety of flight connections. The paper also features that the airlines cannot benefit from economies of scale due to the network integration and that the hubs in the network integration induce negative network effects. Furthermore it is shown that supposing the marginal costs of cargo transport in combination carrier is lower than the average costs in freighter aircraft the transport of freight in combination carrier is preferable as the total costs of transport are lower. Thus, belly-freight is rather better exploited in combination carrier than in pure freighters in the post-merger-network-integration.

The case study exposes that Lufthansa fleet can supply the whole belly-freight demand in the integrated network. Hub-hub-relations dominate the integrated network. There are excessive belly freight capacities on most of the flight routes. On several flight routes there is a high density of offered flights which are yet frequently flown by Lufthansa before integration. Consequently belly freight air product is not a crucial factor of success at a M&A takeover decision.

The usefulness of the model for an airlines company´s comprehensive flight network planning with respect to a merger or takeover of an airline company is supposed when air product belly freight transport is decisively relevant.

1 Einleitung

1.1 Motivation

Der anhaltende Globalisierungstrend und die damit einhergehende Verschärfung des Wettbewerbs zwingen immer mehr Unternehmen, das eigene Geschäftsmodell nach diesen Anforderungen auszurichten, indem neue Wachstumsmärkte erschlossen werden. In der Luftfahrtbranche ringen die großen Netzwerkfluggesellschaften nach Synergien und Größenvorteilen, die sie sich durch Fusionen und Akquisitionen von anderen Fluggesellschaften versprechen. Jedoch werden diesen ehrgeizigen Zielen Dämpfer versetzt, da im Luftverkehr immer noch einschneidende Wettbewerbsbedingungen vorherrschen und die Konsolidierungsmaßnahmen hin zu einem integrierten und netzweiten abgestimmten Flugbetrieb sich als schwierig, langwierig und teuer gestalten.

Trotz dieser Hindernisse ist insbesondere auf dem europäischen Kontinent mit einem Fortschreiten der Konsolidierung zu rechnen. Insbesondere die kleinen, ehemals staatlichen Carrier gelten als heiße Übernahmekandidaten durch die in Europa angesiedelten großen Netzwerkfluggesellschaften, da sie aufgrund der für die Wettbewerbsfähigkeit fehlenden Marktgröße und der eingetretenen strukturellen Probleme nicht profitabel arbeiten, sich vielfach obendrein in der Obhut ihres Heimatstaates befinden oder gar subventioniert werden müssen, was unter Wettbewerbs und -Wohlfahrtsgesichtspunkten bedenklich ist.

Während einige der großen europäischen Luftverkehrsgesellschaften nur noch in der Fusionierung mit anderen Netzwerk-Carriern eine Rettung erhoffen[1], befindet sich die Lufthansa derzeit in der komfortablen Lage, den Konsolidierungsprozess in Europa ohne Vereinigung mit einer anderen Netzwerkfluggesellschaft nach vorne zu treiben, indem sie bereits mehrere kleinere Fluggesellschaften akquiriert, d. h. deren gesellschaftsrechtliche Mehrheit übernommen hat. Darunter fallen die ehemaligen staatlichen Fluggesellschaften von Belgien, der Schweiz und Österreichs, d. h. Brussels Airlines, Swiss bzw. Austrian Airlines (AUA), sowie die hier nicht weiter beachtete BMI. Sie werden als beherrschte Tochtergesellschaften in den Lufthansakonzern einbezogen. Für diese Airlines ist es geradezu verlockend, in der Not unter die Flügel des profitablen deutschen Netzwerk-Carriers zu schlüpfen. Charakteristisch für den Übernahmeprozess ist, dass die Tochtergesellschaften juristisch eigenständig bleiben und im betreffenden Heimatland der Carrier ein eigenes Netzwerksystem für ihren Flugbetrieb betreiben. Eine der Post-Merger-Strategien des Lufthansa-Konzerns ist dabei, das Übernahme-Netz mit dem bestehenden Core Network und dem globalen Netzwerk des Konzern zu konsolidieren, um netzübergreifend abgestimmte Flugbetriebe zwischen den einzelnen Fluggesellschaften zu ermöglichen. Der deutsche Kranich verspricht sich durch diese Maßnahme auf der Logistikebene Synergie-Potenziale, die in der Folge zur Erlössteigerung und Kostensenkung führen sollen und schließlich die Profitabilität der akquirierten Fluggesellschaft zurückbringen soll.

Durch die Synergie-Effekte auf der Ebene der einzelnen Luftfahrtprodukte werden sich in einem integrierten Flugnetz von Unterflurfracht (engl.: Belly-Fracht)[2] in Passagiermaschinen einerseits zusätzliches Vermarktungspotenzial aus den Zusatzkapazitäten der Übernahmegesellschaft in einem weiteren Absatzmarkt durch Markterweiterung und eine höhere Verbindungsvielfalt sowie andererseits additionale Zubringerfracht für interkontinentale und intra-kontinentale Luftfrachtangebote versprochen. Während im ersten Fall zusätzliche Erlöse entstehen können, geht es beim Feeder-Verkehr um höhere Auslastungen der Frachtflugzeuge, sodass Größenvorteile erhofft werden, die Kostensenkungspotenziale nach sich ziehen. Unter Belly-Fracht versteht man das in reinen Passagiermaschinen im Bauch des

[1] Vgl. die beabsichtigte Fusion der British Airways mit der Iberia.
[2] Eine detaillierte Definition und Beschreibung von Belly-Fracht erfolgt in Abschnitt 2.7 bis Abschnitt 2.18.

Flugzeugs neben dem Passagiergepäck beförderte Frachtgut. Der Untersuchungsgegenstand von Belly-Fracht ist deshalb interessant, da er zum Ersten bis zu 20 Prozent des Gesamtumsatzes einer Luftfahrtgesellschaft ausmacht und somit diese Luftverkehrsleistung einer Fluggesellschaft eine wichtige Rolle spielt. Zum Zweiten vermarkten die Fluggesellschaften AUA und Swiss fast ausschließlich Belly-Fracht und so gut wie keine Nur-Luftfracht. Drittens kann mit Belly-Fracht als Beiprodukt des Passagierverkehrs in der Modellierung auf viele Erkenntnisse des Passagier-Sektors zurückgriffen werden, der bei der Netzintegration die dominierende Einflussgröße auf die Netzgestaltung darstellt (z. B. Anzahl der Zwischenstopps, Direktflug versus Umsteiger-Verkehr etc.). Schließlich lassen sich auf der Ebene des Business-Modells einer Netzwerkfluggesellschaft interessante Strategieoptionen entwickeln, mit denen ein nicht unerheblicher Beitrag zu übergreifenden Kostensenkungen und Erlössteigerungen geleistet werden kann.

Die Air-France-KLM-Fusion gilt als Vorreiterin im Prozess der Konsolidierung des europäischen Luftverkehrssektors. Post-Merger-Maßnahmen zur Integration beider Airlines sind weit fortgeschritten bzw. in Teilen vollzogen. Jüngst überraschte die fusionierte Netzwerkfluggesellschaft in einem Presseartikel mit der Ankündigung, dass sie zukünftig den Großteil ihres Luftfrachtaufkommens im Unterflurbereich von Passagierflugzeugen bzw. in Kombinationsflugzeugen der KLM, die für die Mitnahme von Passagieren und Luftfracht bestimmt sind, befördern möchte. Nach Meinung des Mitarbeiters Michael Wisbrun, der für die gemeinsame Steuerung der französisch/holländischen Frachtbereiche zuständig ist, lassen sich bis zu 90 Prozent des weltweit bestehenden Luftfrachtaufkommens in Passagiermaschinen transportieren, weshalb Frachtmaschinen nur noch komplementär zum Einsatz kommen sollen.[3] Diese Maßnahmen sind offensichtlich Ausfluss von Kapazitätsanpassungen und Kosteneinsparungsmaßnahmen im Rahmen einer späten Post-Merger-Strategieentscheidung.

Parallel dazu liest man in der Presse im März 2010, dass die Lufthansa bestrebt ist, als Post-Merger-Maßnahme bei der AUA bestimmte Einheiten der übernommenen Fluggesellschaft einem Downsizing zu unterziehen, was bedeutet, dass die Tochtergesellschaft an eine ökonomisch sinnvolle Größe angepasst wird. Weiterhin zeigen sich nach eigener Recherche Tendenzen auf, dass die Cargo-Abteilung der Austrian Airlines mit der Lufthansa-Cargo-Gesellschaft verschmolzen werden soll. All diese Überlegungen von Post-Merger-Maßnahmen beeinflussen die Konsolidierung bzw. Netzintegration des Flugbetriebs, d. h., eine der zentralen Herausforderung in der Post-Merger-Integration gilt den Flugverkehrsnetzen.

Der Netzintegration sind jedoch Hürden auferlegt. Zunächst gilt es zu klären, welchen institutionellen und rechtlichen Rahmenbedingungen solche Konsolidierungsprozesse in Europa unterworfen sind. Weiterhin ist essenziell, ob zur Gestaltung eines integrierten Netzes auf der Netzebene Wettbewerbsbedingungen unter den Mitstreitern vorherrschen, die die Netzintegration zu vereiteln oder zu erschweren vermögen.

Ausgehend von diesen Rahmenbedingungen sind im Folgenden die Planung und Durchsetzung der Netzintegration Aufgabe des Netzmanagements auf der logistischen Ebene. Die Netzintegration umfasst dabei sowohl den Passagier- als auch den Frachtbereich. Die Netzzusammenführung auf der Ebene von Belly-Fracht wird dabei diktiert von den Belangen des Passagiersektors. Zur Planung erfolgt die Modellierung des Problemgegenstands der Integration. Der Modellierung liegt die Zielsetzung zugrunde, die Kosten für die Durchführung der Flüge zum Transport von Belly-Fracht im integrierten Netz zu minimieren, d. h., eine Routenkombination von Flugverbindungen zu ermitteln, für die das Ergebnis einer aufzustellenden Kostenfunktion minimal wird.

Der Modellierung sind jedoch die in der realen Welt existierenden Restriktionen zugrunde zu legen. So ist es möglich, dass aus der Übernahmetransaktion kartellrechtliche Auflagen re-

[3] Vgl. Artikel „Air France-KLM Cargo setzt auf Belly-Transporte“ in Verkehrsrundschau vom 21.09.2009.

sultieren, die eine Implikation auf die Netzstruktur des zu integrierenden Netzes nach sich ziehen können. Weiterhin sind Wettbewerbs- und logistikbedingte Parameter in der Modellierung zu berücksichtigen. Beispielsweise werden für einen abgestimmten Flugbetrieb bestimmte Anforderungen an die Zeitnischen für die Durchführung der Flugservices benötigt, weshalb diese Bedingungen vor der Modellaufstellung zu untersuchen sind.

Das zu integrierende Netz, das die drei Länder Deutschland, Österreich und die Schweiz (im Weiteren 3L-Netz bzw. 3L-Netzwerk genannt) umfasst, entspricht strukturell einem Multihub-and-Spoke-System. Es umfasst fünf Hub-Flughäfen, drei davon in Deutschland und jeweils ein Drehscheibenflughafen befindet sich in Österreich und der Schweiz. Der so entstandene neue Netzwerktyp ist im Operations Research für die Anwendung auf den Luftverkehrsmarkt dieser drei Länder als Ergebnis einer Voranalyse zu dieser Arbeit bislang nicht behandelt worden.

Die in der Location Theory entwickelten Hub-and-Spoke-Modelle, die die optimale Lokation von Hub-Flughäfen zum Gegenstand haben, eignen sich nicht für diese Problemstellung. Zum einen sind die Hub-Flughäfen im Modell exogen vorgegeben, zum anderen geht es um die Berechnung optimaler Flugrouten in einer festgelegten Netzwerkstruktur. Es handelt sich also nicht um die Optimierung der Netzwerkstruktur, sondern um die Vollendung des Flugbetriebs aufgrund der im Luftfrachtmarkt nachgefragten Lufttransporte. Fraglich ist indes, ob nicht bereits die Frachtkapazitäten der Lufthansa-Passagierflotte ausreichen, um die Luftfrachtnachfrage decken zu können, und deshalb durch die Übernahmen der AUA bzw. Swiss Überkapazitäten für Belly-Frachtangebot entstehen. Dieser Sachverhalt lässt sich anhand des Flugbetriebs der Lufthansa und des anschließenden Vergleichs mit dem integrierten Flugbetrieb der AUA und Swiss untersuchen. Die Analyse kann manuell durch Auswertung bzw. Anreicherung der Flugplandaten der drei Airlines erfolgen. Ungeachtet der Frage nach Überkapazitäten besteht die Aufgabe der Netzintegration in der Optimierung der Flugrouten, d. h. dem Aufbau eines abgestimmten Flugbetriebs.

In Anlehnung an Kuby und Gray (1993), die ein Modell mit Zeit- und Routenrestriktionen für die optimale Routenberechnung des westlichen USA-Netzes von Federal Express aufgestellt haben, wird für das hier behandelte 3L-Netz ein analoges Modell entwickelt, mit dem sich in einem vorgegebenen Netzwerk die Flugrouten auf Basis eines festgelegten Flugplans optimieren lassen.

1.2 Aufbau der Arbeit

Das auf diese Einleitung folgende zweite Kapitel führt in den Komplex der europäischen Luftfracht ein. Zunächst werden der Luftverkehrsmarkt und dessen Akteure näher charakterisiert. Anschließend erfolgt eine Einteilung der Luftverkehrsgesellschaften. Darauf aufbauend wird näher auf die Luftfracht und den Luftfrachtmarkt eingegangen und das Luftfrachtgut genauer erläutert. Im weiteren Verlauf stehen die Vor- und Nachteile von Luftfracht sowie die prinzipiellen Transportmöglichkeiten von Luftfracht im Fokus der Betrachtung. Im Weiteren wird auf die Bedeutung von Belly-Fracht beim intra-europäischen Luftfrachttransport und deren Merkmale bzw. typischen Eigenschaften näher eingegangen. Wie bereits allgemein für Luftfracht werden auch für Belly-Fracht die Vor- und Nachteile aufgeführt und das Verhältnis des Belly-Frachtaufkommens zum Gesamtluftfrachtaufkommen skizziert.

Das dritte Kapitel zeigt die Kennzeichen des europäischen Luftfrachtverkehrsmarktes auf. Diesbezüglich finden die vorherrschende Struktur des europäischen Luftverkehrssektors, die gegenwärtigen Luftverkehrsströme in Europa, die Schwerpunktmärkte sowie die Bedeutung der Luftfracht für die globale Weltwirtschaft Berücksichtigung. Den Abschluss dieses Kapitels bildet die Nachzeichnung der relevanten Kennzahlen der europäischen Luftfracht, der historischen Entwicklung der Luftfracht sowie der weltweiten Luftfrachtzahlen und -merkmale als auch von Europa, Deutschland, Österreich und der Schweiz.

Das Kapitel 4 steckt den institutionellen und rechtlichen Rahmen des europäischen Luftverkehrssektors ab. Hierzu werden die relevanten Institutionen und der rechtliche Rahmen für einen europaweiten Luftverkehrsbetrieb aufgezeigt, um im Anschluss die Besonderheiten der kartellrechtlichen Bestimmungen bei Übernahmen von Fluggesellschaften herauszuarbeiten, wobei speziell ein Fokus auf die europäische Fusionskontrolle und die deutsche Zusammenschlusskontrolle gelegt wird. Schließlich wird sich in diesem Kapitel den kartellrechtlichen Bestimmungen in der Schweiz als Nicht-EU-Land sowie den Bestimmungen des Gesetzes gegen unlauteren Wettbewerb bei Vereinbarungen bzw. Absprachen zwischen einer Erwerber-Fluggesellschaft und einer Übernahme-Fluggesellschaft im Rahmen der Netzintegration gewidmet.

Das folgende Kapitel 5 geht auf die für Netzwerkfluggesellschaften auf der Ebene des Flugnetzes bestehende Wettbewerbssituation im Zusammenhang mit der Übernahme einer Fluggesellschaft ein. In diesem Zusammenhang erfolgt zunächst die Erklärung der wettbewerbstheoretischen Grundlagen, um anschließend die Wettbewerbssituation beim Lokationsproblem, d. h. beim Zugang zu Flughäfen zu behandeln. In diesem Kontext wird untersucht, ob Flughafenbetreiber gegenüber den Netzwerkgesellschaften durch Marktmachtausübung die Integration eines Netzes bzw. durch netzbedingte Marktmacht von Netzwerkfluggesellschaften erschweren. Es geht dabei um die Frage, ob der zur Integration uneingeschränkte Zugang zu den benötigten Flughäfen und Flughafeneinrichtungen möglich ist. Die netzbedingte Marktmacht wird speziell unter dem Gesichtspunkt der Bildung von Allianzen von Fluggesellschaften sowie von Übernahmen von Fluggesellschaften und der Slot-Konzentration und -hortung beleuchtet. Darüber hinaus wird der Frage nachgegangen, ob die Netzwerkgesellschaft das eigene Netz nicht als Machtinstrument gebrauchen kann, um Markteindringlinge vom eigenen Netzzutritt abzuhalten, wodurch sich Übernahmen von anderen Fluggesellschaften auch unter dem Aspekt der Wettbewerbsinstrumentalisierung beurteilen ließen. Anschließend wird die Wettbewerbssituation bei der Allokation, d. h. bei der Bedienung von Flugstrecken gegenübergestellt. Hierbei geht es im Kontext der Netzintegration darum, ob die Flugverbindungen sich so durchführen lassen, dass ein abgestimmter Flugbetrieb möglich ist. In diesem Zusammenhang wird auf die Wechselwirkung zwischen dem Lokations- und dem Allokationsproblem eingegangen. Ebenso erfolgen die Untersuchung der Wettbewerbssituation der Flughafengesellschaft von Drehscheiben-Flughäfen und den Netzwerkfluggesellschaften auf diesen Flughäfen nach kooperativen und wettbewerblichen Gesichtspunkten und die spieltheoretische Beleuchtung des wettbewerblichen Strategieverhaltens dieser Akteure. Abschließend wird untersucht, ob die aus den 1970er-Jahren formulierten Modelle von Kostenfunktionen für die effiziente Preisfindung von Belly-Frachtraten aufgrund der Veränderung der Luftverkehrsmärkte hin zur Deregulierung heute noch gültig sind bzw. die Ergebnisse der damaligen Untersuchungen Aufschluss darüber geben, ob der Transport von Luftfracht in Passagiermaschinen gegenüber reinen Frachtmaschinen kostengünstiger ist.

Das sich anschließende Kapitel 6 verdeutlicht den inter- und intra-modalen Wettbewerb von Luftfahrtgesellschaften speziell im Frachtbereich und die gegenwärtige Wettbewerbssituation von kleineren Netzwerkfluggesellschaften, zu denen auch die AUA und Swiss zählen.

Das siebente Kapitel läutet den zweiten Schwerpunkt der Arbeit ein: die konkrete Planung, Modellierung und Berechnung einer Netzintegration. Diesbezüglich wird zunächst untersucht, welche Unternehmensstrategien von Netzwerkfluggesellschaften verfolgt werden. Es wird dann auf Strategien für das Luftfrachtprodukt Belly-Fracht von Fluggesellschaften, die in Passagiermaschinen ein derartiges Luftverkehrsangebot vorsehen, sowie auf mögliche Wettbewerbsstrategien für Belly-Fracht eingegangen. Anschließend wird der Frage nachgegangen, wie die strategische Planung der Netz-Logistik aussieht. Schließlich erfolgt die Aufstellung einer Kostenfunktion für Belly-Frachttransporte, mit der sich die modellhaft abgebildeten Kosten bewerten und zur Minimierung der Kosten im Modell für die optimale Routengestaltung heranziehen lassen. Die Kostenfunktion wird im Rahmen einer Prozesskostenanalyse für den Transport der Fracht sowie die Be- und Entladevorgänge am Flugha-

fen hergeleitet und erläutert.

Das Kapitel 8 widmet sich der Netzintegration, die sich als typische Aufgabe eines Post-Merger-Prozesses betrachten lässt. Hierfür werden als Erstes die Merkmale der Netze vor und nach der Integration aus Sicht von Belly-Fracht dargestellt, um im Anschluss auf die Merkmale von Hub-and-Spoke-Netzwerken einzugehen. Es wird dann speziell die Vorteilhaftigkeit von Hub-Konfigurationen diskutiert und in diesem Kontext die Multiplikator- und Konzentrationswirkung für den Fall von Multi-Hubs aufgezeigt. Neben diesen beiden Größenvorteilen erfolgt die Darstellung weiterer Vorteile von Netzwerken, die nach dem Hub-and-Spoke-Prinzip konstituiert sind. In der Folge werden speziell die Konzentrationswirkungen von Belly-Fracht beim Interkontinental-, Europa- und Inlandsverkehr beleuchtet. Schließlich erfolgt die Darlegung der aus Luftfrachtsicht bedingten Anforderungen an die Hub-Struktur.

Das neunte Kapitel widmet sich der Planung, den Verfahren und Modellen beim Aufbau von hub-orientierten Netzlayouts. Hierzu wird zunächst das Netzwerkgestaltungsproblem der strategischen Planung erörtert, um anschließend das Netzwerkgestaltungsproblem näher zu formulieren und zu klassifizieren. Den Abschluss dieses Kapitels bildet die Präsentation der wesentlichen in der Literatur veröffentlichten exakten und heuristischen Verfahren zur Lösung von Netzwerkgestaltungsproblemen.

Das Kapitel 10 beschäftigt sich mit der Lösung von Netzwerkgestaltungsproblemen mithilfe von Hub-and-Spoke-Modellen aus der Location Theory, einem Zweig des Operations Research. Hierfür erfolgt zunächst die Darstellung der Varianten und Modelltypen zur Gestaltung von Netzwerkproblemen. Es werden hierauf die Kriterien zur Darstellung hub-orientierter und linearer Netzlayouts herausgearbeitet und gegenübergestellt. Dem folgt die Erläuterung konkreter p-Hub- und p-Hub-Median-Modelle, die sich allgemein für die Konfiguration von Luftverkehrsnetzen eignen. Des Weiteren wird die Vorteilhaftigkeit einer Zwischenstopp- und Feeder-Strategie bei der Netzwerkgestaltung herausgearbeitet. Das Kapitel schließt mit einer Zusammenfassung und Kommentierung der Literaturansätze zu den Hub-and-Spoke-Modellen aus der Location Theory.

Im elften Kapitel werden konkrete Hub-and-Spoke-Modelle aus den Standardwerken der Literatur nachgezeichnet. Zu Beginn erfolgt die Klassifizierung der Modelle nach aufgestellten Kriterien, um anschließend das Ein-Hub-, Zwei-Hub- und p-Hub-Modell in der Single-Allocation-Variante, das p-Hub-Median-Modell sowohl für den Single- als auch für den Multiple-Allocation-Fall, erweitert mit Kapazitätsrestriktionen und eingeführten Direktflügen, und das rekursive Modell für ein p-Hub-System mit p-Hub-Feeder-Subsystemen in ihren grundlegenden Aussagen zu erklären.

Kapitel 12 behandelt das Gestaltungsproblem eines Multihub-and-Spoke-Netzwerkes, wie es beim 3L-Netz vorliegt. Hierzu wird das zu untersuchende 3L-Netz definiert und detailliert beschrieben. Anschließend wird speziell auf die Feeder-Funktion der autonomen Subnetze der AUA und Swiss eingegangen, d. h., es werden die auf Belly-Fracht bezogenen Flugverkehre zwischen Österreich und Deutschland bzw. der Schweiz und Deutschland und die Flugstrecken, auf denen Frachtströme zwischen Deutschland und den beiden Alpenländern zu verzeichnen sind, untersucht. Die übrigen Flugstrecken im 3L-Netz bleiben außer Acht. Zunächst wird das Netzwerk beschrieben, um es anschließend mit dem reinen Hub-and-Spoke-Netzwerksystem zu vergleichen, und es werden die wesentlichen Konzepte des für diese Arbeit relevanten Modells vorgestellt.

Das dreizehnte Kapitel untersucht die Flugrouten im 3L-Netzwerk der Lufthansa dahingehend, ob sich nicht bereits das Luftfrachtaufkommen durch die Lufthansa-Frachtkapazitäten abdecken lässt, sodass sich die Übernahme der AUA bzw. der Swiss unter dem Aspekt von Belly-Fracht nicht lohnen würde, d. h. mit den Übernahmen die Überkapazitäten sogar zunehmen würden. Aufbauend auf diesen Ergebnissen erfolgt die Analyse, ob zur Beantwortung der Frage nach den Überkapazitäten überhaupt ein Modell benötigt wird oder sich auf-

grund anderweitiger Auswertungen hierauf eine hinreichende Antwort geben lässt.

Im vorletzten Kapitel 14 erfolgt die Entwicklung eines Modells zur Optimierung von Flugrouten in einem Luftfrachtnetzwerk für den Problemgegenstand Belly-Fracht. Zunächst wird die Problemstellung in kleine Problemkreise zerlegt, um im Anschluss auf die Repräsentation von Netzwerken in Datenstrukturen einzugehen. Es folgt die Modellierung, indem das Modell aufgestellt, die Modellgleichungen erläutert und die Modellparameter und -Restriktionen beschrieben werden.

Das Kapitel 15 schließt mit einer Zusammenfassung und Würdigung der Ergebnisse und gibt einen Ausblick auf weitere interessante Forschungsansätze im Kontext von Belly-Fracht.

2 Charakterisierung der Luftfracht im Kontext von Belly-Fracht

Für eine eingehende Charakterisierung der Luftfracht werden zunächst deren relevante Marktakteure vorgestellt. Es folgt eine Darstellung ihrer Transportmöglichkeiten in Abhängigkeit vom eingesetzten Flugzeugtyp. Anschließend rückt speziell der Belly-Fracht-Bereich in den Fokus der Betrachtung. Hierzu werden dessen Merkmale sowie die Vor- und Nachteile nach ökonomischen, wettbewerblichen und umweltbezogenen Kriterien beschrieben. Den Abschluss bildet eine nähere Betrachtung des Belly-Fracht-Aufkommens.

2.1 Luftverkehrsmarkt und dessen Akteure

Beim Luftverkehrsmarkt ist zunächst zwischen der Angebots- und der Nachfrageseite zu differenzieren. Die Angebotsseite umfasst Flughafenbetreiber, Luftverkehrsgesellschaften und den Flugsicherungsdienst. Darüber hinaus gibt es weitere Akteure, die mittelbar dem Luftverkehrssektor zugerechnet werden, wie z. B. die Luftverkehrsverwaltung, der Flugplankoordinator, Reisemittler, Reiseveranstalter und die an Flughäfen sitzenden Dienstleitungsgesellschaften, die für die Luftverkehrsgesellschaften oder die Flughafengesellschaft tätig sind. Auf der Nachfrageseite sind die Fluggäste und Frachtversender sowie die Luftpost zu nennen (vgl. Reichmuth, 2008, S. 19). Im Weiteren sollen nur noch Luftverkehrsgesellschaften behandelt werden und im Wettbewerbsbereich auch Flughafenbetreiber.

Die Luftfahrtgesellschaften spielen in der Luftfrachtbranche die wichtigste Rolle. Der Lufttransport ist in der Transportkette das Kernstück dieser Transportart. Welche Art von Fluggerät bei den Fluggesellschaften für den Frachttransport zum Einsatz kommt, wird in Abschnitt 2.8 ausführlich besprochen. Neben dem reinen Transport von Fracht zwischen zwei Flughäfen obliegt den Fluggesellschaften die Transportorganisation sowie die Be- und Entladung der Fracht vom Flugzeug. Letztere Aufgabe wird vielfach von einem Dienstleister, dem so genannten Handling-Agenten erbracht. Als wichtiger weiterer Akteur fungiert der Flughafenbetreiber, der am Flughafen die zur Abwicklung der Fracht erforderliche Infrastruktur stellen muss. Hierzu zählt die technische Ausstattung wie bspw. Förderbänder oder Lagerhallen. Der Luftfrachtspediteur ist das Bindeglied zwischen Fracht-Verladern und der Fluggesellschaft. Die Spediteure führen den Transport des Frachtguts von der Quelle zum Start-Flughafen und vom Ziel-Flughafen zur Senke durch. Dabei beauftragt eine Privatperson oder ein Unternehmen eine Spedition damit, das Frachtgut mit dem Lastkraftwagen des Spediteurs zum Flughafen zu befördern. Die Spedition ihrerseits beauftragt daraufhin eine Fluggesellschaft damit, das Frachtgut zum nächstgelegenen Flughafen der Destination zu fliegen. Der Weitertransport von diesem Flughafen zum Zielort obliegt wiederum der Spedition, weshalb diese eine Spedition am Zielflughafen mit dem endgültigen Transport zum Zielort beauftragen muss. Dieses Transportverfahren ist sehr aufwändig, erfordert ein hohes Maß an Organisation und zeitliche Koordination, damit das Frachtgut rechtzeitig am Bestimmungsort eintrifft. Die Koordination verläuft vielfach manuell und ist nicht immer zuverlässig.

Seit nunmehr fast 30 Jahren nehmen die so genannten Integratoren eine wichtige Rolle im Luftfrachtsektor ein. Integratoren stehen als Sammelbegriff für die so genannten KEP-Dienste, d. h. Kurier-, Express- und Paketdienstleister. Sie zeichnen sich dadurch aus, dass sie einen Vollservice in Form des Transports von Haustür zu Haustür für Kleingutsendungen mit einem Maximalgewicht von 31,5 kg je Paket offerieren. Der Haustürservice funktioniert so, dass ein Kurierdienst das Sendungsgut beim Verlader mit einem eigenen Lastkraftwagen abholt und dieses dann in das Netz der Integratoren einliefert. Nach dem Flugtransport im eigenen Flugzeug wird die Frachtsendung beim Empfänger wiederum durch einen Kurierdienst bis zur Haustür zugestellt. Bekannte Integratoren, die weltweit auftreten, sind FedEx, DHL, TNT und UPS. Durch den Einsatz eigener Fahr- und Flugzeuge spart sich der Integra-

tor im Vergleich zum klassischen Transportverfahren administrativen Aufwand, wodurch die Express- bzw. Overnight-Transporte erst möglich gemacht werden. Die Gewichtsbeschränkung auf 31,5 kg je Paket ermöglicht den Einsatz von automatisierten Umschlagesystemen. In dieser Arbeit wird ausschließlich auf die Luftfrachtgesellschaften eingegangen, der bodengebundene Frachtvor- und -nachlauf finden keine Beachtung.

Die nachfolgende Abbildung veranschaulicht exemplarisch den konventionellen Prozess der Frachtabfertigung unter Berücksichtigung der Integratoren.

Abbildung 1: Konventionelles Verfahren im Vergleich zu Systemanbietern
(Quelle: Weber, 2008, S. 20 f.)

2.2 Einteilung der Luftverkehrsgesellschaften

Einteilung nach der Struktur ihres Netzbetriebs und der Unternehmensgröße
In diesem Abschnitt werden die Geschäftsmodelle von Fluggesellschaften, die Langstreckenfluggerät einsetzen, systematisiert (vgl. Pompl, 2007, S. 123 ff., Nagl, 2008, S. 110 f.). Bei dieser Einteilung wird auch auf die Belly-Fracht eingegangen. Diese Einteilung war idealtypisch für die 1990er-Jahre (vgl. Pompl, 2002, S. 111 ff.).

- *Große Netzwerkfluggesellschaften*: Zu den in Europa ansässigen großen Netzwerkfluggesellschaften zählen die fusionierte Air France-KLM, British Airways und die Lufthansa. Das Flugangebot dieser Netzwerk-Carrier erstreckt sich auf den Passage- und Luftfrachtverkehr. Die Luftverkehrsnetze sind nach dem Hub-and-Spoke-Prinzip aufgebaut, entsprechende operative Systeme auf der Ebene der Strecken, Flugzeiten und Tarife sind gegenständlich. Die Tarife werden meist in unterschiedlichen Beförderungsklassen angeboten. Im Bereich der Pre-, In- und Post-Flugservices setzt man auf Produktdifferenzierungen als Wettbewerbsinstrument gegenüber Mitbewerbern, wodurch sich auch in mehreren Marktsegmenten das Luftfahrtangebot unterbreiten lässt. Die Fluggesellschaften unterhalten ein dichtes Flugnetz an Kurz- bzw. Mittelstrecken mit einer hohen Konzentration von Feeder-Verkehr zu den Hubs und breiter geografischer Abdeckung. Es wird meist mehr als ein Hub-Flughafen angeflogen. Das Fluggast- und Luftfrachtaufkommen ist in den Heimatländern der Airlines von vornherein schon groß. Zur Gruppe der großen Netzwerkfluggesellschaften zählen in Anlehnung an Reichmuth (2008, S. 6):

  - *Mega-Carrier (Major)*: Primär privat ausgerichtete Liniengesellschaft mit interkontinentalem Streckennetz aus Ländern wie etwa der USA mit großen Fluggast- und Frachtauf-

kommen in den Heimatmärkten des Mega-Carriers. Um als Major zu gelten, muss eine Umsatzschwelle von zwei Milliarden US-Dollar überschritten werden (vgl. Reichmuth, 2008, S. 6).

- *Flag-Carrier*: „Liniengesellschaft mit staatlicher Mehrheitsbeteiligung, die als Monopolist oder Marktführer im jeweiligen Heimatland das wichtigste Instrument zur Durchsetzung der nationalen Luftverkehrspolitik ist und in ihrer Unternehmenspolitik zudem durch staatliche Bevormundung (z. B. bezüglich Strecken, Arbeitsplätze, Besetzung von Führungspositionen durch Karrierebürokraten) beeinflusst wird. Die Überlebensfähigkeit wird oft eher durch verkehrsrechtliche Protektion und Subventionen als durch Wettbewerbsfähigkeit gesichert“ (Reichmuth, 2008, S. 6).
- *Continental-Carrier*: Zur Gruppe der Netzwerkfluggesellschaften werden nach Reichmuth (2008, S. 6) auch die Continental-Carriers gezählt, die in der Einteilung der Luftfahrtgesellschaften bei Nagl (2008) und Pompl (2002) neben den Netzwerkfluggesellschaften als eigene Gruppe ausgewiesen werden. Die Continental-Carrier sind nach Reichmuth unabhängige Liniengesellschaften, die primär ein kontinentales Streckennetz bedienen und sich hinsichtlich ihrer Unternehmensgröße hinter den Mega-/Flag-Carriern einreihen. Die meisten dieser Continental-Carrier sind Mitglied in einer strategischen Allianz bzw. haben bilaterale Abkommen mit anderen Fluggesellschaften, womit sie sich Anschlüsse an ein interkontinentales Streckennetz sichern (vgl. Reichmuth, 2008, S. 6).

- *Kleine Netzwerkfluggesellschaften***:** Hierunter fallen in Europa beispielsweise die von der Lufthansa übernommenen Gesellschaften der Austrian Airlines und der Swiss. Aber auch die Alitalia, die Finnair oder die SAS zählen zu den kleineren in Europa ansässigen Netzwerkfluggesellschaften. Charakteristisch für diese Carrier ist, dass sie überwiegend regionale bzw. auf den Flugverkehr des Heimatlandes der Airline abgestimmte Hubnetzwerke betreiben. Meist spiegelt die Netzwerkstruktur wider, was diese Fluggesellschaften in ihrer Funktion als nationaler Verkehrsversorger innehatten, d. h., in den Netzwerken werden auch entlegene Regionen, also solche mit wenig Verkehrsnachfrage, mit Luftverkehr versorgt. Das Nabe-Speiche-Netzwerk weist regelmäßig nur einen Hub auf, der meist noch dem vor der Deregulierung betriebenen ehemaligen Natural-Hub entspricht. Im Flugnetz werden ergänzend ausgewählte Mittel- und Langstrecken angeboten. Der Luftverkehr dieser Gesellschaften umfasst meist den Passagier- und Belly-Luftfrachtverkehr, wohingegen reine Frachtmaschinen von diesen Airlines nicht unterhalten werden.

- *Reine Langstreckenfluggesellschaften***:** Hierzu zählen Fluggesellschaften, wie etwa die Singapore Airlines, bei deren Geschäftsmodell nur Langstreckenverbindungen vorgesehen sind. Meist handelt es sich bei den Langstrecken um Flugrelationen zwischen zwei Hubs, bei denen großes Fluggerät eingesetzt wird und ein hohes Passagier- bzw. Belly-Frachtaufkommen vorherrscht. Diese Strecken weisen durch die Bündelung des Verkehrs Verbundvorteile auf und es besteht keine intermodale Konkurrenzsituation mit anderen Verkehrsträgern. Auch im reinen Cargo-Bereich bieten Fluggesellschaften Langstreckenrelationen an. Die Hub-Flughäfen dieser Luftverkehrsträger sind hinsichtlich der Infrastruktur bestens ausgestattet und auf hohe Nachfragen im Fracht- und Passagebereich vorbereitet.

- *Charter- und Low-Cost-Fluggesellschaften mit Widebody-Flugzeugen*: Das Geschäftsmodell dieser Fluggesellschaften umfasst Flugangebote im touristischen Sektor. Als Repräsentanten sind die in Deutschland bekannten Ferienflieger Condor und LTU zu nennen. Fluggesellschaften mit diesem Geschäftsmodell setzen vor allem im Langstreckenbereich so genannte Widebody-Flugzeuge ein. Typisch für solche Flüge ist, dass sie im Charterverkehr angeboten werden (vgl. nachfolgende Erläuterung). Low-Cost-Carrier setzen im Langstreckenflug ebenfalls auf die Vorzüge der Widebody-Flieger. Billigfluggesellschaften konzentrieren sich auf ihr Kerngeschäft, den Passagiertransport. Belly-Fracht wird als Beiprodukt zum Passagiertransport in der Regel nicht vermarktet. Den Low-Cost-Carriern ist eigentümlich, dass sie bei Produkt, Streckenwahl, Produktion, Personal sowie Vertrieb die Kosten nachhaltig reduzieren und das Produkt „Flug“ zu wettbewerbsfähigen Preisen ohne so genannte no-frills vermarkten (Pompl, 2002, S. 116–123, Reichmuth, 2008, S. 6).

Reichmuths (2008, S. 7) Einteilung von Fluggesellschaften kommt zu teils überschneidenden und teils komplementären Aussagen als Pompl.

- *„Ad hoc-Charter:* Das Unternehmen ist auf Gelegenheitsverkehr auf Anforderung spezialisiert, also z. B. als Executive-Charter für die Beförderung von Managern, Sportlern, Künstlern oder Politikern, als Own Use-Charter für Unternehmen oder als Pauschalreisecharter für Events oder Tagesflüge
- *Corporate Aviation:* Nicht öffentlicher Luftverkehr, der von Unternehmen mit eigenen Flugzeugen durchgeführt wird. Viele Unternehmen nutzen auch die Möglichkeit des Fractional Jet Ownership
- *Regionalfluggesellschaft:* Eigenständige Liniengesellschaft, die mit ‚kleineren Verkehrsflugzeugen' (meist unter 100 Sitzplätzen) selektive Verbindungen zwischen Regionalzentren und internationalen Verkehrsflughäfen im Zubringerverkehr oder zwischen Regionalflughäfen als Ergänzungsverkehr befliegt. Die Dienste können unter eigener Marke, als Franchise-Nehmer oder in Kooperation mit anderen Gesellschaften erbracht werden.
- *Ferienfluggesellschaft:* Unternehmen des Linien- und/oder Gelegenheitsverkehrs, das im Chartermodus operiert und im Punkt-zu-Punkt-Verkehr auf von Urlaubern frequentierten Verbindungen mit streckenbezogenem Mindestaufkommen fliegt. Der Vertrieb erfolgt vorwiegend über Pauschalreiseveranstalter, die Bedeutung der früher aus Restkapazitäten bedienten Einzelplatzbuchungen nimmt jedoch zu. Auf nicht liberalisierten Märkten besteht Pauschalreisepaketpflicht."

Für diese Arbeit bedeutsam sind die großen und kleinen Netzwerkfluggesellschaften im Kontext von Belly-Fracht. Es wird aufgezeigt, dass die in den 1990er-Jahren reflektierten Geschäftsmodelle der großen Netzwerkfluggesellschaften aufgrund verschiedener Einflüsse stark adaptiert wurden.

Einteilung nach der Art des eingesetzten Belly-Flugzeugs
Belly-Frachttransporte lassen sich dahingehend unterscheiden, ob so genannte Narrowbody- oder Widebody-Flugzeuge für die Beförderung eingesetzt werden. Auf Kurz- und Mittelstreckenflügen sind die entsprechenden Passagiermaschinen in der Regel Narrowbody-Flugzeuge (dt.: Schmalrumpfflieger). Auf Langstreckenflügen nutzt man Widebody-Flugzeuge (dt.: Großraumflugzeuge). Bezüglich der Flugzeugart wird bei Luftfracht auch dahingehend differenziert, ob das Frachtgut lose oder in Form von standardisierten Containern bzw. Paletten befördert wird, wodurch die Frachtabfertigung und die Anordnung des Frachtguts bei losem Transport im Flugzeugfrachtraum neu zu koordinieren sind (vgl. Weber, 2008, S. 19).

Einteilung nach Linien- und Charterverkehr
Eine andere Art der Einteilung von Luftverkehr ergibt sich nach der Verkehrsart, ob nämlich das Flugangebot im Linien- oder im Charterverkehr durchgeführt wird.

- *Linienluftverkehr* gilt als der nach einem veröffentlichten Flugplan von Luftfahrtzeugen durchgeführte Luftverkehr für die öffentliche Beförderung von Personen, Postsendungen oder Fracht.
- *Charterluftverkehr* hingegen zählt nicht zum planmäßigen Verkehr. Kennzeichnend ist auf Basis eines Mietverhältnisses die Überlassung eines Flugzeuges an einen so genannten Charterer. Der Flug selbst, die Flugzeit und der Preis für die Überlassung des Flugzeugs werden individuell zwischen Charterer und dem Überlassenden vereinbart.

Der Transport der Luftfracht erfolgt vornehmlich in den von den Fluggesellschaften aufgebauten Netzwerken im Linienluftverkehr (vgl. Vahrenkamp, 2007A, S. 8). Der Luftfrachttransport im Charterflugverkehr bleibt die Ausnahme.

Abbildung 2: Einteilung der Luftfrachtgesellschaften
(Quelle: Schöfer, Seeck, 2005)

Einteilung nach dem Gut der Luftverkehrsbeförderung
Eine weitere Einteilung des Luftverkehrs kann hinsichtlich des Guts der Luftverkehrsbeförderung erfolgen. Diesbezüglich lässt sich der Luftverkehr in die Sparten Passage und Luftfracht unterteilen: Während beim Frachtverkehr in den Flugzeugen kein Passagiertransport erfolgt, nutzt man hingegen im Passagierverkehr die Möglichkeit, im Bauch (engl.: Belly) des Flugzeugs neben dem Gepäck der Passagiere auch Frachtgut zu befördern. Flugzeuge, die neben Passagieren auch Fracht transportieren, werden als Belly-Fluggesellschaften und ein zu diesem Zweck eingesetztes Flugzeug auch als Belly-Flugzeug bezeichnet. In Belly-Flugzeugen erfolgt der Transport von Luftpost, Kuriersendungen und sonstiger Luftfracht. Zum Luftfrachtbereich zählen alle kommerziellen Lufttransporte, bei denen keine Fluggäste befördert werden. Diese Einteilung des Luftverkehrs spiegelt auch den Einsatz der für die jeweiligen Geschäftsmodelle eingesetzten Flugzeugtypen wider. Soweit in dieser Arbeit der Begriff Cargo gebraucht wird, bezieht er sich auf den Bereich Air Cargo. Die nachfolgende Abbildung soll diesen Sachverhalt verdeutlichen.

Abbildung 3: Einteilung des Luftverkehrs in Passage und Luftfracht
(Quelle: eigene Darstellung)

Einteilung nach der Substitutionseigenschaft
Luftfracht lässt sich auch nach der Eigenschaft der Substituierbarkeit gliedern. In diesem Kontext wird Luftfracht dahingehend unterschieden, ob sie durch andere Transportmöglichkeiten ersetzbar ist. So gibt es Sonderfracht, die sich aufgrund ihrer spezifischen Güteranforderungen nicht über alternative Transportwege zur Luftfracht transportieren lässt. Es handelt sich dabei um solche Güter, die schnell, sicher und zuverlässig sowie aufgrund der Häufigkeit ihres Transports befördert werden müssen und für die sich deshalb nur Luftfrachttransporte eignen. In diesen Fällen ist die Flugroute für diese Güterbeförderungen nicht substituierbar. Nicht substituierbare Luftfrachttransporte stellen einen eigenen Markt dar (vgl. Linz, 2008, S. 36).

2.3 Luftfracht und Luftfrachtmarkt

Der Luftfrachtmarkt ist, wie bereits aufgezeigt wurde, ein Segment des Luftverkehrssektors. Er umfasst die für den Gütertransport im In- und Ausland unter Einsatz der Luftverkehrsmittel Flugzeug, Luftschiff und Hubschrauber spezifischen Luftfrachtprodukte. Die letzten beiden Luftverkehrsträger sollen in dieser Arbeit nicht weiter behandelt werden. Der Markt für Luftfracht wird dabei durch Angebot und Nachfrage nach diesen Luftfrachtprodukten bestimmt. In seiner weit gefassten Definition umfasst er alle Güter, die auf Linien- oder Charterflügen als Fracht, Express oder Post transportiert werden. Im engeren Sinn werden darunter alle Güter verstanden, die in Konformität zu den IATA-Beförderungsrichtlinien abgefertigt und transportiert werden. Mit anderen Worten zählen alle Gütertransporte in der Luft nicht zu dieser engen Definition, wenn sie nicht nach den Transportbestimmungen der IATA geflogen werden.

Da die im Luftfrachttransport beförderte Post, die nach den Bestimmungen der internationalen Postorganisationen abgewickelt wird, sowie die Güter der Express- und Paketdienste, die unternehmensintern geflogen werden, sich nicht nach den Bestimmungen der IATA richten, sind sie nicht als Luftfracht im Sinne der IATA-Definition zu qualifizieren (vgl. Arnold et al., 2008, S. 757). Ebenso zählt das von den Passagieren aufgegebene Gepäck nicht zur Luftfracht. Dem Luftfrachtmarkt werden aber solche Transporte zugerechnet, die mit bodengebundenem Verkehr unter Anrechnung von IATA-Tarifen erfolgen. Der Luftfrachtmarkt unterscheidet sich wegen seiner Besonderheiten kardinal von den bodengebundenen Verkehrsmärkten (Schiene, Straße, Wasser).

Kennzeichnend für den Luftfrachtmarkt sind gemäß Vahrenkamp (2007A, S. 2):
- kurze Transportzeiten auf weiten Entfernungen,
- geringe Transportkapazitäten, insbesondere im Transportdeck von Personen-Flugzeugen,
- relativ hohe Beförderungskosten.

Aufgrund dieser charakteristischen Merkmale eignen sich Flugzeuge für die Beförderung von wertvollen bzw. zeitkritischen Gütern im besonderen Maße.

2.4 Luftfrachtgut

Prinzipiell sind alle Güter für den Luftfrachttransport geeignet. Technische Rahmenbedingungen, wie die Nutzlast der Flugzeuge sowie die Abmessungen der Ladeluken, und ökonomische Betrachtungen wirken sich jedoch einschränkend aus. Der reine Lufttransport ist erheblich teurer als der Transport auf der Erdoberfläche. Unter ökonomischen Gesichtspunkten kommen nur Güter für die Luftfrachtbeförderung in Betracht, bei denen der Nutzen aus dem Lufttransport höher ist als dessen Kosten. Stellt man erneut auf die Zeitkriterien von mit Luftfracht transportierten Gütern ab, dann lassen sich die Güter im Hinblick auf ihre Eilbedürftigkeit in folgende Kategorien einteilen:

- Notfall-Sendungen,

- verderbliche Güter sowie
- planmäßige, nicht-verderbliche Güter.

Notfall-Sendungen sind beispielsweise medizinische Transporte (Organe, Blutkonserven, Medikamente), die sich in hohem Maße durch Zeitempfindlichkeit auszeichnen. Diese Art von Sendungen ist für die Höhe der Frachtraten unempfindlich, so fallen z. B. bei einer wegen eines benötigten Ersatzteils stillstehenden Produktionsmaschine teilweise beträchtliche Opportunitätskosten an. Spediteure wählen vorzugsweise die Luftfrachtführer mit den höchsten Frequenzen und dem dichtesten Streckennetz. Auch die Sicherheit und Qualität der Abfertigung stehen neben der Geschwindigkeit als Auswahlkriterium an hoher Stelle. Insgesamt stellen Notfall-Sendungen einen bedeutenden Markt für Luftfrachtunternehmen dar, der aber fast ohne Wachstumschancen ist, weil heute schon nahezu 100 Prozent derartiger Sendungen mit dem Flugzeug transportiert werden. Wachstum ist nur dann in diesem Segment auszumachen, wenn die Wirtschaftsbereiche der Notfallsendungen selbst wachsen.

Die zweite Kategorie der Luftfrachtgüter umfasst die verderblichen Güter, ein typisches Segment des Luftfrachtmarktes von hoher Zeitsensitivität. Im Gegensatz zu den Notfall-Sendungen ist ihr Anfallen jedoch planbar. Die Güter können physisch und marktmäßig verderblich sein. Früchte, Blumen oder Gemüse sind auf Grund ihrer Beschaffenheit physisch verderblich, während Modeartikel oder Zeitungen zeitlich an Wert verlieren.

Die Empfindlichkeit der planmäßigen verderblichen Güter bezüglich der Kosten des Transportes ist gering. Die Durchsetzbarkeit von Preiserhöhungen bei den Endverbrauchern begrenzt die Preiselastizität des Transportes. Sicherheit und Qualität des Lufttransportes sowie vor- und/oder nachgelagerte Dienstleistungen sind wichtigere Faktoren.

Die dritte Kategorie, die planmäßigen, nicht-verderblichen Güter, stellen den größten Anteil am Gesamtluftfrachtaufkommen. Da sie nicht wie die meisten verderblichen Güter saisonalen Schwankungen unterliegen, ist ihre Planbarkeit am weitesten ausgeprägt, was zu einer erhöhten Transportkostenempfindlichkeit führt. Für nicht verderbliche Güter sind jedoch die Gesamtkosten für den Lufttransport zumeist geringer als für den Oberflächentransport aufgrund eines hohen Anteils von Kapitalbindungskosten.

Mit der Beschreibung der luftfrachtaffinen Gütergruppen zeigt sich, dass die eigentlichen Luftfrachtsendungen sich deutlich in der Größe, Eilbedürftigkeit, Beschaffenheit und anderen Kriterien unterscheiden. Deshalb lassen sich mit Einteilungsschemata keine scharfen Grenzen ohne Übergangsgüter erreichen, jedoch die Überschaubarkeit steigern.

Der Luftfrachtmarkt kann hierfür in vier Segmente unterteilt werden:

- *Kleinsendungen:* Dies sind Sendungen mit großer Eilbedürftigkeit und geringem Gewicht. Sie werden dem Expressdienst zugeordnet und sind zumeist am selben Tag auszuliefern.
- *Paketsendungen:* Sie sind im Unterschied zum Dokumente- und Kleinsendungsmarkt nicht derartig eilbedürftig. Das Gewicht beträgt bis zu 35 kg. Auch die Paketsendungen sind noch Teil des Expressdienstmarktes, doch ist bei ihnen eine Zustellung am nächsten Tag akzeptiert. Sie stellen die bedeutendste Fracht der Integratoren dar.
- *Normalfracht*: Dies entspricht Sendungen mit geringer Eilbedürftigkeit und über 30 kg. Sie liefern den größten Gewichtsanteil bei den Passagier-/Fracht-Carriern.
- *Spezialfracht:* Hierunter fallen Transporte von außergewöhnlicher Form, Größe oder besonderer Beschaffenheit.

Auf einer anderen Ebene wird Luftfracht eingeteilt in *General-Cargo*, *Spezial-Cargo* und *Expressfracht* der Integratoren (vgl. Vahrenkamp, 2007A, S. 3, Grandjot, 2002). Unter *General-Cargo* versteht man den Transport von Gütern, die als Kartons oder auf Paletten verpackt werden. Soweit sie der Größe nach auf die Paletten passen, benötigen sie keine weitere Behandlung. Beim *Spezial-Cargo* hingegen müssen aufgrund der Art des Transportguts beim

Transport und beim Umschlag besondere Vorkehrungen getroffen werden. Unter Spezial-Cargo fallen insbesondere lebende Tiere, Güter, die gekühlt werden müssen (z. B. Medizin, Lebensmittel), verderbliche Waren (Blumen, Früchte etc.), wertvolle Güter (z. B. Edelsteine, Schmuck, Antiquitäten etc.) und überdimensionale Fracht (vgl. Vahrenkamp, 2007A, S. 9 f.). *Expressfracht* entspricht dem Transport von Paketsendungen. Viele der KEP-Dienste haben sich in ihrem Geschäftsmodell wegen der Marktanforderung der Eilbedürftigkeit von Sendungen auf Luftfracht spezialisiert und eigene Flugzeugflotten für den Gütertransport aufgestellt, die einem Linienluftverkehr nach einem festen Flugplan genügen.

Einer Prognose der Lufthansa Cargo AG aus 2002 folgend, wird der Maschinenbau bis 2010 das höchste Frachtaufkommen zu verzeichnen haben. Dem schließen sich IT-Produkte an. Die kurzen Produktlebenszyklen und der wachsende weltweite Bedarf bei Klein-Personal-Computern wie etwa Notebooks, Personal Data Assistants (PDA), Mobiltelefonen führen zu steigender Luftfrachtnachfrage. Dagegen entwickeln sich die Wachstumsraten bei Frischwaren und Bekleidung weniger stark. Die Lufthansa Cargo rechnet sogar beim Dokumenten- und Päckchenversand mit einem Rückgang der Luftfrachtnachfrage (vgl. Lufthansa Cargo, 2003).

2.5 Vorteile von Luftfracht

Folgende Vorteile der Luftfracht gegenüber anderen Verkehrsträgern ergeben sich in Anlehnung an Vahrenkamp (2007A, S. 12):

- die kurzen Transportzeiten über lange Strecken,
- die Schnelligkeit der Verfügbarkeit der transportierten Güter,
- der schnelle Güterumschlag und die zügige Weiterleitung durch Road Feeder Services,
- die im Luftverkehr geltenden hohen Sicherheitsstandards,
- die Zuverlässigkeit und hohe Sicherheit des Flugzeugs als Transportmittel,
- die große Pünktlichkeit von Luftfrachtsendungen,
- die geringen Transportverpackungskosten wegen der geringen Transportbeanspruchung und der schonenden Transportabwicklung,
- die aufgrund der geringen Transportrisiken vergleichsweise niedrigen Prämien für Versicherung,
- die wegen der kurzen Transportzeiten niedrigen Kosten der Kapitalbindung,
- die Möglichkeit der kurzfristigen Beschaffung von Gütern aufgrund der schnellen Luftfrachttransporte,
- die zeitlich exakte Disponierbarkeit von Paketsendungen, die durch minutiös eingehaltene Flugpläne garantiert wird, womit die Transportlogistik im Luftfrachtsektor gegenüber anderen Verkehrsträgern weniger störanfällig ist.

Des Weiteren ergeben sich speziell bei Belly-Fracht noch weitere Vorteile, auf die in Abschnitt 2.16 näher eingegangen wird.

2.6 Nachteile von Luftfracht

Zu den Nachteilen der Luftfracht zählen folgende Merkmale:

- Im Vergleich zu anderen Verkehrsträgern fallen bei Luftfracht relativ hohe Transportkosten an. Die Ursache hierfür ist der hohe Treibstoffverbrauch von Flugzeugen. Im Vergleich zum Seeschiff liegt der Verbrauch ca. zwölfmal höher.
- Gefahrgüter sind wegen der von ihnen potenziell ausgehenden Gefahr und aufgrund der hohen Sicherheitsanforderungen an Flughäfen und in den Flugzeugen vom Luftfrachttransport ausgeschlossen.

In Abschnitt 2.17 werden noch die speziell mit Belly-Fracht verbundenen Nachteile erörtert.

2.7 Transportmöglichkeiten von Luftfracht

Grundsätzlich kann Luftfracht auf zweierlei Art und Weise transportiert werden:

- in Nur-Frachtmaschinen und in der Sonderform der FVersion oder in ehemaligen Passagiermaschinen (so genannte Purposebuilt Freighters),
- in Flugzeugen einer Mixed-Version.

Luftfrachttransport in Nur-Frachtflugzeugen

Bei reinen Frachtflugzeugen kommen Flugzeugtypen zum Einsatz, die sich in ihrer Art und Größe speziell für den Transport von Gütern eignen und so konstruiert sind, dass es nur einen Frachtraum gibt. Eine Sonderform eines ausschließlichen Frachtflugzeugs ist die so genannte FVersion, bei der Fracht auf dem Haupt- und Unterdeck (Frachtraum) transportiert wird. Eine weitere Alternative stellt der Transport von Frachtgut in Flugzeugen, die eigentlich für den Passagiertransport ausgelegt sind und in ihrer Struktur aus einem Haupt- und Unterdeck (engl.: Main-/Lower-Deck) bestehen, dar. In dieser Mixed-Version erfolgt eine Kombination aus Passage und Fracht, indem auf dem Unterdeck die Beförderung von Fracht und im Hauptdeck sowohl der Transport von Passagieren als auch von Fracht vorgesehen ist (vgl. Aberle, 2003, S. 262, Grandjot, 2007, S. 94). Vahrenkamp (2007A, S. 9) differenziert den Luftverkehr nach denen zum Einsatz kommenden Flugzeugtypen, anhand derer sich die Beförderungsart ableiten lässt. Im Englischen wird der reine Luftfrachtbereich als Air Cargo bezeichnet. Luftfrachttransporte in reinen Frachtmaschinen werden in Linienflügen abgewickelt.

Luftfrachttransport in Belly-Flugzeugen

Bei Unterdeckfracht handelt es sich um die Zuladung von Transportgut in Passagiermaschinen neben dem reinen Gepäck der Passagiere. Vielfach werden auch die Begriffe „Unterflurfracht“ oder „Belly Freight“ oder im Deutschen „Belly-Fracht“ verwendet. „Belly“ leitet sich von dem Englischen Begriff „Bauch“ ab. Das Lower-Deck wird etwas ungenau auch als Bauch des Flugzeugs charakterisiert. Flugzeuge, die Belly-Fracht im Bauch (Belly) des Flugzeugs transportieren, werden auch als *Belly-Flugzeuge* bezeichnet. Fluggesellschaften, die Fracht ausschließlich mit Belly-Flugzeugen transportieren und keine eigenen Frachtmaschinen unterhalten, nennt man auch *Belly-Fluggesellschaft* oder „Belly-Carrier“. Belly-Fracht wird überwiegend im Linienverkehr transportiert und als Kuppelprodukt bzw. Beiprodukt zum Passagierprodukt angesehen (vgl. Vahrenkamp, 2007A, S. 9). Das Kuppelprodukt lässt sich mit einem Teilkostenansatz kalkulieren (vgl. Kapitel 9). Unterflurfracht wird auf Kurz-, Mittel- und Langstreckenflügen befördert. Auf den Mittel- bzw. Langstreckenverbindungen steht die Frachtbeförderung in Konkurrenz zu den Air-Cargo-Transporten. Luftfrachttransporte in Belly-Flugzeugen werden als Charterflüge bezeichnet, da sie extra für die Belly-Fracht auf der konkreten Flugstrecke bei der Passagierabteilung der Fluggesellschaft gebucht werden.

Die nachfolgenden beiden Abbildungen zeigen exemplarisch ein typisches Frachtflugzeug sowie ein typisches Belly-Flugzeug.

Frachtflugzeug B 747-200 F

Belly-Flugzeug B 747-400

Abbildung 4: Fracht- versus Belly-Flugzeug
(Quelle: Lufthansa Cargo, Lademittelangaben, S. 18/204)

Während bei dem Jumbo B 747-200 F (F steht für Frachtversion) in der ersten Abbildung der Frachtbereich das Ober- und Unterdeck umfasst (gekennzeichnet durch die eingezeichneten Rechtecke), ist auf dem Passagierflugzeug B 747-400 nur der Unterflurbereich für Fracht vorgesehen, wohingegen das Oberdeck (gekennzeichnet durch die eingezeichneten Sitzreihen) der Beförderung der Passagiere vorbehalten ist. Des Weiteren weist das Frachtflugzeug nach Angaben der Lufthansa eine durchschnittliche Ladekapazität von 100 000 kg auf, in dem Belly-Flugzeug können hingegen vergleichsweise nur 14 000 kg Belly-Fracht transportiert werden.

Ein Belly-Flugzeug zeichnet sich wie jedes andere Flugzeug durch bestimmte Eigenschaften aus, die jedoch für diese Arbeit keine weitere Rolle spielen. Typischerweise hat jedes Flugzeug eine maximale Fluggeschwindigkeit, eine maximale Flughöhe und andere flugzeugbezogene Merkmale. Da in dieser Arbeit bei der Modellaufstellung zu den Modelldaten weder die Distanzen noch die Flugzeit berechnet werden und für das Modell nur die Entfernung auf den Flugrouten benötigt wird und diese Daten den offiziellen Flugplänen zu entnehmen sind, spielen alle Flugzeugeigenschaften keine Rolle, die nichts mit Belly-Fracht zu tun haben. Sie werden deshalb auch nicht weiter behandelt.

2.8 Lademittel verschiedener Belly-Flugzeugtypen

Dieser Abschnitt gibt einen Überblick der Lademittel für verschiedene Belly-Flugzeugtypen. Da in dieser Arbeit speziell der Cargo-Bereich des Lufthansakonzerns behandelt wird, werden die Flugzeugtypen, die die Lufthansa und ihre Partnergesellschaften unterhalten, vorgestellt.[5] Dafür werden die Eigenschaften zur Fracht und die Belly-Frachtkapazitäten der Flugzeugtypen angegeben. Aufgrund dieser Angaben setzen die Lufthansa und ihre Partnerfluggesellschaften von Boeing die Flugzeugtypen B 737-300/500, B 757-200/300, B 777-200 und von Airbus die Flugzeugtypen A300-600, A319, A320-200, A321-100, A330-300, A340-200, A340-300, A340-600, Avro RJ85, CRJ100 ein. In den Abbildungen sind bei einigen Flugzeugtypen in den Lower Decks die so genannten Compartments für die Fracht eingezeichnet. Anhand der Sitzdarstellung lässt sich erkennen, dass es sich um Passagierflugzeuge handelt. In den Tabellen sind die Kennzahlen der Unterdecks in Deutsch und Englisch sowie die Ladehöhe der Flugzeugtypen ausgewiesen. Der Parameter „durchschnittliche Ladekapazität“ gibt mit der Zahl in der Einheit Kilogramm die Menge an, wie viel Belly-Fracht

[4] Quelle: http://www.lufthansa-cargo.de/download.jsp?file=/publish/download/Broschuere_Lademittel_Aircraft_gesamt2007.pdf, [abgerufen am 02.01.2010]).

[5] Die nachfolgenden Abbildungen wurden der öffentlich zugänglichen Broschüre „Lademittel der Lufthansa Cargo“ entnommen, die die Lademittelmöglichkeiten im Lower Deck von Belly-Flugzeugen enthält. Quelle: http://www.lufthansa-cargo.de/download.jsp?file=/publish/download/Broschuere_Lademittel_Aircraft_gesamt2007.pdf, [abgerufen am 02.01.2010]).

im Mittelwert auf Belly-Flugzeugen der angegebenen Typen in Abhängigkeit von der zu fliegenden Route, der Anzahl der Passagiere, des Passagiergepäcks, der Postfracht, dem Catering-Material und anderen Kriterien an beladen werden kann. Weiterhin ist wichtig, ob die Laderäume mit loser Ladung oder mit ULD beladen werden können.

Die Angaben zur Anzahl der Positionen bei den Compartment-Angaben betreffen die maximal zu befördernde Anzahl von Paletten mit der maximalen angegebenen Dimension. Die Container und Paletten tragen Bezeichnungen wie z. B. LD3. Die in der Frachtsprache gängigen Container- und Paletten-Bezeichnungen werden in Abschnitt 2.10 noch erläutert. Bei den Abbildungen wird je Compartment angegeben, wie viele Container oder Paletten oder eine Kombination von beiden in das Compartment passen.

Boeing 737-300/500

Boeing 737-300/500			
Lower Deck* / Unterdeck*			
Forward-Compartment	Only loose cargo	Vorderer Laderaum	Nur lose Ladung
Forward-Compartment Door	89 x 122 cm	Tür vorderer Laderaum	89 x 122 cm
Maximum Capacity of Hold	6.8 m³, max. 1,572 kg	Max. Ladekapazität	6,8 m³, max. 1.572 kg
Aft-Compartment	Only loose cargo	Hinterer Laderaum	Nur lose Ladung
Aft-Compartment Door	84 x 122 cm	Tür hinterer Laderaum	84 x 122 cm
Maximum Capacity of Hold	12.8 m³, max. 2,888 kg	Max. Ladekapazität	12,8 m³, max. 2.888 kg
Loading Height / Ladehöhe			
	Max. 86 cm		Max. 86 cm
Average Cargo Capacity**	1,000 – 1,500 kg	Durchschnittliche Ladekapazität**	1.000 – 1.500 kg

* All specifications in H x W / Alle Angaben in H x B
** Depending on routing, weather conditions, number of passengers, baggage, mail, catering material, etc. / Abhängig von Route, Wetter, Anzahl Passagiere, Gepäck, Postfracht, Catering-Material etc.

Abbildung 5: Lower-Deck-Spezifikation B 737-300/500
(Quelle: Lufthansa Cargo, 2007, Lademittelangaben, S. 19)

Boeing 757-200/300

Boeing 757-200/300			
Lower Deck* / Unterdeck*			
Forward-Compartment	loose cargo only	Vorderer Laderaum	Nur lose Ladung
Forward-Compartment Door	108 x 140 cm	Tür vorderer Laderaum	108 x 140 cm
Aft-Compartment	Only loose cargo	Hinterer Laderaum	Nur lose Ladung
Aft-Compartment Door	114 x 140 cm	Tür hinterer Laderaum	114 x 140 cm
Loading Height / Ladehöhe			
	Max. 105 cm		Max. 105 cm
Average Cargo Capacity**	4,000 kg	Durchschnittliche Ladekapazität**	4.000 kg

* All specifications in H x W / Alle Angaben in H x B
** Depending on routing, weather conditions, number of passengers, baggage, mail, catering material, etc. / Abhängig von Route, Wetter, Anzahl Passagiere, Gepäck, Postfracht, Catering-Material etc.

Abbildung 6: Lower-Deck-Spezifikation B 757-200/300
(Quelle: Lufthansa Cargo, 2007, Lademittelangaben, S. 21)

Boeing 777-200

Boeing 777-200			
Lower Deck* / Unterdeck*			
Forward-Compartment	6 positions max. 318 x 244 cm or 12 LD3 Containers plus 2 positions max. 318 x 244 cm	Vorderer Laderaum	6 Positionen max. 318 x 244 cm oder 12 LD3-Container plus 2 Positionen max. 318 x 244 cm
Forward-Compartment Door	170 x 269 cm	Tür vorderer Laderaum	170 x 269 cm
Aft-Compartment	14 LD3 Containers	Hinterer Laderaum	14 LD3-Container
Aft-Compartment Door	170 x 178 cm	Tür hinterer Laderaum	170 x 178 cm
Compartment 5	Only loose cargo	Laderaum 5	Nur lose Ladung
Bulk-Compartment Door	121 x 90 cm	Tür Bulk-Laderaum	121 x 90 cm
Loading Height / Ladehöhe			
	Max. 163 cm		Max. 163 cm
Average Cargo Capacity**	26,600 kg	Durchschnittliche Ladekapazität**	26.600 kg

* All specifications in H x W / Alle Angaben in H x B
** Depending on routing, weather conditions, number of passengers, baggage, mail, catering material, etc. / Abhängig von Route, Wetter, Anzahl Passagiere, Gepäck, Postfracht, Catering-Material etc.

Abbildung 7: Lower-Deck-Spezifikation B 777-200
(Quelle: Lufthansa Cargo, 2007, Lademittelangaben, S. 22)

Airbus 300-600

Airbus 300-600			
Lower Deck* / Unterdeck*			
Forward-Compartment	4 positions max. 244 x 318 cm or 12 LD3 Containers	Vorderer Laderaum	4 Positionen max. 244 x 318 cm oder 12 LD3-Container
Forward-Compartment Door	170 x 270 cm	Tür vorderer Laderaum	170 x 270 cm
Aft-Compartment	10 LD3 Containers	Hinterer Laderaum	10 LD3-Container
Aft-Compartment Door	167 x 270 cm	Tür hinterer Laderaum	167 x 270 cm
Compartment 5	Only loose cargo	Laderaum 5	Nur lose Ladung
Bulk-Compartment Door	95 x 95 cm	Tür Bulk-Laderaum	95 x 95 cm
Maximum Capacity of Hold	14.7 m³, 2,770 kg	Max. Ladekapazität	14,7 m³, 2.770 kg
Loading Height / Ladehöhe			
	Max. 163 cm		Max. 163 cm
Average Cargo Capacity**	12,000 kg	Durchschnittliche Ladekapazität**	12.000 kg

* All specifications in H x W / Alle Angaben in H x B
** Depending on routing, weather conditions, number of passengers, baggage, mail, catering material, etc. / Abhängig von Route, Wetter, Anzahl Passagiere, Gepäck, Postfracht, Catering-Material etc.

Abbildung 8: Lower-Deck-Spezifikation A 300-600
(Quelle: Lufthansa Cargo, 2007, Lademittelangaben, S. 21)

Airbus 319-100

Airbus 319-100			
Lower Deck* / Unterdeck*			
Forward-Compartment	Only loose cargo	Vorderer Laderaum	Nur lose Ladung
Forward-Compartment Door	124 x 182 cm	Tür vorderer Laderaum	124 x 182 cm
Maximum Capacity of Hold	7.3 m³, 2,268 kg	Max. Ladekapazität	7,3 m³, 2.268 kg
Aft-Compartment	Only loose cargo	Hinterer Laderaum	Nur lose Ladung
Aft-Compartment Door	124 x 182 cm	Tür hinterer Laderaum	124 x 182 cm
Maximum Capacity of Hold	6.1 m³, 1,497 kg	Max. Ladekapazität	6,1 m³, 1.497 kg
Loading Height / Ladehöhe			
	Max. 119 cm		Max. 119 cm
Average Cargo Capacity**	1,000 – 2,000 kg	Durchschnittliche Ladekapazität**	1.000 – 2.000 kg

* All specifications in H x W / Alle Angaben in H x B
** Depending on routing, weather conditions, number of passengers, baggage, mail, catering material, etc. / Abhängig von Route, Wetter, Anzahl Passagiere, Gepäck, Postfracht, Catering-Material etc.

Abbildung 9: Lower-Deck-Spezifikation A 319-100
(Quelle: Lufthansa Cargo, 2007, Lademittelangaben, S. 22)

Airbus 320-200

Airbus 320-200			
Lower Deck* / Unterdeck*			
Forward-Compartment	3 positions 156 x 153 cm	Vorderer Laderaum	3 Positionen 156 x 153 cm
Forward-Compartment Door	119 x 182 cm	Tür vorderer Laderaum	119 x 182 cm
Aft-Compartment	4 positions 156 x 153 cm	Hinterer Laderaum	4 Positionen 156 x 153 cm
Aft-Compartment Door	119 x 182 cm	Tür hinterer Laderaum	119 x 182 cm
Compartment 5	Only loose cargo	Laderaum 5	Nur lose Ladung
Bulk-Compartment Door	78 x 93 cm	Tür Bulk-Laderaum	78 x 93 cm
Maximum Capacity of Hold	5 m³, 1,497 kg	Max. Ladekapazität	5 m³, 1.497 kg
Loading Height / Ladehöhe			
	Max. 116 cm		Max. 116 cm
Average Cargo Capacity**	1,500 – 2,000 kg	Durchschnittliche Ladekapazität**	1.500 – 2.000 kg

* All specifications in H x W / Alle Angaben in H x B
** Depending on routing, weather conditions, number of passengers, baggage, mail, catering material, etc. / Abhängig von Route, Wetter, Anzahl Passagiere, Gepäck, Postfracht, Catering-Material etc.

Abbildung 10: Lower-Deck-Spezifikation A 320-200
(Quelle: Lufthansa Cargo, 2007, Lademittelangaben, S. 23)

Airbus 321-100			
Lower Deck* / Unterdeck*			
Forward-Compartment	5 positions 156 x 153 cm	Vorderer Laderaum	5 Positionen 156 x 153 cm
Forward-Compartment Door	119 x 182 cm	Tür vorderer Laderaum	119 x 182 cm
Aft-Compartment	5 positions 156 x 153 cm	Hinterer Laderaum	5 Positionen 156 x 153 cm
Aft-Compartment Door	119 x 182 cm	Tür hinterer Laderaum	119 x 182 cm
Compartment 5	Only loose cargo	Laderaum 5	Nur lose Ladung
Bulk-Compartment Door	78 x 93 cm	Tür Bulk-Laderaum	78 x 93 cm
Maximum Capacity of Hold	5 m³, 1,497 kg	Max. Ladekapazität	5 m³, 1.497 kg
Loading Height / Ladehöhe			
	Max. 116 cm		Max. 116 cm
Average Cargo Capacity**	1,500 – 2,000 kg	Durchschnittliche Ladekapazität**	1.500 – 2.000 kg

* All specifications in H x W / Alle Angaben in H x B
** Depending on routing, weather conditions, number of passengers, baggage, mail, catering material, etc. / Abhängig von Route, Wetter, Anzahl Passagiere, Gepäck, Postfracht, Catering-Material etc.

Abbildung 11: Lower-Deck-Spezifikation A 321-100
(Quelle: Lufthansa Cargo, 2007, Lademittelangaben, S. 24)

Airbus 330-300

Airbus 330-300			
Lower Deck* / Unterdeck*			
Forward-Compartment	18 LD3 Containers or 6 positions 244 x 318 cm max.	Vorderer Laderaum	18 LD3-Container oder 6 Positionen 244 x 318 cm max.
Forward-Compartment Door	169 x 270 cm	Tür vorderer Laderaum	169 x 270 cm
Aft-Compartment	14 LD3 Containers or 4 positions 244 x 318 cm max.	Hinterer Laderaum	14 LD3-Container oder 4 Positionen 244 x 318 cm max.
Aft-Compartment Door	168 x 270 cm	Tür hinterer Laderaum	168 x 270 cm
Compartment 5	Only loose cargo	Laderaum 5	Nur lose Ladung
Bulk-Compartment Door	95 x 95 cm	Tür Bulk-Laderaum	95 x 95 cm
Maximum Capacity of Hold	3,468 kg, 20 m³	Max. Ladekapazität	3.468 kg, 20 m³
Loading Height / Ladehöhe			
	Max. 163 cm		Max. 163 cm
Average Cargo Capacity**	24,000 kg	Durchschnittliche Ladekapazität**	24.000 kg

* All specifications in H x W / Alle Angaben in H x B
** Depending on routing, weather conditions, number of passengers, baggage, mail, catering material, etc. / Abhängig von Route, Wetter, Anzahl Passagiere, Gepäck, Postfracht, Catering-Material etc.

Abbildung 12: Lower-Deck-Spezifikation A 330-300
(Quelle: Lufthansa Cargo, 2007, Lademittelangaben, S. 25)

Airbus 340-200

Airbus 340-200			
Lower Deck* / Unterdeck*			
Forward-Compartment	5 positions max. 244 x 318 cm or 14 LD3 Containers	Vorderer Laderaum	5 Positionen max. 244 x 318 cm oder 14 LD3-Container
Forward-Compartment Door	168 x 270 cm	Tür vorderer Laderaum	168 x 270 cm
Aft-Compartment	4 positions max. 244 x 318 cm or 12 LD3 Containers	Hinterer Laderaum	4 Positionen max. 244 x 318 cm oder 12 LD3-Container
Aft-Compartment Door	166 x 270 cm	Tür hinterer Laderaum	166 x 270 cm
Compartment 5	Only loose cargo	Laderaum 5	Nur lose Ladung
Bulk-Compartment Door	95 x 95 cm	Tür Bulk-Laderaum	95 x 95 cm
Maximum Capacity of Hold	20 m³, 3,468 kg	Max. Ladekapazität	20 m³, 3.468 kg
Loading Height / Ladehöhe			
	Max. 163 cm		Max. 163 cm
Average Cargo Capacity**	20,000 kg	Durchschnittliche Ladekapazität**	20.000 kg

* All specifications in H x W / Alle Angaben in H x B
** Depending on routing, weather conditions, number of passengers, baggage, mail, catering material, etc. / Abhängig von Route, Wetter, Anzahl Passagiere, Gepäck, Postfracht, Catering-Material etc.

Abbildung 13: Lower-Deck-Spezifikation A 340-200
(Quelle: Lufthansa Cargo, 2007, Lademittelangaben, S. 25)

Airbus 340-300

Airbus 340-300			
Lower Deck* / Unterdeck*			
Forward-Compartment	6 positions max. 244 x 318 cm or 18 LD3 Containers	Vorderer Laderaum	6 Positionen max. 244 x 318 cm oder 18 LD3-Container
Forward-Compartment Door	170 x 270 cm	Tür vorderer Laderaum	170 x 270 cm
Maximum Capacity of Hold	22,861 kg	Max. Ladekapazität	22.861 kg
Aft-Compartment	3 positions max. 244 x 318 cm plus 2 positions 224 x 318 cm or 14 LD3 Containers	Hinterer Laderaum	3 Positionen max. 244 x 318 cm plus 2 Positionen 224 x 318 cm oder 14 LD3-Container
Aft-Compartment Door	168 x 270 cm	Tür hinterer Laderaum	168 x 270 cm
Maximum Capacity of Hold	18,507 kg	Max. Ladekapazität	18.507 kg
Compartment 5	Only loose cargo	Laderaum 5	Nur lose Ladung
Bulk-Compartment Door	95 x 95 cm	Tür Bulk-Laderaum	95 x 95 cm
Maximum Capacity of Hold	20 m³, 3,468 kg	Max. Ladekapazität	20 m³, 3.468 kg
Loading Height / Ladehöhe			
	Max. 163 cm		Max. 163 cm
Average Cargo Capacity**	23,000 kg	Durchschnittliche Ladekapazität**	23.000 kg

* All specifications in H x W / Alle Angaben in H x B
** Depending on routing, weather conditions, number of passengers, baggage, mail, catering material, etc. / Abhängig von Route, Wetter, Anzahl Passagiere, Gepäck, Postfracht, Catering-Material etc.

Abbildung 14: Lower-Deck-Spezifikation A 340-300
(Quelle: Lufthansa Cargo, 2007, Lademittelangaben, S. 26)

Airbus 340-600

Airbus 340-600			
Lower Deck* / Unterdeck*			
Forward-Compartment	24 LD3 Containers or 8 positions 244 x 318 cm max.	Vorderer Laderaum	24 LD3-Container oder 8 Positionen 244 x 318 cm max.
Forward-Compartment Door	169 x 270 cm	Tür vorderer Laderaum	169 x 270 cm
Aft-Compartment	6 LD3 Containers or 2 positions 244 x 318 cm max.	Hinterer Laderaum	6 LD3-Container oder 2 Positionen 244 x 318 cm max.
Aft-Compartment Door	168 x 272 cm	Tür hinterer Laderaum	168 x 272 cm
Compartment 5	Only loose cargo	Laderaum 5	Nur lose Ladung
Bulk-Compartment Door	95 x 95 cm	Tür Bulk-Laderaum	95 x 95 cm
Maximum Capacity of Hold	3,468 kg, 20 m³	Max. Ladekapazität	3.468 kg, 20 m³
Loading Height / Ladehöhe			
	Max. 163 cm		Max. 163 cm
Average Cargo Capacity**	22,000 kg	Durchschnittliche Ladekapazität**	22.000 kg

* All specifications in H x W / Alle Angaben in H x B
** Depending on routing, weather conditions, number of passengers, baggage, mail, catering material, etc. / Abhängig von Route, Wetter, Anzahl Passagiere, Gepäck, Postfracht, Catering-Material etc.

Abbildung 15: Lower-Deck-Spezifikation A 340-600
(Quelle: Lufthansa Cargo, 2007, Lademittelangaben, S. 26)

Avro RJ85

Avro RJ85			
Forward-Compartment	Only loose cargo	Vorderer Laderaum	Nur lose Ladung
Forward-Compartment Door*	109 x 135 cm	Tür vorderer Laderaum*	109 x 135 cm
Aft-Compartment	Only loose cargo	Hinterer Laderaum	Nur lose Ladung
Aft-Compartment Door*	104 x 91 cm	Tür hinterer Laderaum*	104 x 91 cm
Loading Height / Ladehöhe			
	Max. 70 cm		Max. 70 cm
Average Cargo Capacity**	100 kg	Durchschnittliche Ladekapazität**	100 kg

* All specifications in H x W / Alle Angaben in H x B
** Depending on routing, weather conditions, number of passengers, baggage, mail, catering material, etc. / Abhängig von Route, Wetter, Anzahl Passagiere, Gepäck, Postfracht, Catering-Material etc.

Abbildung 16: Lower-Deck-Spezifikation Avro RJ85
(Quelle: Lufthansa Cargo, 2007, Lademittelangaben, S. 27)

Canadair CRJ 100

CRJ 100			
Compartment	Only loose cargo	Laderaum	Nur lose Ladung
Compartment Door*	84 x 109 cm	Tür Laderaum*	84 x 109 cm
Loading Height / Ladehöhe			
	Max. 75 cm		Max. 75 cm
Average Cargo Capacity**	100 kg	Durchschnittliche Ladekapazität**	100 kg

* All specifications in H x W / Alle Angaben in H x B
** Depending on routing, weather conditions, number of passengers, baggage, mail, catering material, etc. / Abhängig von Route, Wetter, Anzahl Passagiere, Gepäck, Postfracht, Catering-Material etc.

Abbildung 17: Lower-Deck-Spezifikation CRJ 100
(Quelle: Lufthansa Cargo, 2007, Lademittelangaben, S. 27, Stand 5/07 Lufthansa Cargo AG, FRA F/NC)

Die Flugzeugtypen Airbus A 319, Boeing 757, 777, Canadair CRJ 100 und Avro RJ85 können nur lose Fracht in den Compartments aufnehmen. Alle übrigen aufgezeigten Flugzeugtypen eignen sich für Container- bzw. Paletten-Fracht, soweit es sich nicht um Compartment 5 handelt.

2.9 Laderäume von Belly-Flugzeugen

Unterteilung des Lower Decks von Belly-Flugzeugen

Das Lower Deck von Belly-Flugzeugen ist je nach Flugzeugtyp unterschiedlich konfiguriert.

Gemeinsam ist allen Flugzeugtypen eine Unterteilung in einen Frachtbereich im vorderen und einen im hinteren Bereich des Flugzeugs. Die Techniker nennen diese Bereiche auch „Holds“. Die vorderen Laderäume werden folglich als Forward Hold und die hinteren als Aft Holds bezeichnet. Die Holds selbst sind in Abschnitte untergliedert, die in der Luftfrachtsprache Compartments genannt werden. Im Forward Hold sind die Compartments 1 und 2 untergebracht, im Aft Hold befinden sich die Ladeabschnitte 3, 4 und 5. Die ersten vier Compartments können nur mit Containern und Paletten beladen werden. Diese standardisierten Frachtbehälter werden als Unit Load Device (ULD) bezeichnet und weiter unten detailliert besprochen. Einer der wesentlichen Vorteile von ULD besteht in der Möglichkeit, Fracht in transportierfähige Einheiten zu bündeln, wodurch weniger Einheiten beladen werden müssen. Das fünfte Compartment kann nur lose Fracht (engl. Bulk) aufnehmen, weshalb es auch Bulk Compartment genannt wird. Hier wird vornehmlich Post oder Gepäck der Passagiere verstaut. Hintergrund hierfür ist, dass der Boden nicht flach, sondern wegen des Flugzeugkörpers ansteigend ist.

Luftfrachtexperten differenzieren zwei Typen von Belly-Flugzeugen: Flugzeuge, deren Lower Decks für die Beförderung von Containern bzw. Paletten ausgerüstet sind, werden als ULD-Passagierflugzeuge bezeichnet, solche, die nur lose Fracht transportieren können, werden im Gegensatz Non-ULD-Passagierflugzeuge genannt. Während der Airbus A340 oder die Boeing 747-400 beispielsweise ULD-Passagierflugzeuge sind, reihen sich der Airbus A319 bzw. die Boeing 737 bei den Non-ULD-Passagiermaschinen ein.[6] Bei den einzelnen Compartments liefern die verschiedenen Flugzeugtypen unterschiedliche Türgrößen (Compartment Door). Die Größe ist ein Maßstab für die mögliche Größe von Paletten, Containern bzw. Bulk-Fracht. Weitere Merkmale bei den Lademitteln von Flugzeugen sind die maximale Hold-Kapazität (Capacity of Hold) und die Ladehöhen (Loading Heights). Die Ladehöhe ist für Belly-Fracht von großer Bedeutung, weil dadurch die Dimension für taugliches Belly-Frachtgut festgelegt ist.

Konfiguration der Compartments bei Paletten bzw. Containern

In den Compartments für die Paletten- bzw. Container-Beförderung ist auf dem gesamten Boden des Lower Decks ein Schienensystem mit Rädern installiert, das in der Luftfahrtbranche auch als Power Drive Unit bezeichnet wird. Mithilfe dieser Unit kann die Beladung des Flugzeugs in standardisierten Containern oder Paletten erfolgen, sodass sich diese Behälter nach einem fortwährend gleichen Schema schnell und geordnet im Flugzeug unterbringen lassen. Die Schienensysteme können je nach Flugzeugtyp unterschiedlich ausfallen (vgl. Weber, 2008, S. 30).

2.10 Transportbehälter für Belly-Frachtstücke

Im Luftfrachtsektor haben sich zur Beförderung von Luftfracht sowohl in Frachtmaschinen als auch in Personenflugzeugen standardisierte Paletten und Container durchgesetzt, die auch als Unit Load Devices (ULD) bekannt sind. Diese normierten Transportträger werden zum Transport von Gepäck, Fracht und Post eingesetzt. In diesen Behältern lassen sich große Mengen an Beförderungsgut in großen Transporteinheiten bündeln, wodurch weniger Einheiten beladen werden müssen und der Abfertigungsvorgang Aufwand und Zeit spart. Es gibt folgende zwei Formen von ULD: Paletten und Container.

ULD-Paletten sind Paletten aus Aluminiumblech. Sie weisen in der Unterkonstruktion Profile auf, die mit Ösen ausgestattet sind, um Frachtnetze daran zu befestigen. ULD-Container sind abgeschlossene Behälter aus Aluminiumblechen oder einem aus Aluminium bestehenden Rahmen und Wänden aus Kunststoff. Spezialformen von Containern haben eingebaute Kühlaggregate. Die Container sind mit Ösen versehen, um schweres Frachtgut zu verankern. Die maximale Container- bzw. Paletten-Kapazität hängt vom Flugzeugtyp und von der

[6] Quelle: Lufthansa Cargo, Wissenswelt Logistik, - die Transportexperten, Luftfahrtkonzern 2302M.

Konfiguration der Frachträume bei der Fluggesellschaft ab.

Repräsentativ soll nachfolgend ein Blick auf die wesentlichen Eigenschaften des Palettentyps mit der Bezeichnung PKC für die Flugzeugtypen A320-200 bzw. A321-100 sowie des Containertyps mit der Bezeichnung AKH gerichtet werden, die sich für die Flugzeugtypen A320-200 bzw. A321-100, beides gängige Belly-Flugzeuge, eignen. Standardfrachtgut wird auf diesen Flugzeugtypen vornehmlich in den AKH-Behältern transportiert.

Paletten

PKC

Pallet with side extensions / Palette mit Seitenteilen			
Loadable in / Verladbar in	A320-200, A321-100		
Dimensions (L x W)	61.5 x 60.4 in	Größe (L x B)	156 x 153 cm
Standard weight incl. pallet net	175 lbs	Standardgewicht inkl. Palettennetz	80 kg
Max. gross weight	3,500 lbs	Max. Bruttogewicht	1.588 kg
Max. gross weight for use on A320	2,500 lbs	Max. Bruttogewicht für A320	1.134 kg
Capacity per extension	770 lbs	Kapazität pro Seitenteil	350 kg
Max. loading height	64 in	Max. Ladehöhe	162 cm
Max. loading height for use on A320	46 in	Max. Ladehöhe für A320	117 cm
Certification	Yes	Zertifizierung	Ja

Abbildung 18: PKC-Palette
(Quelle: Lufthansa Cargo, 2007, Lademittelangaben, S. 6)

Die Paletten des PKC-Typs dürfen mit maximal 1.588 kg Gewicht für den Flugzeugtyp A321-100 und mit maximal 1.134 kg Gewicht für den Flugzeugtyp A320-200 beladen werden. Zieht man das Eigengewicht der Palette von 80 kg ab, dann ergibt sich jeweils das maximale Gewicht für das Frachtgut. Jede Seitenerweiterung darf mit maximal 350 kg belastet werden, d. h., Schwergut eignet sich nicht für den Transport in den Seitenteilen. Die maximale Ladehöhe inklusive der Palettenhöhe beträgt beim A321-100 162 cm und beim A320-200 117 cm.

Container

AKH

Container for A320/A321 / Container für A320/A321			
Loadable in / Verladbar in	A320-200, A321-100		
Dimensions outside (L x W x H)	61 x 60 x 45 in	Außenmaß (L x B x H)	156 x 153 x 114 cm
Dimensions inside (L x W x H)	57 x 57 x 44 in	Innenmaß (L x B x H)	146 x 144 x 111 cm
Dimensions of shell top outside (L x W)	96 x 60 in	Shell-Top Außenmaß (L x B)	244 x 153 cm
Dimensions of shell top inside (L x W)	94 x 57 in	Shell-Top Innenmaß (L x B)	239 x 144 cm
Width of door opening (W x H)	56 x 41 in	Türöffnung (B x H)	142 x 103 cm
Usable volume	120 cu.ft	Nutzbares Volumen	Ca. 3,4 m³
Standard weight	187 lbs	Standardgewicht	85 kg
Max. gross weight	2,500 lbs	Max. Bruttogewicht	1.134 kg
Max. load of the internal tie-down points	2,000 lbs	Max. Last an Innenbefestigungspunkten	907 kg
Certification	Yes	Zertifizierung	Ja

Abbildung 19: AKH-Container
(Quelle: Lufthansa Cargo, 2007 Lademittelangaben, S. 6)

Neben dem AKH-Typ gibt es noch einen AKW-Typ, der eine abschließbare Tür enthält und sich für Wertfracht eignet.

Die Container des AKH-Typs dürfen ein Maximalgewicht von 1.134 kg aufweisen. Das nutzbare Volumen beträgt ca. 3,4 m^3. Das Eigengewicht des Containers beläuft sich auf 85 kg. In

den Innenbefestigungspunkten ist eine maximale Last von 907 kg zugelassen. Es eignet sich nur Frachtgut, das durch die Türöffnung von 142 cm x 103 cm passt.

Weitere Container und Paletten, die sich für Belly-Flugzeuge eignen, können in der Broschüre der Lademittelangaben der Lufthansa Cargo nachgelesen werden. Zu den einzelnen Frachtbehältern werden in dieser Broschüre Bilder bereitgestellt. Im nächsten Abschnitt werden die einzelnen Container und Paletten tabellarisch aufgelistet.

Konfigurationsmöglichkeiten von Containern und Paletten
Die folgende Tabelle gibt Aufschluss über die Kapazitäten und Dimensionen im Haupt- bzw. Unterflurdeck der verschiedenen Flugzeugtypen. Es werden dabei sowohl Fracht- als auch Belly-Flugzeuge aufgelistet. Bei den Containern erfolgt die Einführung von LD-Bezeichnungen, die im Anschluss erläutert werden.

Flugzeug	Maximale Containerkapazität	Maximale Palettenkapazität	Bemerkungen
A380-800F	59-71 LD3s	unbekannt	Frachtflugzeug, Kapazität enthält alle Decks
A380-800	38 LD3s	13 Paletten	
B747-400F/ERF	32 LD1s (Unterdeck) + 30 Paletten (Hauptdeck)		Frachtflugzeug, Kapazität enthält alle Decks +2 kleine Paletten im Maindeck
B747-400ER	28 LD1s	4 Paletten + 14 LD1s	
B747-400/300/200/100	30 LD1s	5 Paletten + 14 LD1s	
B777F	30 LD3s + 27 Paletten	37 Paletten	Frachtflugzeug, Kapazität enthält alle Decks
B777-300/300ER	44 LD3s	8 Paletten + 20 LD3s	
B777-200/200LR/ER	32 LD3s	6 Paletten + 14 LD3s	
A350-1000XWB	44 LD3s	14 Paletten	
A350-900XWB	36 LD3s	11 Paletten	
A350-800XWB	28 LD3s	9 Paletten	
A340-600	42 LD3s	14 Paletten	
A340-500	30 LD3s	10 Paletten	
A340-300	32 LD3s	11 Paletten	
A340-200	26 LD3s	9 Paletten	
MD-11	28-32 LD3s	4-6 Paletten	
MD-11F	32 LD3s + 26 Paletten		
L-1011-500	19 LD3s	unbekannt	
L-1011	16 LD3s	unbekannt	alle Serien außer 500 (250/200/150/100/50/1 Serien)
B787-9	26 LD3s	6 Paletten + 8 LD3s	
B787-8/-3	20 LD3s	5 Paletten + 5 LD3s	
A330-300	32 LD3s	11 Paletten	
A330-200	26 LD3s	8 Paletten + 2 LD3s	

Flugzeug	Maximale Containerkapazität	Maximale Palettenkapazität	Bemerkungen
A330-200F	26 LD3s (Unterdeck) + 22 Paletten (Oberdeck)	18 Paletten P6P + 4 Paletten P1P	Frachtflugzeug, Kapazität enthält alle Decks (Standardkonfiguration)
A321	10 LD3s	Keine Angaben	Containerversion (Optional) AKH; Standardversion: Bulk
A320	7 LD3s	Keine Angaben	Containerversion (Optional) AKH; Standardversion: Bulk
A319	5 LD3s	Keine Angaben	Containerversion (Optional) AKH; Standardversion: Bulk
B767-400ER	38 LD2s	5 Paletten + 18 LD2s	
B767-300F	30 LD2s (niederes Deck) + 24 Paletten* (Hauptdeck)		*nimmt nur 88" x 125" Paletten auf; Frachtflugzeug
B767-300ER	30 LD2s	4 Paletten + 14 LD2s	
B767-300	30 LD2s	keine	
B767-200	22 LD2s	keine	
A300-600	22 LD3s	4 Paletten + 10 LD3s	
A300-600F	22 (23) LD3s + max. 21 Paletten		Frachtflugzeug, Kapazität enthält alle Decks (Standardkonfiguration)
A300B2/B4	20 LD3s	unbekannt	
A310	14 LD3s	3 Paletten	
B727-200F	keine	12 Paletten*	*nur 88" x 125" Paletten; die Boeing 727 ist ein Kleinraumflugzeug
B727-200C (Kombi)	keine	Max. 11 Paletten*	*nur 88" x 125" Paletten wenn keine Passagiere an Board können; die Boeing 727 ist ein Kleinraumflugzeug
A = Airbus; B = Boeing; L = Lockheed; MD = McDonnell-Douglas; F = Frachter; ER = extended range var.; LR = long range var (Langversion)			

Tabelle 2: Kapazitäten und Dimensionen von Frachträumen in Flugzeugen
(Quelle: http://de.wikipedia.org/wiki/Unit_Load_Device)

Unit Load Devices

Die nachfolgende Tabelle führt die verschiedenen Varianten von Unit Load Devices (ULD) auf. Die Abkürzung „LD“ steht hierbei für Load Device gefolgt von einer Zahl. Das angegebene Volumen bezeichnet das innere Volumen des Load Devices. BW ist die Abkürzung für „Base Width“ (dt.: Basisbreite), W steht für „Overall Width“ (dt.: Gesamtbreite).

Container	Volumen	Dimensionen	Bemerkungen
LD1	4,9 m³	156BW / 234W × 153D × 163H (cm)	Speziell für Boeing 747
LD2	3,4 m³	120BW / 158W × 153D × 163H (cm)	abgeschrägt, halbe Breite
LD3	4,3 m³	164BW / 201W × 153D × 163H (cm)	abgeschrägt, halbe Breite

Container	Volumen	Dimensionen	Bemerkungen
LD6	8,8 m³	318BW / 407W × 153D × 163H (cm)	abgeschrägt, ganze Breite, äquivalent zu 2 LD3s
LD7			abgeschrägt;
LD8	6,9 m³	244BW / 318W × 153D × 163H (cm)	abgeschrägt, ganze Breite, äquivalent zu 2 LD2s; DQF-Präfix
LD9			nicht abgeschrägt; rechteckig
LD11	7,2 m³	318W × 153D × 163H (cm)	gleich wie LD6 aber nicht abgeschrägt; rechteckig
LD8	6,9 m³	153 × 244 cm	gleiche Bodendimensionen wie die Containervariante; FQA-Präfix
LD11	7,2 m³	153 × 318 cm	gleiche Bodendimensionen wie die Containervariante; FLA- und PLA-Präfixe
LD7 (2 Paletten-varianten)	10,6 m³ 11,6 m³	224 × 318 cm 244 × 318 cm	PAJ-, PAG- und P1P-Präfixe, PMC-Präfix
LD = Load Device; BW = Base Width; W = Overall Width			

Tabelle 3: Varianten von Unit Load Devices und deren Eigenschaften
(Quelle: http://de.wikipedia.org/wiki/Unit_Load_Device)

Flugzeugbeladungen lassen sich aus den aufgezeigten Containern, Paletten oder einer Kombination aus ULD-Typen konfigurieren. Nachfolgend werden die verschiedenen Varianten von Containern und Paletten aufgelistet und deren Eigenschaften beschrieben.

2.11 Typen von Containern und Paletten sowie ULD-Nummer

Alle Unit Load Devices werden anhand der von IATA normierten ULD-Nummer identifiziert. Diese Nummer enthält vorangestellt ein aus drei Buchstaben bestehendes Kürzel, das auf den ULD-Typ verweist. Zur Differenzierung des Typs folgt eine Seriennummer aus 4 bzw. 5 Ziffern. Schließlich endet die ULD-Nummer mit dem Zwei-Zeichen-Code der Fluggesellschaft. Beispielsweise bedeutet AKH 12345 LH, dass es sich um einen LD3-Container mit der Seriennummer 12345 handelt, der der Fluggesellschaft Lufthansa gehört. In der nachfolgenden Tabelle werden häufig eingesetzte Container und Paletten angegeben. Zu jedem Behälter werden der IATA-ID-Code, die Art der Behältereinheit, die Basisabmessungen, das Leergewicht und das zulässige Gesamtgewicht aufgeführt. Vor allem das Ladegewicht als Differenz des zulässigen Gesamtgewichts und des Leergewichts ist für die in dieser Arbeit behandelten Modellberechnungen von Bedeutung.

IATA-ID-Code-Referenzliste	Art der Einheit	Basisabmes-sungen	Leergewicht	Zul. Gesamtgewicht
AAK	Iglu-Einheit	88 in x l25 in	200 kg/ 225 kg	4.625 kg/ 6.033 kg
AAN	QC-Container	88 in x 125 in	243 kg	3.000 kg
AAY	EURO-Container	88 in x125 in	250 kg	3.629 kg

IATA-ID-Code-Referenzliste	Art der Einheit	Basisabmes-sungen	Leergewicht	Zul. Gesamtgewicht
AGA	20-Fuß-Container	96 in x 238.5 in	1.500 kg	11.340 kg
AKE	LD3-Container	60.4 in x 61.5 in	80 kg	1.588 kg
AKH	LD3-bis LD45-Container	60,4 in x 61,5 in	80 kg	1.134 kg
AKN	LDS-Container mit fester Tür/ VAL	60,4 in x 61,5 in	80 kg	1.588 kg
AMA7	10'-Container mit flexibler Tür	96 in x 125 in	255 kg	6.804 kg
AMA8	10'-Container m. fester Tür	96 in x 125 in	325 kg/410 kg	6.804 kg
AMG	10' Cont. mit flexibler Tür /GOH	96 in x125 in	316 kg	6.804 kg
AMF	AMF-Container	96 in x 125 in	375 kg	5.504 kg
AQ67	10'-Container m. flex. Tür	96 in x 125 in	255 kg	6.804 kg
AQA7	10'-Container mit flexibler Tür	96 in x125 in	255 kg	6.804 kg
AQA3	10'-Container mit fester Tür	96 in x 125 in	325 kg	6.804 kg
ASE	20'-Container	96 in x 238.5 in	1.000 kg	11.340 kg
AVA	LD3-Kleider-/Wertfrachtcontainer	60.4 in x 61.5 in	80 kg	1.588 kg
AVE	LD3-Container	60.4 in x 61.5 in	80 kg	1.588 kg
DPE	LD2-Catering-Container (CFG)	47 in x 60,4 in	71 kg	1.225 kg
DQF	LD8-Container (CFG)	60,4 x 96 in	123 kg/127 kg	2.449 kg
HMA	Pferdestall für 3 Pferde	96 in x 125 in	1.030 kg	3.280 kg
HMJ	Pferdestall für 3 Pferde	96 in x 125 in	805 kg	3.000 kg
HYJ	Pferdestall für 3 Pferde	88 in- und 96 in-Palette	420 kg	
HYJ	Pferdestall für 3 Pferde	88 in x 125 in	510 kg	
JAN	Kühliglu	88 in x 125 in	545 kg	5.300 kg
NGE	Paletten-Netz für PGE/P7E		25 kg	
NKA	Paletten-Netz für PKC		5 kg	
NLA	Paletten-Netz für PLA/PLW		10 kg	
NME	Paletten-Netz für P1P/PAG/PAJ/PAW/PAX/P6P/ PMC/PMW/PQP		15 kg	
NYB	Paletten-Netz für PYB		10 kg	
P1P	Palette	88 in x 125 in	120 kg	6.804 kg
P6P	Palette	96 in x 125 in	130 kg	6.804 kg
P7E	20'-Palette	96 in x 238.5 in	500 kg	11.340 kg
PAG	Palette	88 in x 125 in	120 kg	6.804 kg
PAJ	Palette	88 in x 125 in	120 kg	6.804 kg
PAS	Schwerlastpalette	88 in x 125 in	250 kg	6.804 kg/9.072 kg
PAW	Palette m. Seitenerweiterung	88 in x 125 in	152 kg	6.804 kg

IATA-ID-Code-Referenzliste	Art der Einheit	Basisabmes-sungen	Leergewicht	Zul. Gesamtgewicht
PAX	Palette	88 in x 108/125 in	100 kg	6.804 kg
PEA	Halbpalette	53 in x 88 in	55 kg	1.136kg
PGE	20'-Palette	96 in x 238 in	500 kg	11.340 kg
PKC	Palette mit Seitenerweiterung	60.4 in x 61 in	80 kg	1.134 kg/ 1.588 kg
PLA	Palette mit Seitenerweiterung	60.4 in x 125 in	144 kg	3.175 kg
PLW	Palette mit Seitenerweiterung	60.4 in x 125 in	144 kg	3.175 kg
PMC	Palette	96 in x 125 in	130 kg	6.804 kg
PMS	Schwerlastpalette	96 in x 125 in	148 kg	6.804 kg/9.072 kg
PMW	Palette mit Seitenerweiterung	96 in x 125 in	152 kg	6.804 kg
PQP	Palette	96 in x 125 in	100 kg	6.804 kg
PYB	Q-Palette (nur/only B747C)	55 in x 96 in	70 kg	1.814 kg
PZA	16'-Palette	96 in x 196 in	400 kg	9.300 kg
RA4	Kühliglu	88 in x 125 in	450 kg	6.033 kg
RKN	Kühl-LD3	60.4 in x 61.5 in	300 kg	1.588 kg
VRA	PKW-Transportgestell nur für PZA-Palette		130 kg pro Paar	2.500 kg; Kapazität p. Paar
VZA	PKW-Transportplattform	3,35 m x 2,05 m	190 kg	2.500 kg
XYW	Wertfrachtbox	2,00 m x 1,35 m x 1,38 m	90 kg	1.500 kg

Tabelle 4: Varianten von Unit Load Devices und deren Eigenschaften
(Quelle: http://de.wikipedia.org/wiki/Unit_Load_Device)

Luftfrachtpaletten

Die nachfolgende Tabelle 5 gibt einen Überblick über die verschiedenen Typen von Luftfrachtpaletten:

Palettentyp	Außenlänge	Außenbreite	Innenlänge	Innenbreite	Sonstiges
Standardpalette	3,18 m	2,24 m	3,04 m	2,1 m	-
10-Fußpalette	3,18 m	2,44 m	3,04 m	2,30 m	-
20-Fußpalette	6,06 m	2,44 m	5,92 m	2,30 m	-
Paletten mit seitlicher Aus-weitung	3, 18 m	1,53 m	3,04 m	1,40 m	Plus 0,50 m auf jeder Seite
A320/A321-Palette	1,56 m	1,53 m	1,50 m	1,46 m	-
PYB-Palette	2,44 m	1,40 m	2,30 m	1,26 m	-
Auto-Palette	4,98 m	2,44 m	4,85 m	2,30 m	-

Tabelle 5: Dimension unterschiedlicher Luftfracht-Paletten
(Quelle: Grandjot, 2002, S. 63)

Für Belly-Fracht werden die 10-Fuß-Paletten eingesetzt. Die 20-Fuß-Palette hingegen eignet sich wegen ihrer Größe nicht dafür, weshalb sie nur in Nurfracht-Flugzeugen vorzufinden ist.

Container

Die nachfolgende Tabelle gibt ergänzend einen Überblick über die wichtigsten Typen von Luftfrachtcontainern.

Containertyp	Grundfläche	Höhe	Volumen	Maximale Maße innen
A320/A321-Container	1,56 m x 1,53 m	1,14 m	3,5 m^3	1,46 m x 1,44 m x 1,11 m
LD3-Container	1,56 m x 1,53 m	1,63 m	4 m^3	1,95 m x 1,42 m x 1,50 m
LD3-Kühlgut-Container	1,56 m x 1,53 m	1,63 m	2,8 m^3	1,82 m x 1,40 m x 1, 32 m
LD7-Container	3,18 m x 2,24 m	1,63 m	10 m^3	3,04 m x 2,10 m x 1,53 m
LD7-Kühlgut-Container	3, 18 m x 2,24 m	1,63 m	5 m^3	2,82 m x 1,88 m x 1,40 m
AAN-Container	3,18 m x 2,24 m	1,56 m	9 m^3	2,98 m x 2,08 m x 1,48 m
AAY-Container	3,18 m x 2,24 m	2,06 m	10 m^3	3,04 m x 2,10 m x 2,00 m
AMF-Container	3,18 m x 2,24 m	1,63 m	13 m^3	3,98 m x 2,34 m x 1,46 m
10-Fuß-Container	3,18 m x 2,24 m	2,44 m	17 m^3	3,00 m x 2,28 m x 2,38 m
XYX-Box (Kleider-)Container	1,53 m x 1,16 m	1,60 m	2,6 m^3	1,50 m x 1,50 m x 1,52 m
Pferdebox (Tiere)	2,13 m x 2,33 m	1,85 m	unbekannt	2,28 m x 2,08 m x 1,85 m

Tabelle 6: Dimension unterschiedlicher Luftfracht-Paletten
(Quelle: Grandjot, 2002, S. 64)

Für Belly-Fracht werden vornehmlich der A320/A321-Container, der LD3-Container, der LD3-Kühlcontainer, der LD7-Container, der LD7-Kühlcontainer, der AAN-Container und der AMF-Container verwendet. Die übrigen Container sind wegen ihrer Höhe für das Unterflurdeck nicht geeignet.

Die nachfolgende Abbildung 20 zeigt den LD3-Container, der am häufigsten für Belly-Flugzeuge vorgesehen ist. Die Abbildung macht deutlich, dass die Container so geformt sind, dass sie genau an den Flugzeuginnenraum der jeweiligen Decks abgestimmt sind. Sie sind quaderförmig, aber an einer Seite abgestumpft und damit an den Flugzeugrumpf angepasst.

Abbildung 20: Verschiedene Typen von Containern und Paletten
(Quelle: http://www.lufthansa-cargo.de/publish/image/LD3ContainerAKE_AVE.gif)

Beispielkonfiguration für die Flugzeugtypen A320 bzw. A321
In der nachfolgenden Abbildung ist eine von der Lufthansa typische Beispielkonfiguration für den Airbus A320 bzw. A321 veranschaulicht.

Anhand der Angaben in der Abbildung lässt sich erkennen, dass das Lower Deck für die beiden Flugzeugtypen A320 bzw. A321 eine maximale Ladehöhe von 116 cm inklusive der Palettenhöhe aufweist. Es wird weiterhin aufgezeigt, dass für die beiden Airbusflugzeugtypen nur AKH/AKW bzw. PKC als Lademittel verwendet werden und ein maximales Bruttogewicht inklusive Paletten- bzw. Containergewicht 1.134 kg möglich ist. Weiterhin sind

die maximalen Konturen für eine PKC-Palette angegeben, d. h. die maximalen Ausmaße der Palette inklusive der Beladung, die nicht überschritten werden dürfen.

Abbildung 21: Konfiguration eines A320 bzw. A321 mit Containern und Paletten
(Quelle: Lufthansa Cargo AG, 2009, Broschüre technische und verfahrensrechtliche Richtlinien für vorgebaute Einheiten, Lehranleitung)

Die nachfolgende Abbildung zeigt noch einmal die verschiedenen Paletten und Container zusammenfassend auf.

Abbildung 22: Verschiedene Typen von Containern und Paletten
(Quelle: Mielentz, o. J., S. 4)

In der nachfolgenden Abbildung 21 ist der Querschnitt eines Passagierflugzeugs des Typs Airbus 300 zu sehen. Das dargestellte aufgeschnittene Flugzeug ist mit zwei AHK-Containern im Unterflurbereich beladen. Anhand dieses Schaubilds lässt sich der Transport von Belly-Fracht im Lower Deck in einer Passagiermaschine gut verdeutlichen.

Abbildung 23: Verschiedene Typen von Containern und Paletten
(Quelle: Weber, 2008, S. 23)

Die nachfolgende Abbildung 22 zeigt die Form und das Aussehen von gebräuchlichen Containern und Paletten, die zum Transport von Luftfracht auf Flugzeugen zum Einsatz kommen. Der Containertyp AKH, der sich für die Flugzeugtypen A320 bzw. A321 eignet, wird vornehmlich für Standard-Fracht im Belly-Frachtbereich verwendet.

2.12 Lower-Deck-Kapazitäten bei Narrowbody-Flugzeugen

In den vorangegangenen Abschnitten wurden die verschiedenen Typen der Lademittel von Belly-Flugzeugen erklärt. Dabei wurde auch auf die Ladekapazitäten, d. h. auf das beladbare Volumen und Gewicht je Frachtbehälter eingegangen. Aus der theoretisch maximalen Ladekapazität leitet sich jedoch nicht die tatsächliche Ladekapazität von Belly-Flugzeugen ab, weshalb diese in diesem Abschnitt näher untersucht werden soll.

Kapazität von Belly-Flugzeugen
Flugzeugtyp und Größe von Belly-Flugzeugen sind auf die Belange des Passagiertransports und die dort vorherrschende Nachfrage abgestimmt. Nicht der Frachtladefaktor des Flugzeugs, sondern der Sitzladefaktor stellt die bestimmende Größe dar. Weiterhin sind die Ladekapazitäten in Belly-Flugzeugen viel kleiner als bei reinen Frachtflugzeugen. Auch ist beim Passagiertransport und somit auch für Belly-Fracht bei der Wahl des Flugzeugtyps entscheidend, welcher Bedarf auf der Flugstrecke für den Passagierverkehr besteht. Für Feeder-Flüge wird aus wirtschaftlichen Gründen kleineres Fluggerät eingesetzt. Die folgenden Richtwerte geben Aufschluss über die Kapazität von Belly-Fracht in Belly-Flugzeugen. Die Ladekapazität von Belly-Flugzeugen variiert je nach Flugzeugtyp. Auf einer Boeing 747-400 beträgt die Ladekapazität im Unterflurbereich nach Abzug der für eine Vollauslastung im Passagierbereich kalkulierten Kapazitäten für das Gepäck zwischen 1 und 15 Tonnen (vgl. Vahrenkamp, 2007, S. 277 f.). Bei kleinerem Fluggerät (Boeing 737, Airbus A319/A321) liegt sie nach Abzug der für das Gepäck der Passagiere notwendigen Kapazitätsreserve für Belly-Fracht bei immer noch 1 bis 6 Tonnen, wobei die durchschnittlichen Ladekapazitäten nur noch 1 bis 1,5 Tonnen betragen.

Die Kapazität bei Belly-Flugzeugen ist keine statische Größe. Vielmehr hängt sie von verschiedenen Einflussfaktoren ab, die dynamisch für jede einzelne Flugstrecke determiniert werden müssen. Nachfolgend werden streckenbezogene Faktoren aufgezeigt, die die Ladekapazität beeinflussen:

- Passagier-Auslastung und das damit zusammenhängende Gepäck- und Cateringmaterial-Aufkommen (Volumen und Gewicht der Gepäckstücke und Beeinflussung des Gesamtgewichts durch die Anzahl der Passagiere an Bord),
- Wetterbedingungen auf der Flugroute,
- Abhängigkeit von der Flugroute selbst. Abhängig davon, ob ein Kurz-, Mittel- oder Langstreckenflug vorliegt und ob Zwischenstopps eingelegt werden, muss das Flugzeug entsprechend betankt werden. Hierdurch kann es zu Einschränkungen in der Frachtbeladung kommen. Kerosin selbst muss zum Gesamtgewicht der Beladung hinzugezählt werden. Da Flugzeuge ein bestimmtes zulässiges Gesamtgewicht nicht überschreiten dürfen, da sonst der Start oder die Landung nicht mehr möglich ist, muss das Gewicht des Kerosins vom Gesamtgewicht in Abzug gebracht werden. Das sich so ergebende Differenzgewicht kann dann beim Passagier- und Cargo-Transport genutzt werden.

Betrachtet man die Angaben über die Ladekapazitäten von Belly-Flugzeugen bei den Flugplänen oder Broschüren der Cargo-Fluggesellschaften, fällt auf, dass hierzu nur durchschnittliche Cargo-Kapazitäten angegeben werden.

Weitere Faktoren, die aus der Beschaffenheit der Compartments der Lower Decks resultieren, bestehen in den Dimensionen der Laderäume. Bei Belly-Fracht stellt die Ladehöhe eine der Hauptrestriktionen bei Belly-Fracht dar. Weiterhin erlaubt die Größe der Compartment-Türen nur den Transport von bestimmtem Frachtgut. Somit scheiden sperrige Güter von vornherein aus. Trotz der maximalen Ladekapazitäten, die für jeden Flugzeugtyp zugelassen sind, werden selten diese Maximalwerte aufgrund der Struktur der Frachtgüter erreicht.

In dieser Arbeit wird bei der Betrachtung der Kapazität der Belly-Flugzeuge einzig auf das Kriterium des Gewichts abgestellt. Ein Hauptgrund hierfür ist zum einen, dass die Testdaten, mit denen das Modell in dieser Arbeit berechnet wird, mit dem Gewicht angegeben sind. Angaben zur Größe, zur Art der Transportbehälter etc. fehlen. Zum anderen bleibt somit die Untersuchung bei der Aufstellung des Modells erspart, zu welcher Verteilung es zwischen dem Luftfrachttransport auf ULD- bzw. Non-ULD-Flugzeugen bzw. zwischen Containern, Paletten und loser Fracht kommt.

Flugzeugtypen in dem Modell und ihr Ladegewicht

In den Flugplänen der AUA, Lufthansa und Swiss werden die Flugzeugtypen gemäß nachfolgender Tabelle im Inlands- und Europaverkehr eingesetzt. Für diese Flugzeugtypen erfolgt die Angabe der Belly-Frachtkapazitäten (durchschnittliches Ladegewicht in Tonnen) im Unterflurdeck unter der Annahme einer vollen Passagierauslastung.

Flugzeugtyp	Durchschnittliches Ladegewicht in t
Airbus 319-100	1,0–2,0
Airbus 320-200	1,5–2,0
Airbus 321-100	1,5–2,0
Airbus 330-300	24,0
Airbus 340-200	20,0
Airbus 340-300	23,0
Airbus 340-600	22,0
Boeing 737-300/500	1,0–1,5
Boeing 757-200/300	4,0
Boeing 777-200	22,6

Flugzeugtyp	Durchschnittliches Ladegewicht in t
Avro RJ 85	0,1
Canadair CRJ 200	0,1

Tabelle 7: Belly-Frachtkapazitäten auf ausgewählten Flugzeugtypen
(Quelle: Lufthansa Cargo, 2007, Lademittelangaben, S. 19–27)

Für die Modellberechnungen in dieser Arbeit werden die in der obigen Tabelle angegebenen Ladegewichte herangezogen. Volumenbegrenzungen bleiben in dem Modell unberücksichtigt, da bei den Modelldaten zum Frachtaufkommen nur Gewichtsangaben vorliegen.

2.13 Netzstruktur bei Belly-Frachttransporten (Hub-and-Spoke-Struktur)

Bislang wurde aufgezeigt, in welchen Flugzeugtypen Belly-Fracht transportiert wird. Da jedoch Belly-Flugzeuge dem Passagiersektor zugerechnet werden, ist auf dessen Netzstruktur einzugehen. Belly-Carrier richten in der Regel ihre Netzwerke nach dem Hub-and-Spoke-Prinzip (dt.: Nabe-Speiche-Prinzip) aus. Ein reines Direktflugsystem, bei dem jeder Flughafen mit jedem anderen Flughafen im Netz durch entsprechende Flüge verbunden ist, kommt in der Praxis nicht vor. Die Gründe hierfür werden in dieser Arbeit in Kapitel 8 noch herauskristallisiert. In diesem Abschnitt soll zunächst das Hub-and-Spoke-System näher charakterisiert und speziell auf dessen Bedeutung für Belly-Fracht eingegangen werden. In den folgenden Abschnitten werden die verschiedenen Varianten von Hub-and-Spoke-Systemen besprochen. In der Literatur wird synonym die Terminologie Nabe-Speiche- bzw. Drehkreuz-System für Hub-and-Spoke-Netzwerke verwendet. Vielfach wird auch Hub-and-Spoke-System als H&S-System abgekürzt.

Allgemein betrachtet ist ein Netzwerk ein grafisches Gebilde, das aus Knoten und Kanten besteht. Bei einem Flugnetzwerk entsprechen die Knoten Flughäfen und die Kanten Flugverbindungen zwischen Flughäfen. Das Netzwerk kann als Direktverkehrsnetz, als Hub-and-Spoke-System oder als Mischsystem konfiguriert sein (vgl. Janz, 2002, S. 1). Hub-and-Spoke-Systeme finden sich nicht nur in Luftverkehrsnetzen, sie werden auch in Wissenschaftsdisziplinen eingesetzt, die ähnliche Netztopologie-Problemstellungen aufweisen (vgl. Mayer und Wagner, 2002, S. 716).

Hub-and-Spoke-Systeme

Hub-and-Spoke-Systeme sind radial oder konzentrisch ausgerichtete Netze, in denen Linien strahlen- oder sternförmig auf einen oder mehrere zentrale Punkte gerichtet sind (vgl. Janz, 2002, S. 1). Die zentralen Punkte werden Hub (dt.: Nabe) und die Kanten von und zu den Knoten wegen ihrer radialen Ausrichtung auch Spokes (dt.: Speichen) genannt. Bezogen auf den Luftverkehr ist ein Hub als Drehscheibenflughafen deklariert, die Spokes stellen die Flugstreckendienste von und zu Drehscheibenflughafen dar. Im Hub wird der Flugverkehr kommend von den Zubringerflughäfen gebündelt und umverteilt. Bei den Hub-and-Spoke-Systemen werden verschiedene Netztypen differenziert. Soweit nur ein Hub im System verwendet wird, spricht man von einem Ein-Hub-System. Bei mehr als einem Hub wird das Hub-and-Spoke-System auch als Multi-Hub-and-Spoke-System oder Multi-Hub-Netzwerk bezeichnet. Von einem integrierten Hub-and-Spoke-System spricht man, wenn mehrere eigenständige, meist Ein-Hub-and-Spoke-Systeme zu einem übergreifenden Mehr-Hub-and-Spoke-System konsolidiert werden. Ein derartiges Netzwerk wird auch Multihub-and-Spoke-System genannt. Im Vergleich zu Punkt-zu-Punkt-Verbindungen (Direktflugverbindungen) weisen Verbindungen zwischen zwei Hubs Bündelungsvorteile auf (vgl. Janz, 2002, S. 1). Diese Arbeit befasst sich in Kapitel 8 detailliert mit den betriebswirtschaftlichen Vorteilen von Hub-and-Spoke-Systemen, sodass an dieser Stelle das Thema nicht weiter vertieft wird.

2.14 Bedeutung von Belly-Fracht für den intra-europäischen Luftfrachttransport

Da Frachtkapazität auf Passagierflugzeugen zwangsläufig anfällt, da die Kapazitäten im Bauch des Flugzeugs quasi „mitproduziert“ werden, ist es ökologisch und ökonomisch sinn-

voll, diese Kapazität auch bevorzugt zu vermarkten. Diese Geschäftsstrategie wird von den meisten europäischen Airlines verfolgt (vgl. Lufthansa, 2009, S. 5). Im Rahmen von Übernahmen von Fluggesellschaften in Europa steht die Vermarktung der Belly-Frachtkapazitäten in der Priorität der Erwerbsfluggesellschaft ganz oben. Der Einsatz von reinen Frachtflugzeugen erscheint deshalb nur zweckmäßig, wenn

- die Luftfrachtnachfrage auf einer Strecke höher ausfällt als durch den Einsatz von Passagiermaschinen als Belly-Fracht und kein intermodaler Wettbewerb vorherrscht,
- es auf der entsprechenden Strecke in Passagierflügen keine bzw. keine ausreichende Kapazität gibt,
- die auf den Passagierverkehr abgestimmten Zeitenlagen der Passagierflüge sich nicht mit den Vorstellungen der Frachtkunden (bspw. zu lange Transportzeiten, ungünstiger Anlieferungszeitpunkt, z. B. abends) decken,
- das Frachtaufkommen aufgrund der Art der Sendung nicht für den Transport auf Personenflugzeugen geeignet ist (z. B. Gefahrgut) und auf der korrespondierenden Strecke genügend Frachtkapazitäten nachgefragt werden, um ein Frachtflugzeug ökonomisch einzusetzen.

Weitere Kriterien, die für oder gegen den Einsatz von Belly-Frachttransport im intraeuropäischen Luftverkehr sprechen, beziehen sich auf die Eigenschaften des Transportguts und die Anforderungen der Frachtnachfrager. Die Sendungsgröße und die Art der Güter müssen sich für Belly-Fracht eignen, d. h., es liegt keine Großsendung, sondern eine Kleinsendung, die hochwertig und eilbedürftig ist, vor. Abhängig von der Art des Transportguts erschließen sich für die Luftverkehrsgesellschaften die Marktpotenziale im Belly-Frachtsektor.

Resümierend treten die vorgezeigten Kennzeichen im europäischen Luftfrachtbereich auf den dafür infrage kommenden Flugrouten selten auf, sodass der Transport von Luftfracht, die sich als Belly-Fracht eignet, in Belly-Flugzeugen transportiert wird (vgl. Frachtbrief der Lufthansa Cargo, 2009).

2.15 Merkmale bzw. typische Eigenschaften von Belly-Fracht

Belly-Fracht weist folgende Merkmale bzw. typische Eigenschaften auf:

- *Art der Fracht*: Postsendungen, Kleingutsendungen, sonstige Fracht
- *Restriktionen*: Keine gefährlichen Güter, weitere Einschränkungen in der Größe, dem Gewicht und in der Sperrigkeit des Frachtguts (maximale Höhe 1,6 Meter), insgesamt somit Einschränkungen im Angebotsportfolio der Fluggesellschaft
- Besondere Eignung von Belly-Fracht-Transport bei *zeitsensitiven* und *wertvollen* Kleingutsendungen (z. B. Medikamente, Tiere, Uhren)
- Belly-Fracht wird zum Großteil in Passagiermaschinen in Kuppelproduktion erbracht (vgl. Pompl, 2007, S. 93), wer Passagiere befördert, kann auch automatisch Belly-Fracht transportieren, so genanntes zwangsläufig anfallendes Produkt im Rahmen einer gemeinsamen Produktion
- Belly-Fracht lässt sich mit einem Teilkostenansatz in Abhängigkeit vom Passagierverkehr kalkulieren (vgl. Ausführungen in Kapitel 9)
- Vermarktung von Belly-Fracht im Rahmen einer Gesamtfracht-Strategie von großen Netzwerkgesellschaften auf Kurz-, Mittel- und Langstrecken durch Einspeisung in die größeren Belly-Flugzeuge oder reinen Frachtmaschinen
- Vermarktung von Belly-Fracht im Rahmen einer Geschäftsfeldstrategie von kleinen Netzwerkgesellschaften für Kurz- und Mittelstrecken und dedizierte Langstrecken jeweils in Belly-Flugzeugen
- Keine Vermarktung von Belly-Kapazitäten durch die Low-Cost-Carrier und sonstige Ferienflieger
- Belly-Flugzeuge weisen relativ geringe Frachtkapazitäten für Belly-Fracht auf, die vergleichbar sind zu denen eines Sattelschleppers.

Anforderung an das Sendungsgut
Um für einen Belly-Frachttransport geeignet zu sein, muss das einzelne Sendungsgut so dimensioniert sein, dass es der Höhe nach ins Unterflurdeck einer Passagiermaschine passt. Im Gegensatz zu den Frachtmaschinen, die großvolumige Frachtdecks aufweisen, sind die Frachträume der Belly-Flugzeuge vergleichsweise klein. Insbesondere in der Höhe der Frachtdecks gibt es Restriktionen. Das Lower Deck in Belly-Flugzeugen ist maximal 1,60 Meter hoch. Für Fluggesellschaften, die im Geschäftsbereich der Luftfracht ausschließlich eine Belly-Fracht-Strategie verfolgen, ergeben sich dadurch Restriktionen im Luftfrachtangebot. Es lässt sich nur Stückgut transportieren, das nicht sperrig ist. Auch dürfen in Passagiermaschinen keine Transporte von gefährlichen Gütern erfolgen. Das Angebotsportfolio für Fracht wird dadurch für Belly-Fluggesellschaften eingeschränkt.

2.16 Vorteile von Belly-Fracht

Unter ökonomischen, ökologischen, wettbewerblichen und geschäftsstrategischen Gesichtspunkten weist Belly-Fracht folgende Vorteile auf:

- Mithilfe von Belly-Frachtkapazität kann das Kapazitätsangebot der Carrier das dichte Netzwerk der Passagierverbindungen im Linienverkehr von Airlines nutzen, was zu einer Ausdehnung des Absatzgebietes führt.
- Die Belly-Fracht-Vermarktung in Passagiermaschinen trägt mit bis zu 20 Prozent zum Umsatz im Geschäftssegment des Passagierbereichs bei.
- Auch Transportverbindungen, auf denen eine schwache Frachtnachfrage vorherrscht, können noch wirtschaftlich sinnvoll betrieben werden, wenn es genügend Nachfrage für diese Strecke nach Passagieren gibt. Nachfrageschwankungen lassen sich durch Anpassung der Fluggerätgröße kompensieren.
- Belly-Fracht eröffnet der Fluggesellschaft ein Geschäftsfeld, das mit einer hohen Flexibilität und moderaten intra- und intermodalen Wettbewerbsstrategien bestritten werden kann. So lässt sich für den Belly-Frachtsektor eine kombinierte Geschäftsfeldstrategie mit einer Differenzierungsstrategie gegenüber den intermodalen Wettbewerbern und einer Kostenführerschaftstrategie gegenüber den intramodalen Wettbewerbern verfolgen. Bei der Differenzierungsstrategie macht sich die Airline Schnelligkeit, Sicherheit, Zuverlässigkeit und Pünktlichkeit der Flugzeuge gegenüber den Bodenverkehren zunutze und richtet die Marketingstrategie entsprechend aus. Als Unique Selling Points ist die frühere Verfügbarkeit der Güter beim Verlader zu nennen. Gegenüber den Wettbewerbern im eigenen Segment wird die Fluggesellschaft bestrebt sein, eine möglichst hohe Vermarktungsquote von Belly-Fracht zu erzielen. Hohe Auslastungen führen zu niedrigeren Stückkosten, und der Feeder-Anteil für den Belly-Fracht- bzw. Nur-Frachtbereich auf Mittel- und Langstrecken steigt (Economies of Density, Economies of Scope).
- Passagierflugzeuge werden strengen technischen Kontrollen unterzogen und unterliegen strengen Sicherheitsnormen und müssen hohe Umweltanforderungen erfüllen, wodurch der Transport von Belly-Fracht als sicher, zuverlässig und umweltschonend gilt.
- Die Termintreue beim Transport von Gütern mittels Belly-Fracht ist hoch, da bei einem innereuropäischen Umlauf selbst bei Verspätungen der Maschinen der Transport innerhalb der vereinbarten Transportzeit erfolgen kann.
- Der Frachttransport im Allgemeinen und im Speziellen auch für Belly-Fracht tendiert zum Einsatz von wirtschaftlich rentablen und umweltverträglichen Flugzeugtypen.
- Auf der Logistikseite fallen bei Belly-Fracht im Vergleich zu anderen Transportmethoden geringere Verpackungs- und Lagerkosten an. Es sind weniger Diebstähle von Frachtgut und Beschädigungen der Frachtsendungen infolge des Transport zu verzeichnen. Aufgrund der hohen Netzdichte im Passagierbereich sind die Kosten für die An- und Abfuhr geringer, da Umladungen ohne Unterbrechung der Luftfahrtkette an den Flughäfen erfolgen können.
- Wegen der Schnelligkeit eignet sich Belly-Fracht für den Transport von Gütern, deren Pro-

duktionsstätten weite Entfernungen von den Absatzmärkten aufweisen und deren Produktlebenszyklus so kurz ist, dass die Produkte rasch den Absatzmarkt erreichen müssen.

2.17 Nachteile von Belly-Fracht

- Der Nachteil von Belly-Flugzeugen besteht darin, dass gefährliche, sperrige oder großdimensionierte Güter nicht im Lower Deck transportiert werden können. Aus Marketingsicht besteht somit kein Vermarktungspotenzial von Großsendungen. Das Angebotsportfolio ist eingeschränkt.
- Allein für Destinationen mit einem hohen Aufkommen an Luftfracht können Nur-Frachtflugzeuge wirtschaftlich im Linienverkehr eingesetzt werden.
- Der Inhalt von Belly-Fracht wird in der Regel beim Beladen nicht geprüft, wodurch die Gefahr besteht, dass Belly-Fracht beispielsweise Sprengstoff enthält.
- Die Transportkosten von Belly-Fracht sind wegen des geringeren Stückkosteneffekts im Vergleich zu den Transportkosten in reinen Frachtmaschinen höher. Jedoch kann entgegengehalten werden, dass Belly-Fracht ein Kuppelprodukt zur Passage darstellt und mit einem Teilkostenansatz kalkulierbar ist (vgl. Vahrenkamp, 2007, S. 273 ff.). Andererseits wird argumentiert, dass im Passagierbereich Überkapazitäten bestehen und zur besseren Auslastung der Fracht in Belly-Flugzeugen die Fluggesellschaften die Preise für Belly-Fracht reduzieren. Merge Global hält die reinen Frachtmaschinen für die teurere Lösung (vgl. Clancy und Hoppin, 2005).
- Im Vergleich zu den intermodalen Verkehrsträgern weisen Belly-Flugzeuge vergleichsweise geringe Ladekapazitäten auf. Ein Airbus A-340 kann neben den Passagieren lediglich zwischen 15 und 30 Tonnen Fracht auf einem Flug transportieren. Das entspricht der Ladekapazität eines Sattelschleppers. Aufgrund der geringen Ladekapazität ist der Belly-Frachttransport vergleichsweise teuer.

2.18 Verhältnis von Belly-Frachtaufkommen zum Gesamtluftfrachtaufkommen

Folgt man einer Studie von Merge Global (2006), dann beläuft sich der Belly-Frachtanteil auf 80 bis 85 Prozent des gesamten Luftfrachtaufkommens, das weltweit geflogen wird. Anders ausgedrückt beträgt der Prozentwert der Luftfracht, die in reinen Frachtflugzeugen transportiert wird nur zwischen 15 bis 20 Prozent (vgl. Kasarda et al., 2006, S. 3). Arnold et al. (2008, S. 762) geben hier lediglich 5 Prozent an. Allerdings kann diese Aufteilung auf den Kontinentalverbindungen und innerhalb der Fluggesellschaften variieren (vgl. Merge Global, 2006). Ein Grund für diese Verteilung ist, dass viele der kleineren, vor allem in Europa niedergelassenen Netzwerkfluggesellschaften fast ausschließlich Luftfrachtbeförderungen in Belly-Flugzeugen anbieten und selbst keine Frachtflugzeuge haben. In einer anderen Auswertung (Arnold, 2008, S. C3-50) wird ein 50-Prozent-Belly-Fracht-Anteil im Vergleich zum Gesamtluftfrachtaufkommen angegeben. Die Literatur ist sich über die tatsächliche Verteilung nicht ganz einig. Die IATA führt für jedes Jahr Statistiken über das weltweit auf Belly-Flugzeugen geflogene Frachtaufkommen. Im Jahr 2002 wurden auf inländischen Strecken 62 Prozent und auf internationalen Strecken 52 Prozent der Luftfracht in Frachtmaschinen transportiert (vgl. IATA, 2003, S. 25 f). Frye (2004) gibt in seinem Papier an, dass die weltweit geflogene Tonnage auf Belly-Flugzeugen und in reinen Frachtmaschinen in etwa gleich verteilt ist. Die IATA führt airlinebezogene Statistiken über die in Anspruch genommenen Frachtkapazitäten. Für die Lufthansa Cargo weist der Verband für das Jahr 2001 einen Transport in Nur-Frachtflugzeugen von 55 Prozent und in Belly-Flugzeugen von 44,3 Prozent aus (vgl. IATA, 2002, S. 109). In einer Differenzierung nach Linien- und Charterflugmaschinen weist Linz (2008, S. 35) für die Laderäume der Flugzeuge der beiden Verkehrsarten jeweils 50 Prozent der gesamten Luftfrachtkapazität aus.

Im Weiteren soll aus Gründen der Einfachheit bei der Lufthansa von einem hälftigen Belly-Frachtanteil sowie bei der Austrian Airlines und Swiss von einer ausschließlichen Belly-Fracht ausgegangen werden.

3 Kennzeichen des europäischen Luftfrachtverkehrsmarktes

Das Thema dieses Kapitels ist der europäische Luftverkehrsmarkt. Diesbezüglich wird zunächst die derzeit vorherrschende Struktur des europäischen Luftverkehrsmarktes in Europa als Folge der Deregulierung nachgezeichnet und mit der in USA vorherrschenden Struktur verglichen, bevor der europäischen Kernmarkt des Luftverkehrs dargestellt wird, auf dem sich der Großteil der europäischen Luftverkehrsnachfrage und somit auch der Luftfrachtnachfrage konzentriert. Es folgt eine Erläuterung, warum der Luftfrachtsektor für die auf Globalisierung ausgerichtete Weltwirtschaft insbesondere auch in Europa bedeutsam ist. Schließlich werden die wichtigsten Merkmale und Luftfrachtkennzahlen der Welt, von Europa, Deutschland, der Schweiz und Österreich veranschaulicht.

3.1 Vergleich der Struktur des Luftverkehrsmarktes in Europa und den USA

Deregulierung des Europa-Luftverkehrs und Implikation auf die Netzwerkstruktur

Das Angebot von Luftverkehr hat weltweit und auch in Europa und Deutschland seit einigen Jahren einen radikalen Wandel erfahren und gilt nach der stufenweisen Liberalisierung hin zur Kabotagefreiheit innerhalb der Europäischen Union seit Anfang April 1997 als vollständig dereguliert (vgl. Stoetzer, 1991). Jede europäische Fluglinie darf beliebige Strecken innerhalb der Europäischen Gemeinschaft unabhängig von ihrem Heimatland bedienen, sofern die Fluggesellschaft hierfür über die erforderlichen Zeitnischen (Slots) verfügt (vgl. Deutsche Bank Research, 2004, S. 13, Kuhne, 1988, S. 77–82). Demzufolge ist das Gut Luftfahrtangebot vollständig freigegeben und unterliegt innerhalb der EU keinen Wettbewerbsbeschränkungen (vgl. Jäckel**,** 1993, S. 163–185). Dies betrifft sowohl den Passagier- als auch den Frachtbereich. Die Liberalisierung des Luftverkehrs ist Bestandteil zur Errichtung eines gemeinsamen europäischen Binnenmarktes (vgl. Schmidt und Schmidt, 1997, S. 92). Resümierend hat das europäische Parlament im Mai 2000 festgehalten, dass die Entwicklung eines einheitlichen Binnenmarktes im europäischen Luftverkehr insgesamt zu einem positiven Wettbewerb geführt hat. Neben den ursprünglichen nationalen Fluggesellschaften sind neue erfolgreich etabliert worden (vgl. Obermann, 1992, S. 67–84). Bis 1990 konnte in Deutschland eine Zunahme der Konzentration auf Drehscheibenflughäfen verzeichnet werden, seitdem liegt eine leichte Abnahme vor. Dieselbe Tendenz lässt sich auch bei den meisten übrigen Hub-Flughäfen feststellen. Der Einfluss der Liberalisierung führte zu einer Verminderung der Marktkonzentration im europäischen Luftverkehr, eine Mitkausalität ist auf die Deregulierung zurückzuführen. Eine ähnliche Tendenz kann auf den übrigen europäischen Hub-Flughäfen konstatiert werden (vgl. Doganis, 1995, S. 15). Diese durch Ausschöpfung vorhandener Zeitnischen bedingte Konzentrationserscheinung auf den Drehkreuzen ist als Wettbewerbsoption der etablierten Fluggesellschaften zur Aufrechterhaltung bzw. zum Ausbau von Markanteilen gegenüber den Fluggesellschaften, die in den Markt eintreten wollen, konsequent durchgefochten worden (vgl. Oum, 1997).

Die mit der Deregulierung den Netzwerkfluggesellschaften[7] über die 6. Freiheit eingeräumte Möglichkeit, uneingeschränkt Passagiere und Fracht über ihre Hubs zu befördern, führte zu vermehrten Passagier-Umsteigern bzw. Fracht-Umladungen in Passagiermaschinen aus dem Ausland. Dadurch konnten die Allianz-Fluggesellschaften ihre Flugpläne stark aufeinander abstimmen und das Flugangebot bündeln, sodass sich deren Marktstellung im Interkontinentalverkehr[8], im Interkontinental-Interkontinental-Umstiegsverkehr und im Europaverkehr deutlich verbesserte (vgl. Masterplan, 2004, S. 18). Drehscheibenflughäfen, die von Allianz-Fluggesellschaften angeflogen werden, wiesen deshalb gegenüber den übrigen Flughäfen überdurchschnittliche Wachstumswerte auf. Dieser Sachverhalt lässt sich anhand

[7] Netzwerkfluggesellschaften sind Fluggesellschaften, die ihr Flugangebot in einem Hub-and-Spoke-Netzwerksystem bestreiten.
[8] Darunter versteht man einen Flug von einem Land der Europäischen Union in ein Land außerhalb derselben oder umgekehrt.

von repräsentativen Kennzahlen unterlegen. Alleine über die beiden Drehkreuze Frankfurt und München wurden in 2003 fünf Mal so viele Fluggäste zu interkontinentalen Destinationen geflogen als von allen übrigen deutschen Flughäfen zusammen (vgl. Infraplan, 2004). Folgt man den Kennzahlen des Airport Council International, dann vereinigen die Hub-Flughäfen sogar weltweit einen Marktanteil von 46 Prozent (vgl. ACI, 2003)[9].

Die Wettbewerbssituation der Fluggesellschaften im Zusammenhang mit dem Aufbau bzw. der Übernahme und der Unterhaltung eines intra-europäischen Drehscheibensystems wird im nächsten Kapitel unter Wettbewerbsgesichtspunkten untersucht. Aufgrund der nach wie vor vorherrschenden Konzentrationstendenzen im europäischen Luftverkehr ist die Dominanz von Hub-and-Spoke-Netzwerkstrukturen ungebrochen und die bestehenden Hub-and-Spoke-Netze wurden ausgebaut oder um bestehende Hub-and-Spoke-Systeme, z. B. durch Übernahme anderer Netzwerkfluggesellschaften, angereichert. Strukturell sind vor allem die höheren Frequenzen im Feeder-Verkehr zu den Drehkreuzen Mitverursacher für den starken Anstieg der Flugbewegungen, sodass die Hub-and-Spoke-Strukturen für den rasanten Wachstumsschub mitverantwortlich gemacht werden können (vgl. ECAC, 2001, S. 3).

Vergleich von Nabe-Speiche-Systemen in den USA mit denen in Europa

Im Vergleich zu den USA haben sich Nabe-Speiche-Systeme in Europa nach der Deregulierung des Luftverkehrsmarktes unterschiedlich entwickelt (vgl. Hütschelrath, 1998, S. 221). Zwar weisen die USA mit 31 Hubs nur 4 Hubs mehr auf als in Europa (vgl. Zetsche, 2004, S. 4), jedoch sind die Hub-and-Spoke-Systeme auf beiden Kontinenten sehr unterschiedlich strukturiert. Europäischer Luftverkehr ist vornehmlich ein internationaler Luftverkehr. Die Liberalisierung dieses Marktes entspricht folglich einem multinationalen Prozess, mithin ist er sogar supranational[10] (vgl. Molitor, 1996). Im Vergleich dazu berührte der Airline Deregulation Act[11] von 1978 in den USA (vgl. Desel, 1988) ausschließlich die nationalen Interessen und gilt deshalb im Vergleich zu Europa als in sich homogener vollzogen (vgl. Klaus, 1993). Ein Faktor für die schleppende Durchsetzung des Liberalisierungsgedankens in Europa ist mit Sicherheit die weiterhin bestehende hohe Profitabilität der nationalen Airline(s), die vor der Deregulierung oft zumindest auf einzelnen innerstaatlichen Flugstrecken eine monopolistische Marktstellung innehatten bzw. nach wie vor für sich beanspruchen und bisweilen an ihrer monopolistische Preispolitik festhalten (vgl. Deutsche Bank Research, 2004, S. 13). Auch die luftverkehrsmäßigen Außenbeziehungen der USA sind in erster Linie national orientiert und nur wenig international ausgerichtet.[12] Weiterhin konkurrieren in Europa unterschiedlich gestaltete Luftverkehrsverbände und -organisationen, bei denen durchaus auch nationale Interessen im Vordergrund stehen (vgl. Lufthansa, 2002). Viele europäische Fluggesellschaften verfolgten die Geschehnisse der US-Deregulierung genau und unternahmen den Versuch, die Auswirkungen auf die eigene Unternehmenspolitik nach einer europäischen Liberalisierung zu antizipieren (vgl. Austermann, 1985, S. 62).

Die internationalen Drehscheibenflughäfen in Europa sind in den einzelnen Staaten unabhängig voneinander entstanden mit dem Ziel, den internationalen Luftverkehr innerhalb des jeweiligen Staates zu bündeln. Die sich so ergebende europäische Hub-Struktur ist somit weitgehend historisch bedingt und mithin keine Erscheinung aufgrund sich verändernder Wettbewerbsbedingungen nach der Deregulierung. Die Gestaltung der Liniennetze richtete sich, anders als in den USA, nach den ausgehandelten bilateralen Verträgen (vgl. Jordan, 1970). Betrachtet man den im Zuge der Liberalisierung entstandenen Gemeinsamen Markt, ist festzustellen, dass die wichtigen Drehkreuze in Europa nicht zwingend verkehrsgeografisch günstig liegen (vgl. Ellison, 1982, S. 58). Grenzüberschreitend sind zumeist nur die Hub-Hub-Verbindungen, wohingegen die Zu- und Abführungsnetze innerhalb der Staatsgrenzen liegen.

[9] Referenziert in: Masterplan zur Entwicklung der Flughafeninfrastruktur, Berlin, Okt. 2004, S. 18, http://www.initiative-luftverkehr.de/presse/docs/download/04_10_20-masterplan.pdf, [abgerufen am 20.06.2006].

[10] Man denke etwa an das Europäische Gemeinschaftsrecht, das auch den europäischen Luftverkehr maßgeblich beeinflusst.

[11] Die Aufhebung von staatlichen Markteintrittsschranken für US-Carrier und von Eingriffen in die Tarifbildung für Inlandsflüge ist als wichtigste Elemente der US-Deregulierung zu nennen.

[12] Beispielsweise ist in den USA die Binnenkabotage (8. Freiheit) ausländischen Carriern versagt.

Die Natural-Hubs in Europa entsprechen also den Punkten, auf denen die Übergänge von einem nationalen Netz zum anderen stattfanden. Die Vorbehalte der Kabotage sichern den National-Carriern weiterhin ihre Dominanz auf den interkontinentalen Routen. Maschenartige, länderübergreifende Netzwerklayouts gibt es in Europa bisher nicht. Jedes Land unterhält weiterhin ein eigenes Luftverkehrsnetz und -kontrollsystem. Das europäische Gesamtluftverkehrsnetz gestaltet sich dabei als Konfusion von landesspezifischen Einzelnetzen, die sich aufgrund der bilateralen Abkommen bisweilen in einzelnen Flugrelationen oder Subnetzen überschneiden, ergänzen bzw. redundant vorhanden sind (vgl. Marx 1974, S. 74). Dieses Phänomen hat sich auch nach der Liberalisierung nur sehr marginal geändert. Es bleibt festzuhalten, dass sich die Hub-and-Spoke-Struktur von interkontinentalen Verbindungen nach der Deregulierung nicht gewandelt hat. Lediglich im bloßen intra-europäischen Bereich haben sich eigene Nabe-Speiche-Luftverkehrsnetze, die auf den Europaverkehr abgestimmt wurden, einzelner Fluggesellschaften entwickelt. Dennoch existieren heute in Europa zu viele Hubs, die angesichts ökonomischer oder verkehrsgeografischer Aspekte abkömmlich wären. Es lässt sich fast sagen, dass eigentlich jedes europäische Land mindestens einen Hub betreibt, sei es auch nur, um wie bereits erwähnt, internationale Flüge in dem jeweiligen Land zu konzentrieren.

Neben den Natural-Drehscheiben sind in Europa weitere Hubs aus bestehenden Flughäfen oder durch deren Erweiterung entstanden, welche vornehmlich die Bündelung des Europaverkehrs zur Aufgabe haben. Bereits im Jahr 2003 konnten zur Eröffnung des neuen Terminals auf der neuen Homebase der Lufthansa in München 84 Prozent der Ziele und 78 Prozent der Frequenzen im Europaverkehr verglichen mit Frankfurt ausgenutzt werden (vgl. M terminal, 2004, S. 1). 13,3 Millionen Fluggäste sind allein in München auf europäischen Strecken unterwegs, 9,4 Millionen davon innerhalb der Europäischen Union (vgl. M terminal, 2004, S. 3). Die positive Entwicklung im Passagierbereich hat auch zu einer entsprechenden Zunahme der Belly-Frachtkapazitäten geführt.

Generell dürfen alle EU-Fluggesellschaften von jedem Flughafen der Europäischen Union jeden willkürlichen Flughafen eines Drittlands anfliegen, sofern sie die hierfür erforderlichen Verkehrsrechte besitzen.[13] Im Passage- und Belly-Frachtbereich sind die reinen intra-europäischen Hub-and-Spoke-Netzwerke meist mit einem einzelnen Hub konfiguriert. Die Netzwerkstruktur geht über die Ländergrenzen hinaus. Im Gegensatz dazu sind die Drehscheiben der US-Hubnetze so gelegen, dass sie eine große Zahl etwa gleich langer Zu- und Abbringerflüge miteinander verbinden. Eine Grenzüberschreitung ist dabei in den USA nicht zu beachten. Die US-Speichenverbindungen selbst sind zumeist unidirektional ausgerichtet und bündeln so z. B. Nord-Süd- oder Ost-West-Verkehre. Naben mit diesen Eigenschaften werden auch Sanduhr-Drehkreuze oder Hourglass-Hubs genannt (vgl. Maurer, 2003, S. 347).[14] Allgemein versteht man unter Sanduhr-Hubs solche Drehkreuze, deren Verkehrsbündelung durch Zu- und Abführung nach dem Verkehrsstrom gerichtet ist, d. h., der Hub liegt quasi auf der natürlichen Streckenführung. Die Frachtströme auf solchen Strecken weisen eine gewisse geografische Richtung auf. „Sanduhr-Drehkreuze sind vorwiegend darin ‚en route' liegende Orte zur Bedienung einer über diese Orte hinweg führenden Durchgangsnachfrage" (vgl. Janz, 2002, S. 1). Das trifft vor allem auf den Feeder-Verkehr für Luftfracht zu. Im Gegensatz dazu wird der Verkehr beim Hinterland-Drehkreuz aus dem Umland des Hubs ungeachtet der Verkehrsrichtung zugeführt, um ihn von dort zu den häufig entfernteren Destinationen weiterzuleiten. Hinterland-Drehscheibenflughäfen eignen sich vor allem für die Zu- und Abführung von Verkehren von kurzen auf lange Strecken und umgekehrt (vgl. Teuscher, 1994, S. 265 f., Pompl, 1998, S. 337). Bei Luftfracht spielen die Road-Service-Feeder der Lastkraftwagen für die Frachtzuführung bei den Hinterland-Hubs eine große Rolle. Für Ein- oder Multi-Hub-Strategien bei der Konstituierung von Hub-and-Spoke-Systemen eignen sich sowohl Sanduhr- als auch Hinterland-Hubs (vgl. Janz, 2002, S. 1). Hub- and-

[13] Vgl. Urteil des Europäischen Gerichtshof vom 5.11.2002 in den Rechtssachen C_466/98, C-467/98, C-468/98, C469/98, C-471/98, C-472/98, C-475/98, C-476/87 zu den bilateralen Luftverkehrsabkommen Belgiens, Dänemarks, Finnlands, Luxemburgs, Österreichs, Schwedens (sog. „Open Skies"-Abkommen) und des Vereinigten Königreichs mit den USA.
[14] Vgl. Abbildung 24.

Spoke-Netze mit einer stringenten Sanduhr-Konstruktion lassen sich selten in der Praxis vorfinden. Auch gilt, dass reine Hub-and-Spoke-Netze bei real existierenden Verkehrsflugnetzen nur vereinzelt vorkommen (vgl. Domschke und Krispin, 1999, S. 285). Die US-Sanduhr-Drehscheiben verschaffen den US-amerikanischen Fluggesellschaften wegen abwesenden Kabotagevorbehalten den Vorteil, trotz der Nutzung des Hub-Netzwerkes auch direkte One-Stop-Flüge (Punkt-zu-Punkt-Verbindungen) bis hin zu Multi-Hub-Flügen anbieten zu können.

Abbildung 24: Hub-Struktur in den USA und Europa
(Quelle: Pompl,1998, Vahrenkamp und Mattfeld, 2007, S. 198)

3.2 Gegenwärtige intra-europäische Luftverkehrsströme

Das von seinen Ausmaßen kleine Gebiet in Europa bei über 20 souveränen Staaten ließ vor der Deregulierung des europäischen Luftverkehrsmarktes keine bedeutenden unabhängigen Airlines entstehen, die ausschließlich einen nationalen Markt bedienen. Ein Anteil von 85 Prozent internationaler Dienste am gesamten Linienflugverkehr in den EG-Staaten im Jahr 1991 macht die internationale Ausrichtung der europäischen Airlines wenige Jahre nach der Deregulierung deutlich (vgl. Teuscher, 1994). Für die über die EG-Grenzen hinausreichende Luftverkehrsvereinigung ECAC gilt Gleiches (vgl. ECAC, 1982). Im Kontrast dazu kann der Luftverkehr in den USA auf den weltweit größten Inlandsmarkt zurückgreifen. Mehr als die Hälfte aller Inlandsflüge auf der Welt finden in den USA statt. Der Anteil der internationalen Dienste aller Carrier in den USA lag 1991 bei im Vergleich zu Europa niedrigen 26 Prozent (vgl. Belobaba et al., 1997, S. 3 f.). Wie groß dieser Inlandsmarkt der USA ist, zeigt die Tatsache, dass die gesamte europäische Beförderungsleistung unter der rein nationalen Beförderungsleistung der größten US-amerikanischen Fluggesellschaft American Airlines mit einem nationalen Marktanteil von 19 Prozent liegt (vgl. Belobaba et al., 1997, S. 3). US-Fluggesellschaften haben die Möglichkeit, Passage- und Frachtnachfrage von und nach Europa auf Hub-Flughäfen zu bündeln, was auf den engen nationalen europäischen Märkten nicht in diesem Umfang durchführbar ist. Zudem besitzen die US-amerikanischen Airlines in Europa zahlreiche Rechte der 5. Freiheit[15], d. h., Anschlussverbindungen (bspw. London–Rom) gehören zu ihrem Angebot. Etwa 5 Prozent der internationalen Verbindungen in Europa werden so bedient, im Frachtcharter erhielten im Jahr 2000 90 Prozent aller beantragten Einzelfluggenehmigungen von ausländischen Fluggesellschaften für Europa und sogar 100 Prozent aller Express-Cargo die 5. Freiheit bewilligt (vgl. DLR, 2005). Im umgekehrten Fall eines Anschlussfluges innerhalb der USA müsste einer europäischen Fluggesellschaft die Inlandskabotage (8. Freiheit[16]) in den USA gewährt werden, was aber nicht der Fall ist (vgl. Knieps, 1987).

[15] Ermöglicht es einer Fluggesellschaft, Reisende, Fracht und Post zwischen zwei Vertragsstaaten zu befördern. Der Flug muss im Heimatland beginnen oder enden.
[16] Sichert die Erlaubnis, Fluggäste, Fracht und Post innerhalb eines anderen Staates als dem Heimatstaat zu befördern.

Resümierend scheint die Struktur des US-amerikanischen Luftverkehrsmarktes wegen der starken nationalen Ausrichtung homogener zu sein als der europäische Luftverkehrsmarkt. Hub-and-Spoke-Netze sind nach der Liberalisierung in den USA nach anfänglichem Zögern zumeist aufgrund der veränderten Wettbewerbssituation entstanden (vgl. Morrison und Winston, 1986), wohingegen in Europa die natürlichen Hubs (so genannte Natural-Hubs) nach der Deregulierung in ihrer interkontinentalen Drehscheiben-Funktion keine Einbußen hinnehmen mussten. Zudem ist festzustellen, dass sich nur vereinzelt aufgrund der sich durch die Deregulierung des Luftverkehrssektors in Europa gelockerten Wettbewerbsbedingungen neue Hubs gebildet haben. Die Errichtung neuer Hubflughäfen gestaltet sich in Europa schwierig. Der planungsrechtliche Horizont lässt sich in Dekaden ausdrücken. Die ökologischen Auflagen und gesellschaftspolitischen Widerstände tun ihr Gleiches. In Europa sind nur wenige neue Hubflughäfen entstanden, was nicht als unmittelbare Folgeerscheinung der Deregulierung zu interpretieren ist. Neue Hubflughäfen sind nur in den Städten Mailand, Paris und London errichtet worden, wo sich neben den Stadtflughäfen eigene Hubflughäfen für den Interkontinental- und Europaverkehr etablieren konnten (Aeroports, 2000, S. 21). In Deutschland selbst ist nur der Münchner Flughafen zum Hub avanciert, wobei München 2 ein Substitut des ehemaligen Flughafens München-Riem darstellt. Die gemäß der Literatur für Hub-and-Spoke-Netze getroffene Annahme, dass Drehkreuze dort positioniert werden, wo eine hohe Bevölkerungsdichte besteht, hätte an sich zu einem Hub-Flughafen im bevölkerungsreichsten Bundesland Deutschlands, Nordrhein-Westfalen, führen müssen, was angesichts einer Hub-Teilung zwischen Frankfurt a. M. und Nordrhein-Westfalen zu einer Entlastung von Frankfurt a. M. hätte führen können. Doch die Lufthansa verharrt weiterhin auf ihrem Primärhub Frankfurt, sodass für Interkontinentalflüge Passagiere von Nordrhein-Westfalen über Frankfurt a. M. oder München geleitet werden. Die Hubplanung ist also nicht nur ein verkehrspolitisches Thema, sondern bedarf auch des Willens einer Netzwerkfluggesellschaft, einen Hub zu gründen. Die vor einigen Jahren geführte Diskussion um einen Zweitflughafen in Frankfurt a. M. zeigt dies exemplarisch auf (vgl. Vahrenkamp, 2000), wonach die Lufthansa keinen Entlastungshub nahe Frankfurt a. M. wünscht.

Während Westeuropa sich einschließlich der Seeflächen auf ca. 7 Millionen km² erstreckt und damit knapp halb so groß ist wie das Gebiet der USA, ist der Luftraum mit 10,5 Millionen km² gegenüber dem Luftraum der USA um 0,7 km² größer (vgl. Zetsche, 2004, S. 26).

Die Luftverkehrsnachfrage verteilt sich keinesfalls homogen über die gesamte Fläche, sondern konzentriert sich auf industrielle Ballungsräume, wo hohe regionale Bevölkerungsdichten mit hohen verfügbaren Einkommen und ausgeprägtem Handel (vor allem im Dienstleistungssektor) vorzufinden sind. Aus der Lage dieser Ballungszentren in Europa lassen sich die für die großen Linienfluggesellschaften interessanten potenziellen Volumenmärkte für Passage und Fracht ableiten. Die Flughafeninfrastruktur in den europäischen Ländern spiegelt die Intention wider, das jeweilige Wirtschaftszentrum in das europäische Fluglinienetz einzubinden (beste Beispiele sind London, Paris und Frankfurt). So sind „natürliche Hubs“ entstanden, in denen Passagier- und Frachtströme zusammenfließen.

Etwa 80 Prozent dieser Räume industrieller und urbaner Konzentration liegen auf einem Kernraum des europäischen Festlands, verbunden mit dem südlichen Teil Skandinaviens und der Südhälfte Großbritanniens. Das Städtevieeck Dublin-Stockholm-Rom-Madrid (vgl. rote Linie in Abb. 25), das dieser Agglomeration von Ballungsräumen entspricht, besitzt eine Fläche mit nur der halben Gesamtausdehnung der EG. Aus dieser Tatsache lassen sich Besonderheiten des europäischen Luftverkehrsmarktes ableiten, wie in dieser Arbeit in Abschnitt 3.4 gezeigt wird.

Abbildung 25: Westeuropäischer Ballungs- und Kernraum
(Quelle: eigene Darstellung)

Der intra-europäische Flugverkehr besitzt aufgrund der geringen Ausdehnung dieses Vierecks einen hohen Anteil an Kurzstreckenverbindungen. Die maximalen Entfernungen liegen bei 2.600 km für die Strecke Madrid–Stockholm bzw. bei 2.400 km für die Strecke Rom–Stockholm. Eine ausgesprochen kurze Strecke liefert etwa das Städtepaar Amsterdam–Brüssel mit 160 km. Daraus leiten sich Flugzeiten zwischen einer halben und 2½ Stunden ab. Die durchschnittliche Fluglänge im AEA-Gebiet lag 1991 bei 800 km, die der reinen Inlandsflüge der europäischen Länder bei 448 km; in den USA dagegen bei 1.370 km.[17] Das AEA-Gebiet entspricht zwar nicht dem in Abbildung 25 betrachteten Städtevieck, sondern bedeckt vielmehr ganz Westeuropa, doch die Tatsache, dass der Großteil der Flüge in diesem Raum, weil Wirtschaftsraum, stattfindet, lässt eine Übertragung der Werte auf die durchschnittlichen Streckenlängen zu.

Betrachtet man die am meisten beflogenen Städteverbindungen innerhalb Europas[18], liegt der größte Teil auf einem Gebiet, das dem Städtevieck Liverpool-Malmö-Rom-Marseille entspricht und dessen Fläche mit ungefähr der Hälfte des vorher beschriebenen Städtevierecks, also mit etwa einem Viertel der EU-Ausdehnung, anzugeben ist (vgl. rosa Linie in Abbildung 25). Dadurch werden sowohl die starke Orientierung des intra-europäischen Luftverkehrs auf wenige zentrale Punkte als auch der Einfluss der beiden großen natürlichen Landverkehrsbarrieren, nämlich der Alpen und des Ärmelkanals, überaus deutlich. Angesichts der kurzen Strecken im europäischen Luftverkehr, etwa mit 365 Kilometern zwischen London und Paris, muss sich die Frage gestellt werden, ob der Luftverkehrsdienst hier überhaupt sinnvoll und auch rentabel sein kann. Möglicherweise wirkt sich aber gerade auf dieser Strecke die natürliche Restriktion des Kanals zwischen England und Frankreich positiv für den Luftverkehr aus, da Verkehrsdienste am Boden trotz des Eurotunnels (Schienenverkehr, Straßenverkehr) mit dieser Barriere umgehen müssen, und der Luftverkehr eben nicht.

80 Prozent der in Europa transportierten Fracht werden innerhalb dieses Vierecks befördert. Dieses Gebiet stellt den Kernmarkt in Europa sowohl für den Passagier- als auch für den Frachttransport dar. Bedient eine Fluggesellschaft dieses Gebiet, kann sie es im Gegensatz zu einem Nischenmarkt nach den für die Kernmärkte bekannten Wettbewerbsstrategien aus-

[17] Vgl. http://europa.eu.int/eur-lex/lex/LexUriServ/ LexUriServ.do?uri=CELEX:31994D0698:DE:NOT [abgerufen am 13.05.06].
[18] In Abbildung 25 sind diejenigen Flughäfen eingezeichnet, die Anfang der 1990er-Jahre mehr als eine halbe Million Passagiere zählten.

richten. Die Merkmale eines Kernmarkts sind meist Marktsättigung, geringes Wachstumspotenzial und harter Verdrängungswettbewerb, der zu einem harten Preiswettbewerb führt. Die für diese Marktkriterien vorherrschende Wettbewerbsstrategie richtet sich nach der Kostenführerschaft aus, d. h., die Fluggesellschaft hält bzw. gewinnt Marktanteile, mit denen sie die niedrigsten Preise bei gleicher Leistung anbieten kann.

Reichmuth (2008, S. 43 f.) zeigt in seinem Artikel angebotsstarke Fluggesellschaften in Europa auf. Für eine ausgewählte Juliwoche in 2007 wiesen die Routen Barcelona–Madrid und Mailand–Rom mit 77 000 Sitzen bzw. 41 000 Sitzen pro Woche das höchste inländische Angebot an Sitzplatzkapazität je Richtung in Europa auf. International war in derselben Woche die Verbindung London-Heathrow–Dublin mit immerhin 26 000 Sitzen pro Woche die am häufigsten geflogene Route zwischen zwei Ländern in Europa. Interkontinental stellte für diesen Zeitraum London-Heathrow–New York (John F. Kennedy Airport) die am meisten geflogene Flugstrecke dar. Innerhalb von Deutschland sind gemessen am Flugaufkommen die Strecken Hamburg–München und Berlin–München die aufkommensstärksten, hinsichtlich Fracht dagegen die Strecken Frankfurt–Leipzig gefolgt von Köln–München.

3.3 Bedeutung der Luftfracht für die global vernetzte Wirtschaft

Die nach der Deregulierung vornehmlich in den letzten Jahren fortschreitende Globalisierung wird mit als Ursache für den rasanten Anstieg der Luftverkehrsnachfrage gesehen. Die Deregulierung des Luftverkehrssektors gilt als ein wichtiger Meilenstein für die weltweite Globalisierung. Unter Globalisierung versteht man den Prozess der fortschreitend die Welt umspannenden Verflechtung in den Bereichen der Wirtschaft, Gesellschaft, Politik, Umwelt und Kommunikation. Somit vollzieht sich die Globalisierung auch innerhalb Europas. Der europäische Binnenmarkt beflügelt diesen Trend. Fluggesellschaften der Europäischen Union genießen seit mehr als zehn Jahren Niederlassungsfreiheit und dürfen ihre Dienstleistungen in allen 27 Staaten der Europäischen Union anbieten (vgl. Lufthansa, 2009). Die Globalisierung führte aufgrund einer weltweiten/europaweiten internationalen Arbeitsteilung, Vernetzung, Spezialisierung und Integration zu einer Strukturveränderung des internationalen Systems. In der Folge müssen Informationen, Daten, Personen und Güter möglichst schnell und weltweit zur Verfügung stehen. Für letztere spielen dabei die kurze Taktung der Lieferzeit und die Lieferbereitschaft eine eminente Rolle. In einer McKinsey-Studie wurde festgehalten, dass heute bereits 20 Prozent aller Produkte über Landesgrenzen hinweg transportiert und Güter mit bereits 40 Prozent des gesamten Exportwertes mit Flugzeugen versendet werden (vgl. Ploetzke, 2004, S. 4). Die Wirtschaftswachstumsrate entspricht einer zwei- bis vierfachen Multiplikator-Rate des Luftverkehrswachstums (vgl. Kollex und Sorrensen, 2005, S. 6). Dem länderübergreifenden Gütertransport kommt damit in einer globalisierten Weltwirtschaft eine zentrale Rolle zu. Es lässt sich deshalb sagen: Boomt die globale Weltwirtschaft, befindet sich auch die Luftfahrtbranche auf Expansionskurs.

Der Luftverkehr hat in diesem Wirtschaftsgeschehen eine wichtige Schlüsselposition eingenommen. Der vor allem dadurch erreichte schnelle Gütertransport von einem Ort an einen anderen ermöglicht erst die Ausweitung und Intensivierung der globalen Beziehungen im Wirtschaftsverkehr. Die Globalisierung ist auch kausal dafür, dass die durchschnittliche Transportentfernung an deutschen Flughäfen im Zeitraum von Anfang der 1990er bis 1998 von ca. 4.000 km auf 4.500 km zugelegt hat (vgl. Lufthansa, 2009). Umgekehrt gilt aber, dass eine Verschlechterung der Globalwirtschaft auch die Luftfracht nicht unverschont lässt. Jüngst hat sich dies in der Finanzmarktkrise von 2008/2009 manifestiert, wonach die Nachfrage nach Luftfracht weltweit und auch in Europa massiv zurückgegangen ist. Ein Grund für die funktionsfähige Symbiose zwischen Wirtschaft und Luftfracht liegt in der Zuverlässigkeit, Sicherheit und Schnelligkeit des Transports durch das Flugzeug. Das Flugzeug weist im Gegensatz zu den boden- bzw. wassergebundenen Verkehrsträgern den Vorteil auf, geografisch bedingte Hindernisse wie Berge und Wasser in minimaler Zeit überwinden zu können. Im Interkontinentaltransport und im Europatransport wird diesem Umstand im Besonderen durch den Luftfrachttransport Rechnung getragen. Aber auch im inner-europäischen Bereich

ist der Luftfrachtverkehr den zum Verkehrsflugzeug intramodalen Verkehrsträgern im Wasser und am Boden mit Abstand ab einer Entfernung von 1000 km überlegen.

Damit kommt dem Luftfrachtsektor auch innerhalb von Europa eine entscheidende Rolle zu. Zu denken wäre insbesondere an die Ausweitung in Richtung der Oststaaten, wo die aus intermodalen Wettbewerbsgründen kritische Schwelle von 1000 km auf vielen Transportrelationen überschritten wird und manchmal Luftfracht sogar auf kürzeren Strecken attraktiv ist, weil es in den Ostblockländern bisweilen noch an für den Bodentransport geeigneter Infrastruktur wie etwa Autobahnen fehlt.

Besonders bei zeitkritischem Transportgut über größere Strecken ist der Lufttransport nahezu konkurrenzlos. Für diesen sprechen aber auch die Schnelligkeit des Güterumlaufs, die Zuverlässigkeit in der Einhaltung von Transportlaufzeiten und die Sicherheit im Umgang mit dem Transportgut. Die immer kürzer werdende Lebensdauer von Produkten der verschiedenen Branchen gepaart mit der Globalisierung der Produktionsstandorte und der weltweiten Absatzmärkte werden den Transport von Gütern mit dem Flugzeug aufgrund der Schnelligkeit in vielen Branchen unumgänglich machen, sodass der Luftfrachtsektor in diesem Bereich keinen intermodalen Wettbewerber mehr befürchten muss (vgl. Vahrenkamp, 2007A, S. 12 f.).

Aber auch beim Transport von hochwertigen Gütern der Elektroindustrie, Informationstechnologie, Medizin etc. wird das hohe Maß an Sicherheit geschätzt, sodass für den Gütertransport das Flugzeug meist die erste Wahl ist. Aufgrund der allgemein hohen Sicherheitsvorkehrungen an den Flughäfen sowie der in Europa vorherrschenden strengen Kontrollbestimmungen für Luftfracht (vgl. EU-Verordnung 2320) gelten für den Transport von Luftfracht höhere Sicherheitsanforderungen als beim LKW- oder Bahntransport. Zwar eignen sich grundsätzlich alle Güter für den Transport mit dem Flugzeug. Es gibt aber einige Restriktionen, die in technischen Eigenschaften und wirtschaftlichen Kriterien zu sehen sind. Technisch spielen das Gewicht und die Größe der Fracht eine Rolle, da die Frachtkapazität von Flugzeugen von der Kapazität des Laderaums des eingesetzten Flugzeugtyps abhängt. Wirtschaftlich ist zu beachten, dass Luftfracht im Vergleich zum Bodentransport teurer ist, weshalb der Luftfrachttransport sich ökonomisch nur für hochwertige Güter eignet, da sich die höheren Transportkosten im Marktpreis des Produkts einkalkulieren lassen. Die Globalisierung führt aber zu sich stetig ändernden Anforderungen an den Transport von Gütern. Immer kürzere Sendungslaufzeiten, Veränderungen in der Struktur des Transportguts sowie der Art und Größe von Transportsendungen sind auszumachen und erklären nach den Flugzeugherstellern Boeing und Airbus die Wachstumsaussichten für die Luftfrachtbranche, wie in Abschnitt 3.4 noch erläutert wird. Diese Wachstumsanforderungen stellen hohe Anforderungen an die Luftfrachtgesellschaften, insbesondere an deren Infrastruktur.

Anforderungen an das Geschäftsmodell der Luftfrachtgesellschaften

Die Logistik der Belly-Frachtnetzwerke muss auf sich ändernde Anforderungen des Absatzmarkts schnell reagieren können. Aufgrund der immer kürzer werdenden Produktlebenszyklen in bestimmten Marktbereichen (etwa im Elektronikbereich bei den Handys) wird beginnend mit der Vermarktung in den ersten Monaten der Produktlebensdauer am meisten umgesetzt. Aus Marketingsicht ist es für diese Produkthersteller von erheblicher Bedeutung, eine schnelle Marktabdeckung mit den neuen Produkten zu erzielen. Das heißt aber auch, die Produkte müssen in einem globalen Absatzgebiet schnell und kostengünstig beim Endverbraucher eintreffen. Aus logistischer Sicht spielen kurze Transportlaufzeiten eine wichtige Rolle für die Profitabilität des Produkts. Neben Artikeln aus der Elektroindustrie weisen auch viele andere Produkte kurze, teils saisonal bedingte Produktlebenszyklen auf. Das beste Beispiel hierfür ist die Bekleidung. Insbesondere müssen in diesem Wirtschaftszweig die Entfernungen zwischen den meist in den Billigländern in Asien gelegenen Produktionsstandorten und den in den wohlhabenden Industrieländern angesiedelten Absatzmärkten überwunden werden, um dem Geschäftsmodell der Modebranche gerecht zu werden. Airlines gehen zunehmend dazu über, das Frachtangebot an spezielle Bedürfnisse der Frachtnachfrager

anzupassen. Die Lufthansa Cargo beispielsweise hat einen auf Bekleidungsartikel ausgerichteten speziellen Serviceprozess zwischen den Produktionsstandorten in Asien und den Absatzmärkten in den USA und Europa etabliert (vgl. Clancy und Hoppin, 2001). In diesem Zusammenhang ist es für die Luftfahrtgesellschaften angebracht, sich auf die aufgezeigten Anforderungen der Frachtnachfrage zu spezialisieren und den intramodalen Wettbewerb mittels einer Differenzierungsstrategie zu bestreiten. Gelingt es der Fluggesellschaft, eine Transportkette von den Produktions- zu den Absatzmärkten aufzubauen, die eine nahtlose, schnelle und sichere Beförderung der Produkte gewährleistet, wird der Nachfrager bereit sein, dafür einen höheren Preis zu bezahlen. Hierzu müssen aber die Voraussetzungen auf Seiten der Logistik des Luftverkehrsunternehmens geschaffen werden.

3.4 Relevante Kennzahlen zur europäischen Luftfracht

In den nachfolgenden Abschnitten wird auf die relevanten Luftfrachtkennzahlen und die Merkmale des jeweils aufgezeigten Luftfrachtmarktes eingegangen.

3.4.1 Historische Entwicklung der Luftfracht

Den Anfang der Luftfracht markiert das Jahr 1911, als erstmalig Postsendungen mit Flugzeugen transportiert wurden. In den 1920er-Jahren erfuhr der Luftfrachtverkehr einen Dämpfer, als die Beförderungskosten mangels niedriger Stückkosten in die Höhe schnellten und marktgerechte Kapazitäten nicht gestellt werden konnten. Erst in den 1960er-Jahren, als der reine Frachtverkehr in Großflugzeugen seinen Einzug hielt, konnten die Stückkosten deutlich reduziert werden und die Luftfracht gewann dank wettbewerbsfähiger Preise deutlich an Attraktivität. Seit dieser Zeit sind im Luftfrachtsektor auf allen Kontinenten überproportionale Wachstumsraten zu verzeichnen.

In den nachfolgenden Abschnitten werden die Luftfrachtkennzahlen und -merkmale der Gegenwart und der Zukunft weltweit, in Europa, in Deutschland, in der Schweiz und in Österreich nachgezeichnet.

3.4.2 Weltweite Luftfrachtkennzahlen und -merkmale

Laut Reichmuth (2008, S. 12) sahen die weltweiten Flugpläne im Jahr 2007 nahezu 36 Millionen Flugverbindungen vor. Die größten Luftverkehrsmärkte sind Nordamerika und Europa. Intra-kontinental weist Nordamerika die meisten Flüge auf, interkontinental ist die Transatlantikroute Nordamerika–Europa die am meisten geflogene Kontinentalverbindung.

Gegenwärtig fliegen weltweit mehr als 1,7 Milliarden Passagiere zwischen 10.000 Flughäfen (vgl. Landgraf und Tulit, 2002/2003, S. 1) auf mehr als 66 Millionen Flugbewegungen (vgl. Masterplan, 2004, S. 10). Experten erwarten bis zum Jahr 2010 einen Anstieg der Fluggäste auf mehr als drei Milliarden, was nahezu einer Verdoppelung der Passagierzahlen von 1999 gleichkommen wird (vgl. Heuser und Schöne, 1999, S. 1).

Die weltweit beförderte Luftfracht-Tonnage ist gegenwärtig um den Faktor 20 höher als noch vor vier Jahrzehnten (vgl. Kollex und Sorrensen, 2005, S. 6) und betrug 2002 weltweit 156.088 Frachttonnenkilometer (FTK) (Airbus 2003, S. 56). Obgleich die Luftverkehrsfrachtraten bloß verschwindende 2 bis 3 Prozent der Gesamttransportmenge ausmachen, stellten sie bereits 1999 ein Drittel des Gesamtfrachtwertes dar (vgl. Heuser und Schöne, 1999, S. 2). Mit dem Anstieg der Passagierzahlen geht analog die Erhöhung der Belly-Frachtkapazitäten auf Passagiermaschinen einher.

Als Fazit kann festgehalten werden, dass das Belly-Frachtaufkommen weltweit mit dem allgemeinen Wachstum des Luftfahrtsektors Schritt halten wird.

Zukünftige Wachstumsraten

Boeing (2005, S. 3) rechnet von 2005 bis 2024 mit einer Zunahme der Luftfrachttransportleistung von jährlich durchschnittlich 6,2 Prozent auf 400 Milliarden t·km (vgl. auch Maertens,

2001, S. 1). Insgesamt soll sich bis 2025 das mit Luftfracht beförderte Transportvolumen auf 582 Milliarden Revenue Tonne Kilometers (RTK) verdreifachen. Mit diesen Wachstumsraten käme es in dem Betrachtungszeitraum zu mehr als einer Verdreifachung der Tonnenkilometerleistung gegenüber der heutigen weltweiten Luftfrachtzahlen. Die IATA gelangt in einer jüngeren Statistik für den Zeitraum von 2008 bis 2027 zu den folgenden Wachstumskennzahlen:

	Prognose der Wachstumsraten (2008–2027)
Welt	5,8 %
Intra-Nordamerika	2,7 %
Lateinamerika-Nordamerika	5,6 %
Lateinamerika-Europa	5, 7 %
Europa-Nordamerika	5,1 %
Intra-europäisch	3,6 %
Mittlerer Osten – Europa	4,8 %
Afrika-Europa	6,2 %
Asien-Nordamerika	6,7 %
Europa-Asien	6,5 %
Intra-Asien	8,1 %
Südwestasien-Europa	6,0 %
Inland China	9,8 %

Tabelle 8: Weltweites Wachstum der Luftfracht zwischen 2008 und 2027
(Quelle: IATA, 2009)

Folgt man hingegen den Statistiken der IATA für die Luftfrachtkennzahlen des Jahres 2008, dann wächst der weltweite Frachtverkehr von 2008 bis 2027 jährlich um 5,8 Prozent, d. h. von 193,6 Millionen RTK auf 595,9 RTK. Dabei sollen die RTK der mit Luftfracht transportierten Postgutsendungen lediglich um 2,1 Prozent pro Jahr während derselben Periode ansteigen. Gleichzeitig wächst der asiatische Cargo-Markt am stärksten und wird eine führende Rolle im Luftfrachtverkehr einnehmen. Alleine im Inlandsnachfrageverkehr wird in China das Luftfrachtaufkommen jährlich bis 2027 um 8,1 Prozent zulegen und im intra-asiatischen Raum sich jährlich im selben Zeitraum um 9,9 Prozent steigern lassen. Die Verbindungen der Süd-Nord-Märkte, die Lateinamerika und Afrika mit Märkten der nördlichen Hemisphäre verbinden, werden für den aufgezeigten Betrachtungszeitraum in etwa die gleichen Wachstumsraten aufbringen, wie das weltweite Wachstum sich entwickeln wird. Dagegen werden der nordamerikanische und der europäische Kontinent weniger stark wachsen als die anderen aufgezeigten Gebiete. Die einzelnen voneinander unabhängig zustande gekommenen Prognosen weichen nur marginal voneinander ab.

Die nachfolgende Abbildung veranschaulicht die weltweiten durchschnittlichen Wachstumsraten des Luftfrachtverkehrs im Zeitraum von 2007 bis 2027 in einer optimistischen, einer normalen sowie einer pessimistischen Entwicklung und zeigt die vergangenen Frachtraten von 1997 bis 2007 und die prognostizierten Frachtraten von 2007 für die nächsten 20 Jahre bis 2027 auf. Demnach soll das Cargo-Aufkommen sich innerhalb der nächsten 20 Jahre verdreifachen, d. h. von 200 Milliarden RTK in 2007 auf 600 Milliarden RTK in 2027 im normalen Entwicklungsfall. Selbst bei pessimistischer Entwicklung prognostiziert Boeing in 2027 ca. 500 Milliarden RTK. In Durchschnittszahlen ausgedrückt, soll bei optimistischer Entwicklung eine durchschnittliche jährliche Wachstumsrate von 6,7 Prozent, bei einer normalen Entwicklung von 5, 8 Prozent und bei einer schwachen Entwicklung von 4, 8 Prozent eintreten.

Abbildung 26: Boeing World Air Cargo Forecast 2008/2009
(Quelle: Boeing, 2006)

Die in der nachfolgenden Tabelle abgebildeten weltweiten und heimischen Wachstumsprognosen von Luftfracht durch Airbus, sagen ähnliche Wachstumseffekte wie bei Boeing vorher. In der Vergangenheit lag von 1996 bis 2006 die durchschnittliche Wachstumsrate bei ca. 4,6 Prozent, d. h., von 1996 stieg der Anteil an FTK von ca. 75 Milliarden auf 150 Milliarden im Jahr 2006. Von 2006 bis 2026 wird eine durchschnittliche Wachstumsrate von 5,8 Prozent von Airbus veranschlagt. Das entspricht einer Steigerung von 150 Milliarden FTK in 2006 auf ca. 480 Milliarden FTK in 2026, sodass die Airbus-Schätzung unter der Erwartung von Boeing liegt. Bemerkenswert bei der Airbus-Studie ist, dass die weltweiten FTK mit einem Anteil von 85 Prozent gegenüber dem heimischen Anteil in 2006 im Jahre 2026 bereits 87 Prozent betragen sollen.

Abbildung 27: Wachstumsverdreifachung im Frachtverkehr in den nächsten 20 Jahren
(Quelle: Airbus Global Marketing Forecast 2007–2026, S. 112)

Einschnitte aufgrund der Weltwirtschaftskrise in 2008 und 2009

Bereits seit Juni 2008 nimmt der weltweite Luftfrachtverkehr immer mehr ab. Der Luftfrachtverkehr gilt bei Ökonomen als früher Indikator für die Entwicklung der Weltwirtschaft. Wäh-

rend sich in 2008 die Frachtnachfrage nur allmählich abschwächte, war im Februar 2009 weltweit nur noch ein durchschnittlicher Nutzladefaktor[19] von 59,5 Prozent bei den Luftfrachtgesellschaften zu verzeichnen (vgl. Spiegel, 14/2009). Es besteht offensichtlich zwischen der Frachtnachfrage und der allgemeinen Wirtschaftslage sowie der damit verbundenen Nachfrage im weltweiten Güterhandel eine Korrelation (International Air Transport Association), was aufgrund der Funktion des Luftfrachtsektors in der Globalisierung besonders spürbar ist. Erschwerend kommt hinzu, dass die für Luftfracht zugeschnittenen Nachfrager nach Luftfracht der Elektroindustrie die Produktion hochwertiger Güter deutlich zurückgefahren haben. Trotzdem scheint sich der Abwärtstrend im Luftfrachtsektor gemäß der IATA abzubremsen.

In einem Interview sagt der Cargo-Chef Franz Zöchbauer der Austrian Airlines eine Stabilisierung des weltweiten Luftfrachtsektors voraus (vgl. Prazak, 2009). Noch in ihrem Cargo Forecast 2008/2009 hatte Boeing das weltweite Luftfrachtwachstum mit 5,8 Prozent und eine Verdreifachung bis 2027 prognostiziert. Vertreter von Boeing bescheinigten in einer Konferenz in Kuala Lumpur, bei der die Luftfrachtzahlen vorgestellt wurden, „dem Luftfrachtverkehr eine schnelle Erholung von wirtschaftlichen Einbrüchen. Der Luftfrachtverkehr soll sich trotz der gegenwärtigen Marktprobleme und der instabilen Wirtschaftslage im langfristigen Trend wachstumsorientiert entwickeln“ (vgl. Prazak 2009). Vergleicht man die tatsächlich geflogenen FTK, die angebotenen Frachtkapazitäten (AFTK) und die Frachtladefaktoren (FLF) von August 2009 mit denen von August 2008 in ausgewählten Regionen, welche die IATA monatsweise veröffentlicht, so scheint Boeing mit ihrer attestierten Erholung des Luftfrachtverkehrs auf kurze Sicht falsch zu liegen.

Aug 09 versus Aug 08	FTK-Wachstum	AFTK-Wachstum
Afrika	-5.1 %	-1.3 %
Asien/Pazifik	-9.0 %	-10.7 %
Europa	-14.5 %	-10.6 %
Lateinamerika	3.9 %	9.5 %
Mittlerer Osten	3.0 %	7.3 %
Nordamerika	-12.1 %	-11.2 %
Industrie	**-9.6 %**	**-8.2 %**
FTK: Freight Tonne Kilometers (misst den tatsächlichen Frachtverkehr) AFTK: Available Freight Tonne Kilometers (misst die total verfügbare Frachtkapazität) FLF: Freight Load Factor entspricht der genutzten AFTK		

Tabelle 9: **Luftfrachtveränderungen**
(Quelle: IATA, 29.09.2009)[20]

Die Zahlen zeigen vielmehr Folgendes auf. Zum einen ist der Frachtladefaktor deutlich nach unten gegangen. Vor allem in Europa sank die tatsächlich geflogene Frachtrate am stärksten um 14,5 Prozent. Zum anderen wurden die Frachtkapazitäten um 10,7 Prozent gegenüber dem Vergleichsmonat in 2008 abgebaut.

Die nachfolgende Grafik veranschaulicht die Entwicklung der Luftfrachtvolumen in Tonnenkilometer nach Regionen. Es werden Regionen-weise die prozentualen Veränderungen gegenüber dem Vorjahr bezogen auf Dezember 2008 aufgezeigt. Demnach ist in Europa die nachgefragte Luftfracht um 23,1 Prozent eingebrochen und auf der Flugrelation von Europa nach Nordamerika um 20,7 Prozentpunkte, nach Afrika um 6,3 Prozent und von Afrika in den Mittleren Osten um 13,8 Prozent zurückgegangen. Besonders einschneidend war es im Fernen Osten, wo ein Rückgang um 28,6 Prozent zu verzeichnen ist.

[19] Eine Maßzahl für die Auslastung von Frachtflugzeugen.
[20] Http://www.iata.org/pressroom/facts_figures/traffic_results/2009-09-29-01.htm.

Abbildung 28: Entwicklung der Luft-Fracht-Volumen; größte Frachtfluglinien in 2008
(Quelle: Prazak, 2009)

3.4.3 Luftfrachtkennzahlen und -merkmale in Europa

Konzentrationserscheinungen in Europa

Thema dieser Arbeit ist die Konzentrationstendenz im Luftverkehrssektor. An dieser Stelle soll auf die Luftverkehrskennzahlen eingegangen werden, womit sich diese Tendenz manifestieren lässt. Gemäß Reichmuth (2008, S. 18 f.) konnten Linien- bzw. Netzwerkfluggesellschaften fast zwei Drittel aller Starts auf europäischen Flügen für sich verbuchen. Dahinter rangieren die Billigfluggesellschaften mit ca. 24 Prozent, gefolgt von den Regional- und Ferienfluggesellschaften von 10,3 Prozent bzw. 4,2 Prozent aller Starts. Bezogen auf die Luftverkehrsgesellschaften decken die 20 größten Linien-/Netzwerkfluggesellschaften vier Fünftel aller Flüge in ihrem Geschäftssegment ab. Im Segment der Ferienflieger und der Billigflieger wirkt sich die Konzentration mit 94 Prozent bzw. 90 Prozent bei den größten 20 Anbietern noch stärker aus. Bei den Regionalfluggesellschaften vereinigen die 20 größten Fluggesellschaften nur 64 Prozent der Flüge, sodass die Konzentration hier geringer ausfällt als in den anderen Segmenten.

Wachstum: Fortsetzung der Konzentrationstendenz

Die Flugzeughersteller Boeing und Airbus prognostizieren aufgrund der vorherrschenden Marktliberalität ein jährliches Wachstum des Flugverkehrsaufkommens von durchschnittlich 4,7 bis 5,1 Prozent bis zum Jahr 2010 (vgl. Airbus 2002, S. 19 f., Boeing, 2003, S. 7 f.) und dann bis zum Jahr 2019 von durchschnittlich 2,7 Prozent (vgl. Airbus, 2002, S. 5). Gegenwärtig werden alleine in Europa mehr als 20 Millionen Flugbewegungen verzeichnet. Der Luftverkehr stellt angesichts dieser Wachstumszahlen national wie international den Verkehrsmarkt mit der dynamischsten Entwicklung dar (vgl. Kollex und Sorrensen, S. 2005, S. 6). Bis zum Jahr 2010 werden 14 Millionen Flüge in Europa vorhergesagt (vgl. Zetsche, 2004, S. 33). Im Zeitraum zwischen 1998 und 2015 geht man gemäß einer gemeinsamen Untersuchung von IATA und ATAG von einer Verdoppelung der Passagierzahlen für intraeuropäische und über das europäische Territorium hinausgehende Flugrelationen auf dann 220,4 Millionen Fluggästen aus (vgl. Air Transport World, 2000). Die EU-Kommission rechnet bei einer Heranziehung der durchschnittlich in den letzten Jahren zu verzeichnenden Wachstumsraten von fünf bis sieben Prozent mit einer wahrscheinlichen Verdoppelung des Flugverkehrs ca. alle 12 Jahre (vgl. EU-Kommission, 2000, S. 7). Im Jahr 2002 wurden im Kernraum der Europäischen Union 9.863 Tausend Tonnen Luftfracht befördert (vgl. Eurostat/GD Energie und Verkehr, 2004, S. 18), ein Großteil davon in der Form als Belly-Fracht. Der Luft-

verkehr wächst schneller als die Gesamtwirtschaft (vgl. Lyle 1999, S. 20, Boeing, 2000), das Luftfrachtwachstum fällt im Vergleich jedoch bescheiden klein aus. Gemessen an den weltweiten Luftfrachtzahlen beträgt der innereuropäische Luftfrachtverkehr mit 2,654 Frachttonnenkilometern nur 1,7 Prozent des weltweiten Wertes. Die Wachstumsrate wird im Zeitraum von 2002 bis 2022 lediglich mit 5,8 Prozent angegeben und mit 0,4 Prozent weniger prognostiziert als die weltweite Wachstumszahl (vgl. Airbus 2003, S. 56).

Gemäß einer Aufstellung von Clancy und Hoppin (2004, S. 28) werden bei den Lieferrelationen innerhalb der europäischen Union im Jahr 2003 folgende Produktgruppen mit dem Flugzeug transportiert: Drei Prozent aller mit Luftfracht beförderten Güter sind Bekleidung, vier Prozent Computer, 21 Prozent verderbliche Güter, 21 Prozent Zwischenprodukte, 12 Prozent Maschinen und 40 Prozent andere Produkte. Aus der Statistik geht nicht hervor, welche Anteile in Frachtmaschinen und welche in Belly-Flugzeugen transportiert werden.

Flughäfen-Luftfrachtumschlag in Tonnen
Die in Europa gemäß einer Statistik aus 2006 größten Flughäfen mit Frachtumschlag sind Paris mit ca. 2,13 Millionen Tonnen, dicht gefolgt von Frankfurt mit 2,127 Millionen Tonnen. Amsterdam kommt mit 1,566 Millionen Tonnen auf Platz 3 und auf Platz 4 folgt London mit 1,343 Millionen Tonnen Fracht. Luxemburg und Köln bringen es auf 0,752 bzw. 0,691 Millionen Tonnen (Airports Council International, 2006).

3.4.4 Luftfrachtkennzahlen und -merkmale in Deutschland

Selbst bei moderaten Zuwachsraten sagt die Arbeitsgemeinschaft deutscher Verkehrsflughäfen für das Jahr 2010 rund 2,2 Millionen Flugbewegungen alleine für Deutschland voraus (vgl. BMVBW, 1998, S. 4).

Die Passagierzahl hat sich in Deutschland innerhalb der letzten 30 Jahre vervierfacht. Das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) relativiert hingegen die Passagierzahlen und errechnet für das gleiche Betrachtungsjahr lediglich 182,3 Mio. Passagiere für die 13 größten deutschen Flughäfen, wobei es in seinem Berechnungskalkül von potenziellen, aufkommenden Engpässen abstrahiert. Bezogen auf das Basisjahr 1995 bedeutet dies einen Anstieg von ca. 63 Prozent. In einer anderen Arbeit wird für dieselbe Betrachtungseinheit von einer Steigerung von nur 57 Prozent ausgegangen (vgl. Urbatzka et al., 1999, S. 120).

In Deutschland wird nach einer Prognose, die vor der Finanzmarktkrise in 2008/2009 abgegeben wurde, bis 2010 ein Frachtaufkommen von fast 4,5 Mio. Tonnen erwartet. Das entspricht fast dem doppelten Transportaufkommen im Vergleich zum Stand im Jahre 2002 (vgl. Eurostat/GD Energie und Verkehr, 2004, S. 18). Gemäß einer Statistik des Statistischen Bundesamtes (vgl. Statistisches Bundesamt, 2008) sind im Jahr 2007 insgesamt 3,4 Millionen Tonnen Fracht mit dem Flugzeug transportiert worden, das entspricht jeweils 1,7 Millionen Tonnen Ein- und Ausladungen. Gegenüber den letzten 30 Jahren hat sich das heimische Luftfrachtaufkommen sogar vervierfacht, seit Anfang der 1990er-Jahre wuchs es sogar um 60 Prozent (vgl. Statistisches Bundesamt, 2008). Die Zyklen solcher Anstiegsraten werden dabei immer kürzer. Während von 1970 an für die Verdoppelung der Frachttonnage noch 22 Jahre vergingen, wird aktuell dafür gerade mal eine halbe Dekade benötigt[21] (vgl. Beder, 1994, S. 105–118), womit Deutschland mit der europäischen bzw. weltweiten Entwicklung Schritt hält. Innerhalb von Europa zählt Deutschland zum wichtigsten Land im Luftfrachtverkehr (vgl. Statistisches Bundesamt, 2008). Dem Luftfrachtdrehkreuz Frankfurt a. M. kommt eine dominante Stellung unter den deutschen Flughäfen zu. Alleine 61 Prozent der gesamten in Deutschland zu verzeichnenden Luftfracht werden über diesen Airport abgewickelt, das entspricht ca. 2,1 Millionen Tonnen in 2007. Die nächstplatzierten Flughäfen Köln/Bonn und München können dagegen nur 0,7 bzw. 0,3 Millionen Tonnen für dieses Jahr verzeichnen (vgl. Statistisches Bundesamt, 2008). Bei den Frachtzahlen für Deutschland

[21] Alleine der Anteil des Luftfrachtverkehrsaufkommens ausschließlich auf Frachtflugzeugen hat sich im gleichen Zeitraum verdreifacht.

zeigen sich zwei Tendenzen auf den frachtaufkommensstarken Flughäfen. Während der Flughafenprimus Frankfurt a. M. überwiegend Transporte im Interkontinentalverkehr auf sich verbuchen kann, das entsprach in 2007 81 Prozent (sprich 892.000 Tonnen Einladungen und 918.000 Tonnen Ausladungen) aller per Luftfracht beförderten Güter, fallen die Flughäfen Köln/Bonn und München vornehmlich im innerdeutschen und innereuropäischen Verkehr auf, wobei München und Köln/Bonn bei der innerhalb von Deutschland beförderten Fracht mit Frankfurt Schritt halten können. München hatte in 2007 17.000 Tonnen Ein- und 15.000 Tonnen Ausladungen und Frankfurt im selben Zeitraum je 16.000 Tonnen Ein- und Ausladungen zu verbuchen. Köln/Bonn kam auf 19.000 Tonnen Ein- und 13.000 Tonnen Ausladungen. Betrachtet man den reinen intra-europäischen Verkehr, dann liegt Köln hier noch mit 229.000 Tonnen vor Frankfurt mit nur 137.000 Tonnen. Der innerdeutsche Luftfrachttransport ist im Vergleich zum internationalen Luftfrachtverkehr verschwindend klein. Lediglich zwei Prozent des gesamten Luftfrachtaufkommens werden im heimischen Gebiet befördert. Dabei wird zwischen Köln/Bonn und München die meiste Luftfracht transportiert, nämlich 15.000 Tonnen, was ein Fünftel des gesamten Aufkommens an Luftfrachtgütern ausmacht. Dem folgt die zweitstärkste Verbindung München–Frankfurt mit 13.000 Tonnen, sprich 18 Prozent des Gesamtaufkommens von Deutschland. Im Interkontinentalverkehr wurden 46 Prozent der Gesamtluftfracht nach Asien gebracht, das entspricht 1,5 Millionen Tonnen. In europäische Länder wurden 0,9 Millionen Tonnen Luftfracht von Deutschland aus geflogen, annähernd so viel nach Amerika (0,8 Millionen Tonnen). Interessant ist dabei, dass in Europa Istanbul den aufkommensstärksten Flughafen mit 72.000 Tonnen umgeschlagener Fracht darstellt (vgl. Statistisches Bundesamt, 2008).

Luftfrachtaufkommen in tausend Tonnen nach Streckenzielgebieten ausgehend von deutschen Flughäfen

Betrachtet man in der nachfolgenden Abbildung die Luftverkehrsströme von Deutschland heraus, dann geht der größte Anteil mit 551,8 Tausend Tonnen nach Asien, gefolgt von Nordamerika mit 366,9 Tausend Tonnen. Der afrikanische Kontinent wird immerhin noch mit 97,6 Tausend Tonnen Fracht von Deutschland aus beliefert, sodass er bei der interkontinentalen Luftfrachtbeförderung Platz 3 einnimmt noch vor Südamerika, wohin lediglich 21,2 Tausend Tonnen transportiert werden. Bei dem intra-europäischen Luftfrachtaufkommen dominieren die Britischen Inseln mit 106,8 Tausend Tonnen. Dahinter folgt der europäische Teil der Russischen Föderation mit 63,6 Tausend Tonnen transportierter Luftfracht aus Deutschland. Spanien und Portugal kommen auf 59,7 Tausend Tonnen. Dahinter reihen sich Frankreich mit 47,9 Tausend Tonnen und Belgien mit 42,8 Tausend Tonnen ein. Die Türkei kommt auf 40,2 Tausend Tonnen Fracht und Schweden kann 30,9 Tausend Tonnen Fracht aus Deutschland verzeichnen.

Die relativ schwachen Transportmengen an Luftfracht von Deutschland in die Länder auf dem europäischen Kontinent lassen sich mit der starken Konkurrenz des Lastkraft- bzw. Eisenbahnverkehrs erklären, da diese Länder mit im Boden gebundenen Verkehrsträgern sehr schnell und ohne geografische Barrieren erreichbar sind. Der Ärmelkanal als natürliche Barriere hingegen verschafft dem Luftfahrtsektor Wettbewerbsvorteile, weil die Verschiffung von Lastkraftwagen über den Ärmelkanal bzw. der Eisenbahnverkehr hier eindeutig Nachteile gegenüber dem Flugzeug erfährt. Insofern lassen sich die vergleichsweise hohen Luftfrachtanteile von Deutschland nach Großbritannien plausibel erklären.

Abbildung 29: Luftverkehrsströme von Deutschland
(Quelle: DLR Luftverkehrsbericht 2007, S. 23)

Einschnitte aufgrund der Wirtschaftskrise 2008 und 2009

Bereits in 2008 sind im Vergleich zu 2007 im deutschen Luftfrachtsektor erhebliche Einbußen zu verzeichnen gewesen. Zwar sind in 2008 auf deutschen Flughäfen noch mehr Frachtgüter umgeschlagen worden als in 2007. Seit Juli 2008 sind die Einbrüche in der deutschen Luftfahrtbranche jedoch nicht mehr aufzuhalten. Die Auslademenge ist in 2008 um 6,9 Prozent auf 1,76 Millionen Tonnen und die Einlademenge um 3,8 Prozent auf 1,79 Millionen Tonnen gestiegen. Die Steigerungen gingen aber zu Lasten der Langstrecken, während auf den Kurz- und Mittelstrecken zugelegt werden konnte. So stieg in 2008 der innerdeutsche Luftfrachtverkehr um mehr als ein Drittel an. Auf europäischen Strecken von Deutschland aus konnten die Airlines um 12,8 Prozentpunkte zulegen. Bei den Ausladungen gab es gar eine Steigerung um 23,1 Prozent. Dagegen sind die interkontinentalen Märkte in Asien und Amerika bei den Einladungen massiv eingebrochen, jedoch bei den Ausladungen leicht gestiegen. Die großen Frachtflughäfen Frankfurt (-2,6 %), Köln (-19,2 %) und München (-1,4 %) mussten Einbußen hinnehmen[22].

Gemäß einer Pressemitteilung der Lufthansa[23] im Januar 2009 ist das Frachtaufkommen bei der Tochter Cargo um mehr als ein Viertel auf 96.000 Tonnen eingebrochen. Den größten Nachfragerückgang musste die größte deutsche Airline im Verkehrsgebiet Europa hinnehmen, was mit den IATA-Statistiken einhergeht. Die Lufthansa fuhr daraufhin ihre Frachtkapazitäten in Europa um 4,2 Prozent zurück. Zu Beginn des Jahres 2009 verzeichnete die Lufthansa Cargo im Vergleich zum Vorjahr Absatzrückgänge von 23,2 Prozent und unter Einbeziehung der Belly-Frachtkapazitäten wurde das Luftfrachtangebot um 4,9 Prozent nach unten korrigiert. Der Frachtladefaktor aller Fluggesellschaften im Lufthansakonzern ging im betrachteten Zeitraum um 11,9 Prozent auf 50,4 Prozent zurück.

Im ersten Quartal 2009 ging laut einer Veröffentlichung des Statistischen Bundesamts in Deutschland der Frachttransport um 14,7 Prozent zurück[24]. Bei der Luftfracht war der Ein-

[22] Http://www.news.de/wirtschaft/771225976/seit-Juli-stark-sinkende-auftraege/1/Artikel vom 12.02.2009, [abgerufen am 13.02.2009].
[23] Vgl. Deutsche Lufthansa AG (News/Aktienkurs) in Dow Jones.
[24] Vgl. Statistisches Bundesamt, Luftverkehr, 1. Quartal.

bruch insbesondere im Auslandsverkehr vehement. Allerdings verzeichnete der innereuropäische Luftfrachtverkehr nur eine geringe Abnahme von 2,7 Prozent, bei den Einladungen für Transporte nach EU-Länder konnte um 3,9 Prozent und bei den Ausladungen sogar um 14,4 Prozent gegenüber dem Vorjahresergebnis zugelegt werden.

Die Luftfrachtpreise von und nach Deutschland sind im zweiten Quartal 2009 auf ein Rekordtief gefallen. Folgt man den Erhebungen des Statistischen Bundesamtes, dann sanken die Luftfrachtpreise im Vergleich zum ersten Quartal 2009 um durchschnittlich 10,1 Prozent, womit drei Quartale in Folge Rückgänge der Frachtpreise nach sich zogen. Als Ursache wird die fehlende Nachfrage nach Luftfracht wegen der Wirtschaftskrise ausgemacht. Die größten Preisnachlässe mussten die Airlines auf den Interkontinentalstrecken einräumen, dort fielen die Preise für Luftfrachtziele innerhalb von Europa um 25 Prozent *(dpa)*[25].

Anhand dieser Wachstumsentwicklung lässt sich ableiten, dass der Frachtsektor im Interkontinentalbereich offensichtlich stärker von globalen Wirtschaftskrisen betroffen ist als innerhalb von einzelnen Ländern oder des Kontinents. Hier spielt aber Belly-Fracht die größte Rolle, was wiederum impliziert, dass der Belly-Frachtsektor weniger von Wirtschaftskrisen in Mitleidenschaft gezogen wird. Netzwerkfluggesellschaften sollten deshalb die Vermarktung der Belly-Frachtkapazitäten strategisch verfolgen.

3.4.5 Luftfrachtkennzahlen und -merkmale in der Schweiz

Der Schweizer Luftverkehrsmarkt besteht aus den folgenden Flughäfen, die allesamt im Netz der in der Schweiz marktbeherrschenden Fluggesellschaft Swiss angeflogen werden:

- Zürich als Europa- und Interkontinentalhubflughafen,
- Bern als Regionalflughafen,
- Basel/Mühlhausen als Sekundärflughafen mit Direktflügen nach Europa,
- Lugano als Regionalflughafen,
- Genf als Sekundärflughafen mit Direktflügen nach Europa.

Swiss

Die Luftverkehrsgesellschaft Swiss ist in der Kategorisierung eine kleine Netzwerkgesellschaft, die ein auf die Schweiz zugeschnittenes Hub-and-Spoke-Netzwerk mit einem Hub-Flughafen in Zürich unterhält. Das Netzwerk weist im Inland Feeder-Flüge zum Drehscheibenflughafen Zürich auf und in Europa und interkontinental werden auf dedizierten Strecken Mittel- und Langstreckenflüge angeboten. Das Geschäftsmodell der Swiss umfasst den Passagier- und den Belly-Frachtbereich.

Über das Belly-Frachtangebot der Swiss ist wenig veröffentlicht worden, sodass die folgenden Ausführungen aus einer Selbstdarstellung der Schweizer Luftfahrtgesellschaft herrühren.

Die Schweiz ist in der globalisierten Weltwirtschaft eines der am stärksten international ausgerichteten Länder. Die Volkswirtschaft des Landes ist spezialisiert auf die Produktion hochwertiger Güter, die weltweit nachgefragt werden. Die Uhrenindustrie sei hier exemplarisch genannt. Gemäß einer Studie von A.T. Kearney und dem Magazin „Foreign Policy“ attestiert man der Schweiz hinter Singapur, Hongkong und den Niederlanden den vierthöchsten Globalisierungsgrad weltweit. Damit zählt die Schweiz zu den Volkswirtschaften, die am meisten von der Globalisierung profitieren, aber auch in der Krise am stärksten gebeutelt werden. Der schnelle und sichere weltweite Güteraustausch ist für die Außenwirtschaft des stark exportabhängigen Alpenlands besonders bedeutsam. Dabei muss dem Umstand im besonderen Maße Rechnung getragen werden, für die hochwertigen, hoch sensiblen Produkten

[25] dpa-Meldung: http://www.dvz.de/nc/content/news/transport/einzelseite-transport/datum/2009/10/01/uid12357-luftfracht-im-zweiten-quartal-erneut-billiger.html, [abgerufen am 07.11.2009].

schnelle und sichere Transportmittel vorhalten zu können. Der Großteil des Frachtaufkommens der Eidgenossen geht ins Ausland. Obgleich der Frachtanteil der Schweiz, der über die Luft die Schweizer erreicht, nur etwa ein Prozent ausmacht, entspricht er ca. 16 Prozent des Gesamtwerts aller importierten Güter. Insgesamt verzeichnet die Schweizer Frachtstatistik für das Jahr 2006 einen mit Luftfracht transportierten Güterwert von 60 Milliarden Schweizer Franken, das entspricht einem Drittel der von der Schweiz exportierten Güterwerte und ca. 4 Prozent der gesamten Schweizer Frachttonnage. Der Import im Gegenzug ist deutlich abgeschwächter, impliziert aber auch im Luftfrachtsektor einen höheren Warenwert als im Bodenverkehr.

Der Luftfracht kommt der geografische Nachteil der Barriere durch die Alpen zugute, wodurch der effiziente Transport am Boden erschwert wird. Die Belly-Fracht entspricht nahezu dem vollständigen Luftfrachtaufkommen in der Schweiz, da die Swiss WorldCargo, die Frachttochter der Swiss Airline, keine eigenen Frachtflugzeuge im Einsatz hat. Das zur Beförderung in Auftrag genommene Luftfrachtgut wird nahezu vollständig im Bauch der Passagiermaschinen transportiert. Da die Swiss-Cargo-Tochter quasi Marktführer im Luftfrachttransport ist und den Großteil der Marktanteile der Schweizer Luftfracht für sich verbuchen kann, sind die angenommenen Zahlen zur Belly-Fracht plausibel zu erklären. Unter diesem Gesichtspunkt war die Übernahme der Swiss durch die Lufthansa strategisch bedeutsam, weil in der Schweiz ein Luftfrachtbetrieb ohne nennenswerte Mitbewerber im Luftfrachtsegment bestritten werden kann und das eigene Netz über die Ausdehnung des Gebiets der Schweiz hinzugewinnt.

Im Vergleich zum Bodentransport wird Belly-Fracht in der Schweiz teurer angeboten, weshalb sich das Belly-Frachtangebot nur für hochwertige Güter lohnt, bei denen sich die höheren Frachtgebühren wegen der hohen Sicherheit, Schnelligkeit und Zuverlässigkeit des Luftverkehrs bezahlt machen. Der Grund für die Verteuerung der Fracht sind vor allem die kurzen Flugstrecken, bei denen die mit einer längeren Strecke verbundene Degression der variablen Kosten nicht greift. Selbst unter diesem Aspekt ist aber Belly-Fracht nur dann in der Schweiz profitabel bestreitbar, wenn sie in einem dichten Fluglinienetz über die Landesgrenzen hinweg befördert werden kann. Dazu muss die regional verteilte Fracht des Landes zentralisierbar sein, weshalb das Hub-Konzept am Flughafen Zürich unentbehrlich ist und das Luftverkehrsnetz der Swiss zwingend nach dem Hub-and-Spoke-Prinzip aufgebaut sein muss. Allerdings fehlte es in der Vergangenheit im Schweizer Netzwerkbetrieb an Fluggast- und Frachtaufkommen, sodass die Airline nicht profitabel arbeiten konnte. Erst durch die Integration des Schweizer Hub-and-Spoke-Systems in das der Lufthansa mit der Zielsetzung eines abgestimmten Flugbetriebs und rentableren Streckendienstes kam die Schweizer Airline aus der Verlustzone heraus. Aus der Schweiz heraus ist Zürich an das internationale Netz der Lufthansa angeschlossen, innerhalb der Schweiz wird der Verkehr in Zürich eingesammelt, gebündelt und von Zürich weg transportiert.

Hub-Relevanz des Flughafens Zürich für den Europa- und Interkontinentalverkehr

Der Flughafen Zürich ist ein ehemaliger Natural-Hub des Schweizer Luftverkehrsnetzes, das aber seit jeher eine starke Präsenz an Interkontinentalflügen aufweist. Der Drehscheibenflughafen konnte sich nach der Übernahme der Swiss durch die Lufthansa trotz seiner Eigenschaft eines Hinterland-Drehkreuzes in Bezug auf die anderen Hubs der Lufthansa (München, Frankfurt, Wien) gut behaupten. Er erfuhr nach der Integration in das Lufthansa-Netz im Interkontinentalverkehr nur marginale Einbußen, auch wenn es auf bestimmten Kontinentalstrecken zu einem starken Anstieg an Umsteigern am Frankfurter Flughafen gekommen ist. Umgekehrt dient der Lufthansa der Züricher Hub als Umsteigeflughafen für bestimmte Afrika-Streckendienste, die die Swiss übernimmt. Der Flughafen Zürich stellt auch für Luftfracht den in der Schweiz dominierenden Flughafen dar, da er im Hub-and-Spoke-Netzwerk die Funktion der Bündelung der Luftfracht übernimmt, die über die Landesgrenzen hinaus befördert wird. Im Frachtsegment spielt der Flughafen Zürich eine zentrale Rolle. Gemäß den Angaben der Swiss werden jährlich mehr als 370.000 Tonnen Luftfracht im Züricher Hub umgeschlagen. Der Wert dieser Luftfracht wird mit 88,7 Milliarden Schweizer Fran-

ken angegeben. Die anderen Flughäfen der Schweiz nehmen im Frachtsegment praktisch nur die Rolle des Zulieferers zum Flughafen Zürich ein. Zürich verdankt diese Position in erster Linie seiner Stellung als großer Interkontinentalflughafen mit zahlreichen Direktverbindungen. Der Flughafen Zürich ist im Interkontinentalverkehr mit 51 Städten in 28 Ländern verbunden, ohne die europäischen Destinationen hier mitzuzählen. Von Zürich werden vorwiegend nordamerikanische und asiatische Ziele bedient. Fast die Hälfte der über den Flughafen Zürich transportierten Exportgüter ging 2007 in die beiden Kontinente. Von den importierten Gütern, die per Luftfracht in die Schweiz gelangten, kommt die Hälfte aus Nordamerika und immerhin ein Drittel davon stammt aus Asien.

Relevanz der Luftfracht für die Rentabilität der Passagierflüge der Swiss
Auch für die Schweizer Fluggesellschaft gilt, dass sich die Passagierflüge nicht rentabel bestreiten lassen ohne Luftfracht. Der Swiss WorldCargo, dem Cargo-Tochterunternehmen der Swiss, kommt dabei das gut ausgebaute Netz der Swiss-Passagierflotte zugute, mit der sie im Bauch der Maschinen den überwiegenden Frachtanteil befördert. Luftfrachttransport in reinen Frachtmaschinen spielt bei der Cargo-Gesellschaft nur eine sehr untergeordnete Rolle. Allerdings lässt sich konstatieren, dass die Luftfracht-Abteilung mit dem Belly-Frachttransport jährlich zwischen 12 und 15 Prozent zum Gesamtumsatz des Geschäftsbereichs Passage beiträgt. Vertreter der Swiss selbst argumentierten, dass sich ohne Belly-Fracht die meisten der im Netz eingesetzten Strecken nicht profitabel bestreiten ließen. Umgekehrt hängt der Geschäftserfolg der Cargo-Sparte von der Passagiersparte ab, denn wenn nicht genügend Passagierflüge nach vielen Destinationen angeboten werden können, könnte im Frachtbereich kein attraktives Transportgebiet offeriert werden, infolgessen die Profitabilität des Cargo-Sektors infrage gestellt wäre. Ohne Hub-and-Spoke-System in der Schweiz könnte dieses Modell folglich nicht praktiziert werden.

Wachstumskennzahlen und Einschnitte wegen der Wirtschaftskrise in 2008 und 2009
Die Schweizer Luftfrachtbranche konnte in der vergangenen Dekade durchschnittlich jährlich um 6 bis 7 Prozent zulegen und wird vielfach mit der Intensivierung der weltweiten Globalisierung in Verbindung gebracht. Folgt man Branchenkennern, dann soll es bis zum Jahr 2025 zu einem Anstieg des mit Luftfracht beförderten Transportvolumens von bis zu 300 Prozent kommen. Das von Swiss WorldCargo betriebene Frachtgeschäft erhielt im ersten Quartal 2009 einen herben Dämpfer. Der nach Volumen gemessene Frachtladefaktor lag nur noch bei 66,8 Prozent und rutsche damit um 18,4 Prozent unter den entsprechenden Vorjahreswert (2008: 85,2 %).[26]

3.4.6 Luftfrachtkennzahlen und -merkmale in Österreich

Der Luftverkehrsmarkt in Österreich weist starke Ähnlichkeit zu dem in der Schweiz auf. Luftfrachttransport in Österreich ist dominiert durch das Einsammeln kleinerer Transportmengen von Speditionen aus Österreich und Osteuropa, um sie gebündelt vom Drehscheibenflughafen auf Europa- und Interkontinentalstrecken zu verschicken. Die Luftfracht nimmt laut einer neueren Veröffentlichung durch die österreichische Wirtschaftskammer lediglich 0,04 Prozent am gesamten Transportaufkommen in Österreich ein.[27]

Österreich verfügt über die nachfolgenden Flughäfen:
- Wien/Schwechat in der Funktion des Europa- und Interkontinentalhubs,
- Linz als Regionalflughafen,
- Salzburg als Regionalflughafen,
- Graz als Regionalflughafen,
- Klagenfurt als Regionalflughafen,
- Innsbruck als Regionalflughafen.

Von den Regionalflughäfen werden innerhalb von Österreich Direktflüge zu anderen regiona-

[26] Http://www.news.de/wirtschaft/771225976/seit-Juli-stark-sinkende-auftraege/1/, [abgerufen am 12.10.2009].
[27] Ebd.

len Airports angeboten. Von jedem Flughafen besteht eine Verbindung zum Hub-Flughafen Wien für den Transport der Feeder-Frachtaufkommen. Vereinzelt werden auf den Regionalflughafen auch Destinationen in Europa bedient.

Austrian Airlines

Die nationale Luftfahrtgesellschaft Austrian Airlines AG (AUA) ist der einzige internationale Liniendienst des Landes. Die AUA entspricht in dieser Kategorisierung einer kleinen Netzwerkgesellschaft, die ein auf Österreich zugeschnittenes Hub-and-Spoke-Netzwerk mit einem Hub-Flughafen in Wien unterhält. Das Netzwerk weist im Inland Feeder-Flüge zum Drehscheibenflughafen Wien auf, und in Europa sowie interkontinental werden auf dedizierten Strecken Mittel- und Langstreckenflüge angeboten. Insbesondere ist die Airline in Zentral- und Osteuropa aktiv. Das Geschäftsmodell der AUA umfasst den Passagier- und den Belly-Frachtbereich. AUA verfügt dank ihrer bis heute noch vorhandenen Stellung als Flag Carrier die höchsten Marktanteile im Luftverkehrssektor Österreich. Der Umsatz der Cargo-Sparte macht ca. sieben Prozent des Gesamtumsatzes der AUA aus. Bei Langstreckenflügen trägt das Frachtgeschäft bis zu 20 Prozentpunkte des Umsatzes bei (vgl. Prazak, 2009). Die AUA betreibt im Belly-Frachtsektor gegenüber ihren intermodalen Wettbewerbern eine Differenzierungsstrategie. Zöchbauer, Leiter des AUA-Cargo-Bereichs, gibt in einem Zeitungsbericht (vgl. Prazak, 2009) an, dass sich durch das Setzten auf Qualität von Mitbewerbern abgehoben wird. Ebenso verweist er dabei auf ein Qualitätsranking, bei dem die AUA innerhalb Europas stets unter den Top 3 sei. Der Cargo-Chef der AUA verfolgt dabei das Ziel, den Rückgang im Frachtbereich durch eine Intensivierung des Frachtangebots für spezielle hochwertige Produkte zu kompensieren. So soll etwa die Versendung von temperatursensitiven Gütern, worauf sich die AUA durch Express-Zustellungen spezialisiert hat, ausgeweitet werden. Solche Frachtangebote werden z. B. sehr stark in der Medizin- und Pharmaindustrie nachgefragt. Mithilfe der Differenzierungsstrategie beabsichtigt die Airline, gegenüber Wettbewerbern Marktanteile behalten bzw. hinzugewinnen zu können. Schließlich sei ein Spezialfrachtangebot weniger leicht durch Konkurrenten austauschbar.

Neben der Ebene der Qualität im Belly-Frachtbereich bestreitet die AUA ihren Wettbewerb in einem erschlossenen Marktgebiet in Ost-Europa, das von vielen Netzwerkfluggesellschaften in Europa nicht bedient wird. In diesem Segment ist AUA ein Nischenanbieter. So hält die österreichische Fluggesellschaft eine Minderheitsbeteiligung an der Fluggesellschaft „Ukraine International Airlines“. In Kooperation mit der ukrainischen Airline finden von Wien nach Kiew wöchentlich fünf reine Frachtflüge mit einer Frachtmaschine der Ukrainer statt, wobei pro Flug 260 Tonnen befördert werden. Von den 260 Tonnen stammen 160 Tonnen aus dem Road-Feeder-Verkehr. Die AUA selbst transportiert jährlich 150.000 Tonnen Luftfracht in Passagiermaschinen, da ihr selbst kein eigenes Frachtflugzeug zur Verfügung steht (vgl. Prazak, 2009). Sie sammelt Belly-Fracht von den Regionalflughäfen innerhalb Österreichs ein.

Hub-Relevanz des Flughafens Wien für den Europa- und Interkontinentalverkehr

Hinsichtlich der Relevanz gilt für den Wiener Flughafen das Gleiche wie für den Züricher Flughafen. Gemäß einem Geschäftsbericht der AUA wurden in Wien in 2008 187.303 Tonnen Fracht umgeschlagen. Von Januar bis Juli 2009 verzeichnete Wien ein Cargo-Gesamtaufkommen von 134.000 Tonnen, was im Vergleich zum gleichen Vorjahreszeitraum einem Rückgang von 14 Prozent entspricht (vgl. Verkehrsrundschau.de[28]). Der Frachtwert umfasst die geflogene als auch per LKW transportierte Luftfracht. In Wien erfolgt der Umschlag von ca. 98 Prozent des gesamtösterreichischen Luftfrachtaufkommens. Insgesamt liegt das Cargo-Aufkommen von allen österreichischen Flughäfen in 2008 bei ca. 214.000 Tonnen. Damit nimmt der österreichische Hub-Flughafen im Vergleich zu den großen Umschlagflughäfen eine unbedeutende Rolle ein. Von Wien werden ausgewählte Ziele in Asien und Nordamerika bedient. Korean Air fliegt auch Fracht von Korea nach Wien in reinen Frachtflugzeugen.

[28] Http://www.verkehrsrundschau.de/wien-gebremster-sturzflug-bei-luftfracht-870125.html.

Relevanz der Luftfracht für die Rentabilität der Passagierflüge der AUA
Hier gilt analog für die AUA, was bereits für die Swiss Airline aufgezeigt wurde.

Einschnitte aufgrund der Wirtschaftskrise in 2008 und 2009
Die AUA hatte beim Luftfrachtverkehr in 2008 ein Minus von 23 Prozent zu verzeichnen, was dem durchschnittlichen Rückgang der Branche gemäß der IATA entspricht. Allerdings umfasst die Zahl auch die mit der Bereinigung des Flugnetzes stillgelegten Routen, sodass der Rückgang im Luftfrachtsektor krisenbedingt niedriger ausfiel als im Branchenvergleich.

4 Institutioneller und rechtlicher Rahmen des Luftfrachtsektors

Thema dieses Kapitels sind die in Europa und im Besonderen in Deutschland vorherrschenden institutionellen und rechtlichen Bedingungen der Luftfrachtbranche. Es wird der Frage nachgegangen, welche wettbewerbsbedingten Restriktionen in Europa bzw. in Deutschland bei der Übernahme einer Fluggesellschaft bestehen. Weiterhin wird aufgezeigt, welche Wettbewerbsvorschriften und -auflagen bei der Integration eines Übernahmenetzes zu beachten sind, um die mit der Integration einhergehenden Ziele eines effizienten Netzbetriebs und eines abgestimmten Flugbetriebs zu ermöglichen. Diesbezüglich werden zunächst die wettbewerbstheoretischen Grundlagen herausgearbeitet.

Die Konfiguration eines integrierten Hub-and-Spoke-Netzes erfordert die Festlegung

- der Menge der Flughäfen,
- welche der Flughäfen eine Hub-Funktion übernehmen,
- ob bei Flügen Zwischenstopps über den Hub oder andere Flughäfen erlaubt sind,
- der Flugstrecken und der Flugfrequenzen.

Die Frage, welche Wettbewerbsbedingungen im Rahmen des Netzaufbaus bzw. der -integration zu beachten sind, steht im Fokus dieses Kapitels. Die Wahl der Hubs wird dabei als das Lokations-Problem und die übrigen zur Netzgestaltung zu treffenden Parameter werden als das Allokations-Problem behandelt.

4.1 Institutionen und rechtlicher Rahmen eines europaweiten Luftverkehrsbetriebs

4.1.1 Institutionen des Luftverkehrs in der EU und in Deutschland

Trotz der Liberalisierung in den 1970er-Jahren steckt der europäische Luftverkehr in einem weit gefassten institutionellen und rechtlichen Rahmen (vgl. Vahrenkamp, 2007A, S. 3).

- *Rechtlicher Rahmen*: In rechtlicher Hinsicht ist nach wie vor das deutsche Luftverkehrsgesetz[29] einschlägig, auf dem diverse Verordnungen fußen, wie etwa die Luftverkehrsordnung[30]. Nicht subsidiär zum deutschen Recht ist auf der Ebene der Europäischen Union die Verordnung EWG 2408/92 zu beachten, die den freien Zugang der Luftfahrtgesellschaften im intra-europäischen Verkehr regelt und als Ergebnis für den freien Binnenmarkt im gemeinschaftsweiten Luftverkehrssektor steht.
- *Institutionen*: Auf institutioneller Ebene sind in der EU Organisationen gegründet worden, die neben den nationalen Institutionen die Koordination des zivilen Luftverkehrs in der EU bzw. in den Ländern regeln. Die wichtigste Organisation auf europäischer Ebene stellt die European Civil Aviation Conference (ECAC) dar. Für die Koordination der internationalen Zivilluftfahrt ist die International Civil Aviation Organisation (ICAO) ins Leben gerufen worden. Die International Air Transport Association (IATA) hat eine Holdingfunktion und führt dabei den Linienverkehr der Fluggesellschaften durch (Trommer, 1997). In Deutschland ist darüber hinaus das Luftfahrt-Bundesamt zu nennen.[31] Die europäischen Luftfahrtunternehmen bilden in der Association of European Airlines (AEA) ein Bündnis. Auf der Ebene der europäischen Verkehrsflughäfen hat sich die Institution Airport Council International (ACI) herausgebildet. Für deutsche Flughäfen heißt der Verband Arbeitsgemeinschaft Deutscher Verkehrsflughäfen (ADV).
- *Luftverkehrsabkommen*: Für die Zivilluftfahrt sind die Abkommen von Chicago und War-

[29] In der gültigen Fassung von 1999.
[30] In der gültigen Fassung von 2006.
[31] In Österreich: Oberste Zivilluftfahrtbehörde, in der Schweiz: Bundesamt für Zivilluftfahrt.

schau international von Bedeutung. Weiterhin sind als Folge der Deregulierung des europäischen und deutschen Luftverkehrsmarktes für Flüge von Deutschland bzw. Europa zu Zielen außerhalb der EU bilaterale, zwischenstaatliche Verträge ausgehandelt worden. Gängige Praxis in den Vereinbarungen zwischen zwei Staaten ist, dass die Airlines beider Länder von Kabotagevorbehalten befreit sind und die maximale Anzahl von Flügen, die die Airlines von und nach dem jeweils anderen Land bedienen dürfen, geregelt ist (vgl. Vahrenkamp, 2007A, S. 3).

4.1.2 Rechtlicher Rahmen in der EU und in Deutschland: EU-Liberalisierung

Intramodaler Wettbewerb tritt im Zusammenhang mit der auf den europäischen Luftverkehrsmärkten als Konsequenz der sich durch die Liberalisierung des Wettbewerbsrechts für die Luftfahrtbranche abzeichnenden Fusions- und Akquisitionswelle aus den vorhin aufgezeigten Gründen der besseren Marktabdeckung, höherer Flugfrequenzen und eines dichteren Flugnetzes verstärkt aufgrund der mit der Integration der Netze einhergehenden Netzerweiterung auf.

M&A-Transaktionen im Luftfrachtsektor müssen deshalb auch unter dem Gesichtspunkt des sich nach der Übernahme einstellenden intramodalen Wettbewerbs beurteilt werden. In diesem Kontext ist zu diskutieren, ob die Konsolidierung der Idee des europäischen Binnenmarktes entspricht oder die Übernahmen volkswirtschaftlich gesehen durch Abbau von Arbeitsplätzen und aus verkehrspolitischer Sicht zu einem Pareto-Ungleichgewicht führen.

Seit 1. April 1997 gilt der Luftverkehrsmarkt in der Europäischen Union unter rechtlichen Gesichtspunkten als dereguliert (vgl. Arndt, 2004). Die gesetzliche Rahmenbedingung hierfür ist das im EG-Vertrag (Vertrag zur Gründung der Europäischen Gemeinschaft, 1957) in den Art. 43–48 konstituierte Recht der Niederlassungsfreiheit, die es jeder natürlichen Person oder jeder Gesellschaft erlaubt, sich in einem Mitgliedstaat der EU niederzulassen. Heutzutage entspricht das 27 EU-Staaten. Vorausgesetzt wird eine permanente und stabile Eingliederung in den Staat der Niederlassung. Für juristische Personen soll die Niederlassungsfreiheit jedoch nur dann anwendbar sein, wenn diese nach den jeweiligen einschlägigen Rechtsvorschriften eines Mitgliedsstaates der Europäischen Union gegründet worden sind. Dabei ist maßgeblich, dass sich die Hauptniederlassung in einem Mitgliedsstaat befinden muss (vgl. Pompl, 2007, S. 418–427). Bei der Übernahme der Austrian Airlines durch die Lufthansa kann sich die Lufthansa auf die Art. 43–48 EGW berufen, insbesondere da beide Airlines ihren Hauptsitz in EU-Ländern haben. In der Schweiz entspricht das Tatbestandsmerkmal Niederlassungsfreiheit dem Begriff Freizügigkeit. Korrespondierende Regelungen wie im EU-Recht haben die Eidgenossen in den Schweizer Grundrechten verankert. Die Akquisition der Swiss durch die Lufthansa ist auch hier nach der EU-Liberalisierung und innerhalb der Schweiz nach der Schweizer Grundrechtsgarantie der Freizügigkeit gefestigt.

4.2 Kartellrecht bei M&A-Transaktionen im europäischen Luftverkehrssektor

Die sich aufgrund der Konsolidierung abzeichnende Fusions- und Übernahmewelle (M&A) im europäischen Luftverkehrssektor, nicht zuletzt aufgrund der EU-weiten Niederlassungsfreiheit, ist unter wettbewerblichen Gesichtspunkten einer Prüfung zu unterziehen, d. h., Fusionen bzw. Übernahmen unterliegen einer europäischen oder nationalen Kontrolle und können untersagt oder mit Auflagen verbunden werden, wenn der Zusammenschluss zu einer Marktbeherrschung führen würde.

Das europäische Wettbewerbsrecht für Fusionen bzw. Firmenübernahmen fußt auf der EU-Fusionskontrollverordnung und parallel dazu gibt es in den EU-Staaten nationale Wettbewerbsvorschriften für diese Erwerbsvorgänge. In Deutschland richtet sich die Zusammenschlusskontrolle von Firmen nach dem Gesetz für Wettbewerbsbeschränkungen (GWB)[32].

[32] Gesetz gegen Wettbewerbsbeschränkungen in der Fassung der Bekanntmachung vom 26. August 1998 (BGBl. I S. 2546).

Das europäische und das deutsche Wettbewerbsrecht stehen zueinander in Konkurrenz. Dabei ist im EU-Recht bzw. in den nationalen Vorschriften normiert, dass, wenn die Beurteilung des Zusammenschlusses eine EU-weite Bedeutung aufweist, das EU-Recht das jeweilige nationale Wettbewerbsrecht verdrängt.

Nachfolgend wird überblicksartig in die europäische und deutsche Fusionskontrolle eingeführt. Vorneweg kann festgehalten werden, dass in Europa bislang die europäische Fusionskontrolle bei Übernahmen von Fluggesellschaften den Vorrang vor nationalen Wettbewerbskontrollen hatte.

4.2.1 Europäische Fusionskontrolle[33]

Die nachfolgenden Hinweise orientieren sich an den Ausführungen des Bundeskartellamts in einem Merkblatt für die Abgrenzung zwischen europäischer und deutscher Fusionskontrolle.

Zuständigkeit und Umsatzschwellen
Die EU-Kommission ist zuständig für alle Zusammenschlüsse (Fusionen/Übernahmen), die gemeinschaftsweite Bedeutung haben. Die gemeinschaftsweite Bedeutung wird an bestimmten Umsatzschwellen festgemacht, die tatbestandsmäßig in Art. 1 Abs. 2 Buchstabe a und b der EG-FusionskontrollVO[34] geregelt sind Demnach gilt:

> *„Alle am Zusammenschluss beteiligten Unternehmen haben zusammen einen weltweiten Gesamtumsatz von mehr als 5 Mrd. Euro und mindestens zwei der beteiligten Unternehmen erzielen einen gemeinschaftsweiten (EU-)Umsatz von jeweils mehr als 250 Mio. Euro, oder alle am Zusammenschluss beteiligten Unternehmen haben zusammen einen weltweiten Gesamtumsatz von mehr als 2,5 Mrd. Euro und mindestens zwei der beteiligten Unternehmen erzielen einen gemeinschaftsweiten Umsatz von jeweils mehr als 100 Mio. Euro und alle am Zusammenschluss beteiligten Unternehmen erzielen zusammen in mindestens drei Mitgliedstaaten einen Gesamtumsatz von jeweils mehr als 100 Mio. Euro und mindestens zwei der beteiligten Unternehmen erzielen in jedem dieser drei Mitgliedstaaten ein Umsatz von jeweils mehr als 25 Mio. Euro."*

Nach Art. 1 Abs. 2 und Abs. 3 jeweils letzter Satzteil EG-FusionskontrollVO gelten bei der Umsatzschwelle folgende Einschränkungen: *„Erzielen die beteiligten Unternehmen jeweils mehr als 2/3 ihres gemeinschaftsweiten Umsatzes (nicht bezogen auf den weltweiten Gesamtumsatz!) in einem und demselben Mitgliedstaat, ist auch bei Überschreiten der oben genannten Schwellenwerte keine Zuständigkeit der EU-Kommission gegeben."* Mithilfe dieses Ausnahmentatbestands sollen Fusionen oder Übernahmen, die vornehmlich wettbewerbliche Auswirkungen in einem Mitgliedstaat haben, von der nationalen Wettbewerbsbehörde beurteilt werden und somit in der Zuständigkeit der nationalen Behörde verbleiben.

Die Berechnung der Umsätze lehnt sich an die Berechnungsvorschriften der deutschen Fusionskontrolle an: Nach Art. 5 Abs. 1 EG-FusionskontrollVO gibt es Ausnahmetatbestände bei der Umsatzberechnung. Demnach werden etwaige Mehrwerte und andere auf den Umsatz anfallende Steuern nicht berücksichtigt. Innenumsatzerlöse bleiben bei der Berechnung ebenfalls außen vor. Dagegen besagt Art. 5 Abs. 4 EG-FusionskontrollVO, dass die Umsätze der beteiligten verbundenen Unternehmen einzubeziehen sind.

Zusammenschlusstatbestand
Art. 3 Abs. 1 und 4 EG-FusionskontrollVO enthält Legaldefinitionen zum Tatbestandsmerkmal des Zusammenschlusses. Demnach muss ein solcher bewirken, *„dass eine dauerhafte Veränderung der Kontrolle in der Weise stattfindet, dass zwei oder mehr bisher unabhängige Unternehmen fusionieren oder dass eine oder mehrere Personen, die bereits mindestens ein Unternehmen kontrollieren, oder ein oder mehrere Unternehmen durch den Erwerb von An-*

[33] Vgl. http://www.bundeskartellamt.de/wDeutsch/download/pdf/Merkblaetter/Merkblaetter_deutsch/Merkblatt0409EG-FKVO_d.pdf.
[34] Verordnung (EG) Nr. 139/2004 des Rates vom 20. Januar 2004 (ABl. L 24/1 vom 29.01.2004; in Kraft ab 1. Mai 2004). Im Anhang zu diesem Merkblatt sind die ergänzenden Verordnungen, Bekanntmachungen und Leitlinien der Kommission aufgeführt.

teilsrechten oder Vermögenswerten, durch Vertrag oder in sonstiger Weise die unmittelbare oder mittelbare Kontrolle über die Gesamtheit oder über Teile eines oder mehrerer anderer Unternehmen erwerben oder dass ein Gemeinschaftsunternehmen gegründet wird, das dauerhaft alle Funktionen einer selbstständigen wirtschaftlichen Einheit erfüllt". Es kommt also auf das Tatbestandsmerkmal „Kontrolle über andere Unternehmen" an. Nach Art. 3 Abs. 2 EG-FusionsKontrolVO ist die Kontrolle zu bejahen, wenn ein bestimmender Einfluss auf die Tätigkeit eines Unternehmens ausgeübt wird. Konkludierend ist die EG-FusionskontrollVO auch dann bei Minderheitsgesellschaften einschlägig. Hier ist allerdings jeweils auf den Einzelfall abzustellen. Fällt ein Minderheitserwerb oder die Gründung oder Entstehung eines Gemeinschaftsunternehmens nach den europäischen Kriterien trotz eines Überschreitens der Umsatzschwellen nicht unter die EG-FusionskontrollVO und liegen die Voraussetzungen zur Anmelde- bzw. Anzeigepflicht nach den Vorschriften des GWB vor, ist das Bundeskartellamt sachlich zuständig.

Verweisung an die nationalen Kartellbehörden durch die EU-Kommission
Die EU-Kommission kann nach Art. 9 Abs. 2 EG-FusionskontrollVO die Entscheidungskompetenz im Einzelfall unter den in dieser Norm geregelten Voraussetzungen an die nationale Kartellbehörde verweisen. Die EU-Kommission kann weiterhin den Mitgliedstaat auffordern, einen entsprechenden Verweisungsantrag an die Kommission zu stellen. Eine Verweisung ist auch gemäß Art. 4 Abs. 4 der EG-FusionskontrollVO auf Antrag der beteiligten Unternehmen möglich. Hier muss ein begründeter Antrag für die Verweisung vorliegen. Beeinträchtigt der Zusammenschluss den Wettbewerb auf einem Markt in einem Mitgliedstaat, der alle Merkmale eines gesonderten Marktes aufweist, möglicherweise erheblich, dann ist die Entscheidungskompetenz auf die Kartellbehörde dieses Staats zu verweisen. Wird der Zusammenschluss an die nationale Kartellbehörde verwiesen, so gilt für die Beurteilung das Wettbewerbsrecht des betreffenden Mitgliedstaates. Der Zusammenschluss ist dann nach dem hierfür geltenden deutschen Recht gemäß den Vorschriften für den Zusammenschluss nach dem GWB zu beurteilen.

Verweisung der Mitgliedstaaten an die EU-Kommission
Gemäß Art. 22 Abs. 1 EG-FusionskontrollVO ist auch die Verweisung eines Zusammenschlusses an die EU-Kommission möglich, selbst wenn dieser keine gemeinschaftsweite Bedeutung nach Art. 1 EG-FusionskontrollVO aufweist, wenn folgende gesetzlich normierten Voraussetzungen vorliegen: Es liegt ein Zusammenschluss im Sinne von Art. 3 EG-FusionskontrollVO vor, *„der den Handel zwischen Mitgliedstaaten beeinträchtigt und der den Wettbewerb im Hoheitsgebiet des bzw. der antragstellenden Mitgliedstaaten erheblich zu beeinträchtigen droht"*. Weist ein Zusammenschluss keine gemeinschaftsweite Bedeutung im Sinne von Art. 1 EG-FusionskontrollVO auf, muss zunächst das Wettbewerbsrecht von mindestens drei Mitgliedstaaten geprüft werden, damit die beteiligten Unternehmen gemäß Art. 4 Abs. 5 EGFusionskontrollVO eine Verweisung an die EU-Kommission beantragen können.

Anmeldepflicht und Vollzugsverbot
Die EU-Fusionskontrolle hat Präventivcharakter. Es gilt insofern ein Vollzugsverbot eines Zusammenschlusses, bis er nach den Vorschriften der EG-FusionskontrollVO für vereinbar erklärt wird, sprich für den Gemeinsamen Markt nicht schädlich ist (vgl. Art. 7 Abs. 1 EG-FusionskontrollVO).

4.2.2 Deutsche Zusammenschlusskontrolle

Die deutsche Zusammenschlusskontrolle liegt im örtlich und sachlichen Zuständigkeitsbereich des deutschen Bundeskartellamts und fußt auf dem Gesetz gegen Wettbewerbsbeschränkungen (abgekürzt: GWB). § 37 GWB regelt die einzelnen Tatbestände des Zusammenschluss. Es werden dabei zwei Erwerbsvorgänge differenziert: der Anteilserwerb einerseits und der Vermögenserwerb andererseits. Ersterer umfasst alle Anteile an Kapitalgesellschaften oder Personengesellschaften, inkludierend Stimmrechte ohne Kapitalbildung,

jedoch keine Optionsrechte. Der Tatbestand greift beim erstmaligen Erreichen der jeweiligen Stufe. Bei der Stufe 1 entspricht das 25 bis 49,99 Prozent der Anteile, bei der Stufe 2 50 bis 100 Prozent. Im M&A-Jargon wird dieser Erwerbsvorgang als „Share Deal“ bezeichnet.

Der Vermögenserwerb greift bei vollständigem Erwerb des Vermögens der Übernahmegesellschaft, im Fachjargon auch „Asset Deal“ genannt. Zum Asset Deal zählt auch die gesellschaftsrechtliche Verschmelzung. Maßgeblich ist dabei der Vermögensteil des Erwerbers und des übernommenen Unternehmens. Einen dritten, in der Praxis unüblichen Erwerbstatbestand stellt der Kontrollerwerb dar, der meist mit dem Anteilserwerb simultan einhergeht. Hier werden die Alleinkontrolle bzw. die Mitkontrolle des akquirierten Unternehmens als ausreichend angesehen, wobei für die Mitkontrolle die Verhinderung wesentlicher strategischer Entscheidungen der Zielgesellschaft (Vetorechte) als unteres Maß im Sinne des GWB angesehen wird.

Schließlich gibt es noch einen Auffangtatbestand, wonach die Übernahme mit dem Erwerb eines wettbewerblich erheblichen Einflusses beim Target-Unternehmen verknüpft ist. Hier gilt der Leitsatz, der besagt, dass der Erwerber und die Zielgesellschaft als Folge des gesellschaftsrechtlich vermittelten Einflusses nicht mehr unabhängig am Markt auftreten.

Gerade letzterer Erwerbstatbestand kann bei Fluggesellschaften, die übernommen werden und deren Flugnetz in das Netz des Erwerbers integriert wird, vielfach bejaht werden.

Weiterhin ist nach § 35 GWB gefordert, dass bestimmte Umsatzschwellen erreicht werden müssen, um der Fusionskontrolle unterworfen zu sein. Nach § 35 Abs. 3 GWB gilt ein Ausschluss deutscher Kontrolle, wenn die EU-Umsatzschwellen erreicht sind. Nach § 35 Abs. 3 GWB finden die Vorschriften des GWB keine Anwendung, soweit die Kommission der Europäischen Gemeinschaft nach der Verordnung (EG) Nr. 139/2004 des Rates vom 20. Januar 2004 über die Kontrolle von Unternehmenszusammenschlüssen in ihrer jeweils geltenden Fassung ausschließlich zuständig ist.

Im Übrigen gilt die deutsche Umsatzschwelle nach § 35 Abs. 1 GWB. Die Vorschriften über die Zusammenschlusskontrolle finden Anwendung, wenn im letzten Geschäftsjahr vor dem Zusammenschluss erstens die beteiligten Unternehmen insgesamt weltweit Umsatzerlöse von mehr als 500 Millionen Euro und zweitens im Inland mindestens ein beteiligtes Unternehmen Umsatzerlöse von mehr als 25 Millionen Euro und ein anderes beteiligtes Unternehmen Umsatzerlöse von mehr als 5 Millionen Euro erzielt haben. Dabei zählt der Standort des Kunden maßgeblich für Inlandsumsätze mit der Besonderheit, dass auch der Erwerber die Inlands-Umsatzschwelle erreichen kann.

Neben der in §§ 35, 39, 40, 41, 42 GWB geregelten formellen Fusionskontrolle ist die materielle Fusionskontrolle entscheidend. Die Grundsätze für die Beurteilung von Zusammenschlüssen (materielle Fusionskontrolle) richten sich nach § 36 Abs. 1 GWB, der die Untersagungskriterien gesetzlich normiert: *„Ein Zusammenschluss, von dem zu erwarten ist, dass er eine marktbeherrschende Stellung begründet oder verstärkt, ist vom Bundeskartellamt zu untersagen, es sei denn, die beteiligten Unternehmen weisen nach, dass durch den Zusammenschluss auch Verbesserungen der Wettbewerbsbedingungen eintreten und dass diese Verbesserungen die Nachteile der Marktbeherrschung überwiegen.“*

Untersagungskriterien entsprechen der Begründung oder Verstärkung einer marktbeherrschenden Stellung. Dieser Sachverhalt ist rechtlich einer Prüfung zu unterziehen, d. h., welcher Markt davon betroffen ist (Marktabgrenzung) und ob der Markt beherrscht wird (Marktbeherrschungstest).

Bei der Marktabgrenzung wird in einem ersten Schritt der sachlich relevante Markt abgesteckt. Bei der Untersuchung geht es um das Herausfinden eines Bedarfsmarktkonzepts, d. h. der funktionellen Austauschbarkeit aus Sicht der Marktgegenseite. Das Bundeskartell-

amt legt den Angebotsmarkt wie folgt aus: *„Bei einem Angebotsmarkt gehören alle Erzeugnisse zu ein- und demselben Produktmarkt, die in den Augen eines vernünftigen, durchschnittlichen Abnehmens wegen gleicher Eignung und Verwendungszwecke geeignet sind, einen bestimmten Bedarf auf zumutbare, gleichwertige Weise zu befriedigen, auch wenn sie sich in Einzelheiten wie Konstruktion, Qualität, Preis und ähnlichem unterscheiden"*(vgl. Schwarz, 2007, S. 22).

Zur Beurteilung dieses Sachverhalts wird auf das Abnehmerverhalten in Reaktion auf eine hypothetisch angenommene Preiserhöhung abgestellt. In einem nächsten Schritt ist der räumlich relevante Markt abzugrenzen. Dieser wird in Analogie zum sachlich relevanten Markt mittels eines Bedarfsmarktkonzepts abgegrenzt. Es ist diesbezüglich bei den Angebotsmärkten auf die räumliche Ausweichmöglichkeiten der Nachfrager abzustellen, wobei der räumlich relevante Markt weiter sein kann als der Geltungsbereich nach § 19 Abs. 2 GWB. In einem dritten Schritt wird der Zusammenschlussvorgang einem Marktbeherrschungstest unterzogen. Bei dem Test wird darauf abgestellt, ob ein übermäßiger, vom Wettbewerb nicht mehr hinreichend kontrollierter Verhaltensspielraum besteht. Bei dem Test wird auch analysiert, ob das erwerbende und übernommene Unternehmen zusammen eine gemeinsame Marktbeherrschung ausüben können. Es muss in diesem Kontext herausgefunden werden, ob beide Unternehmen durch gleichförmiges, bewusstes Gruppenverhalten im Sinne von Oligopolisten marktbeherrschend auftreten werden.

Als wesentliches Indiz für die Marktbeherrschung werden die Höhe des Marktanteils der an der Fusion beteiligten Unternehmen, der Marktanteilszuwachs, der Abstand zu den Wettbewerbern und die Verteilung von Marktanteilen unter den Wettbewerbern ausgemacht. Nach § 19 Abs. 3 GWB wird eine Marktbeherrschung vermutet, wenn das fusionierte Unternehmen „*einen Marktanteil von mindestens einem Drittel hat. Eine Gesamtheit von Unternehmen gilt als marktbeherrschend, wenn sie aus drei oder weniger Unternehmen besteht, die zusammen einen Marktanteil von 50 vom Hundert erreichen, oder aus fünf oder weniger Unternehmen besteht, die zusammen einen Marktanteil von zwei Dritteln erreichen, es sei denn, die Unternehmen weisen nach, dass die Wettbewerbsbedingungen zwischen ihnen wesentlichen Wettbewerb erwarten lassen oder die Gesamtheit der Unternehmen im Verhältnis zu den übrigen Wettbewerbern keine überragende Marktstellung hat*".

Nach § 19 Abs. 3 GBW kann die Oligopol-Vermutung von den betroffenen Unternehmen widerlegt werden. Einige Beispiele zeigt Schwarz (2007, S. 25) exemplarisch auf:

- asymmetrische Marktanteile
- ungleiche Marktanteilsschwankungen
- Kundenwanderungen zwischen Oligopolisten
- intensiver Preis- oder Innovationswettbewerb
- unterschiedliche Kostenstrukturen
- unterschiedliche Ressourcen
- fehlende Markttransparenz

Als weitere Faktoren zur Marktbeherrschung gelten potenzieller Wettbewerb, rechtliche/tatsächliche Marktzutrittsschranken, Ausweichmöglichkeiten der Marktgegenseite, Finanzkraft, Verflechtung mit anderen Unternehmen, Zugang zu Absatz- und Beschaffungsmärkten und die Preisentwicklung.

Einen Sonderfall bei der materiellen Fusionskontrolle stellen die Sanierungsfusionen („Failing Company Defense") dar. Bei der Übernahme eines sanierungsbedürftigen Unternehmens bleibt unter strengen Voraussetzungen die potenzielle Marktbeherrschung unberücksichtigt. Hierzu zählt, wenn das zu übernehmende sanierungsbedürftige Unternehmen ohne Zusammenschluss keine Überlebenschance hätte, es keine Alternative zur Übernahme durch den Marktbeherrscher gibt oder der Marktanteil des übernommenen Unternehmens nach seinem Ausscheiden ohnehin dem Marktbeherrscher zufallen würde.

Nach § 19 Abs. 4 GWB liegt ein Missbrauch insbesondere vor, wenn ein marktbeherrschendes Unternehmen als Anbieter oder Nachfrager einer bestimmten Art von Waren oder gewerblichen Leistungen 1.) die Wettbewerbsmöglichkeiten anderer Unternehmen in einer für den Wettbewerb auf dem Markt erheblichen Weise ohne sachlich gerechtfertigten Grund beeinträchtigt; 2.) Entgelte oder sonstige Geschäftsbedingungen fordert, die von denjenigen abweichen, die sich bei wirksamem Wettbewerb mit hoher Wahrscheinlichkeit ergeben würden; hierbei sind insbesondere die Verhaltensweisen von Unternehmen auf vergleichbaren Märkten mit wirksamem Wettbewerb zu berücksichtigen; 3.) ungünstigere Entgelte oder sonstige Geschäftsbedingungen fordern, als sie das marktbeherrschende Unternehmen selbst auf vergleichbaren Märkten von gleichartigen Abnehmern fordert, es sei denn, dass der Unterschied sachlich gerechtfertigt ist; 4.) sich weigert, einem anderen Unternehmen gegen angemessenes Entgelt Zugang zu den eigenen Netzen oder anderen Infrastruktureinrichtungen zu gewähren, wenn es dem anderen Unternehmen aus rechtlichen oder tatsächlichen Gründen ohne die Mitbenutzung nicht möglich ist, auf dem vor- oder nachgelagerten Markt als Wettbewerber des marktbeherrschenden Unternehmens tätig zu werden; dies gilt nicht, wenn das marktbeherrschende Unternehmen nachweist, dass die Mitbenutzung aus betriebsbedingten oder sonstigen Gründen nicht möglich oder nicht zumutbar ist.

4.2.3 Fusionskontrollanwendung in der europäischen Luftfahrtbranche

Bei Fusionen und Übernahmen von europäischen Fluggesellschaften kann aufgrund der Unternehmensgröße in den meisten Fälle konstatiert werden, dass die nach Art. 1 Abs. 2 Buchstabe a und b der EG-FusionskontrollVO normierten Umsatzschwellen in einer der dort genannten Tatbestandsmäßigkeit vorzutreffen sind. Auch ist regelmäßig der Zusammenschlusstatbestand erfüllt, da solche Zusammenschlüsse mit dem Übernahmeziel der Beherrschung der Zielgesellschaft einhergehen, womit eine dauerhafte Veränderung der Kontrolle dergestalt eintritt, dass alle Funktionen einer selbstständigen wirtschaftlichen Einheit erfüllt sind. Somit ist die sachliche Zuständigkeit für solche Zusammenschlüsse von in Europa beheimateten Fluggesellschaften bei der EU-Kommission gegeben. Die Fusionskontrolle richtet sich nach europäischem Recht. Das jeweilige nationale Wettbewerbsrecht ist subsidiär.

In Europa liegen zwei Fälle vor, die bereits nach der europäischen Fusionskontrollverordnung geprüft wurden, nämlich die Fusion KLM und Air France in 2004 und die Akquisition der Swiss durch die Lufthansa im Jahre 2005. Einen weiteren Zusammenschlussvorgang in 2009 stellt die Übernahme der Austrian Airlines durch die Lufthansa dar. Nachdem die Übernahme noch nicht vollständig vollzogen ist, soll exemplarisch im nächsten Abschnitt die Akquisition der Swiss durch die Lufthansa hinsichtlich der wettbewerblichen Situation näher erläutert werden. Dieser Erwerbsvorgang ist vollständig umgesetzt, das Netz der Swiss wurde in das Netz der Lufthansa integriert. Der Übernahmefall ist darüber hinaus von Interesse, da die Schweiz kein Mitglied der EU ist, weshalb die Besonderheiten des M&A-Wettbewerbsrechts der Schweiz und in der Parallelität zur EU zu beachten sind. Weiterhin ist in diesem Kontext auf das Abkommen der Schweiz mit der EU über den Luftverkehr einzugehen.

4.2.4 Situation in der Schweiz

4.2.4.1 Luftverkehrsabkommen zwischen der Schweiz und der EU

Das bilaterale Luftverkehrsabkommen zwischen der Schweiz und der EU regelt den Wettbewerb zwischen den Schweizer Airlines und den Airlines der EU-Staaten. Der Luftverkehr ist inzwischen auch in der Schweiz vollständig dereguliert. Im gegenseitigen Einvernehmen wurde der Luftverkehrsmarkt der Schweiz für die EU-Fluggesellschaften und im Gegenzug der EU-Luftverkehrsmarkt für Schweizer Fluggesellschaften vollständig geöffnet. Die Marktöffnung vollzog sich in mehreren Schritten. Demnach dürfen seit der Ratifizierung dieses Abkommens am 1. Juli 2002 Schweizer Fluggesellschaften nach der 3. Freiheit jeden Flughafen in der EU anfliegen und nach der 4. Freiheit von jedem EU-Flughafen Passagiere und Fracht in das Heimatland befördern. Zwei Jahre danach wurde den Schweizer Airlines das Recht der 5., 6. und 7. Freiheit eingeräumt, was bedeutet, dass sie nach der Ankunft in ei-

nem Mitgliedsstaat der EU in ein anderes Mitgliedsland weiterfliegen dürfen und von einem EU-Land starten und über die Schweiz in ein anderes EU-Land sowie unter Auslassung eines Starts in der Schweiz zwischen zwei EU-Ländern fliegen können. Seit Dezember 2007 sind die Verhandlung zwischen der Schweiz und der EU hinsichtlich der Rechteeinräumung für die 8. Freiheit im Gange, was für die Schweiz die Kabotagefreiheit bedeuten und eine Schweizer Fluggesellschaft innerhalb der EU das Angebot von Inlandsflügen ermöglichen würde.

Mit dem bilateralen Luftverkehrsabkommen sichern sich die Schweizer Fluggesellschaften den gleichberechtigten Zugang zum europäischen Luftverkehrsmarkt und umgekehrt die EU-Airlines den Zugang zum Schweizer Luftverkehrsmarkt. Mithilfe dieser Vereinbarung können Schweizer Carrier von Schweizer Flughäfen weg ein dichtes Netz an Europa- und Interkontinental-Flugverbindungen anbieten. Im internationalen Verkehr ist ein isolierter Luftverkehrsmarkt wegen der fehlenden Marktgröße nicht sinnvoll, da, wie bereits aufgezeigt, insbesondere der Schweizer Luftverkehrsmarkt stark grenzüberschreitend und international ausgerichtet ist. Im Luftfrachtsektor macht sich dieser Umstand besonders bemerkbar, da der Großteil des Luftfrachtaufkommens über die Schweizer Grenzen hinweg befördert wird. Mit dem Luftverkehrsabkommen übernimmt die Schweiz auch den so genannten Acquis communautaire im Luftrecht, das sind die Rechte, die zwischen den EU-Ländern bereits bestanden und die Schweiz ansonsten hätte gesondert aushandeln müssen. Hierunter fallen z. B. Start- und Landerechte. Somit lassen sich die 14 bilateralen Abkommen der Schweiz mit den EU-Staaten suspendieren, soweit nicht darin weiter gehende Rechte für die Schweiz bestehen. Das Luftverkehrsabkommen ermöglicht nunmehr, schweizerischen Luftverkehrsgesellschaften mehrheitlich die Aktien von Fluggesellschaften zu übernehmen, die in der EU angesiedelt sind, ohne dass diese in ihren europäischen Rechten beschnitten werden. Überdies enthält das Übereinkommen einen Wegfall der bisherigen Kapazitätsrestriktionen zwischen der Schweiz und der EU. Im Gegenzug haben die europäischen Luftfahrtunternehmen durch die Luftverkehrsrechteregelung diverse Vorteile. Da nun im Luftfahrtbereich gegenseitig Freizügigkeit und Dienstleistungs-, Niederlassungs- sowie Investitionsfreiheit vorherrschen, eröffnen sich für EU-Fluggesellschaften neue Geschäftsfelder mit hohem Potenzial, was die Lufthansa durch die Übernahme der Swiss ausgeschöpft hat. Da die Übernahme in 2005 erfolgte, galten die Luftverkehrsbestimmungen zwischen der Schweiz und der Lufthansa schon von der Übernahme an.

4.2.4.2 Wettbewerbsrecht für den Luftverkehr in der Schweiz

Da die Schweiz nicht EU-Mitgliedstaat ist, gilt hier die EG-FusionskontrollVO nicht unmittelbar. Soweit jedoch ein Zusammenschluss von einem in der EU angesiedelten Luftfahrtunternehmen ausgeht, was bei der Übernahme der Swiss durch die Lufthansa der Fall ist, greift die EU-Wettbewerbsverordnung und eine Fusionskontrolle erfolgt durch die EU-Kommission. Im Wettbewerbsrecht hat die Schweiz einige Kontrollkompetenzen an die EU übertragen, sodass die Europäische Kommission und im Streitfall der Europäische Gerichtshof in Wettbewerbsfragen sachlich und örtlich zuständig sind. Durch den Wegfall der Intervention der Schweizer Wettbewerbsbehörden in Bezug auf verschiedene Wettbewerbsthemen, wie etwa die Tariffrage, die Kapazitätsvorschriften oder die Flugfrequenzabstimmung, entsteht für die EU-Fluggesellschaften in der Schweiz ein fairer Wettbewerb mit der Chance, sich auf diesem Luftverkehrsmarkt stärker zu positionieren. Auch verlieren die Schweizer Behörden die alleinige Zuständigkeit bei der Überwachung der Subventionen und der Landesrechtebeschränkung, die zum Teil auf die EU übergegangen ist. Dafür ist die Schweiz in wichtigen EU-Ausschüssen im Luftverkehrsbereich zugegen, in denen die Kommission und die EU-Staaten tagen.

Die Schweiz ist somit ein Teil des gemeinsamen europäischen Luftfahrt-Binnenmarktes. Zusammenfassend ergeben sich aufgrund des Luftverkehrsabkommens folgende Konsequenzen, die zum Teil auch Einfluss auf die mit der Übernahme der Swiss durch die Lufthansa verbundene Integration des Swiss-Netzes in das Lufthansa-Netz haben.

- Jede Schweizer Fluggesellschaft kann jeden Flughafen in der EU auflagenfrei anfliegen.
- Sie kann ihre Flug- und Frachtpreise frei gestalten, da Tarife keinem Genehmigungsvorbehalt unterliegen.
- Sie kann die Flugpläne frei gestalten und somit auch mit anderen EU-Fluggesellschaften abstimmen, da Strecken keinem Genehmigungsvorbehalt unterliegen.
- Kapazitätsrestriktionen zwischen der Schweiz und der EU sind aufgehoben, die Fluggesellschaften können beliebig viel Passagier- und Frachtverkehr von und nach EU-Ländern befördern.
- Es besteht für natürliche und juristische Personen Niederlassungs- und Investitionsfreiheit, d. h., eine Schweizer Fluggesellschaft kann sich in der EU und umgekehrt eine EU-Fluggesellschaft in der Schweiz niederlassen.
- Eine Schweizer Luftfahrtgesellschaft kann mehrheitlich Aktien von europäischen Gesellschaften übernehmen, ohne dass diese in ihren europäischen Rechten beschnitten werden.
- Ebenfalls wird die Rechtsstellung der schweizerischen Landesflughäfen durch das Abkommen verbessert, da das ehrgeizige Vorhaben der EU, einen freien und einheitlichen europäischen Luftfahrt-Binnenmarkt (single sky) zu verwirklichen, nicht nur die Luftverkehrsgesellschaften, sondern auch die zunehmend in Konkurrenz stehende europäische Flughäfen betrifft.
- Die Flughäfen selbst und deren Infrastrukturanlagen bleiben national und ortsgebunden.

Das Abkommen trägt zur Intensivierung des Wettbewerbs bei, sodass in der Folge Entscheidungen über Flugtarife, Flugpläne, Kapazitäten und Flugstrecken nach Wettbewerbsbedingungen, sprich durch Angebot und Nachfrage bestimmt werden.

Exkurs: Acht Freiheiten

Die acht Freiheiten des Luftverkehrs für Schweizer Luftverkehrsunternehmen	
1. Freiheit	Sie dürfen bei Inkrafttreten des Luftverkehrsabkommens sämtliche EU-Staaten uneingeschränkt überfliegen.
2. Freiheit	Sie dürfen in den EU-Staaten zu nicht-kommerziellen Zwecken zwischenlanden.
3. Freiheit	Sie dürfen jeden Flughafen in der EU anfliegen (z. B. Zürich–Hamburg, Hinflug).
4. Freiheit	Sie dürfen die Schweiz von jedem Flughafen in der EU anfliegen (z. B. Hamburg–Zürich, Rückflug).
5. Freiheit	Sie dürfen zwei Jahre nach Inkrafttreten des Luftverkehrsabkommens von einem EU-Staat in einen anderen weiterfliegen (z. B. Zürich–München–Wien).
6 Freiheit	Sie dürfen von einem EU-Staat über die Schweiz in einen anderen EU-Staat fliegen (z. B. Paris–Zürich–Madrid).
7 Freiheit	Sie dürfen von einem EU-Staat direkt in einen anderen EU-Staat fliegen (z. B. Paris–Madrid).
8. Freiheit	Fünf Jahre nach Inkrafttreten des Luftverkehrsabkommens wird darüber verhandelt, ob sie Inlandflüge innerhalb der EU-Staaten durchführen dürfen (z. B. München–Berlin).

Tabelle 10: Acht Freiheiten des Luftverkehrs der Schweiz
(Quelle: DLR, 2005)

EU-Fusionskontrolle bei der Akquisition der SWISS Airline durch Lufthansa
Neben den zwischen der EU und der Schweiz ausgehaltenen Liberalisierungen für Schweizer Luftverkehrsunternehmen, die auch für die Swiss greifen, sind Übernahmen von Schweizer Fluggesellschaften durch eine in der EU ansässige Erwerbsfluggesellschaft der EU-Fusionskontrolle und den jeweiligen nationalen Übernahmekontrollen unterworfen.

Der Erwerbsvorgang der Swiss durch die Lufthansa unterliegt der EU-Fusionskontrolle. Die deutsche Fusionskontrolle tritt hinter die europäische Norm zurück. Zunächst ist zu erörtern, wie sich die europäische Fusionskontrolle auf den Luftverkehr auswirkt. Pompl (2007, S. 469) stellt fest, dass die Beurteilung, ob ein Zusammenschluss zu einer Marktbeherrschung führt, tendenziell zur stärker einzelfallbezogenen Beurteilung auf Basis von Modellen

der Industrieökonomie und quantitativen Studien abgestellt wird. Nach dieser Feststellung würde ein Zusammengehen von Luftfahrtgesellschaften wahrscheinlicher erlaubt, das lediglich zu einer Gefährdung in Teilmärkten führen könnte. Für den Luftverkehr bedeutet dies, dass bei der räumlichen und sachlichen Beurteilung einer Markherrschaft nicht auf Länder oder Regionen abgestellt wird, sondern auf einzelne Strecken und hier wiederum auf klassifizierte Nachfragegruppen (z. B. Geschäftsreisende, bei denen der Faktor Zeit gewichtet wird, oder Privatreisende, bei denen der Faktor Zeit weniger Bedeutung hat).[35] Soweit bei der Fusionskontrolle bei Fluggesellschaften für eine bestimmte Strecke von den Kartellwächtern eine Wettbewerbsgefährdung festgestellt wird, werden die kartellrechtlichen Genehmigungen der Übernahme meist unter dem Vorbehalt der Erfüllung von Auflagen erteilt. Diese Auflagen orientieren sich dabei sehr stark an denen, die bei der Genehmigung von Allianzen zur Anwendung kommen. Durch diese Wettbewerbsmaßnahmen soll die Wettbewerbsbalance auf den betroffenen Strecken wieder kompensiert werden. Bei der mehrheitlichen Übernahme der Swiss durch die Lufthansa in 2005 hatte die EU-Kommission das Wettbewerbsverhalten zu überprüfen. Nach Meinung der Kommission hätte die Akquisition dazu geführt, dass es bei bestimmten innereuropäischen und interkontinentalen Strecken zu erheblichen Wettbewerbsbeeinträchtigungen bei den streitenden Fluggesellschaften gekommen wäre. Die Genehmigung der Übernahme wurde deshalb nur unter strengen Auflagen erteilt.[36]

Die Auflagen implizierten unmittelbare Einschnitte im Luftfahrtangebot sowohl bei der Lufthansa als auch bei der Swiss. Insbesondere bei den Start- und Landerechten sowie bei den Flugfrequenzen gab es herbe Dämpfer. So mussten beide Airlines auf aufkommensstarken Flughäfen, und das betraf vor allem die Hub-Flughäfen, und wichtige, von anderen Fluggesellschaften begehrte Slots auf Sekundärflughäfen aufgeben. Bei ihren Drehscheibenflughäfen waren Frankfurt, Zürich, München betroffen, bei den Sekundärflughäfen traf es Berlin, Düsseldorf, Wien, Stockholm und Kopenhagen. Die so frei werdenden 41 Slots konnten von Wettbewerberfluggesellschaften allokiert werden, indem ein Interline-Abkommen getroffen wurde, wonach ein neuer Anbieter die frei werdenden Slots erhält (so genannte Interline-Rechte). Auf dedizierten Strecken mussten die Flugfrequenzen deutlich reduziert werden. Dies betraf vor allem die lukrativen Streckendienste Zürich–Frankfurt und Zürich–München, die allesamt Hub-Hub-Verbindungen darstellen und besonders wichtig für den Umsteiger- bzw. Umladeverkehr von Passagieren bzw. Belly-Fracht sind. Damit wurde ein wichtiger Bereich stark beschnitten, da bei einem abgestimmten Flugbetrieb zwischen der Swiss und der Lufthansa eine hohe Flugdichte auf den relevanten Zubringerstrecken für den Interkontinentalverkehr in Frankfurt notwendig ist. Weiterhin sollte ein neuer Anbieter an dem Vielfliegerprogramm der Lufthansa und der Swiss auf den frei gewordenen Strecken partizipieren können. Bei den Flugtarifen musste sich die Swiss und Lufthansa auf den Strecken Zürich–Warschau und Zürich–Stockholm anpassen, soweit der Marktneuling die benannten Flugstrecken zu niedrigeren Flugpreisen öffentlich offerierte. Soweit ein Antrag eines Bodenbeförderungsunternehmens für intermodale Dienste zwischen Deutschland und der Schweiz eingeht, werden die Lufthansa und die Swiss verpflichtet, mit diesem einen Kooperationsvertrag zu kontrahieren. Schließlich musste die Swiss ihre Kooperation mit American Airlines und Finnair aufgeben.

Die Luftfahrtbehörden haben darüber hinaus Zusicherungen für Ziele außerhalb der EU abgegeben. So hat die Schweizer Luftfahrtbehörde versichert, anderen Anbietern in der Schweiz Verkehrsrechte einzuräumen, um auf Strecken nach Zielorten außerhalb der EU in Zürich zwischenlanden zu können. Die deutsche Behörde dagegen sagte zu, dass sie bei Langstreckenflügen die Preise nicht regulieren werde. Bei der Tarifkondition von Interline-Flugpreisen gibt es bis heute keine Entscheidung.

Zusammenfassend bleibt festzuhalten, dass die erteilten Auflagen in erster Linie die Netzstruktur eines integrierten Flugnetzes der Lufthansa und der Swiss betreffen und Auswirkungen auf das Flugangebot zur Folge haben. Durch die Beschneidung von wichtigen Hub-Hub-

[35] Vgl. EUROPEAN COMPETITION AUTHORITIES: Mergers and Alliances, S. 5-31.
[36] Vgl. COMMISSION OF THE EC: Case No Comp/M.37770-Lufthansa/Swiss, Kap. VI, RN 188-197.

Verbindungen und deren Frequenzen ergeben sich Beeinträchtigungen für einen abgestimmten Flugbetrieb von beiden Netzen. Auch zeigt sich, dass innerhalb von Deutschland und der Schweiz offensichtlich keine marktbeherrschende Stellung nach der Übernahme erwartet wurde, obgleich die Swiss vor der Übernahme Marktführer ihres heimischen Marktes für Inlandsflüge war und nach wie vor ist.

Es ist deshalb fraglich, ob die Lufthansa und die Swiss im Nachgang zur Konstitution eines integrierten Netzes neben den Auflagen zu Vergünstigungen kommen können, um die Anforderungen an ein integriertes Hub-and-Spoke-Netz auf der logistischen Seite optimal erfüllen zu können, d. h. Schaffung größtmöglicher Skalenerträge und mindestens Beibehaltung der Marktanteile aus den jeweiligen Einzelnetzen.

Hierzu ist zu prüfen, ob es auf der Ebene der Netzstruktur Wettbewerbsbeschränkungen gibt. Es geht dabei primär um die Frage, ob bestehende Hub-Flughäfen, auf denen die Lufthansa bzw. Swiss bereits eine hohe Konzentration an Flügen aufweist, ausgebaut und gegebenenfalls neue Drehscheiben konstituiert werden können, indem bspw. der Transferverkehr über einen anderen Flughafen innerhalb des integrierten Netzes geroutet wird, um die bestehenden überlasteten Hubs durch die Verkehrszunahme infolge der Integration zu schonen. Weiterhin ist die Frage, ob weitere Slots für die Abstimmung der Flugstrecken und somit zur Effizienzsteigerung des Netzes beansprucht werden können, wohl wissend, dass insbesondere an den bereits überlasteten Tagesrandzeiten die Slots begehrt werden und eventuell das Streckenangebot auf unrentablen oder wegen der Integration entbehrlichen oder redundanten Strecken stillgelegt werden können, ohne die besitzende Zeitscheibe zu verlieren.

Ohne erneut in die Problematik einzutreten, werden bei der Übernahme der AUA durch die Lufthansa dieselben wettbewerbsrelevanten Punkte aufgeworfen.

4.2.5 Vereinbarungen zwischen Wettbewerbern nach Art. 81 EG bzw. § 1 GWB

Bei der Übernahme einer Zielgesellschaft im Luftverkehrssektors gilt es zu beachten, dass es zwischen der Erwerbs- und der Übernahmegesellschaft im Zuge der Integration des Übernahmenetzes im Geschäftsbetrieb zu keinen Vereinbarungen oder einem abgestimmten Verhalten kommt, das nach Art. 81 EG bzw. § 1 GWB eine wettbewerbswidrige Vereinbarung darstellen würde. Insbesondere bei Vereinbarungen zu einem abgestimmten Flugbetrieb zwischen den Flugplänen der Übernahme- und der Erwerbsfluggesellschaft sind diese Wettbewerbsvorschriften zu beachten. Im Weiteren sollen diese Wettbewerbsregeln nicht mehr behandelt werden. Es sollte nur ein Hinweis auf deren Bestehen erfolgen.

4.2.6 Zusammenfassung

Es bleibt festzuhalten, dass die Übernahme einer Fluggesellschaft in der EU dem Vorbehalt der EU- oder nationalen Zusammenschlusskontrolle unterworfen ist und sich für die Übernahme eines schweizerischen Luftverkehrsunternehmens aus kartellrechtlicher Sicht zu den EU-Vorschriften keine Änderungen ergeben. Bei der Integration des Übernahmenetzes hin zu einem abgestimmten Flugbetrieb haben die Fluggesellschaften zu beachten, dass sie kein wettbewerbswidriges gemeinsames Marktauftreten verabreden.

Bei der Übernahme sind zwei Szenarien denkbar. Aufgrund der Marktgröße durch den Konzentrationsprozess kann einerseits die große Netzwerkgesellschaft durch entsprechendes Wettbewerbsverhalten ausschöpfen, andere Fluggesellschaften vom Markteintritt abzuhalten. Gleichzeitig sieht sich die Fluggesellschaft anderseits dem Problem ausgesetzt, dass der für die Netzintegration erforderlichen Freiheit und Flexibilität in der Auswahl von Flughäfen und dedizierten Flugstrecken selbst Wettbewerbsbeschränkungen auferlegt sind.

Im folgenden Kapitel wird die Wettbewerbssicht einer Übernahme im Kontext der Marktmacht der Akteure der Netzwerkfluggesellschaft und der Flughafenbetreiber beleuchtet.

5 Wettbewerb auf der Netzebene im Kontext einer Übernahme

Die Integration des Flugnetzes der Übernahmegesellschaft in das Netz des Übernehmers gilt als so genannter Post-Merger-Prozess. Die Netzintegration ist eine logistische Aufgabe. Soweit mit der Übernahme einer Fluggesellschaft kartellrechtliche Auflagen hinsichtlich des Zugangs zu Flughäfen bzw. bei Restriktionen auf einzelnen Flugstrecken verknüpft sind, gilt es diese im Rahmen der Netzintegration umzusetzen.[37] Parallel dazu stehen der Netzintegration die auf der Netzebene vorherrschenden Wettbewerbsbedingungen entgegen, die in diesem Kapitel näher beleuchtet werden. Dabei lässt sich zweierlei feststellen: Zum einen dürfen der Integration der Flugnetze mit dem Ziel eines abgestimmten Flugbetriebs keine Wettbewerbshemmnisse entgegenstehen, zum anderen gibt es als Folge der Netzintegration Möglichkeiten der Ausübung von Wettbewerbsoptionen, um Wettbewerbsvorteile gegenüber Mitbewerber-Fluggesellschaften zu erlangen.

Keine Wettbewerbshemmnisse bei der Integration des Übernahmenetzes
Um sich die Synergie-Effekte[38] aus einem integrierten Netz und eines abgestimmten Flugbetriebs zunutze zu machen, muss das Übernahmenetz homogenisiert werden. Darunter versteht man, dass der Flugbetrieb des Übernahmenetzes an den des zu integrierenden Netzes angepasst wird. Auf der Netzebene kann es durch die rechtlichen Auflagen zu Netzerweiterungen, -vertiefungen, -reduzierungen etc. kommen. Auf der Netzebene begegnet man jedoch neben den kartellrechtlichen Bestimmungen Wettbewerbsbedingungen, die die Umsetzung in ein homogenes Netz nicht ohne Weiteres ermöglichen. Auf der Ebene der Flughäfen und den Flugstrecken herrschen Wettbewerbssituationen, die die Netzintegration erschweren, sodass diese nicht immer nach dem aufgestellten Optimalitätskriterium erfolgen kann.

Instrumentalisierung des Übernahmenetzes zum Wettbewerbsverhalten
Umgekehrt erlaubt ein entsprechendes Wettbewerbsverhalten durch die Instrumentalisierung des integrierten Netzes als Wettbewerbsfaktor, Wettbewerber vom Markteintritt auf bestimmten Flughäfen oder Flugverbindungen abzuhalten. Diese netzbezogenen Wettbewerbsmerkmale werden auch als Hub- bzw. Routen-Dominanz bezeichnet (vgl. Meyer, 2001). Es soll in diesem Kapitel untersucht werden, ob sich durch die Übernahme einer Fluggesellschaft der Übernahmefluggesellschaft die Möglichkeit eröffnet, sich auf der Netzebene im Wettbewerb so zu verhalten, dass der Marktzutritt von potenziellen Mitbewerbern vereitelt wird.

Dazu werden die beiden Wettbewerbssachverhalte untersucht und die entsprechenden Schlüsse daraus gezogen. Zunächst wird zum besseren Verständnis auf die wettbewerbstheoretischen Grundlagen zu den aufgeworfenen Problemen eingegangen. Anschließend erfolgt die Erörterung der wettbewerbsbedingten Marktzugangsbeschränkungen auf Flughäfen und der netzbedingten Marktmacht von Carriern durch marktzutrittsresistentes Wettbewerbsverhalten auf Flughäfen und bei der Slot-Zuteilung. Weiterhin wird die Bedienung von Flugstrecken aus Wettbewerbssicht beleuchtet.

5.1 Wettbewerbstheoretische Grundlagen

In den vorangegangenen Abschnitten ist die Wettbewerbssituation auf der Ebene der Unternehmensübernahmen betrachtet worden, d. h., es wurde der Frage nachgegangen, „ob“ eine Übernahme überhaupt nach den einschlägigen Wettbewerbsnormen, die für Unternehmenszusammenschlüsse gelten, statthaft ist. In den folgenden Abschnitten wird das „Wie“ der

[37] Vgl. Ausführungen in Abschnitt 4.2.
[38] Vgl. Ausführungen in Kapitel 8.

Übernahmetransaktion auf der Netzebene herausgearbeitet. Es soll folglich aufgezeigt werden, wie die Integration des Übernahmenetzes in das Erwerbernetz unter Beachtung der für die Auswahl von Flughäfen (Lokations-Problem) und das Bedienen von Streckendiensten in dem Netz (Allokations-Problem) bestehenden Wettbewerbsvorbehalte zu bewerkstelligen ist. Es geht also darum, die bei der Formulierung eines Modells zur Berechnung einer optimalen Netzkonfiguration wettbewerbsgetriebenen Vorbehalte durch Modellrestriktionen abzubilden. Hierzu erfolgt zunächst in den folgenden Abschnitten eine Einführung in die wettbewerbstheoretischen Grundlagen.

5.1.1 Netzsektor als natürliches Monopol

Netzsektoren entsprechen Wirtschaftssegmenten, zu deren Aufbau und Betrieb Netze mit bestimmten Netzeigenschaften erforderlich sind. Zu den Netzsektoren zählt auch der Luftverkehrssektor, dem ein Luftverkehrsnetz mit Flughäfen und Flugstrecken gegenständlich ist. Netzsektoren galten in der Vergangenheit unter den nachfolgenden Annahmen als natürliche Monopole (vgl. Knieps, 2005):

Subadditivität und natürliches Monopol
Eine Industrie, zu der auch Netzsektoren zählen, gilt als natürliches Monopol, wenn die Kostenfunktion im relevanten Bereich der Mengennachfragen subadditiv ist (vgl. Finsinger, 1996, S. 102, Baumol et al., 1988, S. 171). Mithilfe einer Kostenfunktion können Kostenverläufe dargestellt werden. Sie stellt den Bezug zwischen den Kosten und einer Bezugsgröße her. Subadditivität wird angenommen, wenn ein einzelner Anbieter eine willkürliche Gütermenge kostengünstiger herstellen und anbieten kann als getrennt in einer Mehrzahl von Unternehmen (vgl. Sharkey, 1982, Horn et al., 1988, S. 41).

Unternehmenskonzentration und Größenvorteile in natürlichen Monopolen
Die Unternehmenskonzentration in Sektoren mit natürlichen Monopolen ist regelmäßig hoch, d. h., nur eine kleine Anzahl von Marktanbietern in der Form von natürlichen Monopolisten bedient die gesamte Marktnachfrage des Sektors. Eine hohe Marktkonzentration kann beim natürlichen Monopolisten durch Anwesenheit von beträchtlichen Größenvorteilen im Bereich der Produktion oder des Vertriebes entstehen (vgl. Scherer, 1980, S. 81 ff.). Unter Größenvorteilen versteht man, dass mit proportionaler Erhöhung der Inputmengen die Outputmengen überproportional steigen. Mit zunehmendem Produktionsoutput sinken die Kosten für die Herstellung einer Output-Einheit als auch die Durchschnittskosten. Größenvorteile werden als Spezialfall der Subadditivität eingestuft. Das Konzept der Größenvorteile von Produktionsfunktionen gilt nach Baumol als hinreichend für den Nachweis der Eigenschaft des natürlichen Monopols (vgl. Baumol, 1977, S. 810).

Marktmachtausübungspotenzial durch den natürlichen Monopolisten
Aufgrund der geringen Anzahl von Marktanbietern und der damit einhergehenden Unternehmenskonzentration sind natürliche Monopolisten durch Setzung von Gewinn maximierenden Preisen gemäß der Cournot-Regel in der Lage, Marktmacht auszuüben (vgl. Horn et al., 1988, S. 40 ff.). Marktmacht ist jedoch erst dann evident, wenn ein Unternehmen imstande ist, Preise oberhalb des wettbewerbsbedingten Preisniveaus zu setzen und dauerhaft ohne Hinnahme von Gewinneinbußen halten kann (vgl. Landes und Posner, 1981, S. 937). Aus makroökonomischer Sicht führt die monopolistische Preissetzungspolitik zu ineffizienten Marktergebnissen. Während der Monopolist Überrenditen erwirtschaften kann, verknappt die Produktion, was zu Wohlfahrtsverlusten führt, weil schließlich der Konsument die überhöhten und für den Monopolisten abschöpfbaren Gewinne mit bezahlt.[39]

Marktversagen und Marktzutrittsresistenz
Der Wettbewerb auf Monopolmärkten gilt als unvollkommen und funktionsunfähig (vgl. Kantzenbach, 1967, Hoppmann 1967, S. 145 ff.). Man sagt in diesem Kontext, der Markt versagt. Marktversagen ist eine Situation, in der der Markt inhärent durch Wettbewerb zur

[39] Zur unvollkommenen Konkurrenz und der damit verbundenen Fehlallokation vgl. Sohmen (1992).

effizienten Ressourcenaufteilung bzw. effizienten Güterbereitstellung selbst außer Stande ist. Durch Ausschöpfung der marktmachtbedingten Preissetzungsfunktionen vermag der natürliche Monopolist, potenzielle Markteindringlinge vom Marktzutritt abzuhalten.

Regulierungsbedarf bei Anwesenheit eines natürlichen Monopols
Zur Korrektur der Unvollkommenheit und Funktionsuntauglichkeit eines Monopolmarktes wurde von den Wettbewerbshütern in der Vergangenheit staatlicher Regulierungsbedarf hergeleitet (vgl. Kahn, 1971, S. 3, Knieps, 2001A). Der Markteingriffsbefugnis lagen zwei Zielsetzungen zugrunde. Zum einen wurden mit den Regulierungsmaßnahmen verteilungspolitische Zwecke verfolgt, zum anderen erfolgte die Einführung effizienzbedingter und von den Wettbewerbswächtern aufgestellter Kriterien zur Unterbindung von Marktmissbrauch durch die ansässigen Markteilnehmer (vgl. Bailey et al. 1983, S. 211 ff., Meyer et al., 1981). Gestützt wurden diese Maßnahmen vornehmlich durch Erkenntnisse der damals vorherrschenden traditionellen Wettbewerbstheorie (auch normative Theorie genannt). Ein Kerngedanke dieser Theorie besagt, dass die Evidenz eines natürlichen Monopols als hinreichendes Kriterium für Regulierungsbedarf angesehen wird (vgl. Stigler, 1971, Noll et al., 1983, Owen und Braeutigam, 1978). Die normative Theorie war auch Gegenstand der Regulierung des US-amerikanischen Luftverkehrssektors. Bestehende Größenvorteile der Fluggesellschaften galten als hinreichendes Kriterium für einen Regulierungsbedarf. Aus heutiger Sicht weiß man, dass diese Annahme, wie in den Abschnitten 5.2 und 5.3 aufgezeigt wird, weit verfehlt war.

Kein Marktversagen trotz Anwesenheit eines natürlichen Monopols
Es gibt jedoch auch Märkte, bei denen die Anwesenheit eines natürlichen Monopols nicht zwingend zu Marktversagen führen muss. Marktversagen wird dann ausgeschlossen, wenn die im Markt aktiven Unternehmen durch den bloßen potenziellen Wettbewerb diszipliniert werden können. Bei den jüngeren Wettbewerbstheorien wurden hierfür Kriterien aufgestellt, wann dies der Fall sein soll (vgl. Jindra, 2001, S. 4). Mithilfe der Erkenntnisse aus der Theorie der Angreifbarkeit der Märkte und der Theorie der monopolistischen Bottlenecks (siehe 5.1.3) lässt sich dieser Sachverhalt überprüfen. Insbesondere lässt sich anhand dieser Theorien untersuchen, inwiefern Flughäfen oder Fluggesellschaften als natürliche Monopole mit Marktmachtpotenzial gelten und inwieweit diese Luftverkehrsmarktsegmente durch potenziellen Wettbewerb angreifbar sind. Dabei interessiert im Besonderen die Frage nach der Wettbewerbssituation beim Bestreiten von hub-and-spoke-orientierten Luftverkehrsnetzen aus der Sicht der Flughäfen und Fluggesellschaften.

5.1.2 Theorie der Bestreitbarkeit der Märkte

Die Theorie der bestreitbaren Märkte, auch Theorie der angreifbaren („contestable“) Märkte genannt, beschäftigt sich mit der Formulierung von Prämissen, unter denen der potenzielle Wettbewerb als vollendetes Substitut für den abwesenden aktiven Wettbewerb funktionstauglich bleibt (vgl. Baumol et al., 1982, Knieps, 2004, S. 2). Der essenzielle Kerngedanke dieser Theorie beruht auf der Annahme, dass ein Markt mit der Eigenschaft eines natürlichen Monopols bereits durch die Möglichkeit des bloßen potenziellen Wettbewerbs bestreitbar bzw. angreifbar ist (vgl. Demsetz, 1968, Bain, 1956). Der Markt diszipliniert sich unter dieser Hypothese autonom. Auf den tatsächlichen Markteintritt und die Marktkonzentration kommt es zur Bestreitbarkeit demnach nicht an. Unter Wohlfahrtsgesichtspunkten steht der potenzielle Marktzutritt dem tatsächlichen nicht nach (vgl. Jindra, 2001, S. 4).

Die Angreifbarkeit natürlicher Monopolisten durch Marktzutrittskandidaten ist gegeben, wenn die nachstehenden drei Kriterien erfüllt sind (vgl. Baumol et al. 1982, S. 5 ff.):

- *Freier Marktzutritt*: Der Marktzutritt gilt als frei, wenn es einer unendlichen Anzahl potenzieller Wettbewerber möglich ist, in dem selben Markt unbeschränkten Zugang mit derselben Technologie und Kostenstruktur zu erhalten, wie sie die etablierten Unternehmen vorfinden (vgl. Stigler, 1968, S. 70).
- *Abwesenheit von versunkenen Kosten*: Angreifbare Märkte sind als weiteres Merkmal

durch Abwesenheit von irreversiblen Kosten[40] beim Marktaustritt definiert (vgl. Horn et al., 1988, S. 44), d. h., die für den Markteintritt getätigten Investitionen können beim Verlassen des Marktes vollständig wieder verwertet werden. Der Marktaustritt ist ohne Zeitverlust und Kosten möglich (vgl. Knieps, 2004, S. 6). Für die bereits etablierten Unternehmen sind irreversible Kosten nicht weiter entscheidungsdeterminierend, da derartige Investitionskosten bereits einmal getätigt im Kostenkalkül keine weitere Rolle mehr spielen. Entscheidungserheblich sind diese Kosten wohl aber für den potenziellen Markteindringling, weil dieser entscheiden muss, ob er in Einrichtungen im Markt investieren möchte, die mit verloren gehenden, d. h. nicht amortisierbaren Kosten verknüpft sind. Beim Vorliegen von irreversiblen Kosten wird von den etablierten Marktteilnehmern ruinöses Wettbewerbsverhalten durch Ausspielung von Androhungspotenzialen sowie das Absenken der Preise auf das Niveau der variablen Kosten erwartet, um damit den Marktzutritt von potenziellen Mitbewerbern zu vereiteln. Der potenzielle Marktaspirant wäre dann nicht mehr in der Lage, die mit dem Markteintritt verbundenen Kosten für die Investitionen durch zukünftige Einnahmen zu amortisieren (vgl. Baumol et al., 1988, S. 290).

- *Bertrand-Nash-Verhalten* (vgl. Bertrand, 1883): Die Bestreitbarkeit des Marktes ist schließlich durch das so genannte Bertrand-Nash-Verhalten der potenziellen Wettbewerber gegeben. Diesem Verhalten liegt für das natürliche Monopol der Sachverhalt zugrunde, dass der Monopolist den Preis als Datum ansieht, d. h. einmal setzt und ihn nicht wieder ändert, und der Marktneuling diesen Preis unterbietet (vgl. Gibbons, 1998, S. 26). Das Preisverhalten wird auf das Ergebnis eines zweistufigen Preissetzungsspiels zwischen dem marktansässigen Unternehmen und dem markteintretenden Unternehmen nach dem Cournot-Wettbewerbsmodell zurückgeführt (vgl. Kreps und Scheinkmann, 1983, S. 326–337). Voraussetzung für das Preissetzungsverhalten ist jedoch vollständige Information der Marktteilnehmer.

5.1.3 Theorie der monopolistischen Bottlenecks

Gegenstand der Theorie monopolistischer Bottlenecks ist die Konzeption eines ökonomischen Referenzmodells zur Bemühung des Handlungsbedarfs zur Ex-ante-Marktmachtdisziplinierung in Netzsektoren, ohne dabei unwillkürlich eine Äquivalenz zwischen den Netzeigenschaften, wie etwa Bündelungsvorteile und Marktmacht, auszumachen (vgl. Knieps, 2001, S. 1). Der Aufbau und der Betrieb eines Flughafens sowie das Angebot von Luftverkehr stellen solche Netzsektoren dar (vgl. Knieps, 1996A, S. 68). Der Kernaussage der Theorie folgend, wird eine tragfähige, netzbedingte Marktmacht nur beim Vorhandensein eines monopolistischen Bottlenecks nachgewiesen (vgl. Knieps, 2001, S. 2). Das ist dann der Fall, wenn gleichzeitig Bündelungsvorteile und irreversible Kosten auftreten (vgl. Knieps, 1997). Ausgangspunkt dieser Lehre ist betreffend die Frage der Rolle des potenziellen Wettbewerbers in Analogie zur Theorie der bestreitbaren Märkte das Stigler'sche Marktzutrittsschrankenkonzept, wonach Größenvorteile den Marktzutritt dann noch nicht zu beschränken vermögen, solange dem potenziellen Marktkandidaten in dem Markt dieselbe Technologie und Kostenfunktion zugänglich sind. Zwischen dem im Markt befindlichen Unternehmen und dem Zutrittskandidaten sind keine Asymmetrien in den Marktbedingungen feststellbar (vgl. Stigler, 1968, S. 67, Knieps, 2001, S. 2).

Die Theorie der monopolistischen Bottlenecks ist Teil des disaggregierten Regulierungsansatzes zum Auffinden von Marktmacht in netzspezifischen Sektoren (vgl. Knieps 1997, S. 327 ff., Knieps 2002, S. 10 ff.). Die Theorie macht sich die Erkenntnisse des Konzepts der wesentlichen Einrichtungen, auch Essential Facilities genannt, zu eignen (vgl. Knieps, 2001, S. 6). Dieses Konzept ist Gegenstand der Essential-Facilities-Doktrin des amerikanischen Antitrust-Rechts (vgl. Areeda und Hovenkamp, 1988, S. 675–701). Eine Einrichtung stellt einen monopolistischen Bottleneck dar, wenn kumulativ die nachstehenden Bedingungen erfüllt sind:

Der Marktteilnehmer benötigt zum Erreichen seiner Kunden Einrichtungen, die nur einmal

[40] Auch versunkene Kosten („sunk costs") genannt.

vorhanden und nicht durch alternative Einrichtungen ersetzbar sind, d. h., ein aktives Substitut ist nicht verfügbar (vgl. Knieps, 2004, S. 8). Dies soll für die Evidenz eines natürlichen Monopols gelten, d. h., ein einzelner Marktanbieter kann diese Einrichtung kostengünstiger bedienen als mehrere Netzanbieter zusammen (vgl. Baumol, 1977, S. 810, Knieps, 2001, Kap. 2).

Der Monopolist lässt sich unter Zugrundelegung eines moderaten Mitteleinsatzes durch Duplizierung der Einrichtungen nicht disziplinieren. Die Einrichtungskosten gelten als irreversibel (vgl. Knieps, 1999, S. 297–304, 2000, S. 90–115). Man sagt in diesem Kontext, dass kein potenzielles Substitut verfügbar ist.

Analog zur Annahme bei der Theorie der Angreifbarkeit der Märkte gelten irreversible Einrichtungskosten für den etablierten Marktteilnehmer bei der Theorie der monopolistischen Bottlenecks als nicht mehr entscheidungsrelevant, wohl aber für den Marktneuling. Marktteilnehmer, die Bottleneck-Einrichtungen für sich geltend machen können, besitzen mithin stabile netzspezifische Marktmacht. Liegen zwar Skalenerträge in Form von Bündelungsvorteilen vor, jedoch keine irreversiblen Kosten, dann ist stabile Marktmacht durch das Vorhandensein der Wirkungen aus der Disziplinierung des denkbaren Wettbewerbs nicht nachweisbar (vgl. Knieps und Vogelsang, 1982, S. 234–241).

Als Fazit der Theorie monopolistischer Bottlenecks lässt sich Folgendes festhalten. Liegt ein Netzbereich als natürliches Monopol mit Bündelungsvorteilen vor, dann wird bei gleichzeitiger Anwesenheit von irreversiblen Kosten ein monopolistischer Bottleneck mit Regulierungsbedarf angenommen, andernfalls wird wegen des potenziellen Wettbewerbs keine Notwendigkeit einer Regulierung gesehen. Ist jedoch kein natürliches Monopol vorhanden, d. h., liegen ausgeschöpfte Bündelungsvorteile vor, dann spielt es keine Rolle, ob versunkene Kosten existieren und man geht schlechthin davon aus, dass netzspezifische Marktmacht durch den aktiven Wettbewerb disziplinierbar ist.

Im Weiteren wird die Marktzugangsbeschränkung potenzieller Netzwerkfluggesellschaften auf Hubflughäfen aufgrund der möglichen Marktmachtausübung von Flughäfen und etablierten Netzwerkfluggesellschaften unter Einbeziehung der Erkenntnisse aus den beiden vorgestellten Theorien analysiert.

5.2 Wettbewerbssituation beim Lokationsproblem

Die Konsolidierung des Flugbetriebs eines Übernahmenetzes setzt voraus, dass sich das Flugangebot an die Bedingungen für ein integriertes Netz anpassen lässt. Auf der Ebene der Flughäfen geht es dabei um folgende Voraussetzungen:

- Die Flughäfen des übernommenen Netzes müssen weiterhin angeflogen werden können, soweit nicht einzelne Flughäfen aufgegeben werden sollen.
- Die Flughäfen müssen ihre ursprüngliche Funktion beibehalten (Hub oder Nichthub), durch den vorherrschenden Wettbewerb darf dieses Problem bei einer Übernahme nicht streitig gemacht werden.
- Im Rahmen eines abgestimmten Flugbetriebs muss es möglich sein, die Kapazitäten auf bestehenden Flughäfen anzupassen, Kapazitäten auf neuen Flughäfen auszubauen, Flughäfen in ihrer Funktion zu intensivieren (z. B. Hub-Hub-Verbindungen) oder zu reduzieren (Hub wird zum Nichthub oder nur noch zum regionalen Hub).

Der Aufbau und der Betrieb eines solchen integrierten Netzwerkes über drei Länder hinweg setzen einen funktionstauglichen Wettbewerb voraus, demzufolge der freie Zugang zu den für das Betreiben eines solchen Netzwerkes benötigten Einrichtungen gegeben sein muss. Demnach ist zuerst zu klären, ob zum Aufbau eines integrierten Hub-and-Spoke-Netzwerkes innerhalb der drei Länder der Zugang zu jedem Flughafen möglich ist und die Slots für die favorisierten Flugrouten beansprucht werden können (vgl. Wegiel et al., 1999, S. 3).

5.2.1 Marktmacht von Flughafenbetreibern

5.2.1.1 Anwesenheit von Subadditivität und Größenvorteilen auf Flughäfen

In diesem Abschnitt soll der Frage nachgegangen werden, ob ein Flughafenbetreiber durch Anwesenheit von Subadditivität und Größenvorteilen auf Flughäfen Marktmacht ausüben und in der Folge einer Fluggesellschaft bei der Netzintegration höhere Preise aufoktroyieren kann, wenn aus Gründen der Netzerweiterung zusätzliche Kapazitäten auf dem Flughafen in Anspruch genommen werden. Höhere Flughafengebühren können sich gegenüber den erhofften Synergieeffekten und damit verbundenen Kostensenkungspotenzialen kontraproduktiv darstellen.

Flughafeninfrastruktur gilt als natürliches Monopol

Traditionell, im Besonderen nach der normativen Wettbewerbstheorie, gelten Flughafeninfrastrukturen als natürliche Monopolbereiche innerhalb von Flughäfen, da die ihr zugrunde liegende Kostenfunktion im relevanten Nachfragebereich subadditiv ist (vgl. Baumol et al., 1988, S. 171). Subadditivität heißt in diesem Zusammenhang, dass zur Schaffung einer bestimmten Flughafenkapazität die Baukosten für Einrichtungen im Vergleich zur Verteilung der identischen Kapazität auf mehreren Flughäfen auf einem einzelnen Flughafen günstiger ausfallen (vgl. Jindra, 2001, S. 6). Ein Flughafen muss, um überhaupt in Betrieb gehen zu können, eine bestimmte Mindestinfrastruktur aufweisen, die bei jeder Kapazitätszahl erforderlich ist (vgl. Beckers et al., 2004, S. 22). Größenvorteile entstehen durch Bündelungsvorteile, die durch die Implementierung von koordinierten Flugverbindungen zwischen kleineren Flughäfen über Drehscheibenflughäfen als Alternative zur Direktflugvariante in einem integrierten Netz möglich sind (vgl. Bittlingmeyer, 1985, Jindra, 2001, S. 3). Ein Wettbewerbsvorteil solcher Flughäfen lässt sich mit den in Größenvorteilen angenommenen sinkenden Durchschnittskosten begründen (vgl. Wolf, 1997, S. 40). Bei der Betrachtung muss zwischen kurz- und langfristigen Größenvorteilen differenziert werden. Kurzfristig entstehen Größenvorteile, wenn sich durch intensive Auslastung der bestehenden Kapazitäten die Durchschnittskosten senken lassen. Langfristig hingegen gehen die Durchschnittskosten nur durch Größenvorteile aufgrund einer Kapazitätserweiterung auf einem Flughafen zurück.

In empirischen Untersuchungen konnte jedoch aufgezeigt werden, dass die Durchschnittskosten nur bis zu einer bestimmten Ausbringungsmenge, also Kapazität des Flughafens, nach unten gehen und dann nahezu konstant bleiben (vgl. Doganis et al., 1995, S. 47). So haben Pels (2000, S. 44 ff.) und Pels et al. (2003) herausgefunden, dass einige europäische Flughäfen bereits im Bereich zunehmender Durchschnittskosten arbeiten. Niemeier und Wolf (2002, S. 39) stellten diesen Sachverhalt insbesondere bei Flughäfen fest, die Kapazitätsengpässe aufweisen.

Aufgrund dieser Argumente lässt sich schlussfolgern, dass bei Flughäfen, bei denen Bündelungsvorteile nachweisbar sind, nicht die Durchschnittskosten automatisch bloß wegen der Anwesenheit von Subadditivität und Größenvorteilen degressiv ausfallen müssen.

Die weitere Betrachtung von Bündelungsvorteilen kann nicht losgelöst vom Flughafentyp erfolgen. Bündelungsvorteile entstehen vornehmlich auf Drehscheibenflughäfen. Solche Drehkreuze findet man in Europa überwiegend auf den Primärflughäfen und zunehmend, wenn auch noch vereinzelt, auf den Sekundärflughäfen vor (vgl. Maertens, 2002, S. 37 ff.). Marktmachtausübung besteht bei den Flughafenbetreibern von Hubflughäfen in der Setzung von Preisen, die eine Drehscheibenprämie enthält und somit höher ausfällt als auf Flughäfen der übrigen Flughafentypen (vgl. Morrison et al. 2000, S. 4 ff.). Auf den zuletzt genannten Flughafentypen spielen Bündelungsvorteile in diesem Zusammenhang nur eine untergeordnete oder gar keine Rolle. Primär- und Sekundärflughäfen sind bedeutende Flughäfen, die vor allem ein großes Einzugsgebiet aufweisen und regelmäßig von Netzwerkfluggesellschaften in die Hub-and-Spoke-Netze durch entsprechende Zubringerdienste auf den Hubflughäfen eingebunden sind. Primär- und Sekundärflughäfen sind in den überwiegenden Fällen internationale Flughäfen. Tertiärflughäfen entsprechen weiteren Flughäfen, auf denen vornehm-

lich Streckendienste innerhalb des Heimatlandes und im geringeren Umfang internationale Punkt-zu-Punkt-Flugverbindungen angeboten werden. Quartiärflughäfen hingegen sind Regional- und frühere Militärflughäfen, die in Einzelfällen für den zivilen Luftverkehr umgewidmet wurden. In Deutschland stellen die Flughäfen Frankfurt und München Primärflughäfen dar, Düsseldorf, Berlin, Hamburg, Stuttgart und Köln/Bonn sind als Sekundärflughäfen anzuerkennen, dagegen gelten Hannover Nürnberg Leipzig/Halle, Bremen, Dresden, Münster/Osnabrück, Dortmund, Erfurt sowie Saarbrücken als Tertiärflughäfen (vgl. Beckers et al., 2002, S. 53).

Anwesenheit von Größenvorteilen und Subadditivität bei den Flughafentypen
Die Eigenschaften der Größenvorteile und der Subadditivität haben bei den europäischen Primärflughäfen keinen und bei den Sekundärflughäfen keinen signifikanten Einfluss auf die Marktmacht der Flughäfen. Bei den Tertiärflughäfen lässt sich Subadditivität hingegen empirisch nachweisen (vgl. Beckers et al., 2004, S. 30). Bei ihnen besteht kein Potenzial für eine Marktmachtausübung von Flughäfen. Die Eigenschaften der Größenvorteile und der Subadditivität reichen hierzu nicht aus. Demnach wären zumindest Primär- und Sekundärflughäfen als keine natürlichen Monopole zu klassifizieren, weshalb auf diesen Flughafentypen keine Marktzutrittsbarrieren bestehen würden (vgl. Starkie 1990, 2001, S. 124 ff.). Marktzutrittsbarrieren auf Flughäfen können jedoch durch die Anwesenheit von versunkenen Kosten und institutionelle Marktzugangsbeschränkungen bestehen, durch die Marktmacht verstärkt werden kann (vgl. Starkie, 2002, S. 63).

5.2.1.2 Anwesenheit irreversibler Kosten auf Flughäfen

Beim Aufbau und Betrieb eines Flughafens fallen Investitionen für die Einrichtungen der Flughafeninfrastruktur an. Dazu zählen Ausgaben für den Bau und die Unterhaltung der Terminals, der Start- und Landebahnen, der zentralen Betriebsinfrastruktur, der Bodenabfertigung, der Verkehrsanbindung etc.. Die Flughafeneinrichtung ist immobil und lässt sich nicht einfach an einen anderen Ort bringen, wie dies etwa bei den Flugzeugen der Fall ist (vgl. Knieps, 2001, S. 6). Flugzeuge gelten als „Kapital mit Flügeln“, d. h., diese Verkehrsträger sind flugstreckenungebunden einsetzbar (vgl. Horn et al., 1988, S. 259, Jindra, 2001, S. 5). Angenommen, diese Investitionsausgaben sind nicht wieder einbringlich, dann wäre nach den vorgestellten Kriterien der Modelle von irreversiblen Kosten auszugehen, wonach Flughäfen durch den bloßen potenziellen Wettbewerb nicht bestreitbar wären.

Die pauschale Annahme der Anwesenheit irreversibler Kosten bei der Flughafeninfrastruktur ist jedoch zu weit hergeholt. Jindra (2001, S. 6) zeigt etwa auf, dass nicht die weitläufigen Gebäudekosten unwiederbringlich sind, sondern dass nur die im Vorfeld eines Flughafenbaus oder einer Flughafenerweiterung anfallenden Planungs- und Entschädigungsaufwendungen zu versunkenen Kosten führen. Der Autor begründet diese Annahme damit, dass ein Flughafengebäude durchaus einer anderen Nutzungsart zugeführt werden kann (vgl. Jindra, 2001, S. 6 ff.). Demnach sind nicht alle Einrichtungen auf Flughäfen mit irreversiblen Kosten verknüpft. Die Argumentation von Jindra mag zwar für Flughafengebäude ihre Richtigkeit haben, klassische Infrastrukturen eines Flughafens wie etwa die Start- und Landebahnen lassen sich nur äußerst schwer alternativ nutzen und sind folglich unzweifelhaft mit versunkenen Kosten behaftet. Bei Anwendung der vorgestellten Kriterien der Bestreitbarkeit der Märkte ist der Flughafen nicht angreifbar, da eine Irreversibilität der Kosten vorliegt. Aufgrund der mangelnden Angreifbarkeit stellt die Flughafeninfrastruktur einen monopolistischen Input nach der Theorie der monopolistischen Bottlenecks dar, wonach der Flughafenbetreiber imstande ist, Marktmacht auszuüben (vgl. Jindra, 2001, S. 7). Marktmacht ist aber nur im Bereich der Infrastrukturteile auszumachen, die mit Kosteninrreversibilität einhergehen.

Das Marktmachtproblem ist deshalb nur auf der Ebene der Start- und Landebahneinrichtungen zu diskutieren, da lediglich diese Infrastruktur als nicht angreifbar und substituierbar gilt. Kosteninrreversibilität tritt auf allen Flughafentypen auf, jedoch mit unterschiedlicher Intensität. Während bei internationalen Flughäfen (Primärflughäfen) die irreversiblen Kosten hoch sind (vgl. Beckers et al., 2004, S. 31), fallen sie bei den übrigen Flughafentypen deutlich geringer

aus. Barrett (2000, S. 15) verweist in diesem Zusammenhang sogar darauf, dass sich für einen Marktneuling das Problem der versunkenen Kosten im Zusammenhang mit einem Tertiärflughafen deutlich abschwächt oder sogar abwesend ist, weil die Flughafenbetreiber dieses Flughafentyps neue Fluggesellschaften gegenwärtig stark umwerben und somit für eine Marktmachtausübung durch Setzung von Hubprämien in den Flughafengebühren so gut wie kein Spielraum verbleibt. Ein Beispiel hierfür ist der Flughafen Leipzig, der die Post-Tochter DHL zur Etablierung eines Luftfracht-Drehkreuzes nach erheblichen Zugeständnissen bei der Erweiterung der bestehenden Flughafeninfrastruktur gewinnen konnte.[41]

Bei Akquisitionen von Fluggesellschaften lässt sich konstatieren, dass die Übernehmergesellschaft eine starke Verhandlungsmacht gegenüber den Hub-Flughafenbetreibern innehat. Sie kann aufgrund der Multihub-Strategie in einem integrierten Multi-Hub-and-Spoke-System damit drohen, Verkehr zugunsten anderer Hub-Flughäfen im integrierten Netz abzuziehen. Jedoch zeigt sich, dass die Macht nicht so weit geht, die Hub-Preise zu drücken. Aus Sicht der Konsolidierung des Luftverkehrssektors führt die Anwesenheit von Größenvorteilen, Subadditivität und irreversiblen Kosten bei den Hub-Flughäfen als auch bei den Sekundärflughäfen zu keiner Marktmacht auf Seiten der Flughafenbetreiber. Größenvorteile, Subadditivität und irreversible Kosten sind keine geeigneten Wettbewerbsinstrumente für Flughafenbetreiber, gegenüber der Erwerberfluggesellschaft Marktmacht auszuüben und höhere Flughafengebühren durchzusetzen.

Marktmachtreduktion durch intra- und intermodale Substitutionskonkurrenz
Die Marktmacht von Flughäfen wird durch Anwesenheit von intra- und intermodaler Substitutionskonkurrenz auf der Ebene der Flughäfen und durch Marktmachtgegengewichte auf der Ebene der Fluggesellschaften abgemildert (vgl. Beckers et al., 2004, S. 24).

Substitutionskonkurrenz stellt eine spezielle Konkurrenzform dar. Man versteht darunter nicht das Wettbewerbsverhalten der Marktteilnehmer in demselben Marktsegment, sondern die ersatzweise Konsumtion des originären Gutes durch so genannte Substitutionsgüter (vgl. Pantförder, 1969). Für den Luftverkehr bedeutet Substitution den Sammelbegriff für jede Art von Beförderung ohne Flugzeugeinsatz. Substitutionskonkurrenz in diesem Kontext beschreibt die Wechselwirkungen dieser Substitutionsform.

Intramodale Substitutionskonkurrenz zwischen den Flughäfen
Unter intramodaler Substitutionskonkurrenz wird die Wettbewerbskonkurrenz zwischen Marktteilnehmern desselben Marktsegments, also den Flughäfen bzw. Fluggesellschaften untereinander und den Flughäfen und Fluggesellschaften nebeneinander, verstanden (vgl. Beckers et al., 2004, S. 24). Intramodale Substitutionskonkurrenz tritt vornehmlich zwischen Netzwerkfluggesellschaften auf den Primärflughäfen im Wettbewerb um die Umsteigerpassagiere auf, welche ihr Flugnetz nach Drehscheibensystemen ausrichten (vgl. Starkie, 2002, S. 66). Die hohe Anzahl von Hubs in Europa in Verbindung mit Netzwerkgesellschaften, die ein Hub-and-Spoke-System betreiben, führt zu einem starken Wettbewerb um die Transferpassagiere (vgl. Wolf, 1997, S. 41 ff.) und in diesem Kontext um Belly-Fracht als Kuppelprodukt zum Passagier. Betrachtet man bloße intra-europäische Hub-and-Spoke-Systeme, dann konkurrieren die Hub-Flughäfen sogar mit den Flughäfen, auf denen innereuropäische Punkt-zu-Punkt-Verbindungen angeboten werden (vgl. Sommer, 2005, S. 24 ff.). Viele europäische Flughäfen, darunter auch die Hub-Flughäfen, sind nicht zuletzt von den Low-Cost-Fluggesellschaften mit Punkt-zu-Punkt-Flugstrecken verbunden. Alleine für Berlin lassen sich Verbindungen zu acht europäischen Hubs ausmachen, von denen interkontinentale und inner-europäische Anschlussverbindungen angeboten werden (vgl. Dennis, 1998, S. 240). Substitutionskonkurrenz liegt vor, weil es wegen des geografischen kleinen Raums in Europa und der damit assoziierten verhältnismäßig kurzen Flugzeiten für den Passagier quasi indifferent ist, über welchen europäischen Hub er befördert wird, sofern es alternativ für das Ziel keine Direktverbindung gibt. Bei Belly-Fracht ist der Faktor Umweg innerhalb von

[41] Vgl. Artikel: Frachtzentrum Leipzig in der Zeitung Berliner Morgenpost vom 10. Juli 2004 S. 5.

Europa noch von geringerer Bedeutung als für den Passagier. Die Größe und die Überlappung des Einzugsgebiets spielen bei Hub-Flughäfen nur eine untergeordnete Rolle, bei den Sekundärflughäfen können diese Faktoren zu Verschiebungen der Passage/Fracht zugunsten eines Flughafens im Einzugsgebiet führen. Fluggesellschaften und Passagiere besitzen eine Reihe von Möglichkeiten zur Substitution von Flughäfen.

Intramodale Substitutionskonkurrenz ist somit im Passagiersektor auf Primärflughäfen wegen des starken Wettbewerbs mit anderen Primärflughäfen feststellbar und führt zu einer Reduktion der Marktmacht der Flughafenbetreiber. Sie ist im Passagiersektor im gewissen Maße auch auf den Sekundärflughäfen feststellbar, wenn auch nicht in der Ausprägung wie bei den Primärflughäfen. Auf den übrigen Flughafentypen kommt die intramodale Substitution wegen der Abwesenheit von Drehscheibensystemen bei der reinen Passagier- bzw. Frachtbeförderung nicht vor. Insoweit ist nicht von einer Marktmachtreduktion bei Flughafenbetreibern dieses Flughafentyps auszugehen. Bei Belly-Fracht gelten die aufgezeigten Argumente analog. Bei der Übernahme einer Fluggesellschaft vermag das beherrschende Luftfahrtunternehmen sehr wohl gegenüber den Hub-Flughäfen des Übernahmenetzes ein Gegengewicht zur Marktmacht der Primärflughafenbetreiber darzustellen. Es lässt sich dieser bei einem Multi-Hub-Netz, wie dies etwa bei der AUA, Lufthansa und Swiss vorliegen würde, drohen, Flugverkehr zugunsten der anderen Hubs abzuziehen. Aufgrund der aufgezeigten Argumentation des kleinen Raums der drei Länder spielt es aus Entfernungs- und Flugzeitgründen nur eine untergeordnete Rolle, über welche Hub-Flughäfen Belly-Fracht geroutet wird.

Intermodale Substitutionskonkurrenz

Intermodale Substitutionskonkurrenz beschreibt den Wettbewerb zwischen Verkehrsanbietern unterschiedlicher Verkehrssegmente, hier zwischen dem Flugverkehr und dem Bahn- oder dem Autoverkehr. Abschnitt 6.1.2 thematisiert speziell den intermodalen Wettbewerb zwischen Belly-Fluggesellschaften und dem Bodentransporten. Da jedoch Fluggesellschaften nur in wenigen Fällen Bodentransporte anbieten, etwa bei RFS, vermag sie einer Flughafengesellschaft nicht zu drohen, Flugverkehr zugunsten des bodengebundenen Verkehrs vom Flughafen abzuziehen.

Marktmachtgegengewichte können etablierte Netzwerkfluggesellschaften auf Primär- und Sekundärflughäfen so gut wie nicht ins Feld bringen, da die Fluggesellschaft alleine wegen des hohen Bedarfs an Flughafeninfrastruktur für Hubs der Flughafenbetreibergesellschaft nicht wirklich drohen kann, sich von dem Flughafen zurückzuziehen (vgl. Forsyth, 2004, S. 11).

5.2.1.3 Netzzugangsbeschränkung durch institutionelle Marktzutrittsbarrieren

Soweit für die Integration der Netze eine Netzausweitung bzw. -anpassung und hierfür bestimmte Flughäfen erforderlich sind, muss der freie Marktzutritt auf diesen Flughäfen möglich sein. Der Zugang zu diesen Flughäfen kann jedoch daran scheitern, weil die hierfür erforderliche Kapazität bei den Flughafeneinrichtungen nicht oder nicht in ausreichender Zahl vorhanden ist. Eine derartige Zugangsbeschränkung zu einem Flughafen lässt sich nur durch eine entsprechende Kapazitätserweiterung des Flughafens oder durch einen Neubau überwinden, was einer hohen planungs- und umweltrechtlichen Hürde – auch als institutionelle Barrieren bezeichnet – entspricht (vgl. Wolf, 1997, S. 55 ff.).

Während auf den Primär- und Sekundärflughäfen sehr hohe institutionelle Marktzutrittsbeschränkungen bestehen, weisen Tertiärflughäfen bisweilen nur im geringen Umfang genutzte Flughafeninfrastruktur auf, sodass auf diesem Flughafentyp die Markteintrittsbarrieren verständlicherweise geringer ausfallen. Nichtsdestotrotz kämpft man ebenso bei Tertiärflughäfen mit den institutionellen Barrieren, sodass auch hier der potenzielle Wettbewerb durch vorhandene Bestreitbarkeitshemmnisse eingeschränkt ist (vgl. Beckers et al., 2004, S. 31). Die institutionellen Barrieren sind jedoch nicht so stark ausgeprägt wie bei den Primär- und Sekundärflughäfen, weil bei Tertiärflughäfen oft latente Kapazitätsreserven vorhanden sind. Trotz der bisweilen auf Tertiärflughäfen möglichen Kapazitätsausweitungen ist

der Zugang einer Netzwerkfluggesellschaft häufig deswegen nicht opportun, weil diesen Flughäfen das nötige Einzugsgebiet fehlt oder sie verkehrsgeografisch ungünstig liegen (vgl. Bunse, 2003).

Tertiärflughäfen eignen sich wegen Fehlens des Einzugsgebiets und der notwendigen Infrastruktur (z. B. Anfahrtswege etc.) nur äußerst schlecht für einen Hubflughafen, sodass zum Aufbau und Betrieb eines Drehkreuzes als Flughafenstandort lediglich Primär- oder Sekundärflughäfen infrage kommen. Auf diesen Flughafentypen sind die institutionellen Marktzugangsbarrieren sehr hoch, weil die zum Aufbau und Betrieb eines Hubsystems erforderlichen Kapazitäten in der Regel aus infrastrukturellen oder kapazitiven[42] Gründen nicht zur Verfügung gestellt werden können. Institutionelle Marktzugangsschranken auf Flughäfen stellen das eigentliche Problem für eine Netzwerkfluggesellschaft dar, ihre Netze zu skalieren.

5.2.1.4 Fazit zu den Wettbewerbshemmnissen auf der Ebene der Flughäfen

Der Zugang zu Flughäfen lässt sich nicht durch die Marktmacht von Flughafeneignern beschränken oder vereiteln. Zwar gilt generell ein Flughafen als natürliches Monopol. Es bleibt jedoch festzuhalten, dass die Eigenschaft der Subadditivität der Kostenfunktion auf Primärflughäfen vollständig abwesend ist, auf den Sekundärflughäfen nur zum Teil vorkommt und auf den Tertiärflughäfen anwesend ist. Größenvorteile werden vor allem auf den Primärflughäfen durch Bündelungsvorteile ausgemacht, jedoch reicht das für ein Marktmarktausübungspotenzial für die Flughafenbetreibergesellschaft nicht aus, um damit potenzielle Luftverkehrsgesellschaften vom Markteintritt auf dem Flughafen abzuhalten. Das Gleiche gilt auch auf der Ebene der Sekundärflughäfen. Bei den Tertiärflughäfen ist Marktmacht durch die Flughafengesellschaft ganz auszuschließen.

Auf den Primär- und Sekundärflughäfen bestehen aber institutionelle Marktzutrittsbarrieren, die die eigentlichen Schranken für die Erweiterung von Netzen bedeuten. Die Übernahme eines Netzes und die Integration in ein bestehendes Netz bedingen einen abgestimmten Flugbetrieb. Da viel Verkehr von einem zum anderen Netz über Hub-Hub-Verbindungen erfolgt, besteht insbesondere auf den Hub-Flughäfen, welche Primärflughäfen sind, ein hoher Abstimmbedarf im Flugplan und gegebenenfalls bei der Anpassung des Flugbetriebs. Dies kann dazu führen, dass die Fluggesellschaft zusätzliche Slots und somit auch weiteren Kapazitätsbedarf auf Flughäfen hat (Start- und Landebahnen, Flughafeninfrastruktur etc.).

Es lässt sich somit festhalten, dass auf Primär- und Sekundärflughäfen die Markteintrittsbarrieren sehr hoch sind, bei Tertiärflughäfen dagegen begrenzt ausfallen. Für den Aufbau und Betrieb eines über Ländergrenzen in Europa hinweg orientierten Hub-and-Spoke-Netzes bedeutet dies, dass auf bestimmte Hub- bzw. Nichthub-Flughäfen nur dann zurückgegriffen werden kann, wenn dort die benötigten Flughafeninfrastrukturen tatsächlich vorhanden sind.

5.2.2 Netzbedingte Marktmacht von Netzwerk-Carriern

Die folgenden Abschnitte gehen der Frage nach, ob neben den Flughafenbetreibern auch die Fluggesellschaften über Marktmachtpotenzial verfügen, mit dem sie potenzielle Netzwerkfluggesellschaften vom Markteintritt abzuhalten vermögen. Es wird dabei im Speziellen untersucht, ob dieses Phänomen durch die Bildung von Allianzen bzw. durch Übernahmen von Fluggesellschaften verstärkt wird, sich also aus Sicht der Fluggesellschaften Allianzen bzw. Übernahmen zur Abwehr des Markteintritts von Mitbewerber-Fluggesellschaften in der Wettbewerbsstrategie instrumentalisieren lassen.

Ausgehend von den engen europäischen Luftverkehrsmärkten und der Bevorzugung der großen Flag-Carrier haben es weitere Fluglinien schwer, Marktsegmente zu erobern. Zum großen Teil etablieren sich neue Fluglinien mit Stützpunkten auf den kleinen und Regionalflughäfen mit Zubringerflügen und verfolgen in erster Linie Nischenstrategien[43] (vgl. Krahn,

[42] Vgl. weiter unten die Kapazitätsrestriktionen bei den Slots.
[43] Vgl. die Ausführungen zur Nischenstrategie weiter unten.

1994). Zwar beläuft sich der Marktanteil aller Nicht-AEA-Linien-Carrier auf europäischen Strecken mit einer Verteilung auf ca. 160 Fluggesellschaften auf knapp 5 Prozent. Selbst diese hohe Zahl an Fluggesellschaften vermag die quasi monopolistische Stellung der AEA-Linien und die sich daraus etablierten Flug-Allianzen jedoch nicht anzugreifen. Damit lässt sich aber nicht automatisch annehmen, dass die großen Netzwerkfluggesellschaften andere Fluggesellschaften vom Zutritt auf Flugstrecken des eigenen Netzes abzuhalten vermögen.

5.2.2.1 Marktmacht von Netzwerkfluggesellschaften durch Allianzen

Durch die Bildung strategischer Allianzen von Fluggesellschaften kann es zu Marktzutrittsbarrieren auf Flughäfen kommen, wenn die Nutzung von Flughafeninfrastruktur überwiegend den bereits ansässigen Fluggesellschaften der Allianz durch entsprechende bilaterale Vertragsvereinbarungen zwischen Fluggesellschaft und Flughafen oder entsprechende Kapitalbeteiligungen der Fluggesellschaft am Flughafen zur Sicherung von Gates oder Terminals vorenthalten ist[44] (vgl. Deutsche Bank Research, 2004, S. 17). Allianzen im Luftfahrtsektor sind Verbindungen von Luftfahrtgesellschaften mit dem Ziel der Realisierung von komplexen Kapazitäts- und Angebotsstrukturen. Ziel ist dabei die Absicherung langfristiger Gewinn-, Wachstums- und Marktanteilsmöglichkeiten der Allianzbeteiligten (vgl. Beeser, 1996, Bongartz, 1998, S. 381–407). Die Partner einer strategischen Allianz sind weiterhin wirtschaftlich und rechtlich selbstständig, arbeiten aber innerhalb des gemeinsamen Tätigkeitsbereichs mit reduzierten Dispositionsmöglichkeiten (vgl. Ehmer, 2002).

Unter einer strategischen Allianz versteht man eine zwischen den Allianzpartnern genau geplante Verbindung nach strategischen Gesichtspunkten. Gemeint sind dabei zwischen den Teilnehmern der Allianz abgestimmte Programme zur Verbesserung der Auslastung, zur Erweiterung von Strecken- und Produktangeboten, zum Kapazitätsausbau, zur Fixkostenaufteilung und zur Marktmachterhöhung bis hin zur Konzentration (vgl. Fritz, 2000, S. 11 ff.).

Strategische Allianzen oder Übernahmen schaffen die Möglichkeit einer Netzausweitung und -vertiefung, um so durch größere Zuführungen von Passagieren und Fracht höhere Auslastungen auf den Drehscheiben zu erlangen. Netzbedingte Synergieeffekte zwischen den Allianzpartnern sind umso höher, je komplementärer die Flugnetze der Partner sind, d. h. aufeinander abgestimmt sind (vgl. Gans, 1998, S. 27 ff.). Die Hub-and-Spoke-Systeme der Allianz-Partner führen bei den Allianzen zu einer starken Bündelung des Flugverkehrs und so zu einem hohen Umsteigerverkehr auf den Hubflughäfen, was eine starke Konzentration der vorhandenen Slots auf die Allianzpartner zur Folge hat. Die auf Hub-Flughäfen bedingte Konzentration von Zeitnischen vollzieht sich dabei nicht nur auf die zwei Tagesrandzeiten am Morgen und am Abend, sondern es werden mittlerweile mehrere Tagesspitzen zur Bündelung genutzt. Mit dem Parallel-Hub-System Frankfurt und München konzentriert sich die Lufthansa etwa auf die Bündelung von Flugverkehr durch die gezielte Kombination der beiden Flughäfen auf sechs Tagesabschnitte (vgl. M terminal, 3/2001, S. 1).

Obgleich die meisten Fluggesellschaften trotz der Nabe-Speiche-Systeme wegen restriktiver bilateraler Länderabkommen (vgl. Perfal, 2003, S. 14 ff.) über Verkehrsrechte an ihre Wachstumsgrenzen gestoßen sind, konnten Größenvorteile und Synergieeffekte gerade durch den Zusammenschluss von Hub-and-Spoke-Fluggesellschaften zu Allianzen oder durch Übernahme anderer Netzwerkfluggesellschaften aufrechterhalten oder sogar ausgebaut werden. Insbesondere die M&A-Transaktionen von ehemaligen Flag-Carriern innerhalb von Europa führten zu starken Konzentrationserscheinungen, d. h., das Luftverkehrsangebot innerhalb Europas und im Kontinentalverkehr wird von einer immer kleineren Anzahl von Netzwerkfluggesellschaften dominiert. Über Code-Sharing-Zusammenarbeit im Flugbetrieb erfolgt die Schaffung von Marktzutrittsmöglichkeiten, die über die in den bilateralen Abkommen erlaubten Flugrechte hinausgehen (vgl. Poss, 2002, S. 48 ff.). Allianzbedingte Synergieeffekte lassen sich dabei sowohl auf der Ertrags- als auch auf der Kostenseite aufgrund des mit den Größen- und Verbundvorteilen verbundenen Ertragssteigerungs- und Kosten-

[44] Vgl. den Flughafen München, bei dem sich die Lufthansa am Terminal 2 des Flughafens finanziell beteiligt hat (vgl. M terminal, 1998)

senkungspotenzials realisieren (vgl. Deutsche Bank Research, 2004, S. 10, Gans, 1998, S. 34 ff.).

Die Literatur ist sich jedoch nicht ganz einig, ob Hub-and-Spoke-Systeme tatsächlich die erhofften Vorteile durch Betriebsgrößenersparnisse einbringen, weil sich der Aufbau und der Betrieb von derartigen Liniennetzen als zu aufwändig, zu teuer und zu schwer zum Managen erwiesen hätten. Das ungleich simplere „Point-to-Point"-System der Low-Cost-Airlines produziert dagegen weniger Kosten und wird von der Kundschaft akzeptiert.[45] Anhand der Kosten- und Ertragssituation der Allianzfluggesellschaften lässt sich dieser Sachverhalt überprüfen. Die Technische Universität Berlin gibt eigenen Meldungen zufolge an, dass die Lufthansa im Jahre 2001 durch die Starallianz 250 Mio. Euro eingespart haben will.[46] Lufthansa selbst bestätigt diese Zahl indes nicht. Andere Allianzfluggesellschaften behaupten, ebenfalls durch das Eingehen einer Allianz Einsparungspotenzial auf der Kostenseite verbucht zu haben, was auch nicht ohne Weiteres belegbar ist. So werden 56 Prozent aller IATA-Frachtabkommen zwischenzeitlich mit steigender Tendenz von Allianzen erbracht. Dies stellt zumindest ein Indiz für erzielbare, allianzbedingte Größenvorteile im Interkontinentalverkehr dar. Demnach scheinen die Allianzvorteile trotz einiger Vorbehalte nicht von der Hand zu weisen sein. Im Passagierbereich existieren heute vier große Allianzen (Star Alliance, OneWorld, Sky und Wings) mit nahezu weltweit abgedeckten und abgestimmten Flugnetzen (vgl. Warnholtz, 2005). Alliierte Fluggesellschaften befördern bereits heute über Code Sharing, Franchising oder Absprachen zwei Drittel des Weltverkehrs (vgl. IATA, 2000, Bunse, 2003). Diese Verkehrszahlen dokumentieren die hohe Bedeutung der strategischen Allianz im Luftverkehrssektor, sodass sich nach wie vor von hohen Betriebsgrößenersparnissen ausgehen lässt.

Die Bestrebung von Allianzen, möglichst viel Flugverkehr über ihre angeschlossenen Hub-Flughäfen zu leiten, führt zu Kapazitätsengpässen auf diesen Drehscheibenflughäfen. Dies macht sich insbesondere bei der stark eingeschränkten Verfügbarkeit von Slots für die übrigen Fluggesellschaften bemerkbar. Es liegt deshalb die Vermutung nahe, dass dadurch neue Fluggesellschaften vom Zugang zu Hub-Flughäfen abgehalten werden können.

Es zeigt sich jedoch, dass Allianzen nicht imstande sind, durch exklusive Nutzung von Flughafeneinrichtung oder aus den aufgezeigten Synergieeffekten der Allianz potenzielle Fluggesellschaften vom Markteintritt abzuhalten. Das Marktmachtpotenzial gegenüber Mitbewerber-Fluggesellschaften durch die Allianzfluggesellschaften ist demnach nur als gering einzustufen.

5.2.2.2 Marktmacht von Netzwerkfluggesellschaften durch Übernahmen

Im vorangegangenen Abschnitt konnte aufgezeigt werden, dass durch die exklusive Inanspruchnahme von Flughafeninfrastruktur der Marktzutritt von anderen Fluggesellschaften insbesondere auf den Hub-Flughäfen deutlich erschwert wird. Darüber hinaus entstehen durch einen abgestimmten Flugbetrieb und Synergieeffekte im Netzbereich Betriebsgrößenersparnisse, sodass sich der Wettbewerb nach der Strategie der Kostenführerschaft ausrichten lässt.

Marktzutrittsversagen als Folge eines Wettbewerbsverhaltens bei Übernahmen

Die zunehmende Konzentration im europäischen Luftfrachtsektor wird tendenziell den Marktzutritt von potenziellen Bewerbern erschweren, wenn bei Übernahmen bestehende Slots gehortet werden und somit in Ermangelung von Zeitnischen auf den attraktiven Flughäfen andere Fluggesellschaften selbst keine attraktiven Flugnetze aufbauen können. Insbesondere zeigt sich im interkontinentalen Flugverkehr, dass weiterhin erhebliche Markteintrittsbarrieren für Flugrouten, für die die 7. bzw. 8. Freiheit erforderlich sind, bestehen (vgl. Hartwig, 2004,

[45] Vgl. www.atkearney.de/content/presse/pressemitteilungen_practices_detail.php/id/48776/practice/aerospace/archiv/1, 24. Nov. 2004 [abgerufen am 17.07.2005].

[46] Vgl. Vorlesungsfolie, S. 16, Sommersemester 2002, Technische Universität Berlin, Institut für Volkswirtschaftslehre und Wirtschaftsrecht, Fachgebiet für Wirtschafts- und Infrastrukturpolitik.

S. 293). Weiterhin bestehen Restriktionen bei Mehrheitsbeteiligen nicht gebietsansässiger Airlines an heimischen Fluggesellschaften aufgrund bestehender Nationalitätsklauseln, die vor allem den ehemals nationalen Carriern Wettbewerbsvorteile bescheren (vgl. Hartwig, 2004, S. 293). Aufgrund der Überlastung des europäischen Luftverkehrssystems gilt die heutige Slot-Vergabepraxis als wettbewerbshemmend, wie in Abschnitt 5.2.2.3 näher begründet wird (vgl. Weimann, 1998, S. 284, Kummer und Schnell, 2002, S. 243).

Zwar argumentieren mittlerweile einige Luftfahrtgesellschaften, dass sie aufgrund der schwachen Wirtschaftslage gerne aufkommensschwache Strecken aufgeben möchten. Dies wäre aber mit dem Verlust des Slot verbunden, weshalb die Airlines nach einer Änderung der Slot-Vergaberechte rufen (vgl. Lufthansa, 2009).

Dennoch ist offensichtlich, dass die großen Netzwerkfluggesellschaften potenzielle Markteindringlinge auf ihren Drehscheibenflughäfen oder auf dedizierten Flugrouten im Wettbewerb zu verdrängen vermögen. Die vorherrschende Netzwerkstruktur ermöglicht es mitunter, den möglichen Mitbewerber vom Marktzutritt fernzuhalten, indem die Netzwerkfluggesellschaft möglichst viele eingeräumte Zeitnischen aufrechterhält bzw. durch Konzentrationen neue Slots dazubekommt. Da die übernommenen Fluggesellschaften meist rechtlich selbstständig bleiben, beanspruchen sie weiterhin die ihnen allokierten Flughafeneinrichtungen und Slots.

Die Marktmacht der Combination-Carriers wird noch dahingehend intensiviert, dass auf den ohnehin schon an Kapazitätsproblemen durch den Interkontinentalverkehr stark leidenden Drehscheibenflughäfen auch noch die Konzentration der Belly-Frachtkapazitäten aus dem Übernahmenetz für Kontinente übergreifende Ziele zum Füttern der Interkontinentalflugzeuge am Hub erfolgt. Dies bedingt jedoch einen abgestimmten Flugbetrieb zwischen dem Übernahmenetz und dem Erwerber-Netz, womit sich die Drehscheibenflughäfen im integrierten Netz auch stärker auslasten lassen. Dadurch können die hub-bedingten Größenvorteile noch besser ausgeschöpft werden, wovon auch die Allianz profitiert, die sich auf der Wettbewerbsebene Vorteile durch Kostensenkungspotenziale schafft.

Bedenkt man, dass eine Größenordnung von ca. 50 Zubringerflügen notwendig ist, um ein größeres Fluggerät für den Interkontinentalverkehr vollzuladen, wird klar, dass es auf den Drehscheiben zu einer extremen Verknappung der Slots kommt (vgl. Vahrenkamp und Mattfeld, 2007, S. 196). Trotzdem ist ein Ausweichen auf die Sekundärflughäfen zur Entlastung der bestehenden Hub-Flughäfen nicht feststellbar und somit bleibt Markteindringlingen kaum die Chance, auf den Primärflughäfen Start- und Landerechte zu erhalten. Otto (2005, S. 470) und Putzger (2006) argumentieren, dass lediglich 10 Prozent der Belly-Fracht ohne Prüfung verladen werden und die Bedrohung eines Terroranschlags durch eine in Belly-Fracht eingebrachte Bombe nicht auszuschließen ist, was unweigerlich einen herben Einschnitt oder gar das Ende der kombinierten Luftfrachtbeförderung und in diesem Zusammenhang Entlassungen zur Folge haben könnte.

Der Wettbewerb bei Belly-Fracht wird vornehmlich auf der intramodalen Ebene für Transporte innerhalb der Nation und in Europa zwischen den Combination-Carriern und den Integratoren ausgetragen, wenn es um den interkontinentalen Frachttransport geht und Belly-Fracht zum Füttern der großen Maschinen dient, um eine möglichst große Auslastung der Maschinen und eine möglichst große Marktabdeckung zu erreichen, wodurch die Stückkosten sinken und sich niedrigere Marktpreise veranschlagen lassen. Wettbewerb herrscht dabei innerhalb der Gruppe der großen Netzwerkfluggesellschaften einerseits und zwischen diesen Airlines und den Integratoren andererseits (vgl. Schneider, 1993, S. 46, Porter, 2004, S. 126 ff.).

Die Intensität der Wettbewerbsrivalität auf dem Luftverkehrssektor wird durch eine „Vielzahl von Konkurrenten, langsames Branchenwachstum, hohes Fixkostenniveau sowie wirtschaftliche und staatliche Marktaustrittsbarrieren“ erhöht (vgl. Porter, 2004, S. 17 ff., Schneider,

1993, S. 46). Überdies führt eine Einschränkung in der Produktdifferenzierung zum Bestreiten einer möglichen Nischenstrategie dazu, sich dem Verdrängungswettbewerb des Kernmarkts ausgesetzt zu sehen (vgl. Porter, 2004, S. 20 ff.). Jedoch bieten sich in der Luftfracht aufgrund der Homogenität des Gutes Luftfracht kaum Differenzierungsmerkmale an.

Es zeigt sich jedoch, dass sich durch die mit der Übernahme einhergehende exklusive Nutzung von Flughafeneinrichtung im Übernahmenetz potenzielle Fluggesellschaften vom Markteintritt abhalten lassen bzw. aufgrund der mit der Übernahme erzielbaren Kostensenkungspotenziale mit einer Strategie der Kostenführerschaft auf der Ebene senkbarer Frachtpreise der Wettbewerb bestritten werden kann. Für eine Fluggesellschaft, die eine hohe Netzabdeckung im relevanten Marktbereich aufbauen will, wird der Marktzugang jedoch erheblich erschwert, wenn sie zum Aufbau eines Drehscheibensystems ihre Hubposition auf den bestehenden Primärflughäfen beanspruchen möchte, auf denen die eingesessenen Netzwerkfluggesellschaften ihre Drehscheiben unterhalten und insofern keine weiteren Kapazitäten zur Verfügung stehen, womit es ihr nur gelingen wird, der Netzwerkfluggesellschaft, bei Punkt-zu-Punkt-Verbindungen den Wettbewerb streitig zu machen.

5.2.2.3 Marktmacht von Fluggesellschaften durch Slot-Konzentration/-Hortung

Fluggesellschaften selbst, insbesondere Allianz- und Netzwerkfluggesellschaften, verfügen über Marktmacht, wenn sie alleine durch Inanspruchnahme von Start- und Landebahnen auf Flughäfen durch Konzentration oder Hortung von zugeteilten Zeitnischen potenzielle Netzwerkfluggesellschaften in Ermangelung freier Zeitnischen den Marktzutritt auf Flughäfen vereiteln können.

Durch die Übernahme einer anderen Fluggesellschaft sichert sich die Übernehmergesellschaft die Slot-Rechte der Übernahmegesellschaft zu. Im Nachfolgenden wird der Frage nachgegangen, ob sich dadurch im Zuge einer Übernahme Marktmachtpotenzial ableiten lässt, mit dem andere Fluggesellschaften vom Marktzutritt abgehalten werden können.

Eingeräumte Nutzungsrechte für Start- und Landebahnen bilden Marktmachtpotenzial
Aufgrund der hohen Anzahl von Flugbewegungen auf Drehscheibenflughäfen kommt es zu einer Kapazitätsverknappung bei den vorhandenen Start- und Landebahnen. Unter Flugbewegungen versteht man die Summe aller Starts und Landungen innerhalb eines bestimmten Zeitraums. Start- und Landebahnen zählen neben der Verkehrsanbindung, den Terminals, den Bodenverkehrsdiensten etc. zur Flughafeninfrastruktur (vgl. Wolf, 1997, S. 32 ff.). Sie stellen limitationale Einrichtungsfaktoren dar, d. h., die bestehenden Kapazitäten pro Zeiteinheit lassen sich nicht beliebig skalieren.

Dieser Teil einer Flughafeneinrichtung ist als nicht angreifbarer und substituierbarer Teilmarkt zu qualifizieren (vgl. Jindra, 2001, S. 7). Start- und Landebahnen gelten nach den obigen Ausführungen wegen der Anwesenheit von Subadditivität als natürlicher Monopolbereich und sind mit relevanten reversiblen Kosten behaftet. Nach den Kriterien der Bestreitbarkeit der Märkte gilt der infrastrukturelle Teilbereich der Start- und Landebahnen innerhalb von Hubflughäfen als unbestreitbar (vgl. Knieps 1996, 1997).

Auch nach den Kriterien der Theorie monopolistischer Bottlenecks stellen die An- und Abflugpisten eine monopolistische Einrichtung dar, weil sie eine unabdingbare Einrichtung für den Flugbetrieb und gleichzeitig nicht mit angemessenen Mitteln duplizierbar sind (vgl. Knieps und Brunekreeft, 2003).

Nach den Bedingungen dieser Theorie lässt sich auf der Ebene der Inanspruchnahme der Start- und Landebahnen eine stabile netzspezifische Marktmacht lokalisieren. Dieses Teilsegment gilt auch hier als nicht bestreitbar (vgl. Knieps, 2001).

Zwar sind die Flughafenbetreiber Eigentümer und Kapazitätsvorhalter für Start- und Landebahnen. Marktmachtausübungspotenzial wird aber bloß den Fluggesellschaften zugeschrie-

ben, die tatsächlich die Inhaber der Start- und Landerechte sind und diese vom Flughafenbetreiber gegen Gebühr beanspruchen können.

Kapazitätsknappheit mit institutioneller Barriere gleichsetzbar
Viele bestehende Hubflughäfen, aber auch viele Sekundärflughäfen stoßen an ihre Kapazitätsgrenzen. Exemplarisch lässt sich dies für Frankfurt und London/Heathrow aufzeigen.[47] Die Verknappung des Zugangs zu den vorhandenen Start- und Landebahnen auf den Flughäfen kommt einer institutionellen Marktzutrittsbarriere im oben dargestellten Sinne gleich, da zusätzliche Kapazitäten nur durch neue Bahnen geschaffen werden können. Aktuell fehlen alleine in Deutschland 3 bis 4 Start- und Landebahnen, um den von den Fluggesellschaften begehrten Start- und Landerechten auf deutschen Flughäfen gerecht zu werden.[48]

Slot-Zuordnung
Nach der EWG-Verordnung 94/93 Nr. 2 Abs. a versteht man unter einem Slot ein einer Fluggesellschaft zugeordnetes Zeitfenster. Der Slot definiert die planmäßige Start- und Landezeit für die Luftfahrtzeug-Bewegung an einem bestimmten Tag auf einem Flughafen, dessen Slots gemäß der EWG-Verordnung koordiniert werden (vgl. Jindra 2001, S. 6).

Die Anzahl der verfügbaren Slots hängt von der Kapazität des Flughafens ab und ist u. a. von Art und Anzahl der Start- und Landebahnen, von Art und Dauer der Passagierabfertigung und von zeitlichen oder räumlichen Flugverboten abhängig. Die Notwendigkeit der koordinierten Vergabe von Slots besteht für Flughäfen, bei denen mehr Flugbewegungen nachgefragt werden, als aufgrund der Kapazität möglich sind, und die daher voll ausgelastet sind. Beispiele für solche *vollkoordinierten* Flughäfen sind etwa London Heathrow, Frankfurt und Paris Charles de Gaulle. Slots bilden eine zentrale Grundlage für die Flugplanerstellung von Fluggesellschaften, da sich ohne die passenden Start- und Lande-Zeitrahmen kein Flug durchführen lässt. Slots werden von den zumeist im Rahmen einer staatlichen Behörde organisierten Flughafenkoordinatoren für jeweils eine Saison (Sommersaison 30 Wochen, Wintersaison 22 Wochen) vergeben (vgl. Seidler, 2000, S. 79). Für einen täglichen Liniendienst sind 14 Slot-Serien notwendig, da je ein Slot für Abflug- und Anflug an sieben Wochentagen benötigt wird. Nach der Vergabe können die Zeitnischen im Verhältnis 1 zu 1 zwischen den Fluggesellschaften getauscht, nicht aber verkauft werden. Slots sind bei den Fluggesellschaften ein heiß begehrtes Gut.

Anwendung der Großvaterreglung bei der Vergabe von Slots
Für die Vergabe von Zeitnischen gelten so genannte Großvaterrechte. Die Airline, die einen Slot schon in der letzten Flugplanperiode genutzt hat, erhält, so die einschlägigen Vorschriften, ein Vorrecht auf die „Wiedererteilung“ derselben Zeitnische. Dafür muss der Slot allerdings mindestens zu 80 Prozent in der Vorperiode geflogen worden sein, sonst verliert die Fluggesellschaft ihren Anspruch nach dem Prinzip: „Use it or lose it“. Die Slot-Vergabe nach der Großvaterregelung wird in vielen Ländern praktiziert. In Europa ist sie in einer EU-Verordnung geregelt[49] (vgl. Maurer, 2002, S. 253), bei der auch nach dem Großvaterprinzip verfahren wird, wenn auch in modifizierter Form (vgl. Ewers et al., 2001, S. 7 ff.).

Slot-Verknappung durch wettbewerbsverzerrte Slot-Konzentration von Netzwerkfluggesellschaften
Wenn aber die etablierten Netzwerkgesellschaften auf den Hubs bereits eine hohe Anzahl von Zeitnischen für sich in Anspruch nehmen, verknappt dieses Gut und steht nicht mehr den potenziellen Wettbewerbern offen. Unter anderem deswegen gilt die Praxis der Slot-Allokation nach der Großvaterregelung als höchst umstritten, weil sie aus Wettbewerbssicht ineffizient ist (vgl. Deutsche Bank, 2004, S. 16, Ewers et al., 2001). Marktneulinge haben nur die Chance, an frei werdende Slots heranzukommen, sofern eine etablierte Fluggesellschaft

[47] Vgl. Gutachten im Auftrag der Fraport zu den Beschäftigungseffekten des Flughafens Frankfurt Main, G19.1, Prof. Dr. Hujer/Prof. Dr. Rürup, 2003, abrufbar unter http://www.frankfurt-main.ihk.de/standortpolitik/raumordnung/flughafenausbau/07/ [abgerufen am 13.07.05].
[48] Vgl. www.bdli.de/index.php/content/view/5/105/79/lang.de/ [abgerufen am 25.05.06].
[49] Vgl. EU-Verordnung (EWG) Nr. 95/93 abrufbar unter http://europa.eu.int/eurlex/de/consleg/pdf/1993/de_1993R0095_do_001.pdf [abgerufen am 19.06.2005].

einen Slot selbst aufgibt oder verliert, weil sie gegen die Großvaterregel verstößt.

Dies verleitet Fluggesellschaften auf weniger rentablen Flugstrecken kleineres Fluggerät einzusetzen, wie dies auch schon während der Regulierungsphase des Luftverkehrs in den USA zu verzeichnen war (vgl. Müller, 1983, S. 506–526, Horn et al., 1988, S. 265 ff.), nur um eine bereits allokierte Zeitnische nicht zu verlieren (vgl. Sened et al., 1996, S. 432). Es wird deshalb vielfach diskutiert, ob die bestehende Großvaterregelung aus Wettbewerbsgründen überhaupt haltbar ist (vgl. Krüger, 2004, S. ff.).

Während diese Regelung zur Slot-Vergabe bei schwach ausgelasteten Flughäfen mit noch nicht ausgeschöpften Slots wettbewerbsbedingt so gut wie keine Rolle spielt, verhindert sie auf Flughäfen, die an ihre Kapazitätsgrenzen stoßen, den Markteintritt von weiteren Fluggesellschaften. Potenzielle Fluggesellschaften, die diese Flughäfen nur für eine oder wenige Flugrelationen anfliegen, sind von der Wettbewerbsverzerrung weniger betroffen als solche, die sich mit dem Aufbau von Netzwerken befleißigen und regelmäßig eine hohe Anzahl abgestimmter Slots benötigen.

Slot-Hortung trotz neuer Vergaberegelung
Zwar werden nach einer neuen Verordnung (EWG 95/93, Art. 10 Abs. 7, „Code of Conduct for Slot Allocation“) vorzugsweise 50 Prozent der Slots an in den Markt neu eintretende Fluggesellschaften durch Slot-Erweiterung bei Kapazitätserweiterung zugeteilt (vgl. Seebohm, 1998, S. 11). Doch hat gerade diese Verordnung dazu geführt, dass die etablierten Fluggesellschaften nicht benutzte Zeitnischen noch stärker horten als vorher, anstatt sie in den allgemeinen Vergabepool zurückzugeben, weil die Befürchtung besteht, bei einer späteren Bewerbung wegen des Status einer etablierten Fluggesellschaft benachteiligt zu werden. Trotz der prohibitiv hohen Kosten für die Rechtezuteilung von Slots wird Hortung vielfach auch deswegen von Netzwerkgesellschaften strategisch propagiert, um die marktbeherrschende Stellung auf dem Hubflughafen beibehalten zu können und Marktaspiranten vom Hub-Zutritt auf den betreffenden Flughäfen fernzuhalten. Dabei ist den etablierten Luftfahrtanbietern wohl bekannt, dass sie nur sehr eingeschränkte Möglichkeiten zur Vereitelung des Marktzutritts von Konkurrenzfluggesellschaften haben (vgl. Jindra, 2001, S. 13). Slot-Hortung wird vornehmlich bei Fluggesellschaften festgestellt, die unter Kapazitätsengpässen auf Hub-Flughäfen leiden, weil sie dort ihre Fracht bzw. Passage bündeln.

Anwesenheit von Opportunitätskosten durch Slot-Hortung
Die übrigen Fluggesellschaften neigen viel weniger zur Hortung, da jede einzelne nicht genutzte Flugrelation zu hohe Opportunitätskosten verursachen würde. Mit Opportunitätskosten wird allgemein der Wertverzehr einer Aktivität, der bei ihrer Ausführung durch den dazu notwendigen Verzicht auf eine alternative Aktivität eintritt, beschrieben (vgl. Michel, 1964, S. 82–91). Opportunitätskosten lassen sich im Kontext der Slot-Hortung mit den Einbußen beim Verzicht auf den möglichen Verkaufserlös der Slots bei deren Rückgabe an den allgemeinen Vergabepool erklären (vgl. Humphreys, 2003, S. 94–106).

Wegen der hohen Opportunitätskosten kann die Vorenthaltung von Slots jedoch für ein Luftverkehrsunternehmen strategisch irrational sein. Denn mit einzelnen Slots vermag eine Netzwerkgesellschaft potenziellen Marktneulingen den Marktzutritt auf dem Hub zu verwehren. Hierzu muss sie Besitzschutz für eine hohe Anzahl von Zeitnischen vorweisen, die Kapazitätsengpässe auf dem Flughafen nach sich ziehen. Auf singulären Flugstrecken könnte der potenzielle Wettbewerber die Monopolpreise der etablierten Fluggesellschaften problemlos durch eine geeignete, auf die einzelne Flugrelation abgestimmte Preisstrategie der Netzwerkbetreiber angreifen (vgl. hierzu das Bertrand-Nash-Verhalten in Abschnitt 5.1.2). Dasselbe kann jedoch auch die etablierte Fluggesellschaft tun.

Wolf (1995, S. 8) zeigt für diesen Fall auf, dass es für eine bestehende Netzwerkgesellschaft günstiger ist, den Marktzutritt auf einzelnen Strecken zu billigen und den Markteindringling durch ruinöse Preispolitik auf diesen Strecken zu verdrängen.

Ein Beispiel hierfür stellt der vor ein paar Jahren vorherrschend bittere Kampf zwischen der Lufthansa und der damaligen Germania Express hinsichtlich des Flugpreises auf der Strecke Berlin–Frankfurt im Passagierbereich dar. Die Fixpreise der viel kleineren Fluggesellschaft Germania lagen deutlich unter denen der Allianzgesellschaft. Auf die Strategie der Lufthansa hin, auf dieser Strecke einen ruinösen Preiswettbewerb zu betreiben, indem die Lufthansa unter ihren Einstandskosten den Flugpreis anbot, versagte schließlich die Kartellbehörde das Wettbewerbstreiben der Lufthansa (vgl. Hütschelrath, 2005, S. 173–181).

Rationalität der Slot-Hortung gestützt auf die Hotelling-Regel

Die Hortung von Zeitnischen kann jedoch für den europäischen Luftverkehrsmarkt aus zwei Gründen rational sein. Folgt man der Hotelling-Regel (vgl. Hotelling, 1929, S. 41–57), wonach die Konsolidierung einer Ressource dann als rational einzustufen ist, wenn der abdiskontierte in der Zukunft liegende und erwartete Erlös höher ist als der Erlös, welcher heute erzielt werden könnte, dann könnte die Aufrechterhaltung von Slots zweckmäßig sein.

Gemäß den Ausführungen in Abschnitt 3.4.3 befinden sich transeuropäische Luftverkehrsverbindungen trotz der Finanzmarktkrise auf starkem Wachstumskurs. Der Kapazitätsausbau der bestehenden Flughäfen wird mit den prognostizierten Wachstumszahlen aufgrund institutioneller Barrieren nicht Schritt halten können, sodass sich die heute schon bestehenden Kapazitätsengpässe dramatisch verschärfen werden. Um den Wachstumsanforderungen gerecht zu werden, benötigt eine Fluggesellschaft vor allem eine hohe Anzahl von Slots. Die Aufrechterhaltung des Besitztums von nicht benutzten Slots erscheint somit trotz der damit verbundenen Auflagen und Benutzungsentgelte nach der Use-or-lose-Regel aus nachfolgendem Grund plausibel. Wegen des verbotenen Slot-Handels und den Unsicherheitsfaktoren resultierend aus dem fehlenden Markt für den Verkauf von zugeteilten Zeitnischen sind die Verkaufserlöse zu niedrig (vgl. Jones et al., 1993, S. 10). Gleichzeitig sind die abdiskontierten Opportunitätskosten niedriger als die Neuerwerbskosten für einen Slot. Unter dieser Annahme lohnt es sich nicht für eine Fluggesellschaft einen Slot aufzugeben, zumal sie wenigstens sieben Jahre für das Halten eines Slots Vertrauensschutz genießt (vgl. Ewers et al., 2001, S. 10).

Weiterhin okkupieren Fluggesellschaften Slots, wenn sie auf Drehscheiben-Flughäfen zur Bündelung des Flugverkehrs eine hohe Anzahl von Zeitnischen benötigen und es hierfür auf anderen Flughäfen keine Alternativen gibt. Dies betrifft vor allem die ehemaligen national ausgerichteten Fluggesellschaften, die vor der Deregulierung des europäischen Luftverkehrssektors bereits das höchste Verkehrsaufkommen unter den Fluggesellschaften verzeichneten. Daran hat sich nach der Öffnung der Luftverkehrsmärkte nichts geändert. Insbesondere die Bündelung des interkontinentalen Verkehrs erfolgt nach wie vor über die vor der Deregulierung bereits vorhandenen natürlichen Hub-Flughäfen (vgl. Stanovsky, 2003). So verwundert es nicht, dass diese Fluggesellschaften auch weiterhin eine hohe Anzahl von Start- und Landerechten auf den Verkehrsdrehscheiben durch Inanspruchnahme der Großvaterregelung innehaben (vgl. Jindra, 2001, S. 12). Die durch Besitzmacht aufrechterhaltene Slot-Konzentration beschert den Netzwerkfluggesellschaften auf den Hub-Flughäfen Betriebsgrößenersparnisse, die Überschussgewinne ermöglichen (vgl. Knieps, 1996, S. 12). Aus diesem Grund letztlich kann Slot-Hortung rational sein.

Slot-Konzentration auf europäischen Hubs feststellbar

Die Konzentration von Slots auf einzelnen Fluggesellschaften ist auf europäischen Hub-Flughäfen im besonderen Maße ausgeprägt. So verfügten im Jahre 1997 die Alitalia über 70 Prozent der Slots in Rom und über 50 Prozent in Mailand, die Lufthansa besaß in Frankfurt 60 Prozent der Slots, SAS 55 Prozent der Slots in Kopenhagen, die KLM 52 Prozent der Zeitnischen in Amsterdam, die heutige Swiss 50 Prozent der Start- und Landerechte in Zürich, die Air France 52 Prozent davon in Paris, die Austrian Airlines immerhin noch 41 Prozent in Wien und die British Airways in London Heathrow 38 Prozent und in London Gatwick 25 Prozent (vgl. Gonenc et al., 2000, S. 71, Doganis, 2002, S. 256 f.).

Trotz dieser hohen Hubkonzentrationen bleiben die betroffenen Flughäfen bzw. Fluggesellschaften angreifbar. In Frankfurt beispielsweise verbleiben der Konkurrenz von Lufthansa und Star Allianz immerhin noch 40 Prozent aller verfügbaren Slots, das betrifft nahezu jeden zweiten angebotenen Flug, wobei ein Großteil dieser Zeitnischen sogar während der Peakzeiten anfällt (vgl. Jindra, 2001, S. 13).

Wettbewerbsverzerrung durch Slot-Hortung auf Verkehrsdrehscheiben
Im Ergebnis zeigt sich also, dass die Kriterien für die Vergabe und das Innehalten von Slots zu deren Hortung auf bestehenden Hubflughäfen führen, wodurch die Funktionsfähigkeit des Wettbewerbs auf diesem Flughafentyp erheblich beeinträchtigt wird.

Die Wettbewerbsfähigkeit auf den Drehscheibenflughäfen lässt sich nur durch geeignete Regulierungsmaßnahmen wieder herstellen, wonach die Slot-Vergabe nach einem diskriminierungsfreien und effizienten Verfahren erfolgt, um eine disziplinierende Wirkung gegenüber den alteingesessenen Netzwerkfluggesellschaften und Allianzen herbeizuführen und dem Marktmissbrauch durch Slot-Hortung Einhalt zu gebieten (vgl. Ewers et al., 2001).

5.2.2.4 Fazit zur netzbedingten Marktmacht von Fluggesellschaften

Die Frage ist nun, welche Wettbewerbsauswirkungen die netzbedingte Marktmacht, insbesondere durch die Slot-Hortung, unter Wettbewerbsgesichtspunkten nach sich zieht.

Für den Markteintritt von Luftverkehrsgesellschaften in Europa hat die auf Hubflughäfen starke Konzentration von Slots durch die altbekannten Netzwerk-Carrier folgende Auswirkungen:

- Trotz der Annahme der möglichen Angreifbarkeit der bestehenden Netzwerkfluggesellschaften auf den Hub-Airports in Europa ist der Zugang von weiteren Fluggesellschaften, die Nabe-Speiche-Systeme aufbauen wollen, auf bestehenden Drehscheibenflughäfen faktisch auszuschließen. Selbst einzelne Punkt-zu-Punkt-Flugverbindungen unter Einbeziehung von Hub-Flughäfen gestalten sich als nahezu unmöglich, da diese Flughäfen an den Kapazitätsgrenzen angelangt sind und insbesondere an den attraktiven Tagesrandzeiten keine freien Slots zur Verfügung stehen.
- Zwar ist der Zugang zu einzelnen Slots auf einem Drehscheibenflughafen aufgrund der Use-or-lose-Regel theoretisch denkbar. Jedoch bedarf es zur Unterhaltung eines hub-orientierten Netzwerks einer erheblichen Anzahl von Zeitscheiben für Zubringerflüge, die überdies zeitlich aufeinander abgestimmt sein müssen und regelmäßig zu den Tagesrandzeiten begehrt sind. Im intra-europäischen Flugverkehr sind Tagesverbindungen von eminenter Bedeutung. Dies lässt sich nur dann bewältigen, wenn Hin- und Rückflugkombinationen am Morgen bzw. Abend stattfinden können.
- Aufgrund dieser Erkenntnisse sind eingesessene Netzwerkfluggesellschaften durch Ausübung netzbedingter Marktmacht in der Lage, neue Netzwerkfluggesellschaften vom Aufbau neuer hub-orientierter Netzwerke abzuhalten. Allerdings gelingt es diesen großen Fluggesellschaften nicht, auf singulären Strecken Mitbewerber zu verdrängen.
- Übernahmen oder Allianzen stellen geeignete Wettbewerbsmaßnahmen dar, die Marktzutrittsbarriere auf Hub-Flughäfen für Konkurrenzfluggesellschaften zu intensivieren, wenn die eingesessene Netzwerkfluggesellschaft neben der bereits vor der Übernahme bestehenden hohen Slot-Anzahl die neu hinzukommenden Slots der Übernahmegesellschaft für sich in der Wettbewerbsstrategie ausnutzen kann.

5.2.3 Fazit zur Lokationsfrage (Zugang zu Flughäfen)

Es konnte aufgezeigt werden, dass die Flughafenbetreiber selbst nicht in der Lage sind, Marktmacht gegenüber den Netzwerkfluggesellschaften auszuüben, um höhere Hubgebühren zu verlangen. Auf dieser Ebene haben Netzwerkfluggesellschaften keine Wettbewerbsbeeinträchtigungen zu erwarten. Das gilt insbesondere auch bei Übernahmen. Hier zeigt sich sogar, dass die übernehmende Fluggesellschaft gegenüber den Hub-Flughafenbetreibern im Übernahmenetz eine hohe Verhandlungsmacht bei der Durchsetzung der gewünschten Hub-

Prämien hat, da sie mit dem Abzug von Verkehr zugunsten anderer Hubs drohen kann.

Für den Aufbau eines Hub-and-Spoke-Netzwerkes muss für Mitbewerberfluggesellschaften zur Konstituierung von Hub-Flughäfen nicht zwingend auf die Primärflughäfen zurückgegriffen werden. Jedoch mangelt es den anderen Flughafentypen vereinzelt an der für den Hub-Ausbau nötigen Infrastruktur und dem Originäraufkommen auf diesen Flughäfen. Insofern ist in Bezug auf die Netzwerkfluggesellschaften bei den Hub-Flughäfen von einer Marktmacht auszugehen, sofern sie beabsichtigen, den Mitbewerber beim Aufbau eines hub-orientierten Netzwerkes auf dem Hub-Flughafen abzuhalten. Jedoch ist gemäß den Thesen von Jindra (2001) und Knieps (2001) zum Aufbau von wettbewerbsneutralen intra-europäischen Hub-and-Spoke-Flugnetzen von Mitbewerbern ein Ausweichen auf andere Flughäfen möglich, sodass grundsätzlich bei der Lokationsfrage von Wettbewerbsfreiheit auszugehen ist, d. h., der Zugang zu den europäischen Flughäfen möglich ist. Jedoch ist es eine Frage der Netztiefe, ob sich hierzu jeder Flughafen eignet, wenn die hierfür erforderlichen Kapazitäten auf den Flughäfen bzw. bei den Slots nicht vorhanden sind. Sofern solche Flughäfen bestehen, können theoretisch ähnliche Hub-and-Spoke-Netzwerke aufgebaut werden wie die der etablierten Netzwerkfluggesellschaften. Aufgrund des kleinen geografischen Raums Europas ist die Positionierung des Hubs nicht ausschlaggebend, sodass dieser nicht mit den Hubs der bestehenden Netzwerk-Carrier identisch sein muss.

5.3 Wettbewerbssituation beim Allokationsproblem

Als nächstes ist zu untersuchen, ob jede beliebige Flugstrecke aufgenommen werden kann. Das ist bei Übernahmen besonders wichtig, wenn im Rahmen der Festlegung des abgestimmten Flugplanes einzelne Streckendienste hinzugefügt, angepasst oder aufgegeben werden sollen. Bei der Anpassung kann es zu Veränderungen in der Slot-Zuteilung (andere Zeitnischen), zum Einsatz eines anderen Fluggeräts etc. kommen.

Die Bedienung von Flugstrecken ist verknüpft mit der Allokationsfrage.

5.3.1 Bedienung von Flugstrecken aus Wettbewerbssicht

Beim Angebot von Luftverkehr lassen sich zwar im Gegensatz zum Aufbau und dem Betrieb von Flughäfen Bündelungsvorteile, jedoch keine irreversiblen Kosten ausmachen (vgl. Knieps, 2001, S. 9).

Anwesenheit von Bündelungsvorteilen
Durch Nabe-Speiche-Systeme besteht die Möglichkeit der Herstellung aufeinander abgestimmter Verbindung zwischen kleineren Flughäfen über Drehscheibenflughäfen, für die es kein ausreichendes Angebot für Direktflüge gibt. Durch die höhere Zahlungsbereitschaft der Flugpassagiere für solche Flugverbindungen entstehen für die Fluggesellschaft Bündelungs- und Größenvorteile (vgl. Jindra, 2001, S. 3).

Abwesenheit von irreversiblen Kosten
Das Kapital der Fluggesellschaften zur Bedienung von Flugstrecken ist in erster Linie in Flugzeugen gebunden. Derartiges Kapital wird auch als „Kapital mit Flügeln“ bezeichnet (vgl. Horn et al., 1988, S. 259). Da funktionierende Flugzeuge jederzeit an andere Orte gebracht werden können, sind sie auf anderen Flugstrecken einsetzbar. Das eingesetzte Kapital für Flugzeuge ist somit nach den vorgestellten Kriterien nicht irreversibel. Irreversibilität lässt sich auch aufgrund von funktionierenden Leasingmärkten für Fluggeräte und eines funktionstauglichen Absatzmarktes für gebrauchte Flugzeuge voraussetzen (vgl. Jindra, 2001, S. 4). Finsinger (1996, S. 179) hingegen nimmt bei Flugzeugen keine vollständige Reversibilität der Kosten an. Wird seiner Ansicht nach ein Kapitalgut gemietet oder geleast und kommt der Marktzutritt nicht zustande, dann gelten die Aufwendungen für die Miete oder das Leasing als versunken (vgl. hierzu auch Brock, 1983, S. 1063). Der vollständige Ausschluss eines Marktzutritts kann jedoch faktisch ausgeschlossen werden, sodass die Miete oder das Leasing vernachlässigbare Parameter bei der Betrachtung der Versunkenheit der Kosten dar-

stellen.

Fundierung dieser Annahmen nach der Theorie der Bestreitbarkeit der Märkte
Nach den Erkenntnissen der Theorie der Bestreitbarkeit der Märkte ist von einer Angreifbarkeit des Angebots von Flugstrecken durch potenzielle Fluggesellschaften auszugehen, da sowohl irreversible Kosten aus obigen Gründen abwesend sind als auch die weiteren Voraussetzungen für einen freien Marktzutritt bestehen und kein Bertrand-Nash-Preisverhalten anzunehmen ist. Jedem potenziellen Konkurrenzunternehmen steht es offen, ähnliche Flugstrecken wie die etablierten Fluggesellschaften in einem Netzwerk zu implementieren, selbst wenn dadurch keine identische Netzabbildung zur Konkurrenz einhergehen muss. Sogar für den Fall, dass eine bestimmte Flugstrecke durch einen Marktneuling nicht aufgenommen werden kann, besteht dennoch die Möglichkeit, über Alternativstrecken die propagierten Destinationen anzufliegen (Stichwort: Mobilität von Flugzeugen). Faktisch gesehen ist deshalb von einem freien Marktzutritt zum Luftverkehrsangebot auszugehen. Voraussetzung hierfür ist allerdings, dass der Marktkandidat dieselbe Kostenstruktur und den freien Zugang zu den Einrichtungen zur Unterhaltung von Flugstrecken aufweist (vgl. Knieps, 1996, S. 71 ff.). Der freie Marktzugang für das Luftverkehrsangebot ist jedoch verknüpft mit der Lokationsfrage und nicht mit der Allokationsfrage. Im Rahmen der Allokationsfrage ist zwar von einem freien Marktzugang zum Flugstreckenangebot auszugehen, aber nicht von einer Unterbietung der Preise unter der Annahme, dass ein Marktneuling die Preise der etablierten Fluggesellschaften als Datum ansieht. Hier haben bereits die Erkenntnisse der Deregulierung des Luftverkehrssektors gezeigt, dass sich bei vermehrtem Flugangebot die durchschnittlichen Preise nach unten entwickelt haben (vgl. Robson, 1998, S. 18). Ein Bertrand-Nash-Verhalten ist auf der Ebene des Luftverkehrsangebots nicht vorhanden. Nach den vorgestellten Kriterien der Theorie der Angreifbarkeit der Märkte nach Baumol et al. (1982, S. 5 ff.) entspricht die Bedienung von Flugstrecken einem Markt, der bestreitbar ist

Fundierung dieser Annahmen nach der Theorie der monopolistischen Bottlenecks
Auch gemäß der Theorie der monopolistischen Bottlenecks stellt die Bedienung von Flugstrecken keinen monopolistischen Bottleneck nach den aufgestellten Kriterien dieser Theorie dar. Demnach ist ein Flugzeug kein monopolistischer Bottleneck, da es sich nicht nur um eine einmalig vorhandene Einrichtung, sondern um ein stets substituierbares Gut handelt. Auf die zweite Anforderung dieser Theorie, die Disziplinierung, kommt es somit nicht mehr an. Das Luftverkehrsangebot ist folglich nicht mit netzspezifischer Marktmacht gleichzusetzen. Der Angebotsmarkt lässt sich auch nach dem Dogma dieser Theorie bestreiten.

Fazit
Das Angebot von Luftverkehr ist aus Wettbewerbssicht funktionstauglich, soweit bei der Lokationsfrage einer neuen Fluggesellschaft der Zugang zu den zum Betreiben einer Flugstrecke erforderlichen Flughafeneinrichtungen unter Zugrundelegung derselben Kosten- und Infrastruktur wie bei den etablierten Fluggesellschaften möglich ist.

5.3.2 Wechselwirkung zwischen Lokation und Allokation

Trotz der Angreifbarkeit des Flugverkehrsangebots und somit des freien Wettbewerbs ist die auf dem relevanten Luftverkehrsmarkt vorhandene Hub-and-Spoke-Netzwerkstruktur maßgeblich dafür, wie ein Marktneuling eine einzelne Flugstrecke innerhalb dieser Struktur aufnehmen kann. Die Netzwerkstruktur ist dabei stark diktiert von den Wettbewerbsbedingungen beim Aufbau und dem Betrieb von Flughäfen. Flughäfen stellen nach den oben aufgezeigten Phänomenen monopolistische Bottlenecks dar und sind zumindest auf der Ebene der Primär- und Sekundärflughäfen nicht uneingeschränkt angreifbar, nicht zuletzt wegen der auf diesen Flughafentypen vorherrschenden Kapazitätsengpässe und der damit einhergehenden institutionellen Zugangsbarrieren. Zur Aufnahme einer einzelnen Flugstreckenrelation müssen deshalb die Infrastruktur von Flughäfen, die Slot-Verfügbarkeit etc. in das Kalkül des Marktzutritts einbezogen werden, d. h., die bloße Annahme der Angreifbarkeit des Marktes ist nur notwendig, jedoch nicht hinreichend für die Annahme von potenziellem Wettbewerb und damit der Angreifbarkeit dieses Marktes (vgl. Johnson 1983, S. 2).

5.3.3 Fazit zur Allokationsfrage (Bedienung der Flugstrecken)

Nach den vorstehenden Ausführungen lässt sich die Funktionstauglichkeit des Angebots von Flugverkehr aus Wettbewerbssicht festhalten. Die Übernahme von Fluggesellschaften und das damit für eine Fluggesellschaft hinzukommende Flugangebot führen zu keiner Wettbewerbsverzerrung.

5.4 Coopetition und spieltheoretische Betrachtung der Lokationsfrage

In den nächsten beiden Abschnitten soll noch einmal losgelöst von den Wettbewerbstheorien zur Lokationsfrage hinterfragt werden, ob trotz der Marktmachtpotenziale das Strategieverhalten von Flughafenbetreiber und Fluggesellschaft aufgrund gegenseitiger Abhängigkeiten zu einer Marktmachtreduktion bei beiden Akteuren führt und das tatsächliche Marktverhalten sich anders darstellt, als es in der Theorie für monopolistische Bottlenecks bzw. Oligopolisten aufgezeigt wird.

Bei der Betrachtung der Geschäftsmodelle der Netzwerkfluggesellschaften und der Flughafengesellschaften wird die Wettbewerbssituation zwischen diesen beiden Marktakteuren und den Kunden in Passage und Fracht[50] offensichtlich (vgl. Jarach, 2005). Die Airports sind gemäß ihren Kapazitäten an Flughafeninfrastruktur bestrebt, möglichst viele Fluggesellschaften mit großem Flugangebot zu gewinnen und diese langfristig zu binden. Insbesondere auf den Primär- und Drehscheibenflughäfen ist dieses Kalkül bei den Flughafenbetreibern an allererster Stelle anzutreffen. Zugleich sind die Flughäfen bestrebt, möglichst viele Kunden für das von den Fluggesellschaften auf dem Flughafen bereitgehaltene Flugangebot auf sich zu vereinen. Wettbewerbstechnisch stehen dabei die Fluggesellschaften auf dem Flughafen untereinander in Konkurrenz. Sie buhlen aber auch um attraktive Flughäfen und begehrte Slots zu den Tagesrandzeiten. Darüber hinaus stehen die Airports und Airlines im Wettbewerb zu anderen Verkehrsträgern des Passagier- und Frachtbereichs (vgl. Vahrenkamp, 2007A, S. 4). Aus Kundensicht muss ein Flughafen vom Wohnort schnell und einfach zu erreichen sein. Auch die Abfertigungszeiten und die mit dem Transport zum Flughafen verbundenen Kosten bzw. die Parkgebühren am Flughafen können aus dem Blickwinkel des Passagierkunden von Bedeutung sein (vgl. Opgenhoff, 1997). Vahrenkamp (2007A, S. 5) nennt darüber hinaus für die Akteure im Frachtbereich Kriterien für die Wahl des Flughafens.

Betrachtet man dieses wettbewerbliche Spannungsfeld zwischen Flughafenbetreiber und Fluggesellschaft, dann stellt sich die Frage, ob es nicht zu wettbewerblich bedingten Kooperationen zwischen den beiden Akteuren kommen muss. Verschärft wird dieses Spannungsverhältnis im Post-Merger-Prozess, wenn eine Fluggesellschaft eine andere Fluggesellschaft übernimmt und die übernehmende Fluggesellschaft gegenüber dem Flughafenbetreiber des Hub-Flughafens des übernehmenden Netzes damit drohen kann, Flugverkehr zugunsten eines anderen Hubs in dem integrierten Netzwerk abzuziehen. Dieser Sachverhalt soll im Folgenden näher beleuchtet werden.

5.4.1 Kooperative und wettbewerbliche Symbiose

Kooperation und Wettbewerb

Uneinig ist man sich, ob die Marktmachtpotenziale bei Flughafenbetreibern im Verhältnis zwischen Flughafenbetreibern eines Drehscheibenflughafens, Netzwerk-Flughafengesellschaft und den Fracht- und Passagierkunden in dem Maße bestehen, wie sie in den wettbewerbstheoretischen Ansätzen der Netzsektoren als natürliches Monopol sowie der Bestreitbarkeit der Märkte und der monopolistischen Bottlenecks skizziert werden. Flughafenbetreiber und Flughafengesellschaft buhlen am Hub um dieselben Passagiere und dieselbe Fracht. Beide Unternehmen sind quasi die Stückgutversorger der Kunden für das „Flugangebot“. Ohne Passagiere und Fracht am Hub könnte weder der Flughafenbetreiber noch die Netzwerkfluggesellschaft überleben. Demnach könnte aber weder der Flughafenbe-

[50] Im Folgenden nur noch Kunde bezeichnet.

treiber noch die Netzwerkfluggesellschaft ein Wettbewerbsverhalten verfolgen, das den Verlust der Stückgutversorgung zur Folge hätte. Auch könnten beide Unternehmen kein aufeinander abgestimmtes Verhalten durchsetzen, ohne dass dies Einflüsse auf der Ebene der Kunden nach sich ziehen würde.

An folgendem Beispiel lässt sich dieser Sachverhalt darlegen. Der Flughafenbetreiber ist bestrebt, möglichst hohe Flughafengebühren durchzusetzen und die Investitionen in Flughafeninfrastruktur möglichst klein zu halten. Die Netzwerkfluggesellschaft bzw. Kunden erwarten genau das Entgegengesetzte. Wettbewerblich lässt sich sagen, dass Flughafenbetreiber und Fluggesellschaft zur gleichen Zeit komplementäre und konkurrierende Elemente beinhalten. Komplementär ist, dass der Flughafen nicht ohne Fluggesellschaft bestehen kann, und umgekehrt kann die Fluggesellschaft keine Flüge bestreiten, wenn dafür nicht die notwendige Flughafeninfrastruktur vorhanden ist. Mit anderen Worten kooperieren Flughafenbetreiber und Flughafengesellschaft auf der einen Seite und auf der anderen Seite konkurrieren sie. Das Geschäft ist zugleich Krieg und Frieden (vgl. Rieck, 1993, S. 66), d. h., im Ergebnis liegt ein Nullsummenspiel vor. Gemäß Hungenberg (2004, S. 108) befinden sich Unternehmen, die simultan konkurrierende und komplementäre Elemente aufweisen, in einer so genannten „Co-Opetition“-Situation, die mithilfe eines so genannten „Co-Opetition-Modells“ erklärt werden soll. Der Terminus Co-Opetition, geprägt von Nalebuff und Brandenburger (1996, S. 16), kombiniert die beiden englische Begriffe Cooperation (dt.: Kooperation) und Competition (dt.: Wettbewerb) und versinnbildlicht den simultanen Zustand von Kooperation und Wettbewerb. Zwar wird das Co-Opetition-Modell meist im Zusammenhang mit der Komplementarität von Produkten in Verbindung gebracht. Ahrens (2003, S. 21) zeigt als Beispiel hierfür die komplementären Produkte Würstchen und Senf auf. Die Komplementarität lässt sich aber im Luftverkehrssektor problemlos aus der Flughafeninfrastruktur, gestellt vom Flughafenbetreiber, und den Flugzeugen bzw. dem Flugangebot, gestellt von der Fluggesellschaft, herleiten. Dieses wettbewerbliche Zusammenspiel beeinflusst aber auch das Strategieverhalten der Akteure.

Ein mit dem Co-Opetition-Modell im Zusammenhang stehendes Mehrwert-Konzept sieht vor, anhand eines Wertenetzes die Beziehungen zwischen dem wettbewerblich betrachteten Unternehmen und seinen involvierten Unternehmen abzubilden. Dazu zählen auch die so genannten Komplementoren und die Konkurrenten. Komplementoren sind nach Nalebuff und Brandenburger (1993, S. 29) solche Unternehmen, bei denen folgender Sachverhalt zutrifft. Die Kunden des eigenen Unternehmens und die des Komplementors stufen den Nutzen höher ein, wenn sie über die Produkte beider Unternehmen verfügen können. Aus Sicht des Passagiers stellen das Angebot auf einem Flughafen, infrastrukturelle Flüge abwickeln zu können, und das Flugangebot einer bestimmten Fluggesellschaft auf dem Flughafen einen Mehrwert dar, da er sonst möglicherweise auf einen anderen Flughafen oder auf eine andere Fluggesellschaft ausweichen muss.

Interessant ist die Analyse, wie sich das Strategieverhalten der Fluggesellschaft, der Flughafenbetreiber und der Kunden in diesem Nullsummenspiel darstellt. Die Flughafengesellschaft kann offensichtlich Entscheidungen nicht nur nach eigenem Ermessen treffen, sondern muss diese am Handeln der Kunden und der Netzwerkfluggesellschaft ausrichten. Würde der Flughafenbetreiber gegenüber der Fluggesellschaft eine Strategie treffen, die dazu führt, dass die Fluggesellschaft sich vom Flughafen zurückzieht, verlöre sie auch die Kunden, die das Flugangebot der Fluggesellschaft nachfragen. Mit anderen Worten kann der Flughafenbetreiber seine Strategieentscheidungen nicht losgelöst von den Entscheidungen der Netzwerkfluggesellschaft treffen, die den Flughafen als Drehscheibe nutzt und eine hohe Anzahl an Slots unter Einbeziehung des Flughafens innehat, und im Weiteren auch nicht ohne das Kalkül der Kunden, die möglicherweise den Flughafen meiden, sofern sie auf intra- oder intermodaler Ebene attraktive Alternativen haben. Das Strategieverhalten zwischen Hub-Airport und Netzwerk-Airline in dieser Wettbewerbssituation lässt sich modellhaft abbilden.

5.4.2 Spieltheoretische Betrachtung des Lokationsproblems

Im Gegensatz zur traditionellen Entscheidungstheorie setzt sich die Spieltheorie mit dem Entscheidungsverhalten auseinander, demzufolge der Erfolg des einen Akteurs nicht nur von seinem Handeln, sondern auch vom Handeln des anderen Akteurs abhängt. Die Spieltheorie gilt als ein Zweig der Mathematik bzw. des Operations Research, das sich mit der Modellierung von Systemen mit mehreren Akteuren bzw. Spielern beschäftigt. Gegenstand der Modellierung ist es, das rationale Entscheidungsverhalten in konflikt- bzw. konkurrenzbehafteten Situationen abzubilden. Neumann und Morgenstern (2004) gelten als Begründer der formalisierten Analyse von Gesellschaften ab dem Jahr 1928, woraus die Basis für die heutige Spieltheorie begründet wurde. Ein Spiel im Kontext der Spieltheorie stellt eine Entscheidungssituation mehrerer Akteure dar, die sich mit ihren Entscheidungen gegenseitig beeinflussen. Anhand der spieltheoretischen Modellierung werden die vielfältigen Handlungsoptionen der Spielakteure nachgebildet.

Das Einführungsbuch von Diekmann (2009) gilt als Leitbestand in der Literatur zum Themenkomplex der Spieltheorie und zeigt die Grundzüge der Spieltheorie auf. Der Sachverhalt auf der Ebene der Akteure im Luftverkehrssektor ist in der Literatur noch nicht ausgiebig untersucht worden.

Die Methodik der Spieltheorie kann wie folgt beschrieben werden. Ausgangsbasis ist ein Spiel, bei dem die Modellierung von potenziellen, zwischen den Spielern interaktiven Szenarien bzw. Zustandsübergängen erfolgt. Ein Spiel besteht aus einer bestimmten Anzahl von Spielern, der sequenziellen Abfolge des Spiels, den Strategie- bzw. Entscheidungs- oder Handlungsoptionen der Spieler in den einzelnen Sequenzen und den Auszahlungen. Auf den Begriff der Auszahlung wird in diesem Abschnitt noch eingegangen. Die Spieldarstellung ist formalisiert. Als Darstellungsform etabliert hat sich die so genannte Normalform. Charakteristisch für die Normalform ist, dass die Sprache limitiert ist auf die vor dem Spielbeginn festgelegte Menge an Strategien der Spielteilnehmer sowie auf eine Auszahlungsfunktion, welche die Funktion der einzelnen strategischen Kombinationen abbildet. Die Lösung des Spiels ist abhängig vom Kontext des Spiels. Um aufgeworfene Problemstellungen spieltheoretisch zu analysieren, bedarf es eines Lösungskonzepts. Spiele können als Lösung die Vorhersage des Spielverlaufs oder das Finden eines Gleichgewichts zum Gegenstand haben. Auch andere Lösungen sind denkbar. Bei der Formulierung des Spiels ist die Frage des Informationsstands der Spieler determinierend. Bei der Information wird differenziert, ob sie vollständig, unvollständig, vollkommen bzw. perfekt ist.

Das Lösungskonzept des Gleichgewichts ist vielfach in ökonomisch relevanten Spielen einschlägig. Das Nash-Gleichgewicht lässt sich auf John Forbes Nash (1950) zurückführen und wurde im Cournot- und im Bertrand-Duopol angewandt. Nachfolgend wird auf das Cournot-Duopol-Spiel eingegangen. Hierbei wird zunächst ein Nash-Gleichgewicht determiniert durch die Wahl dedizierter Strategieprofile aller am Spiel beteiligten Spieler bzw. Akteure. Die Strategieprofile weisen folgende Eigenschaft auf: Für keinen der Spieler besteht der Anreiz, eine andere Strategie zu wählen, solange die anderen Spieler ihre Strategie nach dem angenommenen Gleichgewicht ausrichten. In einem nach dem Nash-Gleichgewicht formulierten Spiel können genau so viele Nash-Gleichgewichte enthalten sein, wie es Strategieprofile gibt, mit denen jeder singuläre Spieler durch Wechsel von seiner Strategie zu einer anderen bei exogen vorgegebenen Strategien der anderen Spieler sich nicht verbessern würde. Die Existenz von Nash-Gleichgewichten impliziert im Spiel gemischte Strategien. Im Gegensatz zur reinen Strategie, nach der es bei jedem Spielszenario in der Strategiemenge des Spielers eine Funktion gibt, bei der mindestens eine Strategie enthalten sein muss, ist bei einer gemischten Strategie in jedem Spielszenario, bei dem die Strategiemenge größer Null ist, die Funktion, der wahrscheinlichkeitsbasiert die in diesem Spielszenario möglichen Strategien zugeordnet werden.

In der Wettbewerbsökonomie bekannte Spiele sind, wie bereits aufgeführt, das Cournot- und das Bertrand-Duopol, die auf einer gemischten Strategie als Funktion fußen und als Lö-

sungskonzept das Nash- bzw. das Bertrand-Gleichgewicht vorbringen. Während im Cournot-Duopol die Spieler, d. h. die Unternehmen, ihre Strategien nach der Angebotsmenge ausrichten, formulieren sie sie im Bertrand-Duopol nach den Angebotspreisen. Beide Spiele sind für Unternehmen im Oligopol mit differenzierten Substituten gedacht.

Fraglich ist, ob sich die Duopole für die Spielsituation der aufgeworfenen Problemstellung eignen. Einerseits wurde bereits in dieser Arbeit konstatiert, dass das Cournot-Theorem auf das Luftfrachtprodukt nicht anwendbar ist. Andererseits lässt sich das Produkt „Luftfahrtangebot“ aus der spieltheoretischen Sicht homogenisieren, auch wenn die Akteure Flughafenbetreiber und Fluggesellschaft es in ihrer Sicht unterschiedlich gebrauchen.

Zunächst ist zu klären, was in diesem Kontext das Angebot bzw. der Preis sein kann. Als Angebot lässt sich das „Flugangebot“ und als Preis die „Flughafengebühren“ herauskristallisieren. Der vollständige Flugpreis ist irrelevant, weil dieser höchstens in einem Spiel zwischen Fluggesellschaft und Kunde Bedeutung erlangen würde, wohingegen in der Dreier-Konstellation die Flughafengebühren, gesetzt durch den Flughafenbetreiber, die Spiel determinierende Größe sind. Die Aufstellung eines Spiels mit den drei Akteuren Flughafenbetreiber, Fluggesellschaft und Kunde erscheint problematisch, da sich darauf die in der Ökonomie bekannten Modelle von Cournot bzw. Bertrand nicht a priori anwenden lassen, weil diese Spiele nur für zwei Spieler ausgelegt sind. Beschränkt man die spieltheoretische Betrachtung auf die beiden Spieler Flughafengesellschaft und Fluggesellschaft und unterstellt man weiterhin, dass beide Akteure auf der Produktseite preisabhängig mengenmäßige Anpassungen vornehmen und das Produkt „Flugangebot“ im Sinne einer durch Airport und Airline gemeinsamen Stückgutversorgung für die Kunden ist, dann lässt sich ein Nash-Gleichgewicht finden, bei dem das Flugangebot sowohl auf der Flughafenseite als auch auf der Seite der Fluggesellschaft im Gleichgewicht ist.

Der hier relevante Preis für Flugangebot besteht in den Flughafengebühren für die Nutzung der Infrastruktur. Sind demnach die Flughafengebühren zu hoch, kann die Fluggesellschaft damit drohen, Flugverkehr zugunsten eines anderen Flughafens abzuziehen. Im Gleichgewicht würde demnach eine optimale Menge an Flugangebot zur Stückgutversorgung auf dem Flughafen existieren. Da dieser Sachverhalt einer oligopolistischen Ausgangslage gleichkommt, können mithilfe des Duopol-Modells Konfigurationen von Strategien entwickelt werden, bei denen jeder Spieler unter der Prämisse der gegebenen Wahl der Menge des anderen Spielers die optimale Menge selektiert hat. Im Cournot-Oligopol erfolgt die Untersuchung des Verhaltens von Wettbewerbern auf einem unvollkommenen Markt, wobei die Angebotsmenge das Kalkül ist. Auf die Marktgegebenheiten wird hier nicht weiter eingegangen. Es wird von der Tatsache ausgegangen, dass in dem oben aufgezeigten Co-Opetition-Modell Flughafengesellschaft und Fluggesellschaft in einer oligopolistischen Wettbewerbslage hinsichtlich des homogenen Guts „Flugangebot auf dem Flughafen“ sind, d. h., beide Akteure stellen im Ergebnis Flugangebot bereit, auch wenn der Zieladressat des Flughafenbetreibers für das Flugangebot die Fluggesellschaft ist und für die Fluggesellschaft sind dies die Fluggäste.

Auch könnte das Stackelberg-Modell, das dem Cournot-Modell ähnlich ist, Anwendung finden. Überlegenswert ist auch, das Bertrand-Modell als Spiel zu formulieren, wenn die Determinante des Spiels Preise auf Basis differenzierbarer Substitute sind. Das Bertrand-Modell könnten im Verhältnis der Fluggesellschaft zu intermodalen Wettbewerbern betrachtet werden. Nachfolgend wird stark vereinfacht das Spiel formuliert, ohne detailliert auf die tatsächlichen Strategien der Spieler einzugehen. Ein vollständig ausformuliertes Modell mit Strategiemenge und Lösungskonzept bleibt einer Nachfolgearbeit vorbehalten.

Spiel zum Cournot-Modell

Exemplarisch und vereinfachend soll das Spiel auf zwei Spieler begrenzt werden. Das Spiel wird in der Normalform aufgestellt. Seien zunächst die Spieler mit $i = \{1,2\}$ notiert, wobei gilt: 1 = Flughafenbetreiber, 2 = Netzwerkfluggesellschaft, und sei $S_i = \{s_1,\ldots,s_n\}$ im Weiteren die

Menge aller inhaltlich unbekannten Strategien und seien $u_i = \{s_1,\ldots,s_n\}$ die Auszahlungen (Auszahlungsfunktion), dann lässt sich das Spiel formal wie folgt aufstellen:

(5.4-1) $s_i^* = \max_{s_{i\in S}} u_{i(s_1^*,\ldots,s_{i-1,}^*\, s_i^*, s_{i+1}^*, s_n^*)}\,; \forall\, i = \{1,2\}\; im\; Nash - Gleichgewicht$

Die Strategie des Spielers i besteht darin, den größtmöglichen Nutzen zu erzielen, indem die Auszahlungen maximiert werden. Jeder Spieler i wird deshalb ein oder mehrere Strategien aus seiner Strategiemenge wählen, um die Auszahlung, die eine Funktion u_i und abhängig ist, von den dieser Funktion zugrunde liegenden Einzelstrategien zu maximieren.

Alle Spieler haben einen höheren Nutzen, wenn sie gemeinsam entscheiden, dass auf dem Flughafen der Fluggesellschaft ein Flugangebot vorherrscht, das von den Kunden präferiert wird, wodurch es auf dem Flughafen und bei der Fluggesellschaft zu einer hohen Flugnachfrage kommt. Dabei mögen die einzelnen Spieler unterschiedliche Präferenzen haben. Die Flughafengesellschaft und die Passagiere werden bevorzugen, möglichst viel Flugangebot auf dem Flughafen vorzufinden. Die Passagiere allein werden präferieren, dass das gewünschte Flugangebot auf dem Flughafen vorzufinden ist, der am nächsten zu ihrem Wohnort gelegen ist und den man gut erreichen kann. Die Fluggesellschaften wiederum werden favorisieren, ein Flugangebot zu offerieren, das eine hohe Nachfrage bei den Kunden nach sich zieht und aus ökonomischen Gründen nicht jede beliebige Städteverbindung umfasst. Über die aufgezeigten Präferenzen wird es noch weitere geben, die hier nicht weiter besprochen werden. Das Flugangebot sei nur insoweit ein homogenes Produkt, als sowohl Flughafenbetreiber als auch die Fluggesellschaft „Flugangebot“ unter der Prämisse einer gemeinsamen Stückgutversorgung anbieten. Während das Flugangebot bei dem Flughafenbetreiber daran gekoppelt ist, die Infrastruktur als grundsätzliche Voraussetzung für das Flugangebot von dem Flughafen zu stellen, ist sie bei der Fluggesellschaft das tatsächliche Angebot an durchzuführenden Flügen. Beide „Produkte“ sind jedoch in der Weise komplementär, dass das eine nicht ohne das andere möglich wäre. Die Spieler setzen die Mengen, sprich das Flugangebot x in Abhängigkeit der Höhe der Flughafengebühren. Eine Mengenanpassung jedes Spielers geschieht in der Weise, dass die Fluggesellschaft ihre Menge an Flugangebot an der Höhe der Flughafengebühren ausrichtet und die Flughafengesellschaft wiederum den Umfang des Infrastrukturangebots in Abhängigkeit der Höhe der erzielbaren Flughafengebühren bereitstellt. Verändert einer der Spieler die Mengen, wirkt sich dies auf die Mengenentscheidung des anderen Spielers aus.

Beispielsweise wird die Fluggesellschaft ihr Flugangebot reduzieren bzw. verlagern, wenn die Flughafengesellschaft die Flughafengebühren auf ein bestimmtes Niveau versucht zu erhöhen. Umgekehrt wird die Airport-Gesellschaft bei den Investitionen in die Flughafeninfrastruktur entsprechend zurückhaltend sein, wenn die Fluggebühren eine bestimmte Höhe unterschreiten würden. Es geht dabei nicht um die grundsätzliche Frage der Flughafengebühren, sondern meist um die so genannten Hub-Prämien, die Betreiber von Drehscheibenflughäfen gerne den Netzwerkfluggesellschaften bzw. den Kunden in Rechnung stellen möchten. Begründet wird dies mit den besonderen Investitionsvorkehrungen für den Umsteigerverkehr auf Hub-Flughäfen. Bei Post-Merger-Maßnahmen stehen meist zwischen Netzwerk-Fluggesellschaft und Flughafenbetreiber die Hub-Prämien zur Verhandlung. Aus spieltheoretischer Sicht richtet sich das Strategieverhalten der Akteure zur Mengenanpassung nicht nach den Flughafengebühren im Ganzen, sondern nach der Höhe der Hub-Prämien.

Sei im klassischen Cournot-Modell $Q_i = \{q_i\}$ mit ($\forall i = \{1,2\}$ und $x_i \in \mathbb{R}^+$ (5.4-2) die Menge aller Flugangebote, gesetzt durch die Spieler i = {1,2}, und sei weiterhin $p = a-q_1-q_2$ der Marktpreis (Nachfragefunktion), wobei a in dem Spiel eine Konstante darstellt, und seien $C_i(q_i) = c \cdot q_i$ mit i = {1,2} (5.4-3) und $0 < c < 1$ die Kosten, die für den Spieler i für „sein“ Produkt x gelten, dann stellen sich die Gewinnfunktionen der beiden Spieler i wie folgt dar:

(5.4-4) $\pi_1(q_1,q_2) = (a-q_1^*-q_2^*-c) \cdot q_1$,
(5.4-5) $\pi_2(q_1,q_2) = (a-q_1^*-q_2^*-c) \cdot q_2$,

wobei $p = a-q_1-q_2$ gilt und q* die Mengen im Nash-Gleichgewicht zum Ausdruck bringt.

Das notwendige Gewinnmaximum lautet:

(5.4-6) $\frac{\partial \pi_1}{\partial q_1} = (a - 2\, q_1^* - q_2^* - c) = 0$

(5.4-7) $\frac{\partial \pi_2}{\partial q_2} = (a - 2\, q_2^* - q_1^* - c) = 0$

Daraus folgt nach Differenzierung:

(5.4-8) $q_1^* = \frac{a-c}{3} = q_2^*$ und

(5.4-9) $\pi_i = \frac{(a-c)^2}{9}$

Stellt man die Reaktionsfunktionen der beiden Spieler wie folgt auf, dann wird bei jeder Mengenentscheidung des i für q_i jeweils die beste Antwort von j zugeordnet. Gegeben q_i, dann ist die beste Antwort, das q_j beim Gewinn des j am höchsten ist. Im Nash-Gleichgewicht muss deshalb gelten:

(5.4-10) $R_i(q_j^*) = q_i^*$; $\forall(i,j)$ bzw.
(5.4-11) $R_j(q_i^*) = q_j^*$; $\forall(i,j)$

Die Reaktionsfunktionen mit den besten Strategie-Antworten lauten dann wie folgt:

(5.4-12) $R_1=q_1(q_2) = \frac{a-q_2-c}{2}$ für Spieler 1 bzw.
(5.4-13) $R_2=q_2(q_1) = \frac{a-q_1-c}{2}$ für Spieler 2.

Mit den Reaktionen der einzelnen Spieler verknüpft ist der Einsatz der Strategien aus der Menge S_i und die damit verbundenen Auszahlungen an die Spieler u_i. Welche konkreten Strategien und Auszahlungen zum Zuge kommen, wird in dem Modell nicht weiter betrachtet und müsste dahingehend noch ergänzt werden.

Gemäß den Reaktionsfunktionen (5.4-12) und (5.4-13) entscheiden sich beide für das Beste auf Basis der gegebenen Entscheidung der Menge des Flugangebots des anderen Spielers. Aus Sicht der Flughafengesellschaft ist das Setzen der Menge des Flugangebots gekoppelt an die infrastrukturellen Möglichkeiten, Flugangebot auf dem Flughafen abzuwickeln. Die Fluggesellschaft richtet ihre Menge des Flugangebots auf dem Flughafen danach aus, wie hoch die Flughafengebühren sind.

Nachfolgend ist in der Abbildung das Nash-Gleichgewicht in der Gleichgewichtssituation eingezeichnet und man sieht den Wert für q in der Monopolsituation, d. h., wenn einer der Spieler den Preis ohne Wettbewerb setzen würde. Freilich würde das bei den Flughafengebühren nur die Flughafengesellschaft sein können.

Abbildung 30: Cournot-Modell für das Spiel Flughafen und Fluggesellschaft
(Quelle: eigene Darstellung)

(5.4-14) $\frac{\partial R_i}{\partial q_j} < 0$; ∀(i,j) bzw.

(5.4-15) $\frac{\partial R_i}{\partial q_j} > 0$; ∀(i,j)

Fällt nach (5.4-14) der Grenzgewinn, fällt die Reaktionsfunktion R_i. Es liegt dann ein strategisches Substitut vor, d. h., je mehr j bietet, umso weniger bietet i mit. Steigt nach (5.4-15) der Grenzgewinn, steigt die Reaktionsfunktion R_i. Es liegt ein strategisches Komplement vor. Bietet j mehr, tut dies auch i. Das ist im vorliegenden Fall anzunehmen, wenn beispielsweise die Fluggesellschaft auf Flughafeninfrastruktur angewiesen ist, da sie ihr Flugangebot auf dem Flughafen ausweiten will.

Das aufgezeigte Beispiel ist von theoretischer Natur und müsste, um aussagekräftig zu werden, näher untersucht werden, als es hier geschehen ist. In dieser Arbeit sollte dieser Problempunkt kurz angerissen werden.

Insbesondere müsste das Spiel zwischen Flughafenbetreibern des Hubs im Übernahmenetz um einen weiteren Spieler, nämlich den alternativen Betreiber des Hubs erweitert werden, zu dessen Gunsten der Flugbetrieb verlagert werden soll. Damit könnte auf Basis der Hub-Prämie des einen und der Hub-Prämie des anderen Flughafens spieltheoretisch untersucht werden, wie sich die Hub-Prämien beider Flughäfen so annähern, damit ein Gleichgewicht herrscht, bei dem die Flughafengesellschaft das Flugangebot mengenmäßig nicht ändert.

5.5 Wettbewerbsbedingter optimaler Preis für Belly-Fracht

5.5.1 Effizienter Preis in regulierten Luftverkehrsmärkten

Die Luftverkehrsmärkte vor etwa 30 Jahren waren geprägt durch staatliche Regulierungen. Im Luftfrachtbereich reglementierten die Wettbewerbsbehörden zu jener Zeit die Frachtraten für Luftfrachttransporte. Für die Frachtrate wurde den Luftfrachtgesellschaften ein Wert vorgegeben, der der damaligen Definition für einen wohlfahrtsoptimalen, effizienten Preis ent-

sprechen sollte.

In der Literatur der 1970er-Jahre wurden zwei Artikel veröffentlicht, die sich mit dem effizienten Preis von Belly-Fracht in Combination Airlines auseinandersetzten. In seinem Artikel schlussfolgerte Miller (1973), dass die Gleichsetzung der Frachtrate für Belly-Fracht in Combination-Carriern mit den Durchschnitts- bzw. Grenzkosten für Luftfrachttransporte in reinen Frachtmaschinen vom Aeronautics Board[51] und den ökonomischen Kriterien für eine effiziente Preisbestimmung in Einklang steht. Garrod und Miklius (1977, S. 284 ff.) hingegen zeigen auf, dass die Annahme von Miller nur in bestimmten Konstellationen Gültigkeit hat.

In beiden Aufsätzen sind zwei Kostenfunktionen für die Transportkosten in kombinierten Flugzeugen und reinen Frachtmaschinen aufgestellt und miteinander verglichen worden. Die Ergebnisse dieser Arbeiten könnten Aufschluss über die in dieser Arbeit und in vielen Literaturbeiträgen aufgeworfene Fragestellung geben, ob der Transport von Belly-Fracht kostengünstiger ist als in reinen Frachtmaschinen. Aus diesem Grund wird in diesem Abschnitt auf die Arbeit von Garrod und Miklius eingegangen und es werden die Kostenmodelle aufgezeigt und erläutert. Zum Schluss dieses Absatzes erfolgt eine Würdigung, ob mit den Modellannahmen Aussagen zu den Kosten bei Belly-Flugzeugen und Frachtern getroffen werden können. Die nachfolgenden Ausführungen sind eins zu eins von Garrod und Miklius (1977, S. 284 ff.) übernommen bzw. übersetzt worden.

Miller leitet die notwendigen Bedingungen für einen kurzfristigen effizienten Preis für Luftfracht über ein Wohlfahrtsmaximierungs-Modell her. In dem Modell werden die Kosten abhängig vom Flugzeugtyp bei Belly-Flugzeugen und Frachtmaschinen als Funktionen der Kosten des „Transports“ und der „Flugdurchführungskosten“, die mit kapazitätsabhängigen und -unabhängigen Kosten korrespondieren, angenommen. Das Wohlfahrtsmaximum tritt nach Miller in Abhängigkeit der Nebenbedingung ein, dass die Belly-Flugzeuge mit der optimalen Kapazitätsverteilung zwischen den Passagieren und der Fracht fliegen. Auf Basis des von ihm aufgestellten Modells konkludiert Miller, dass die optimale Höhe der Frachtrate den Durchschnitts- und Grenzkosten für den Transport von Luftfracht in Frachtmaschinen entsprechen muss. Miller stellte letztlich ein Modell auf, mit dem unter wohlfahrtsoptimalen Allokationsgesichtspunkten die optimale Höhe für Frachtraten bestimmt werden konnte, was vor über 30 Jahren als wissenschaftlicher Beitrag zur damaligen Regulierungspraxis passte.

Da die Modellierung auf dem Konzept der Grenz- und Durchschnittskosten fußt, werden Grenz- und Durchschnittskosten kurz beschrieben.

Grenzkosten beschreiben allgemein in einem Unternehmen die Änderung der Kosten, wenn eine weitere Einheit eines Produkts produziert wird, die zu einem höheren Produktionsoutput führt. Es wird dabei der Frage nachgegangen, um wie viel die Kosten steigen, wenn eine weitere Einheit hergestellt wird. Die Erhöhung der Produktionsmenge ist nur dann möglich, wenn bei der vorhandenen Kapazität der Produktion noch freie Kapazitäten verfügbar sind, d. h. innerhalb derselben Kapazitätsstufe produziert werden kann. Die Grenzkosten stellen die erste Ableitung der Kostenfunktion dar, indem diese nach der Produktionsmenge zu differenzieren ist. Im Gegensatz dazu drücken die Durchschnittskosten das Verhältnis der Gesamtkosten zur Produktionsmenge aus. Durchschnittskosten werden auch als Stückkosten bezeichnet.

Gemäß Garrod und Miklius sind die Konklusionen von Miller, was das Modell betrifft, nachvollziehbar. Jedoch erscheint ihnen die fehlende Nebenbedingung in dem Modell, das es keine freien Kapazitäten in Belly-Flugzeugen gibt, diskussionswürdig. Auf den Begriff der freien Kapazität ist zunächst näher einzugehen.

[51] Damalige staatliche Regulierungsbehörde der USA für Luftverkehr.

Gemäß der Produktionstheorie versteht man unter Zugrundlegung einer Produktionsfunktion unter freier Kapazität die Menge eines Produktionsoutput, bei der die Grenzkosten kleiner sind als die Durchschnittskosten. Die freie Kapazität kann so lange durch Steigerung der Produktionsmenge ausgeschöpft werden, wie die Grenzkosten niedriger sind als die Durchschnittskosten. Damit ist es möglich, die Durchschnittskosten zu senken, indem der Output erhöht wird. Freie Kapazität kann als die Produktionsmenge betrachtet werden, mit der sich die Durchschnittskosten bis auf das Minimum reduzieren lassen.

Garrod und Miller (1977) setzen bei den Ergebnissen von Miller an und führen als Modellrestriktion freie Kapazitäten in Belly-Flugzeugen ein. Die beiden Wissenschaftler zeigen insbesondere auf, dass bei Widebody-Flugzeugen freie Kapazitäten wenigstens auf dezidierten Flugstrecken bestehen. Sie stellen weiterhin heraus, dass die wohlfahrtsoptimale Frachtrate für Belly-Fracht in einem Belly-Flugzeug nicht notwendigerweise den Grenz- bzw. Durchschnittskosten für Frachttransporte in einem Frachtflugzeug entsprechen muss, falls auf dem Belly-Flugzeug freie Kapazitäten vorherrschen. Hierzu haben sie das in Ergänzung zu Miller nachfolgend beschriebene Modell aufgestellt.

Notation und Definitionen

D_p = Passagiernachfrage (abnehmende Funktion von X_p)
D_f = Luftfrachtnachfrage (abnehmende Funktion von X_f)
X_p = Passagiererlös in Tonnenmeilen in einem Belly-Flugzeug
X_{f1} = Erlös für Frachttransport für eine Tonnenmeile in einem Belly-Flugzeug
X_{f2} = Erlös für Frachttransport für eine Tonnenmeile in der Frachtmaschine
X_f = Gesamterlös für Frachttransport für eine Tonnenmeile ($X_f = X_{f1} + X_{f2}$)
L_p = Passagierladefaktor (angenommener und tatsächlicher Faktor)
L_{f1} = Frachtladefaktor im Belly-Flugzeug (angenommener und tatsächlicher Faktor)
L_{f2} = Frachtladefaktor in der Frachtmaschine (angenommener und tatsächlicher Faktor)
R = Verhältnis zwischen der Kapazität in der Einheit Frachttonnenmeilen und der Kapazität in der Einheit Passagiertonnenmeilen in einem Belly-Flugzeug
C_p = Durchschnitts- (und Grenz-)Kosten der Transportkosten für die Passagiere (pro erlöster Tonnenmeile) in einem Belly-Flugzeug
C_{f1} = Durchschnitts- (und Grenz-)Kosten der Transportkosten für Fracht (pro erlöster Tonnenmeile) in einem Belly-Flugzeug
C_{f2} = Durchschnitts- (und Grenz-)Kosten der Transportkosten für Fracht (pro erlöster Tonnenmeile) in einer Frachtmaschine
C_a = Durchschnitts- (und Grenz-)Kosten der Kosten für die Kapazität (pro verfügbarer Tonnenmeile) für beide Flugzeugtypen

Die Annahme, dass die Durchschnitts- und die Grenzkosten gleich sind, beruht darauf, dass beide Kosten in dem Modell als konstant angenommen werden.

Miller definiert die gesamten Kosten für Belly-Flugzeuge wie folgt:

(5-5.1) $K_1 = \left[C_p X_p + C_{f1} X_{f1}\right] + C_a \left(\frac{X_p}{L_p} + \frac{X_{f1}}{L_{f1}}\right)$

und die für Frachtmaschinen folgendermaßen:

(5-5.2) $K_2 = C_{f2} X_{f2} + C_a \left(\frac{X_{f2}}{L_{f2}}\right)$

Der rechte Term in beiden Kostenfunktionen repräsentiert die totalen Flugkosten. Der linke Term stellt in beiden Fällen die Kapazitätskosten dar, wobei das Verhältnis $\frac{X}{L}$ ein Maß für die Kapazität ist. Im Folgenden muss die freie Kapazität im Belly-Flugzeug als verfügbare Kapa-

zität abgebildet werden, welche eine Funktion in Abhängigkeit des Flugzeugtyps und der Flugfrequenz ist. Es werden zwei neue Variablen T_f und T_p eingeführt, welche die freien Kapazitäten für Fracht und Passagiere im Belly-Flugzeug ausdrücken.

Da die Kapazität nicht überschritten werden kann und die Konfiguration kurzfristig feststeht, müssen die nachfolgenden Bedingungen erfüllt sein:

(5.5-3) $T_f \geq \frac{X_{f1}}{L_{f1}}$

(5.5-4) $T_p \geq \frac{X_p}{L_p}$

(5.5-5) $\frac{T_f}{T_p} = R$

Die Summe von T_f und T_p stellt ein Maß für die verfügbare Kapazität dar. Die vorgenannten drei Bedingungen (5.5-3) bis (5.5-5) implizieren, dass die verfügbare Kapazität sowohl eine Funktion der Flugzeugkonfiguration als auch der bei der Flugdurchführung bei diesen Kapazitäten an Bord befindlichen Anzahl von Passagieren und der Menge an Fracht ist. Herrschen beispielsweise freie Kapazitäten für Fracht vor, wird die verfügbare Kapazität durch die Anzahl der Flüge bestimmt, die erforderlich sind, um die Nachfrage nach Passagierflügen zu bedienen. Die Kostengleichung für Belly-Fracht lautet demnach:

(5.5-6) $K_1 = C_pX_p + C_{f1}X_{f1} + C_a(T_p + T_f)$

In Anlehnung an die Modellformulierung von Miller definieren Garrod und Miklius das ökonomische Wohlfahrtsoptimum als die Summe der Konsumenten- und Produzentenrente. Optimale Preise können dann durch die Maximierung der folgenden nichtlinearen Funktion und die nachfolgend angegebenen Restriktionen determiniert werden:

(5.5-7) $\int_0^{x_p} D_p dX_p + \int_0^{x_f} D_f dX_f - K_1 - K_2$

mit den Nebenbedingungen

(5.5-8) $X_{f1} - L_{f1}\, T_f \leq 0$
(5.5-9) $X_p - L_pT_p \leq 0$
(5.5-10) $T_p - RT_f = 0$
(5.5-11) X_p, X_{f1}, X_{f2}, T_p, T_f, Y_1 und $Y_2 \geq 0$

Die ersten drei Bedingungen (5.5-8) bis (5.5-10) gewährleisten, dass auf dem Belly-Flugzeug nicht mehr Fracht transportiert wird, als die verfügbare Belly-Frachtkapazität beträgt. Die anderen Nebenbedingungen beziehen sich darauf, dass die zulässigen Kapazitätsmengen und die beiden Lagrange-Multiplikatoren nicht negativ sein dürfen.

Die Kuhn-Tucker-Bedingung ist die notwendige und hinreichende Bedingung für die optimale Lösung, wobei die Zielfunktion konkav, die Menge der Nebenbedingungen konvex ist und wenigstens ein möglicher Punkt existiert, der alle Nebenbedingungen als strenge Ungleichung erfüllt.

Aufgrund dieser Nebenbedingungen sind folgende vier Situationen bzgl. der Nebenbedingungen (5.5-8) und (5.5-9) möglich:

(1) keine der ersten beiden Bedingungen ist maßgeblich,
(2) die erste der ersten beiden Bedingungen ist maßgeblich,
(3) die zweite der beiden Bedingungen ist maßgeblich und
(3) die ersten beiden Bedingungen sind beide maßgeblich.

Interessant sind dabei die Situationen, bei denen nur die zweite Bedingung bzw. sowohl die erste als auch die zweite Bedingung maßgeblich sind. In dieser Konstellation bestehen keine freien Kapazitäten für Passagiere im Belly-Flugzeug.

Falls Fracht befördert wird und in Passagiermaschinen freie Kapazitäten für Fracht bestehen, jedoch nicht für Passagiere, dann charakterisieren die nachfolgenden Bedingungen die optimale Lösung:

(5.5-12) $D_p - C_p - C_a \frac{(T_p+T_f)}{X_p}$

(5.5-13) $D_f - C_{f1} \leq 0$

(5.5-14) $\frac{(D_r - C_{f1})}{X_{f1}} = 0$

(5.5-15) $D_r - C_{f2} - \frac{C_a}{L_{f2}} \leq 0$

(5.5-16) $\left(D_r - C_{f2} - \frac{C_a}{L_{f2}}\right) X_{f2} = 0$

In dieser Konstellation entspricht der optimale Ticketpreis für Passagiere den totalen Kosten zum Bestreiten des Flugs mit dem entsprechenden Passagieraufkommen plus der Kosten, um die Belly-Frachtkapazität im Belly-Flugzeug bereitzuhalten. Mit den Restriktionen (5.5-13) bis (5.5-16) wird erreicht, dass Luftfracht in beiden Flugzeugtypen nur transportiert wird, falls die Grenzkosten der Fracht in Belly-Flugzeugen den Durchschnittskosten für die Flugdurchführung auf allen Flugzeugtypen entsprechen, was sehr unwahrscheinlich ist.

Es erscheint möglich, dass die Grenzkosten für Fracht in Belly-Flugzeugen niedriger sind als die Durchschnittskosten in Frachtmaschinen, da die Kosten für die Belly-Frachtkapazität nicht signifikant sind. In diesem Fall würde man die gesamte Fracht in Belly-Flugzeugen befördern und die optimale Frachtrate wären die Grenzkosten für Fracht in Belly-Flugzeugen, d. h., der Preis für Leistungen des Luftfrachttransports in Belly-Flugzeugen wird als Beiprodukt der Leistungen des Passagiertransports ermittelt.

Diese Annahme ist konsistent zu realen Beobachtungen im Luftfrachtsektor. Garrod und Miklius veranschaulichen den Sachverhalt anhand eines Beispiels. Man nehme an, es bestehen freie Belly-Frachtkapazitäten auf Flügen zu einer beliebigen Destination und es gibt keine reinen Frachtmaschinen dorthin.[52] Falls jedoch die Durchschnittskosten in Frachtmaschinen kleiner sind als die Grenzkosten für Fracht in Belly-Flugzeugen, dann würde man das gesamte Frachtaufkommen in Frachtflugzeugen transportieren und die optimale Frachtrate entspräche den Stückkosten für den Frachttransport in Frachtmaschinen.

Falls die durchschnittlichen und die Grenzkosten für beide Flugzeugtypen als nicht konstant angenommen werden, sondern als progressive Funktion der Frachtmenge, würden die Bedingungen (5.5-13) bis (5.5-16) implizieren, dass die Produktionsfunktion für Luftfrachtleistungen der horizontalen Addition der Grenzkostenkurve für Fracht in Belly-Flugzeugen und der Durchschnittskostenkurve in Frachtmaschinen entspräche. Fracht würde folglich so zwi-

[52] Garrod und Miklius wählten in ihrem Artikel als Destination Hawaii.

schen den beiden Flugzeugtypen allokiert werden, dass die Grenzkosten für Fracht in Belly-Flugzeugen den Durchschnittskosten für Fracht in Frachtmaschinen entsprechen. Falls jedoch die Nachfrage nach Luftfracht geringer ist als die freie Kapazität in Belly-Flugzeugen, dann treffen die Bedingungen für eine effiziente Preisbestimmung mit denen überein, die von Miller abgeleitet wurden:

(5.5-16) $D_p - C_p - C_a \frac{(T_p + T_f B X_f)}{X_p}$

(5.5-17) $D_r - C_{f2} - \frac{C_a}{L_{f2}} = 0$

wo $B = C_{f2} + \frac{C_a}{L_{12}} - C_{f1}$ die Differenz zwischen den Durchschnittskosten für den Transport von Fracht in Frachtmaschinen und denen in Belly-Flugzeugen ist. B darf nicht negativ sein, falls Fracht in Belly-Flugzeugen transportiert wird. Der optimale Preis für Fracht entspricht den Stückkosten für den Transport von Fracht in Frachtmaschinen und der Preis für den Passagierflug ist entweder gleich oder niedriger als die Stückkosten, die anfallen, um die Kapazität bereitzuhalten und den Flug durchzuführen.

Die beiden Autoren haben aufgezeigt, dass die Schlussfolgerungen von Miller nur standhalten, wenn entweder für Passagiere oder Belly-Fracht in Belly-Flugzeugen keine freie Kapazität vorhanden ist, was eine Ausnahmesituation darstellt.

5.5.2 Konklusionen für Kosten von Belly-Frachttransporten

Die eingangs aufgeworfene Frage, ob der Transport von Fracht in Belly-Flugzeugen kostengünstiger ist als in reinen Frachtmaschinen, lässt sich nach diesem idealisierten Modell in bestimmten Konstellationen beantworten. Falls nach der Kostentheorie die Grenzkosten für die Fracht in Belly-Flugzeugen niedriger sind als die Durchschnittskosten in Frachtmaschinen, dann ist der Transport von Fracht in Belly-Flugzeugen zu priorisieren, da die Gesamtkosten niedriger ausfallen als beim Frachttransport in Frachtern. Jedoch gilt diese Annahme nur dann, wenn die Kosten für die Belly-Frachtkapazitäten in Belly-Flugzeugen nicht gewichtig sind. Die Signifikanz der Frachtkapazitäten in Belly-Flugzeugen lässt sich anhand des Verhältnisses zwischen Passagierkapazität und Frachtkapazität beurteilen. Die Passagierkapazität in einem Flugzeug im Oberflurbereich resultiert aus den Sitzkapazitäten. Zwischen Sitzkapazität und Frachtkapazität besteht kein unmittelbarer Zusammenhang. Zudem wird im Oberflurbereich in einer Passagiermaschine kein Transportgut befördert. In den Unterflurkammern eines Belly-Flugzeugs besteht zwischen der Frachtkapazität und der Gepäckkapazität ein Zusammenhang. Gemäß der IATA zählt Passagiergepäck nicht zur Luftfracht. Die Gepäckauslastung hängt wiederum von der Passagierauslastung ab. Problematisch ist, dass in kleineren Fluggeräten die Frachtkapazitäten im Bauch des Flugzeugs gering sind, sodass bei Vollauslastung im Passagierbereich nur noch geringe Restkapazitäten für Belly-Fracht zur Verfügung stehen. Dennoch zeigt sich, dass selbst bei ausgebuchten Passagierflügen im Unterflurbereich noch freie Kapazitäten für Fracht bestehen. Damit lässt sich konstatieren, dass die Kosten für Frachtkapazitäten in Belly-Flugzeugen nicht signifikant sind. Somit spielen sie in Belly-Flugzeugen keine Rolle, da die Kapazitäten ohnehin da sind, auch wenn keine Fracht transportiert wird. Es kann deshalb geschlussfolgert werden, dass unter der Annahme, dass die Grenzkosten für die Fracht in Belly-Flugzeugen niedriger sind als die Durchschnittskosten in Frachtmaschinen, der Frachttransport im Sinne des Passagiertransports „kostenneutral“ erfolgen kann und sich somit Belly-Fracht als Beiprodukt des Passagiersektors kalkulieren lässt. In allen anderen Konstellationen ist dies nicht der Fall.

5.6 Zusammenfassung

Marktmacht herrscht im hohen Maße auf der Nachfrageseite vor, während auf der Lieferantenseite aufgrund der Leasingmöglichkeiten und der grundsätzlichen Verkaufsmöglichkeit

von Flugzeugen an sich von keiner Marktmacht mehr auszugehen ist. Der intramodale und intermodale Wettbewerb ist hoch und tendiert dazu, in der Zukunft hoch zu bleiben. Beim intramodalen Wettbewerb herrscht im Segment der Integratoren starker Wettbewerb, da sich diese zunehmend auf Standard- und Spezialfracht spezialisieren, hierfür abgestimmte Wettbewerbsstrategien ausüben und gegenüber den Luftfrachtgesellschaften starke Rivalität zeigen. In diesem Sektor verlieren die Luftfrachtgesellschaften die meisten Marktanteile. Intermodaler Wettbewerb ist hoch und wird tendenziell hoch bleiben. Die Ursache hierfür liegt in den sinkenden Preisen im Seegüter- und Bodentransportbereich.

Ausgehend von den unterstellten wettbewerbstheoretischen Grundlagen nach den Erkenntnissen der Theorie der Bestreitbarkeit der Märkte und der Theorie monopolistischer Bottlenecks ließ sich in diesem Kapitel Folgendes aufzeigen.

Für die Standortentscheidungsfrage im Zusammenhang mit der Konstituierung von Hub-Flughäfen in Europa lässt sich festhalten, dass bestehende Flughäfen über keine Potenziale zur Ausübung von Marktmacht durch Anwesenheit von Subadditivität, Größenvorteilen und irreversiblen Kosten verfügen, um neuen Fluggesellschaften den Marktzugang auf Flughäfen zu verwehren. Ebenso wenig vermag die Marktmacht bestehender Netzwerkfluggesellschaften auf Hub-Flughäfen, potenzielle Fluggesellschaften durch Allianzbildung, Übernahmen oder Slot-Konzentration bzw. -Hortung vom Zugang zum selben Hub abzuhalten. Lediglich institutionelle Marktzugangsbarrieren in Form von Kapazitätsengpässen sind feststellbar und halten vielfach neue Netzwerkfluggesellschaften davon ab, einen bestehenden Hubflughafen anzufliegen. Kapazitätsknappheit herrscht vorwiegend auf den bestehenden Hubflughäfen vor. Ein Ausweichen auf andere Flughäfen, insbesondere auf Sekundärflughäfen, die noch Slot-Kapazitäten vorhalten können, ist aufgrund des engmaschigen Europaluftverkehrs möglich. Die Lokationsfrage im Zusammenhang mit intra-europäisch ausgerichteten Hub-Flughäfen ist aus Wettbewerbsgründen als unproblematisch einzustufen.

Aus der geringen Anzahl der Marktteilnehmer im Luftfrachtsektor lässt sich in Anlehnung an die Theorien zur Bestreitbarkeit der Märkte nicht automatisch ableiten, dass die Marktteilnehmer trotz monopolistischer Stellung Gewinn maximierende Preise nach der Cournot-Regel setzen können, wie dies allgemein von Horn et al. (1988, S. 40 ff.) aufgezeigt wird. Der Cournot-Punkt entspricht dem Gewinnmaximum eines Unternehmens mit monopolistischer Stellung. Er resultiert aus der verkauften Menge zu einem erhobenen Produktpreis abzüglich der Produktionskosten. Anders als bei Unternehmen im vollkommenen Wettbewerb, die Marktpreise setzen müssen, kann der Monopolist den Verkaufspreis so setzen, dass sein Gewinn maximal wird. Mithilfe einer Nachfragefunktion ist es ihm möglich zu berechnen, zu welchem Verkaufspreis er welche Produktmenge absetzen kann. Zwar sind Markteilnehmer im Luftfrachtsektor als Monopolisten einzustufen, jedoch sind Luftfrachtgesellschaften nicht in der Lage, ihre Preise nach dem Cournot-Punkt auszurichten, da Luftfracht kein Produkt im Sinne der Cournot-Regel darstellt. Die monopolistische Preissetzung nach der Cournot-Regel ist für Luftfrachtgesellschaften daher unmöglich. Folgt man den Ausführungen von Lin und Liao (2004), dann erfordert das Preisplanungsproblem mit einer umgekehrten Nachfragefunktion für eine Fluggesellschaft die simultane Determinierung der Nachfrage für ihre Luftverkehrsgüter und die Entwicklung eines Betriebsplans, um die im Netzwerk verfügbaren Kapazitäten in einer Art und Weise zu füllen, damit der Profit maximiert wird. In einem Oligopolmarkt ist das Cournot-Nash-Preisgleichgewicht unter Berücksichtigung der Marktanteile und der Netzplanung der Mitbewerberfluggesellschaften determinierend, damit alle Fluggesellschaften die höchsten individuellen Gewinne erzielen können. Meister und Meister (2000, S. 182 ff.) argumentieren so, dass das Nachfrageverhalten letztlich den Preis bestimmt und die Preise nicht autonom am Markt festgelegt werden können. Allerdings zeigt sich, dass speziell bei Belly-Frachtgütern, für die sich Alleinstellungsmerkmale gegenüber Wettbewerbern ausmachen lassen, lukrative Frachtraten erzielt werden können (vgl. Abschnitt 7.2.1). Ob diese Frachtraten einer monopolistischen Preissetzung gleichkommen, wird in dieser Arbeit nicht untersucht.

Zwar herrschen bei der Bedienung von Flugstrecken bei den bestehenden Netzwerkfluggesellschaften Bündelungsvorteile vor. Jedoch sind in Bezug auf die Allokationsfrage irreversible Kosten abwesend. Nach den beiden hier behandelten Wettbewerbstheorien liegen keine Wettbewerbsbeschränkungen beim Luftverkehrsangebot vor, soweit zum Aufbau der Flugstrecken für ein innereuropäisch operierendes Hub-and-Spoke-Netzwerk die Hub- und Nichthub-Flughäfen angeflogen werden können. Die Allokation verhält sich konsekutiv zur Lokation.

Neben den wettbewerbsbedingten Markteintrittsbarrieren beschreibt Schneider (1993, S. 45) in seinem Papier strukturelle Markteintrittsbarrieren des europäischen Luftfrachtmarktes. Als hohe Eintrittsbarriere gilt demnach der hohe Kapitalbedarf für den Aufbau von Standorten und Vertriebsnetzen sowie mit abnehmender Tendenz die hohen Kosten der Markteinführung. Dagegen gehören zu den niedrigen Eintrittsbarrieren der mittlerweile abnehmende Kapitalbedarf für Fluggerät, die Möglichkeit der Produktdifferenzierung sowie die abnehmenden Umstellkosten auf andere Anbieter.

Wettbewerblich bedingte hohe Markteintrittsbarrieren sind nach Schneider die nach wie vor vorhandene, wenn auch abnehmende staatliche Regulierung und die Reaktion der etablierten Luftfrachtgesellschaften auf Angriffe durch Markteindringlinge. Hingegen stellen unter wettbewerblichen Gesichtspunkten die Kostenvorteile der eingesessenen Luftfrachtgesellschaften aufgrund von Economies of Scale und des Lernkurveneffekts nur noch niedrige Eintrittsbarrieren für Marktaspiranten dar.

Alteingesessene Luftfrachtgesellschaften tendieren auch zur Abwehr von betontem Verhalten gegenüber Markteindringlingen, um diese vom Markteintritt fernzuhalten. Nach Schneider (vgl. ebenda) leiten viele etablierte Fluggesellschaften ihre Reaktionen von den Erfahrungen bereits erfolgter Markteintritte ab. Sie nutzen dabei ihre vorhandenen Ressourcen für einschneidende Reaktionen gegenüber dem Mitbewerber aus.

Je massiver die etablierten Luftfahrtgesellschaften Marktzutrittsschranken durchsetzen können, desto geringer ist die Bedrohung von potenziellen Mitbewerbern, in den Markt einzutreten (vgl. Schneider, 1993, S. 44).

Damit gelten die wettbewerblichen Rahmenbedingungen im Zuge der Integration eines Netzes in ein bestehendes Netz für die Erwerbsfluggesellschaft als lösbar. Auf der Ebene der Netzlogistik begegnet das Netzmanagement keinen Wettbewerbsrestriktionen. Jedoch bestehen aus kartellrechtlicher und wettbewerblicher Sicht nach einer Übernahme einer Fluggesellschaft folgende sich auf die Netzstruktur auswirkende Merkmale:

- Es bestehen keine Kapazitätsvorbehalte.
- Die Hub-Flughäfen können ihre Funktion beibehalten.
- Es muss kein Flughafen aufgegeben werden.
- Slots bleiben grundsätzlich erhalten, mit Ausnahme auf Streckenverbindungen, die zu einer Marktmacht nach dem Zusammenschluss führen würden.
- Wettbewerbliche Einschränkungen auf Strecken wirken sich auf das Flugangebot zwischen zwei Flughafenstandorten durch
  - Reduktion der Flugfrequenzen und
  - Reduktion oder Aufgabe von Flugverbindungen aus.
- Länderübergreifende Verbindungen sind ohne Einschränkungen möglich.

Das Übernahmenetz eröffnet der Erwerbsfluggesellschaft Optionen im Strategieverhalten gegenüber Wettbewerbern bei der Kostenführerschaft und Differenzierung. In Kapitel 7 wird detailliert darauf eingegangen. Das Übernahmenetz nebst dem Flugbetrieb stellt somit ein Instrument für das Wettbewerbsverhalten der Erwerbergesellschaft dar.

Bei der Modellierung solcher Hub-and-Spoke-Strukturen bestehen keine modellspezifischen

Restriktionen aus Wettbewerbssicht.

Strukturell ist der Umgang mit der Kapazitätsknappheit an den Hub-Flughäfen aufgrund des Anstiegs der Zubringerflüge aus dem Übernahmenetz bei der Integrationsaufgabe zu behandeln.

Im nächsten Kapitel wird speziell auf den intra- und intermodalen Wettbewerb von Belly-Fluggesellschaften ergänzend zu den in diesem Kapitel bereits behandelten Wettbewerbsthemen eingegangen.

Anhand der optimalen Preisfindung für Belly-Fracht in den früher regulierten Luftverkehrsmärkten ließ sich aufzeigen, dass der Transport von Belly-Fracht in Belly-Flugzeugen dann kostengünstiger ist, wenn bei freien Kapazitäten auf den Belly-Flugzeugen die Grenzkosten für den Transport im Belly-Flugzeug niedriger sind als die Durchschnittskosten auf reinen Frachtmaschinen. In dieser Fallkonstellation lässt sich Belly-Fracht als kostenneutrales Beiprodukt für den Passagiertransport kalkulieren.

6 Intra- und intermodaler Wettbewerb von Belly-Fluggesellschaften

Während im vorangegangenen Kapitel primär die Wettbewerbsbedingungen auf der Netzebene im Fokus standen und sowohl der Frage nachgegangen wurde, welche Optionen für Netzwerkfluggesellschaften durch Instrumentalisierung des Netzes bestehen, um Mitbewerber vom Marktzutritt abzuhalten, als auch, welche wettbewerbsbedingten Erschwernisse beim Aufbau eines integrierten Netzbetriebs vorherrschen, soll in diesem Kapitel der intra- und intermodale Wettbewerb der Belly-Fluggesellschaften im Marktbereich der Fracht behandelt werden.

Auf der Wettbewerbsseite des Luftfrachtsektors sind gegenwärtig zwei Tendenzen auszumachen. Auf der einen Seite herrscht im Interkontinentalverkehr trotz der von Boeing und Airbus[53] prognostizierten Wachstumspotenziale im Luftfrachtbereich unter den europäischen Netzwerkfluggesellschaften und zwischen diesen und den Integratoren ein starker Verdrängungswettbewerb. Auf der anderen Seite zeichnet sich eine Marktsättigung in den heimischen Märkten und in Europa ab, sodass hier der Vermarktung des Frachtangebots nicht genügend Nachfrage gegenübersteht.

6.1 Intra- und intermodaler Wettbewerb der Belly-Fluggesellschaften

Belly-Fluggesellschaften bestreiten ihren Wettbewerb sowohl auf intra- als auch auf intermodaler Ebene. Im Abschnitt 5.2.1.2 wurde bereits auf die intra- und intermodale Substitutionskonkurrenz eingegangen und festgehalten, dass die Minderung der Marktmacht gegenüber Flughafenbetreibern bei Konkurrenzformen für eine Netzwerkfluggesellschaft bzw. auch für den Fall von Übernahmen nicht geeignet ist. In den nachfolgenden Abschnitten wird der intra- und intermodale Wettbewerb auf der Ebene der Verkehrsträger diskutiert.

6.1.1 Intramodaler Wettbewerb

Als intramodaler Wettbewerb im Luftverkehrsmarkt wird der Wettbewerb verstanden, der zwischen den Luftfrachtgesellschaften, d. h. zwischen den reinen Nurfrachtgesellschaften untereinander sowie zwischen den Belly-Fluggesellschaften und den Nurfrachtgesellschaften und den Belly-Fluggesellschaften untereinander, vorherrscht. Intramodaler Wettbewerb im Luftfrachtsektor findet sowohl auf den Interkontinentalstrecken als auch auf den Kurz- und Mittelstrecken (Europa) statt.

Intramodaler Wettbewerb im Interkontinentalverkehr

Im interkontinentalen Luftfrachtverkehr herrscht ein Verdrängungswettbewerb vor. Bei diesem betreibt ein marktbeherrschendes Unternehmen eine Preispolitik mit dem Ziel, den Zugang von Marktneulingen zu verhindern und bestehende Wettbewerber vom Markt zu drängen (vgl. Wilkens, 1986, S. 146). Beim Bestreiten des Marktes nach dieser Wettbewerbsstrategie können die ohnehin schon großen Unternehmen ohne Selbstgefährdung ihre Marktposition ausbauen. Der Interkontinentalverkehr im Luftfrachtsektor gilt zwischen den Luftverkehrsgesellschaften einerseits und diesen und den Integratoren anderseits als ein besonders für Verdrängungswettbewerb anfälliger Wirtschaftssektor, da aufgrund vorhandener positiver Skalenerträge die Markteintrittsschwelle für Marktaspiranten als besonders hoch einzustufen ist. Im Luftfrachtsektor ist festzustellen, dass bestimmte interkontinentale Streckendienste nur von einer oder wenigen Fluggesellschaften angeboten werden. Durch Verdrängungswettbewerb können solche etablierten Unternehmen durchaus auch eine gefestigte Monopolstellung am Markt erzwingen. Vor allem zwischen den großen europäischen Netzwerkfluggesellschaften ist die Rivalität besonders groß (vgl. Althen, Graumann und Niedermayer, 2001, S. 424 f.). Ein Grund hierfür ist die nach wie vor zersplitterte Struktur des

[53] Vgl. Ausführungen in Abschnitt 3.4.

europäischen Luftverkehrssektors, wonach jede Nation einen Staats-Carrier unterhält, sodass in Europa ein notorisches Überangebot im Luftverkehrsangebot besteht. Die Subventionen werden als Hauptgrund für das mangelnde Ausscheiden unprofitabler Fluggesellschaften aus dem Markt genannt (vgl. Vahrenkamp, 2005, S. 273). Gerade die kleineren Fluggesellschaften geraten massiv unter Preisdruck, da Luftfracht sehr preissensitiv ist. Das liegt daran, dass der Luftfrachtbereich sehr standardisiert abläuft und die Luftfrachtgesellschaften in ihrem Leistungsspektrum im Wesentlichen keine Unterscheidungsmerkmale aufweisen, weshalb sie für das Produkt Luftfrachtgut eine für den Wettbewerb geeignete Differenzierungsstrategie verfolgen könnten. Otto (2005, S. 458) nennt drei Faktoren, die mitbestimmend sind, warum es für das Gut Luftfracht kein Differenzierungspotenzial gibt. Zum einen begründet er dies mit der Homogenität der Luftfrachtleistung, weiterhin mit den nach wie vor gewährten Subventionen an Fluggesellschaften und schließlich in der Zunahme der Verhandlungsmacht der Nachfrager.

Gerade die Subventionsvergabe gilt als wettbewerbsverzerrend, weil ineffiziente Fluggesellschaften im Markt keine Daseinsberechtigung haben, was ein permanentes Überangebot an Luftfrachtkapazitäten im Markt zur Folge hat. Vielen ehemaligen Staats-Carriern wird auch vorgeworfen, mit ihrer Belly-Fracht nicht ökonomisch umzugehen.

Somit bleibt das Gut Luftfracht austauschbar und der Wettbewerb unter den Fluggesellschaften wird über den Preis ausgetragen (vgl. Grandjot, 2002, S. 101). Die Erträge in Relation zu den geflogenen Tonnenkilometern bewegen sich jährlich um ca. 3,5 Prozent nach unten. Lufthansa Cargo unternimmt durch Ausweitung ihres Angebots und über Qualitätsmerkmale den Versuch, sich von den Wettbewerbern zu differenzieren (vgl. Althen, Graumann und Niedermayer, 2001, S. 429 f.). Dabei eröffnen sich, wie weiter unten noch detailliert aufgezeigt wird, für den Lufthansa-Konzern durch die Übernahme der viel kleineren europäischen Airlines Strategieoptionen, die es ihm ermöglichen, sich neben der Kostenführerschaft im Interkontinentalverkehr im Inlands- und Europaverkehr der Übernahmegesellschaften mit differenzierten Wettbewerbsstrategien gegenüber Mitstreitern behaupten zu können. Folgt man der Meinung von Althen et al. (2001, S. 440), gilt eine Kombination einer Kostenführerschafts- und Differenzierungsstrategie für die Behauptung im Wettbewerb als richtungsweisend. Weiterhin versuchen einige Luftfrachtgesellschaften durch Eingehung von Allianzen dem zunehmenden Wettbewerbsdruck entgegenzutreten. Bereits heute wird über die Hälfte der weltweit geflogenen Luftfracht durch 9 von 146 Fluggesellschaften (vgl. o. V., 2007) bestritten, obgleich sich die Konsolidierung nicht mit der Geschwindigkeit vollzieht, wie es die Marktgeschehnisse erfordern würden. Die großen Netzwerkfluggesellschaften kämpfen zur Erzielung von hohen Ladefaktoren um jede Tonne Fracht. Die Optimierung des Ladefaktors ist eines der vorrangigen Ziele. Dabei sollen die im Luftfrachtgeschäft ohnehin schon relativ niedrigen variablen Kosten noch weiter gesenkt werden. Der Fixkostenanteil ist die dominierende Kostengröße im Luftfrachtgeschäft. Somit kann es für eine Fluggesellschaft opportun sein, auch für wenige Euro-Cents pro Kilogramm im Bedarfsfall den Frachttransport anzubieten, bevor sie auf den Frachtkapazitäten sitzen bleibt (vgl. Reifenberg und Remmert, 2005, S. 541 f.). Im Belly-Frachtsegment ist das besonders ausgeprägt, da die Fracht nur ein Kuppelprodukt zum Passagierbereich darstellt und ihr Mittransport im Unterflurbereich der Passagiermaschinen nicht zwingend gefordert ist. Da die Frachtpreise aufgrund der einfachen Vergleichbarkeit mit anderen Frachtfluggesellschaften transparent sind, ist der Verhandlungsspielraum des Nachfragers groß, wodurch er durch geschicktes Taktieren noch einmal zu erheblichen Rabatten kommt. Teilweise liegen die Frachtraten weit unter dem Niveau, das die IATA als Frachtrate empfiehlt.

Zum anderen sind die Fluggesellschaften den am Boden mitstreitenden Verkehrsträgern für Frachttransport auf der Straße, der Schiene und im Wasser ausgesetzt (so genannter intermodaler Wettbewerb). Gerade der Wettbewerb zwischen den unterschiedlichen Verkehrsträgern ist bei Belly-Fracht besonders präsent, während der Wettbewerb im Nurfracht-Bereich primär zwischen den KEP-Diensten und den Frachtfluggesellschaften bzw. kombinierten Fluggesellschaften (Fracht, Passage, Belly-Fracht) untereinander ausgetragen wird.

Intramodaler Wettbewerb im Inlands- und Europaverkehr
Im Inlands- und Europaverkehr läuft der Wettbewerb weniger hart ab als im Interkontinentalverkehr. Bei der Preisgestaltung für Luftfrachtangebot sind Rabattschlachten viel weniger anzutreffen. Dafür gibt es zwei Gründe. Zum einen werden die Preise hauptsächlich von der Anzahl der Mitbewerber auf einer Strecke und der Art des Frachttransports bestimmt. Zum anderen herrschen in Europa aufgrund der immer noch auf den Slots verharrenden ehemaligen National-Carriers auf singulären Strecken monopolartige Zustände vor (vgl. Hartwig, 2004, S. 276). So gibt es Streckendienste in Europa und im Heimatland des Flag-Carriers, wo kaum oder gar kein Wettbewerb besteht. Insbesondere zeigt sich, dass auf weniger nachgefragten Strecken, die aber durchweg von den nationalen Airlines bedient werden, monopolartiges Luftfahrtangebot vorherrscht, womit die ehemaligen Staats-Carrier aufgrund der Marktgegebenheiten in Einzelfällen monopolartige Frachtpreisraten durchsetzen können. Meist handelt es sich um Strecken, die vor der Deregulierung der Luftverkehrsmärkte in Europa den staatlichen Fluggesellschaften auferlegt wurden, um eine landesweite Versorgung der Staaten mit Flügen zu gewährleisten. Auch wenn viele dieser Strecken keinen Wettbewerber haben, bedeutet dies nicht zwangsläufig, dass der Streckenanbieter seinen Dienst Gewinn bringend bestreitet. Solche Flugverbindungen werden aber auch unter ökonomischen Gesichtspunkten nicht aufgegeben, da man die Slots nicht verlieren will und die Hortung von Zeitnischen ein Mittel darstellt, den Markteintritt von Marktneulingen zu vereiteln (vgl. nachfolgende Ausführungen sowie die in Abschnitt 5.1). Dennoch lässt sich feststellen, dass auf solchen Lufttransport-Relationen die Frachtraten vergleichsweise höher ausfallen als bei Interkontinentalstrecken.

Marktmachtsituation im intramodalen Wettbewerb und Wettbewerbsverhalten
Der intramodale Wettbewerb wurde nach der Deregulierung des europäischen Luftverkehrssektors zwischen den in Europa beheimateten großen Netzwerk-Carriern härter. Im Interkontinentalverkehr spielt es aufgrund des flächenmäßig kleinen Europas keine Rolle, wo der Startflughafen in Europa für eine Interkontinentalverbindung liegt. Somit kämpfen die Airlines europaweit um das Einsammeln von Luftfrachtgut. Da die Airlines allesamt nach dem Hub-and-Spoke-Prinzip europaweit konstituierte Netzwerke unterhalten, können sie die Fracht über Zubringerflüge zum Hub transportieren, dort bündeln und mit großem Fluggerät zur Zieldestination fliegen. Im reinen europäischen Luftverkehrssektor hingegen zeigt sich, dass die etablierten Netzwerk-Airlines auf dedizierten Punkt-zu-Punkt-Verbindungen Billigflieger kaum vom Markeintritt abhalten können, die großen Airlines aber die Konsistenz ihrer Hub-and-Spoke-Netze erfolgreich gegen Wettbewerber absichern. Faktisch gesehen gelingt es einer neuen Fluggesellschaft nicht, ein eigenes europaweites Hub-and-Spoke-Netz aufzubauen.

Zwar ist einerseits der Zugang zum europäischen Luftverkehrsmarkt essenziell einfacher geworden, wenn auch, wie im vorangegangenen Kapitel aufgezeigt wurde, durch Marktmachtverhalten der eingesessenen Fluggesellschaften ein Marktzutritt noch immer deutlich erschwert ist. Andererseits bestehen die mit den hohen Investitionskosten in Verbindung gebrachten Marktzugangsbeschränkungen heute nicht mehr. Die Investitionskosten der Fluggesellschaften sind deutlich nach unten gegangen. Indem Flugzeuge von Fluggesellschaften überwiegend nur noch geleast und nicht mehr gekauft und teilweise Flugzeuge auf Zweitmärkten gekauft bzw. verkauft werden, ist der Kapitalbedarf zur Konstitution von Flugnetzen im Vergleich zur Vergangenheit deutlich geringer geworden. Mithin werden Investitionen in Flugzeuge nicht mehr als versunkene Kosten angesehen (vgl. Abschnitt 5.1 und 5.2.1.2), da Flugzeuge durch Leasing am Laufzeitende einfach zurückgegeben und nicht verkauft werden müssen. Dennoch ist nicht zu leugnen, dass dem Marktzutritt zum Aufbau eines eigenen Flugnetzes hohe Investitionskosten gegenüberstehen. Dabei zeigt Schneider (1993, S. 45) auf, dass ein kritisches Anfangsvolumen zur schnellen Auslastung des Luftfrachtbereichs zum Zeitpunkt der Markteinführung mit hohen Kosten verknüpft ist. Wird mit anderen Worten beim Markteintritt eine hohe Kapazitätsauslastung der Flugzeuge angestrebt, zieht dies eine hohe Nachfrage nach sich.

Intramodaler Wettbewerb mit Low-Cost-Carriern
Trotz dieser durch die Netzwerkfluggesellschaften verursachten Erschwernisse zeichnet sich im Billigflugsegment eine deutliche Zunahme von Punkt-zu-Punkt-Verbindungen insbesondere auf nationalen und intra-europäischen Flugstrecken ab, die vornehmlich von Sekundärflughäfen ausgehen (vgl. Geest, 2003, S. 22), d. h., das Flugangebot steigt und somit auch der Wettbewerb. Offensichtlich haben die großen Netzwerk-Carrier zu sehr auf die Verhinderung des Marktzutritts anderer Fluggesellschaften auf ihren Hub-Flughäfen geachtet und die Sekundärflughäfen dabei außer Acht gelassen. Bei den Low-Cost-Carriern ist beim Aufbau eines Flugnetzes in Europa ein Ausweichen auf kleinere Flughäfen (Sekundär- und Tertiärflughäfen) möglich und so auch zu bestätigen. Die Belly-Fluggesellschaft konkurriert aber weniger mit der Billig-Fluggesellschaft, für die Belly-Fracht bloß ein „Beiprodukt" im Sinne von zusätzlichen Umsatzerlösen darstellt, sodass auf der Ebene der Fracht die Combination-Carrier mit den Integratoren konkurrieren und Belly-Fracht auf dieser Ebene ein Teil des Wettbewerbs ist.

Die Billigflieger konnten sich mittels Differenzierungsstrategie gegenüber den Netzwerkfluggesellschaften den Marktzutritt auf singulären Strecken verschaffen. Mit dem Konzept des unter Auslassung von Services niedrigen Preisniveaus für Flugdienste ließ sich vor allem bei den Privatreisenden punkten. So konnten die Billigfluggesellschaften auf dedizierten Strecken den Netzwerkfluggesellschaften Passagiere abringen. Jedoch geht das Geschäftsmodell von Low-Cost-Carriern einher mit dem Verzicht auf das Geschäft mit Luftfracht als Kuppelprodukt im Lower Deck, um die Abfertigungszeiten kurz zu halten und die Abfertigungsprozesse zu vereinfachen (vgl. Vahrenkamp 2007A, S. 6, Groß und Schröder, 2007). Intramodaler Wettbewerb zwischen den Netzwerkfluggesellschaften und den Billigfliegern ist im Geschäftssegment Belly-Fracht daher im Wesentlichen nicht anwesend.

6.1.2 Intermodaler Wettbewerb

Intermodaler Wettbewerb ist im Frachtsektor als der Wettbewerb der Verkehrsträgerunternehmen untereinander zu verstehen, die sich in der Art und Weise, wie der Frachttransport erfolgt, unterscheiden. Es gibt vier Möglichkeiten, Fracht zu befördern:

- mit dem Flugzeug,
- mit dem Lastkraftwagen,
- mit der Eisenbahn,
- mit dem Schiff.

Intermodaler Wettbewerb im Interkontinentalverkehr
Im Interkontinentalverkehr lässt sich intermodaler Wettbewerb nur mit dem Seeschiff ausmachen. Dieser Wettbewerbsbereich ist im Hinblick auf Belly-Fracht unbedeutend.

Intermodaler Wettbewerb im Europa- und Inlandsverkehr
Die Luftfracht konkurriert im europäischen und nationalen Bereich mit der Eisenbahn und insbesondere mit den Lastkraftwagen. Beide Verkehrsträger sind als bodengebundener Verkehr bekannt.

Im Weiteren soll der intermodale Wettbewerb zwischen einer Belly-Fluggesellschaft und den auf dieser Ebene mit anderen Verkehrsträgern mitstreitenden Unternehmen untersucht werden. Es wird dabei von dem Geschäftsmodell ausgegangen, Belly-Fracht intra-kontinental in Europa anzubieten und die Feeder-Funktion von Belly-Fracht für den Interkontinentalfrachtverkehr dabei unberücksichtigt zu lassen.

Aufgrund von Restriktionen im Angebotsportfolio einer Belly-Fluggesellschaft bestreitet das Flugzeug den Wettbewerb lediglich im Stück- und Spezialgüterbereich. Das liegt zum einen daran, dass insbesondere im Belly-Frachtbereich nur Kleingut-, Postsendungen und sonstiges Frachtgut transportiert werden können. Aufgrund der eingeschränkten Höhe des Lower Decks und des bedingten Kapazitätsbereichs des Unterflurbereichs, der gerade einmal die

Kapazität eines Sattelschleppers aufweist (vgl. Ausführungen in Abschnitt 2.15), lassen sich keine sperrigen Güter im Bauch eines Flugzeugs transportieren.

Für Belly-Fracht geeignetes Stückgut sind insbesondere Fertigwaren, Gebrauchsgüter, Textilien und kurzlebige Güter. Jedoch werden wegen des mit Unterflurfracht zusammenhängenden Passagiertransports keine gefährlichen Güter transportiert. Spezialgüter sind vor allem solche, die hochwertig sind oder deren Transport zeitkritisch ist, z. B. lebende Tieren, verderbliche Ware etc. (vgl. Schneider, 1993, S. 42). Insbesondere konnte bei der Swiss Airline aufgezeigt werden, dass sie im hohen Maße hochwertige Güter in ihren Belly-Flugzeugen befördert und die Verlader aufgrund der Zuverlässigkeit, Schnelligkeit und Sicherheit bereit sind, einen höheren Preis für den Transport in der Luft zu bezahlen.

Aus der Sicht von Belly-Fracht-Anbietern gibt es zu den intermodalen Wettbewerbern in Anlehnung an Schneider (1993, S. 43) folgende Wettbewerbsfelder:

- Es besteht eine hohe Wettbewerbsintensität zu den Verkehrsträgern der Straße.
- Überlegene Wettbewerbsposition des Belly-Frachtverkehrs auf Streckendistanzen von mehr als 1000 km insbesondere bei zeitkritischen Gütern. Hier punktet das Flugzeug aufgrund der Zuverlässigkeit und Schnelligkeit. Dagegen unterlegene Wettbewerbsposition auf kurzen Entfernungen wegen dem gegenüber Lastkraftwagen aufwendigeren Be- und Entladevorgang.
- Überlegene Wettbewerbsposition des Belly-Frachtverkehrs bei Gütern, für die ein hohes Maß an Sicherheit während des Transports gefordert wird, da Flugzeuge hinlänglich als sicher gelten.
- Unterlegene Wettbewerbsposition des Flugzeugs bei zeitunkritischen Gütern und Gütern mit geringem Wert.
- Quasi keine Wettbewerbsintensität des Luftfrachtverkehrs zum Seefrachtverkehr bei Transporten innerhalb von Europa.

Die Wettbewerbsintensität innerhalb dieser Segmente leitet sich vom relativen Preis-Leistungsverhältnis der einzelnen Verkehrsträger ab. Während das Flugzeug generell als das leistungsfähigste Verkehrsmittel angesehen wird, gilt es aber auch als das teuerste. Die Leistungsfähigkeit des Flugzeugs korreliert jedoch mit der Transportentfernung und dem Wert des Transportguts (vgl. Schneider, 1993, S. 42, Blattmann, 1977, S. 120 ff.). Aufgrund der Schnelligkeit, Sicherheit, Häufigkeit und Zuverlässigkeit des Transports kommt dem Flugzeug bei der Beförderung von Belly-Fracht bei entsprechend großen Distanzen zugute, dass sich die Kapitalbildungskosten sowie die Kosten für das Be- und Entladen und gegebenenfalls für das Umladen deutlich reduzieren lassen, da die Preise für den Gütertransport entfernungsabhängig anfallen (vgl. Pfohl, 2004, S. 171 f.). Die Fixkosten sind jedoch entfernungsneutral.

Gerade im Geschäftsbereichssegment des Frachtangebots auf größeren Strecken zeigt sich, wie wichtig es ist, die Integration der Netze von Übernahmegesellschaften voranzutreiben, da sich alleine schon aus den Hinzugewinnen des geografischen Gebiets der vom Übernahmekandidaten abgedeckten Zieldestinationen Potenziale für Ziele mit größeren Distanzen ergeben. Analoges gilt für zeitkritische Güter. Trotzdem konkurriert auch das Belly-Flugzeug beim nationalen Transport und innerhalb von Europa mit dem Lastkraftwagen und ist diesem quasi aufgrund seiner geringen Betriebskosten im Hinblick auf den Wettbewerbspreis deutlich unterlegen. Gleiches lässt sich im Schienenverkehr konstatieren. Auch kommt dem bodengebundenen Transport bei kurzen Transportwegen der relativ lang beanspruchte Vor- und Nachlauf beim Flugzeug zugute. Zudem besitzt der Lastkraftwagen eine hohe Anpassungsfähigkeit auf sich ändernde Transportbedingungen und weist eine hohe Netzdichte als auch Flexibilität auf (vgl. Pfohl, 2004, S. 169). In Abschnitt 6.2 wird detailliert auf die Substitutionskonkurrenz zwischen Luftfracht und Straßentransport eingegangen.

Es lässt sich folglich festhalten, dass im intermodalen Wettbewerb die Luftfracht dann Wett-

bewerbsvorteile für sich verbuchen kann, wenn sie eine Vielzahl von Verbindungen zu weit entfernten Destinationen in den gedeckten Netzgebieten aufweisen kann, auf denen eine entsprechend hohe Nachfrage nach für Belly-Fracht geeignete Güter besteht. Auf diesen Strecken führt die Luftfahrtgesellschaft den direkten Wettbewerb mit den Verkehrsträgern am Boden. Je mehr solche Streckendienste angeboten werden können, d. h. je dichter das Netz ist, und je häufiger die Destinationen angeflogen werden, desto besser wappnet sich die Luftfahrtgesellschaft gegen intermodale Wettbewerber.

6.2 Wettbewerbssituation kleiner Netzwerkfluggesellschaften

Die kleineren, ehemaligen Nationalfluggesellschaften Europas, die staatlich bedingt und nicht ökonomisch sinnvoll in ihrem Heimatland eigene Hub-and-Spoke-Netzwerke aufgebaut haben, gelten als heiße Übernahmekandidaten. Wie weiter oben bereits erläutert wird, gibt es in Europa zu viele Staaten, die allesamt noch zur Versorgung des heimischen Luftverkehrs entsprechende Luftverkehrsgesellschaften unterhalten, sodass die Netzwerkstruktur auf die Bedürfnisse des Heimatlandes und nicht auf die des Wettbewerbsmarkts zugeschnitten ist. Teilweise wurden bzw. werden diese Fluggesellschaften noch staatlich subventioniert und trotz fehlender Profitabilität künstlich am Leben gehalten, was unter makroökonomischen Gesichtspunkten wettbewerbsverzerrend ist. Das Fehlen einer für die Unterhaltung eines Nabe-Speiche-Systems erforderlichen Marktgröße sowie schwer kalkulierbare Betriebskosten, z. B. beim Kerosin, stellen Kernursachen für den mangelnden Ertrag dieser ehemaligen Flag-Carriers dar.

Die strukturellen Netzprobleme sind eine Folgeerscheinung der früheren Regulierung des europäischen Luftverkehrsmarktes, wonach die Fluggesellschaften nur in ihrem eigenen Land handlungsfähig und im Übrigen auf die bilateralen Abkommen mit anderen Ländern angewiesen waren. Die strukturellen Probleme der kleinen Netzwerkgesellschaften können sich die größeren Gesellschaften im Zuge der Übernahme zunutze machen und die Wettbewerbsstrategie danach ausrichten. Die Konsolidierung der Luftfahrtbranche wird sich durch die Übernahme von kleineren Fluggesellschaften durch die Netzwerkfluggesellschaften und die Intensivierung der Allianzbeziehungen unter den großen Netzwerkfluggesellschaften stark beschleunigen (vgl. Fan et al., 2001). Die zum Überleben erforderliche Mindestbetriebsgröße wird von vielen Fluggesellschaften nicht erreicht. Ein Überleben scheint nur möglich, indem diese Gesellschaften unter den Schutz von großen Netzwerkfluggesellschaften gestellt werden, wodurch sie zum Target für die großen Netzwerk-Carrier werden, die darin die Chance sehen, noch mehr Verkehrsaufkommen konzentrieren zu können.

7 Strategien von Netzwerkfluggesellschaften

Dieses Kapitel behandelt zwei Strategie-Szenarien. Zum einen sind dies Strategieoptionen im Kontext mit Belly-Fracht und zum anderen mögliche Strategien im Zusammenhang mit der Akquisition von Fluggesellschaften, wobei im Besonderen die Post-Merger-Strategien für die Netzintegration herausgearbeitet werden.

Unter Berücksichtigung der kartellrechtlichen Bedingungen eines Zusammenschlusses von Airlines bzw. einer Übernahme derselben sowie der institutionellen, wettbewerbsbedingten und sonstigen rechtlichen Rahmenbedingungen werden auf der Unternehmens-, Marketing- und Logistikebene Strategien formuliert, um sich im intra- und intermodalen Wettbewerb zu behaupten. Es geht dabei darum, Strategien für den Belly-Frachtbereich der Übernahmefluggesellschaft zu entwickeln. Zunächst werden das Strategieverhalten und die -optionen auf der Unternehmens-, Marketing- und Logistikebene aufgezeigt und anschließend mögliche Strategieverhalten von großen Netzwerkfluggesellschaften für das Segment Belly-Fracht vorgestellt. Weiterhin wird im Rahmen einer Prozesskostenanalyse eine Kostenfunktion für Belly-Frachttransporte aufgestellt.

7.1 Rahmenbedingungen zur Strategieformulierung von Belly-Fluggesellschaften

Gemäß Vahrenkamp (2007A, S. 7 f.) spielt sich der Transport von Luftfracht in einem wirtschaftlichen Umfeld ab, das durch folgende Rahmenbedingungen gekennzeichnet ist und die strategische Ausrichtung auf Unternehmens-, Marketing- und Logistikebene beeinflusst.

• *Zersplitterung der Anbieter:* Nahezu jeder Staat der Erde unterhält eine Staatsairline (Flag-Carrier), um seine Souveränität zu unterstreichen (Dienel, 1998). Dies führt zu einem breiten Angebot von Airlines mit meist kleiner Kapazität auf dem Luftfrachtmarkt. In der Europäischen Union kommen die Privatisierung und Konzentration der 26 Flag-Carrier auf wenige große Firmen nur langsam voran. Die Belgische Airline Sabena ist bereits vom Markt verschwunden und die holländische KLM fusionierte mit Air France. In der EU sind die großen Airlines wie die Lufthansa, Air France-KLM, Iberia und British Airways nicht mehr in Staatsbesitz.

• *Staatliche Subventionen:* Viele Staaten subventionieren ihre nationalen Carrier, da sie ihr Zeichen der staatlichen Eigenständigkeit erhalten sehen wollen. Sowohl offene als auch verdeckte Subventionen sind in der Mehrzahl der Staaten üblich, was besonders im Gefolge des 11. Septembers 2001 in Europa deutlich wurde. Die Zuwendungen für die Linien Swiss Air und Alitalia im Jahre 2004 unterstreichen dies. Auch sind in den USA die an sich bankrotten, aber unter Konkurrenzschutz (US-Chapter 11) stehenden Airlines zu beachten. Folgen der staatlichen Subventionen sind die Verzerrung des Leistungswettbewerbs, die Verhinderung ökonomisch erforderlicher Marktausscheidungen und die Entstehung weltweiter Überkapazitäten. So erreichten die in der IATA zusammengeschlossenen Airlines im Jahre 2001 nur eine Kapazitätsauslastung (weight load factor) von 67,8 Prozent für Nurfrachtflugzeuge (IATA 2002, S. 17).

• *Bilaterale Luftverkehrsabkommen:* Staatliche Vorschriften und Verkehrsrechte im internationalen Verkehr führen zu einem beschränkten Marktzutritt. Die Luftverkehrsabkommen bestehen nur bilateral zwischen je zwei Staaten. Dies führt in der Luftfracht zu unwirtschaftlichen Pendelverkehren, die zumeist auf den beiden Relationen ungleichmäßig ausgelastet sind („unpaariger Verkehr“). Eine Verbesserung der Kapazitätsauslastung durch Flüge mit einem Zwischenstopp in Drittländern lässt sich wegen der bilateralen Abkommen nicht direkt erreichen. Vielmehr müssen die Airlines wirtschaftliche Umläufe des Fluggeräts aus einzel-

nen Streckenabschnitten zusammensetzen, die aus Abschnitten mit eigenen Verkehrsrechten, aus Überführungsflügen (ferry flights), die keinen Deckungsbeitrag erwirtschaften, und solchen unter der Flugnummer eines bilateralen Partners bestehen.

• *Beschränkter Marktzutritt:* Obwohl die Luftverkehrsmärkte in den USA und der EU bereits teilweise liberalisiert sind, existieren weiterhin Marktzutrittsschranken, wie die Landerechte von Drittländern, nationale Einschränkungen in der Eigentümerstruktur der Airlines sowie Vorrechte der (ehemaligen) Flag-Carrier bei der Vergabe von Start- und Landerechten (Slots oder time-slots) als auch bei der Einrichtung von Abfertigungsstationen auf den Flughäfen. So hält die British Airways 46 Prozent der time-slots auf dem Flughafen London-Heathrow (Vahrenkamp, 2007A, S. 7 f.).

Gemäß Pompl et al. (2004, S. 3 f.) und Ruwantissa (2004) sind Unternehmen im Luftverkehr stetigen Veränderungen unterworfen. Kotler und Karajaya (2000, S. 163) haben dabei im Luftverkehrssektor neben den von Vahrenkamp (2007A) aufgezeigten Rahmenbedingungen für Luftfracht für die 1990er-Jahre folgende makroökonomischen, Luftverkehrs- und ordnungspolitischen und nachfragebedingten Change-Driver-Faktoren für den Luftverkehr identifiziert, die analog für die Luftfracht gelten.

- *Makroökonomie*: Nach Hanlon (2001, S. 2) ist das weltweite Sozialprodukt geprägt durch langfristig sinkende Wachstumsraten, wonach es im Luftverkehr als Folge der elastischen Reaktion auf das Wachstum zu überdurchschnittlichen Veränderungen in der Nachfrage kommt.

- *Luftverkehrs- und Ordnungspolitik*: Trotz des von Vahrenkamp (2007A) aufgezeigten beschränkten Marktzutritts nach der Liberalisierung der Luftverkehrsmärkte haben die Deregulierung[54] und die Liberalisierung[55] der Luftverkehrsmärkte den Wettbewerb unter den Fluggesellschaften verschärft.

- *Nachfragerverhalten*: Auf der Nachfrageseite ist ein preissensibleres Abnehmerverhalten zu verzeichnen, was die Ertragssituation der Fluggesellschaften zunehmend belastet. Von den Fluggesellschaften offerierte Sondertarife fallen zunehmend bei gleichzeitigem Anstieg derjenigen Passagiere, die solche vergünstigten Tarife nachfragen.

Neuausrichtung der Geschäftsfeld-, Geschäftsmodell- und Unternehmensstrategie
Aufgrund dieser Rahmenbedingungen sind die traditionellen Geschäftsmodelle der Luftverkehrsgesellschaften verstärkt problematischer geworden. Die bis in die 1990er-Jahre vorherrschende Aufteilung des Luftverkehrssektors in Charter- und Linienverkehr verschwindet zusehends und innerhalb dieser Verkehrsarten kommt es zu Spezialisierungen des Luftfahrtangebots. Gleichzeitig ist in beiden Segmenten der Wettbewerb mit den Low-Cost-Airlines härter geworden. Viele große Netzwerkfluggesellschaften sind deshalb dazu übergegangen, einen Strategiewechsel bei den Geschäftsfeldern, Geschäftsmodellen und in der Unternehmensarchitektur zu vollziehen bzw. haben ihn bereits vollzogen.

Der Strategiewechsel richtet sich nach den neuen Geschäfts- und Businessmodellen anderer Industriebereiche, von denen man sich auch im Luftverkehrssektor aufgrund der sich geänderten Wettbewerbsbedingungen weiterhin Wettbewerbsfähigkeit verspricht. Airlines, die auf ihren alten Strategien verharren, geraten verstärkt in den Sog der Wettbewerbslosigkeit.

7.2 Strategien für Belly-Fracht bei großen Netzwerkfluggesellschaften

Strategien auf der Unternehmensebene
Strategien auf der Unternehmensebene sind dadurch gekennzeichnet, dass dabei Maßnah-

[54] Abbau von staatlichen Regulierungen.
[55] Abbau internationaler Wettbewerbsbeschränkungen.

men ergriffen werden, um den Bestand des Unternehmens dauerhaft zu sichern.
Strategische Unternehmenspolitik besteht gemäß Pompl et al. (2003, S. 3)[56] aus der Konstituierung eines Business-Modells, dem darauf basierenden Geschäftsmodell und den darauf abgestimmten Geschäftsfeldern. Sie werden gemäß Pompl et al. wie folgt beschrieben;

• „Ein *Business Model* legt die Art der Unternehmensarchitektur (Heuskel 1999, S. 49) fest, also wie die Wertschöpfung innerhalb der einzelnen Geschäftsfelder erfolgt. Dies kann durch verschiedene Funktionsprinzipien wie durch Eigenerstellung, Zukauf, Outsourcing, Leasing oder Franchising geschehen.

• Ein *Geschäftsmodell* ist auf der strategischen wie operativen Ebene „die Abbildung des betrieblichen Produktions- und Leistungssystems einer Unternehmung“ (Wirtz 2000, S. 81). So kann etwa im Luftverkehr das Geschäftsfeld Passage alternativ mit den Geschäftsmodellen Netzwerkcarrier, Regionalfluggesellschaft oder Low-Cost-Carrier bedient werden.

•Ein *Geschäftsfeld* beschreibt den Integrationsgrad eines Unternehmens funktional. Nach Müller-Stewens/Lechner (2003, S. 159) ist darunter ein ‚Ausschnitt aus dem gesamten Betätigungsfeld des Unternehmens‘ zu verstehen, ‚der eigene Ertragsaussichten, Chancen und Risiken aufweist und für den relativ unabhängig eigene Strategien entwickelt und realisiert werden können‘. Umfang und Tiefe der Geschäftsfelder legen die Reichweite eines Unternehmens fest. Die organisatorische Umsetzung des Geschäftsfeldkonzepts führt zu Strategischen Geschäftseinheiten, die selbst wiederum aus mehreren Geschäftsfeldern bestehen können.“

Die Betriebswirtschaftslehre bringt Geschäftsfelder auch in Zusammenhang mit Marktsegmenten: Bisweilen werden Geschäftsfelder auch an Marktsegmenten ausgerichtet, wie sie auf der Kundenseite wahrgenommen werden. Ein Geschäftsfeld wird im Weiteren am Produktlebenszyklus festgemacht. Die Planung strategischer Geschäftsfelder erfolgt autonom. Netzwerkfluggesellschaften weisen breite Luftverkehrsprodukte/-programme auf. Die Produkte und Dienstleistungen sind teilweise heterogen und mit ihnen wird auf unterschiedlichen Märkten mit verschiedenen Zielgruppen agiert. Für jede dieser Unternehmensaktivitäten bedarf es zum Bestreiten des Wettbewerbs gesonderter Strategien. Die Clusterung dieser Aktivitäten in strategische Geschäftsfelder und die Formulierung von Strategien sind zweckmäßig. Typische Eigenschaften von Geschäftsfeldern sind:

- Für das Geschäftsfeld lassen sich eigene Marken etablieren.
- Für das Geschäftsfeld werden eigene Ziele, Chancen, Risiken und Strategien entwickelt.
- Für das Geschäftsfeld wird eine eigene Wettbewerbsstrategie formuliert.
- Das Geschäftsfeld wird an die unternehmensweiten kritischen Erfolgsfaktoren und an die unternehmensweiten Wettbewerbsbedingungen ausgerichtet bzw. homogenisiert.

Doganis (2001, S. 213–218) konkretisiert die Unternehmensarchitektur der Airlines und führt drei Business-Modelle ein (Pompl et al., 2004, S. 7 f.):

„• *Traditional Airline Model:* Das Unternehmen verfolgt das Konzept der integrierten Wertschöpfungskette; es erstellt die meisten Leistungskomponenten selbst und verfügt daher über eigene Abteilungen für Flugbetrieb, Verkauf und Reservierung, Bodenabfertigung, Wartung, Catering, EDV etc.. Bis weit in die neunziger Jahre war dies das klassische Business Model der Linienfluggesellschaften, heute ist es vor allem noch das von Fluggesellschaften in Staatseigentum.

• *Virtual Airline Model:* Kern dieses Business Models ist die Fokussierung auf Segmente mit Kernkompetenzen bei konsequenter Auslagerung von Geschäftsprozessen (Wertschöpfungsstufen) und Geschäftsfeldern mit unzureichender Wertschöpfung.: ‚(…) airlines would

[56] www.pompl.net/Pompl/Luftverkehr/.../TJ_Geschaeftsmodelle.pdf, [abgerufen am 12.11.2009].

disaggregate their constituent components and focus management efforts on the refinement of the airline's core competencies of branding, marketing, and differentiating the product.' (Farrell 2001, S. 408)[57].

• *Aviation Industry:* Das Unternehmen definiert sich als Luftfahrtkonzern und beschränkt sich auf Kern- und Koordinationsfunktionen (Flugbetrieb und Streckenrechte als Hauptressourcen). Alle anderen Stufen der Wertschöpfungskette werden in selbständige Konzerngesellschaften mit eigener Ergebnisverantwortung ausgelagert, die wesentliche Umsätze mit externen Kunden tätigen. Das Unternehmensportfolio ist rein ertragsorientiert."

Die Business Models in den 1990er-Jahren konnten sich aufgrund der damals vorherrschenden Wettbewerbsbedingungen mehr oder weniger stringent in diese Dreiteilung untergliedern lassen. Sie wählten dabei eine Strategie, mit der sie bestmöglich alle relevanten Kundengruppen mit unterschiedlichen Bedürfnissen abzubilden versuchten. Die Portfolio-Struktur der Luftfahrtgesellschaften war stark erfolgsorientiert geprägt. Damit war das Business-Modell mit Kompromissen auf einen kleinsten gemeinsamen Nenner zur bestmöglichen Befriedigung dieser Bedürfnisse ausgerichtet, was dazu führte, dass die Airlines in den nach der Liberalisierung aufkommenden Wettbewerbsverschärfungen angreifbar wurden und die Luftfahrtprodukte austauschbar schienen. Allen voran waren es die LCC, die innovative Geschäftsstrategien entwickelten und auf immer mehr Teilmärkten, im Besonderen im Privatkundenverkehr, den etablierten Netzwerk-Carriern beachtliche Marktanteile abringen konnten. Viele der großen Netzwerkgesellschaften haben einen Strategiewechsel vollzogen: weg von der „one fits all-Strategie" hin zu Business-Modellen, mit denen sie sich den heutigen Wettbewerbsbedingungen stellen können (vgl. Pompl et al., 2004, S. 8).

Um im für Netzwerkgesellschaften internationalen Kernmarkt wettbewerbsfähig zu sein, ist ein dichtes international umspannendes Netz an Flugverbindungen mit vielen Frequenzen vonnöten. Ein derartiges Netz kann eine einzelne Fluggesellschaft jedoch nicht aufbauen und unterhalten, wozu die Netzwerkfluggesellschaften mit anderen Fluggesellschaften Allianzen eingegangen sind. Einen anderen Weg der Markterweiterung im eigenen Kontinent stellen die Übernahme von anderen Fluggesellschaften oder Neugründungen dar. Dies scheiterte anfänglich vielfach an den Sonderrechten für die Flag-Carrier nach der Liberalisierung des europäischen Luftverkehrssektors, die unter anderem mit „National Ownership Rules" ausgestattet waren (vgl. Pompl et al., 2004, S. 8). Die globale Marktabdeckung von Mega-Carriern ermöglicht diesen Fluggesellschaften zwar, ein dichtes weltumspannendes Streckennetz anzubieten. Sie sind jedoch in den regionalen, heimischen Märkten den Regionalfluggesellschaften und LCC unterlegen, die sich auf dieses Marktsegment spezialisiert haben. Den Mega-Carriern fehlt aber das für die hohe Auslastung der Interkontinentalflüge erforderliche Verkehrsaufkommen der regionalen Fluggesellschaften. In der Folge sind die Netzwerkfluggesellschaften dazu übergegangen, ihre Strategien neu auszurichten, und als Implikation entstanden in Abweichung zu den von Doganis aufgestellten neue Modelle.

In dem Papier von Pompl et al. (2004, S. 8) werden Optionen zur Neuausrichtung der Strategie von Netzwerk-Carriern aufgezeigt:

a. Redimensionierung mit Kompetenz in einer verkehrsregionalen oder zielgruppenspezifischen Nische,
b. virtueller Carrier mit interkontinentaler Kernkompetenz,
c. Mega-Carrier mit breitem Produkt-Markt-Portfolio, wodurch die Notwendigkeit entsteht, mehrere Geschäftsmodelle parallel zu verfolgen und ein neues Business-Modell zu entwickeln.

Die Mega-Carrier-Strategie soll im Hinblick auf die Konsolidierungsprozesse im europäischen Luftverkehrssektor näher beleuchtet werden. An ein breites Produkt-/Markt-Portfolio

[57] Zum Gegenstand von virtuellen Luftverkehrs-Unternehmen vgl. Döring 1999, S. 241-263.

werden hohe Anforderungen gestellt. Es erfordert Kapital, die korrespondierenden Verkehrsrechte (Zugang zu Flughäfen und Slots), eine entsprechende Netzkonfiguration mit der nötigen Infrastruktur, Know-how und qualifiziertes Personal. Betrachtet man die Übernahme einer Fluggesellschaft unter dem Gesichtspunkt des Produkt-/Markt-Portfolios, dann ergibt sich bei der akquirierten Fluggesellschaft eine Reihe von möglichen Produkt-/Markt-Kombinationen, die in einem integrierten Netzbetrieb weitergeführt werden kann. Nimmt man sich den Bereich Belly-Fracht als Luftfahrtprodukt heraus, dann können mit dem Produkt folgende Markt-Portfolios ausgemacht werden:

7.2.1 Produkt-/Markt-Portfolios für Belly-Fracht

Dieser Abschnitt zeigt die verschiedenen Produkt-/Markt-Portfolios für Belly-Fracht auf. Zunächst erfolgt die Darlegung der Markt-, dann der Produkt-Portfolios und schließlich der Kombination der Produkt-/Markt-Portfolios.

Marktportfolios: Räumlich relevanter Markt des Produkts Belly-Fracht

Nr.	Vermarktung der Kapazitäten des Produkts Belly-Fracht	Übernahmenetz	Integriertes Netz (Übernahme- und Erwerbernetz)
1	Inländische Strecken	Ja	Ja
2	Intra-europäische Strecken	Ja	Ergänzend im Netz der Erwerbsfluggesellschaft (Feeder-Funktion)
3	Interkontinentalstrecken	Ja, soweit in dem Netz solche Strecken angeboten werden	Ergänzend im Netz der Erwerbsfluggesellschaft (Feeder-Funktion)

Tabelle 11: Marktportfolio bei Belly-Fracht

Produktportfolios: Belly-Fracht als Luftfahrtprodukte im Unterflurfrachtbereich
Im Bereich des Produktportfolios kann Belly-Fracht mit Standard-Produkten und mit speziellen Angeboten von Belly-Fracht zum Zwecke der Produktdifferenzierung mit Alleinstellungsmerkmalen vorkommen. Gemäß der Lufthansa sei das Belly-Fracht-Produktportfolio aufgezeigt:

(1) Standardfracht (Standard-Transportlösung)
Unabhängig von Größe und Gewicht transportiert die Lufthansa Standardfracht im weltweiten Netzwerk der Fracht- und Passagiermaschinen der Lufthansa und Partnerfluggesellschaft.

(2) Luftpost
Ein weiteres Luftfrachtprodukt ist Luftpost. Sie zählt bei der Lufthansa und bei vielen anderen Netzwerkfluggesellschaften zu den bedeutendsten Produkten im Produkt-Portfolio. Alleine die Lufthansa transportiert die Luftpost für mehr als 200 nationale Postgesellschaften zu mehr als 200 Zielen in 89 Ländern. Nach eigenen Aussagen ist die Lufthansa in diesem Produktsegment eine der größten Luftfrachtgesellschaften weltweit. Luftpost wird dabei einerseits in reinen Frachtmaschinen, aber auch im Bauch sowie im Passagierbereich von Belly-Flugzeugen befördert.

(3) Expressfracht
Ein weiteres Produkt stellt die Expressfracht dar. Diese zeichnet sich durch eine weltweite Schnellzustellung für besonders eilbedürftige und hochwertige Frachtsendungen aus. Gemäß einer Eigendarstellung von Lufthansa gewährleisten optimierte logistische Abfertigungen exakt einzuhaltende Verfügbarkeitszeiten bei über 360 Zielen in 90 Ländern und den Hubs in Frankfurt und München. Europaweit werden viele Destinationen von der Cargo-Tochter der Lufthansa bedient, die auch die Belly-Frachtkapazitäten der Fluggeräte des Passagierverkehrs vermarktet. Anhand der folgenden Tabelle 12 der Lufthansa wird ersichtlich,

welche Expresszustellungsfracht sich für die Beförderung in Passagiermaschinen eignet. Auf Belly-Flugzeugen können einzelne Sendungsgrößen bis zu einer Tonne Gewicht eingeladen werden.

(4) Spezialfracht
Spezialfracht dient zur Produktdifferenzierung. Hier ist die Lufthansa bestrebt, Alleinstellungsmerkmale gegenüber Mitbewerbern zu erlangen. Bei Übernahmen ist wichtig, dass die akquirierte Fluggesellschaft ebenfalls über derartige Luftfahrtprodukte verfügt, die sich in einem integrierten Flugbetrieb komplettieren lassen. Die Lufthansa offeriert folgende Spezialfrachttransporte:

- Transport für Güter, die temperatursensitiv sind. Diese Produkte werden in Transportbehältern befördert, die eine während des gesamten Transports konstante Temperaturhaltung ermöglichen. Zu diesen Produkten zählen insbesondere pharmazeutische oder medizinische Produkte.
- Direktzustellungen innerhalb von Deutschland und Europa mittels einer standardisierten Transportlösung.
- Transport von lebenden Tieren in artgerechter Weise.
- Sicherheitsrelevante Transporte für Wertfracht. Hierzu zählen z. B. Schmuck, Produkte des Geld- und Wertpapierbereichs, wertvolle pharmazeutische, medizinische oder IT-Produkte oder Körperteile für Transplantationen.
- Sicherer Transport für diebstahlgefährdete Güter. Beispielsweise elektronische Geräte, Kunst- und Ausstellungsobjekte, Luxuskonsumgüter oder Dokumente.
- Spezialtransporte für saisonal anfallende Produkte, etwa der Bekleidungsindustrie (Herstellung beispielsweise in Asien, Absatz in Nordamerika und Europa).

Maximale Sendungsgröße	Späteste Buchung vor LAT (latest acceptance time)	Fluggerät
200 kg ; Maße 110 x 65 x 65 cm	3 Stunden	Passage/Frachter
1.000 kg	24 Stunden	Passage Widebody/Frachter
2.000 kg	24 Stunden	Frachter

Tabelle 12: Maximale Gewichtsgrößen für Belly-Fracht für bestimmte Fluggeräte
(Quelle: Lufthansa-Befragung)

Kombinierte Produkt-/Markt-Portfolio
Während Standardfracht, Luftpost und Spezialfracht in allen räumlich relevanten Märkten – inländisch, intra-kontinental und interkontinental – angeboten werden, wird Expressfracht primär in Deutschland und Europa offeriert.

7.2.2 Mögliches Business-Modell für Produkt-/Markt-Portfolios für Belly-Fracht

Alleine ein Geschäftsmodell nach der Aviation-Industry-Methode wäre für das Segment Belly-Fracht der akquirierten Fluggesellschaft nicht ausreichend, da sich in der Wertschöpfungskette von Belly-Fracht Optionen ergeben, die nicht rein ertragsorientiert sind. Beispielsweise könnte bei den Markt-Portfolios (2) und (3) außerhalb der Konzerntöchter auf Konzernebene das Ziel verfolgt werden, Belly-Fracht zur Schaffung von Economies of Density oder Economies of Scope durch Zubringerdienste aus den übernommenen Netzen zu nutzen, um konzernweit auf intra- und interkontinentalen Flugstrecken bessere Flugzeugauslastungen zu erreichen.

Verfolgt man als Mega-Carrier die Strategie der konzernweiten Ausschöpfung der Potenziale einer Zielgesellschaft, dann ist es regelmäßig unmöglich, sich als Luftfahrtkonzern zu beschränken und sich lediglich auf die Kern- und Koordinierungsfunktion des Flugbetriebs und der Streckenrechte zu konzentrieren. Es bedarf einer ausdifferenzierten Unternehmensarchitektur. Für jedes Marktsegment innerhalb eines Geschäftsfelds ist nach Pompl et al. (2004, S. 9) ein eigenes Geschäftsmodell zu entwickeln. In der Folge entsteht ein multi-modulares Geschäftsmodell. Inwieweit Belly-Fracht als eigenständiges Geschäftsfeld bzw. die einzelnen

Produkt-/Markt-Portfolios von Belly-Fracht in einzelne Geschäftsfelder einzuteilen sind bzw. Belly-Fracht konzernweit zu einer strategischen Geschäftseinheit zusammenzufassen und darauf aufbauend eigene Geschäftsfeldstrategien zu entwickeln sind, wird bei den einzelnen Netzwerkfluggesellschaften unterschiedlich gehandhabt. Tatsache ist zunächst, dass die Belly-Frachtkapazität zwar im Passagiersektor produziert wird, zugeordnet wird sie jedoch der Cargo-Sparte einer Luftfahrtgesellschaft, die auch deren Vermarktung durchführt. Gemäß der Definition von Pompl et al. (2003, S. 3) stellt Belly-Fracht einen Ausschnitt aus dem gesamten Betätigungsfeld einer Luftfahrtgesellschaft dar, welches eigene Ertragsaussichten, Chancen und Risiken aufweist. Jedoch wird Belly-Fracht meistens mit der Nur-Fracht, soweit bei einer Fluggesellschaft vorhanden, zu einem Geschäftsfeld zusammengeführt. Problematisch ist allerdings, dass sich nach der Definition von Pompl auch relativ unabhängig Strategien entwickeln und realisieren lassen. Das erscheint insofern problematisch, als für die Belly-Frachtkapazität keine eigenen Strategien entwickelt werden können, ohne die Strategien des Passagiertransports vor Augen zu haben. Belly-Fracht ist in logistischer Hinsicht im Geschäftsfeld Passage und in marketingmäßiger Hinsicht im Cargo-Sektor überlappend angesiedelt. Eine für Belly-Fracht eigenständige Strategie unter Auslassung der Belange des Passagiertransports ist daher unmöglich.

Aus Wettbewerbsgründen ist für die Netzwerk-Carrier heute eine Marktdurchdringung in einem globalen Netzwerk erforderlich. Unter Marktdurchdringung versteht man die Ausschöpfung des Marktpotenzials bei den angebotenen Produkten in den relevanten bestehenden Märkten. Eine breite und tiefe Marktabdeckung auf regionaler und globaler Ebene macht es erforderlich, die Geschäftsfelder modularer zu bearbeiten. Gerade bei Belly-Fracht ergeben sich in den verschiedenen Geschäftssegmenten Strategiehandlungen, die übergeordnet konsolidiert werden müssen. Welche Geschäftssegmente das sind, soll am Beispiel des modularen Business-Modells der Lufthansa erläutert werden.

Nach Pompl et al. (2004, S. 9) enthält ein modular aufgebautes Geschäftsmodell bezüglich der vertikalen Integration von Geschäftsfeldern sowohl Aspekte der Ausgliederung von Funktionen der Wertschöpfungskette als auch Aspekte des Aviation Industry Models durch den Ausbau/Erwerb ertragsstarker Funktionen durch Tochtergesellschaften. Die Devise lautet: weg von der rein ertragsorientierten Strategie nach dem Aviation Industry Model und hin zur Strategie der Gewinnung von Wettbewerbsvorteilen. Die Portfoliostrategie ist dazu von einer ertragsorientierten Ausrichtung zu einer wertschöpfungsorientierten Orientierung umzustellen (vgl. Heuskel 1999, S. 56). Bei der Desintegration im Zusammenhang von Belly-Fracht können Funktionen in der Wertschöpfung ausgelagert werden. Diesbezüglich gibt es viele Ansätze wie etwa Outsourcing von IT-Leistungen, Wartung von Flugzeugen, Besitz/Nutzung von Belly-Flugzeugen, Vermarktung von Spezial-Belly-Fracht etc. Letzteres wird beispielsweise von der Tochtergesellschaft Swiss praktiziert, die jüngst die Belly-Frachtkapazitäten der Edelweiss Air vermarktet. Umgekehrt nutzt die Swiss selbst andere Airlines, um Belly-Frachtkapazitäten auf Strecken anbieten zu können, auf denen sie selbst keine Flugdienste zur Verfügung stellt. Dies gilt vor allem für den Transport von Belly-Fracht auf ausgewählten Interkontinentalverbindungen.

Eine eher wertschöpfungsorientierte Aktivität bei Belly-Fracht könnte etwa die Nutzung des dichten Flugnetzes der Passagiermaschinen für Belly-Fracht zum Inhalt haben. Das heißt, der Transport von Belly-Fracht erfolgt durch die jeweiligen Tochtergesellschaften, wenn die Destinationen im Flugnetz einer anderen Fluggesellschaft liegen. Die Beförderung von Belly-Fracht in reinen Frachtmaschinen der Lufthansa (Einsammeln auf dem Fracht-Hub Frankfurt) sowie deren konzernweite die Koordination (Vermarktung der Kapazitäten durch übergreifenden Vertrieb, Logistikintegration nach dem Hub-and-Spoke-Prinzip etc.) lägen dann in der Verantwortung des Lufthansa-Konzerns. Die Abstrahierung von der reinen Ertragsorientierung bei Belly-Fracht lässt sich anhand der Tatsache manifestieren, dass diese ein Zwangsprodukt der Passage ist. Die Passagiermaschinen müssten auch ohne Belly-Fracht-Zuladung unterhalten werden, womit in der Wertschöpfung die Belly-Frachtauslastungen zu einem innerbetrieblichen Verrechnungsansatz auf der Fixkostenebene der Passagierkosten

beitragen können.

Ein modular aufgebautes Geschäftsmodell enthält nach Pompl et al. (2004, S. 9) zur Ausdifferenzierung der Unternehmensarchitektur weiterhin eine Produkt-/Markt-Strategie, die eine Abdeckung aller relevanten Geschäftsfelder vorsieht und bei der für jedes Geschäftsfeld ein eigenes Geschäftsmodell für den Erfolg notwendig ist. Dies führt zu einer Gesamtstrategie, die sich aus modularen Einzelaspekten dieser Geschäftsmodelle zusammensetzt. Wiederum auf Belly-Fracht abgestellt, bedarf es einer Differenzierung des Frachtprodukts nach Produkt-/Markt-Segmenten (z. B. Standard-Fracht versus Spezial-Fracht auf der Produktseite), nach geografischen Märkten (z. B. Inland, Europa, interkontinental) und nach Zielkundenmärkten. Sowohl bei den Cargo-Segmenten der Swiss, der AUA und der Lufthansa werden Spezial-Belly-Frachtkapazitäten angeboten, deren Alleinstellungsmerkmale Schnelligkeit, Transportbehälter etc. sind, für die eigene Strategien im Marketing, im Vertrieb und bei der Logistik zu entwickeln sind (vgl. Ausführungen in Abschnitt 3.4).

Die weiteren von Pompl et al. aufgezeigten Ausdifferenzierungsmerkmale zur Abdeckung des regionalen und globalen Marktes, sprich das Low-Cost-Segment durch eine Tochtergesellschaft und ein Spezialmarkt mit Business-Class-Services, sind für Belly-Fracht ohne weitere Bedeutung.

Modulares Business-Modell der Lufthansa

Anhand des Business-Modells der Lufthansa für den Flugbetrieb lassen sich die aufgezeigten Merkmale nachzeichnen. Das modular aufgebaute Geschäftsmodell des deutschen Kranichs für den konzernweiten Flugbetrieb sieht eine Unterteilung in vier Marktsegmente und zwei Netzwerke vor, die mit modularen Strategien bearbeitet werden. Das Core Network wird von der Lufthansa selbst bedient und strategisch entwickelt. Die Strategien für die Märkte bzw. für das globale Netzwerk verhalten sich derivativ zu den Core-Network-Strategien. Für den Flugbetrieb werden im Zusammenhang mit dem Core Network Strategieentscheidungen für Hub-Hub-Strecken zwischen internationalen Hubs, Intercity-Verbindungen zwischen Hubs und Nichthubs und Feeder-Verkehr zu den Hubs in Frankfurt und München aufgestellt. Die Fokussierung in diesem Netzsegment liegt auf Hauptstrecken, die im Passagiersektor besonders aufkommens- und ertragsstark sind. Das bedeutet, dass auf diesen Strecken automatisch auch Belly-Fracht-Kapazitäten aufgebaut und vermarktet werden können. Für den Flugbetrieb im globalen Netzwerk wird eine eigene Strategie für das Netzwerk verfolgt, welche die Allianzen aus dem Star-Allianzbündnis und den Flugbetrieb der Tochtergesellschaften, die durch M&A in den Konzern integriert sind, umfasst. Teil dieser Strategie ist die Netzintegration. In diesem Segment werden die Strategien für den Flugbetrieb der AUA und der Swiss formuliert. Auf der logistischen Ebene geht es um die Abstimmungen im Code Sharing im Rahmen der strategischen Allianzen und der Tochterfluggesellschaften. Beide Bereiche überlappen sich bzw. komplementieren das Core Network, sodass beide Strategien zueinander interdependent sind.

Der für die operative Flugkoordinierung regionale Markt vom Lufthansakonzern wird in einer eigenständigen Business Unit bestritten und es werden hier die Flüge zu den nationalen Hub-Flughäfen nach Frankfurt und München sowie zu den interregionalen Nichthub-Flughäfen mit eigenen strategischen Optionen bestritten. Der Teilmarkt Regionalverkehr hat im Wesentlichen die Funktion, den in den Teilmärkten eigenständigen Verkehr abzuwickeln und im Core Network als Zubringerdienst zu fungieren. Bei der Lufthansa erfolgt die Realisierung des Regionalverkehrs mit den Tochtergesellschaften Lufthansa Regional und der Air Dolomiti sowie mit Fluggesellschaften, mit denen entsprechende bilaterale Kooperationsvereinbarungen getroffen wurden (z. B. Augsburg Airways). Der Regionalverkehr stellt aus der Sicht von Belly-Fracht einen wichtigen Faktor für das Angebot von regionalen und inländischen Belly-Frachtdiensten sowie für die Zubringerdienste im Interkontinentalverkehr dar, bei dem im Hub Frankfurt bzw. München die Fracht gebündelt und umgeschlagen wird. Weiterhin erfolgt in den Regionalmärkten die Vermarktung der Spezial-Belly-Frachtkapazitäten. Die Teilmärkte Special Market, Leisure Market und Low Cost Market sind strategisch mit eigenen

Business Units ausgestattet und mit eigenen Strategieentwicklungen versehen. m Marktsegment Leisure unterhält der Kranich-Konzern die Tochtergesellschaft „Condor Flugdienst". Die Segmente Leisure Market und Special Market haben für die Belly-Fracht-Vermarktung keine Bedeutung.

Modulare Strategie am Beispiel Lufthansa

Abbildung 31: Modulares Business-Modell der Lufthansa
(Quelle: Pompl et al., 2004, S. 9)

Konzernstrategie
Die konzernweite Strategie ist unter anderem auf Profitabilität, Wachstum und die Fokussierung auf Kernkompetenzen ausgerichtet. Unter dem Aspekt der Belly-Fracht sollen nachfolgend die Strategiemerkmale näher beleuchtet werden.

- *Profitabilität*: Das dauerhafte Bestehen eines Unternehmens erfordert eine entsprechende Substanz- und Ertragskraft. Aufgrund der aktuellen Marktwidrigkeiten werden bei großen Netzwerkfluggesellschaften Strategieoptionen darauf ausgerichtet, permanent die Erlös- und Kostensituation zu optimieren. Die Lufthansa verfolgt dieses Ziel ebenfalls und hat für alle Geschäftsfelder Programme ausgesetzt, mit denen sich einerseits die Erlöse steigern und andererseits die Kosten reduzieren lassen. Auf der Ebene des Flugbetriebs werden dabei Maßnahmen ergriffen zur Generierung einer intelligenteren und flexibleren Flottenpolitik, einer stetigen Anpassung des Streckennetzes an die Marktbedürfnisse, einer Verbesserung der Netzqualität, der Ausschöpfung der Synergien aus der Integration der Flugnetze der Töchter in das globale Netzwerk sowie eines auf die Marktbedürfnisse angepassten Kapazitäts- und Erlösmanagements. Die Frachtkapazitäten werden an die Frachtnachfrage angepasst, was bei Belly-Fracht jedoch nur in Konformität mit den Belangen im Passagiersektor möglich ist. Weiterhin ist man bestrebt, die Produkte und Services im Luftfrachtbereich zu optimieren und an den Bedürfnissen der Kunden auszurichten.

- *Fokussierung auf Kernkompetenzen*: Geografisch ist Deutschland aus Sicht der Lufthansa ein essenzieller Standort, in Europa sieht sie sich in einem Heimatmarkt und die weltweiten Märkte bescheren dem Netzwerk-Carrier Wachstumsmöglichkeiten. Der deutsche und europäische Markt gilt als gesättigt, hier geht es primär darum, die bestehenden Marktanteile abzusichern und auszubauen und Wettbewerber vor dem Eintritt in diese Märkte abzuhalten. Die Strategien sind darauf abgestellt, jedoch wird seitens der Lufthansa konstatiert,

dass sie sich hierbei auf die Kernkompetenzen des Konzerns und der Geschäftsfelder beschränkt, da sie nur eingeschränkte finanzielle Mittel und Managementkapazitäten auf Konzernebene vorweisen kann. Die Aussagen werden im Kontext des Geschäftsfelds Passagiertransport getroffen, lassen sich aber analog für den Belly-Frachtbereich heranziehen.

- *Wachstum*: Das Wachstum wird auf die Bedürfnisse der relevanten Märkte hin dosiert. Durch permanentes Abwägen von Chancen und Risiken zu jedem Geschäftsfeld erfolgen die Prognose der Wachstumsmöglichkeiten und die Entwicklung nachfrageorientierter Angebotsstrategien für die Kapazitäten. Ein Kernfaktor bei der Wachstumsstrategie ist die Intensivierung der Allianzen. Eine erfolgreiche Zusammenarbeit mit anderen Airlines birgt für die Lufthansa viele Vorteile. Einerseits wird ein rascher Marktzutritt bei niedrigem Investitionsniveau ermöglicht, andererseits ist das Marktzutrittsrisiko dabei gering. Im Bereich des Aus- und Aufbaus von Kooperationen und Allianzen sind die Beispiele Turkish Airlines, Egypt Air, Continental Airlines und Brussels Airline zu erwähnen, die in ihren Heimatmärkten starke Marktpositionen innehaben und für Belly-Fracht-Zulieferung wichtige Erweiterungsmärkte darstellen. Eine weitere Wachstumsmöglichkeit besteht in Akquisitionen von Fluggesellschaften im Rahmen der sich gegenwärtig abzeichnenden Konsolidierung der Luftverkehrssektoren. Insbesondere in Europa schreitet der Konsolidierungsprozess voran. Die Lufthansa mischt dabei kräftig mit und konnte durch die Übernahmen der Swiss, AUA und Brussels Airlines ein geografisch zusammenhängendes Marktgebiet erschließen, was im Hinblick auf Belly-Fracht in Kombination mit RFS strategisch klug ist, da sich hier logistische Abstimmprozesse optimal umsetzen lassen. Der Lufthansa-Konzern ist auch weiterhin bestrebt, den Möglichkeiten der mehrheit-/minderheitlichen Beteiligung oder des Vollerwerbs von Luftfahrtgesellschaften offen gegenüberzustehen. Insbesondere bieten sich in Zukunft in Europa noch interessante Opportunitäten von Übernahmen an. Voraussetzung für ein derartiges Engagement auf der Strategieebene ist jedoch, dass die Übernahmen im Einklang mit den Entwicklungszielen des zweitgrößten Luftfahrtkonzerns in Europa stehen. Als wichtigste Faktoren gilt es dabei, die Kosten- und Erlössynergien richtig herauszuarbeiten, und auf der Ebene von Belly-Fracht, die Belly-Frachtkapazitäten dieser Töchter synergetisch in das Core und Global Network des Business-Modells zu integrieren.

Global Network der Lufthansa-Allianzen

Im weltweiten Luftverkehr sind die größeren Fluggesellschaften vor einigen Jahren übergegangen, Allianzen zu bilden. Im Wesentlichen sind auf der Welt drei nennenswerte Allianzen formiert worden. Es handelt sich um die Starallianz, die von der Lufthansa mitbegründet wurde und der die Fluggesellschaft heute noch angehört, Oneworld und Skyteam. Alle drei Allianzen sind bzgl. der ihr angehörigen Fluggesellschaften disjunkt, d. h., es gibt keinen Carrier, der mehr als ein Luftfahrtbündnis eingegangen ist. Auf der Frachtebene entstanden eigenständige Allianzen. So gründete Lufthansa Cargo mit Singapore Airlines Cargo, Japan Airline Cargo und SAS Cargo die Luftfracht-Allianz WOW. Die Allianz deckt mit 43 Fracht- und 760 Passagierflugzeugen der Passagiersparten der Allianz-Airlines 523 Zielflughäfen weltweit mit einem einheitlichen und auf die Fluggesellschaften abgestimmtem Konzept ab, womit sich die Frachtkapazitäten der einzelnen Fluggesellschaften kombinieren und die Erreichbarkeit von Frachtkunden erhöhen lassen, infolgedessen das Netzwerk mit mehr Verbindungsmöglichkeiten engmaschiger wird. Das Konzept sieht u. a.:

- einen Vertrags- und Ansprechpartner über die gesamte Beförderungsstrecke,
- lückenlose Informationen zum Frachtsendungsstatus sowie
- gleiche Qualitätsstandards bei allen vier Partnern vor (Vahrenkamp, 2007A, S. 4).

Geschäftsfeld und Strategie des Lufthansa-Konzerns hinsichtlich der Belly-Fracht

Die Lufthansa betreibt für Belly-Fracht kein eigenes Geschäftsfeld, sondern diese ist dem Geschäftsfeld Logistik zugeordnet. Lufthansa Cargo ist im Lufthansa-Konzern der Dienstleister für das Logistikgeschäft. Für die Passagierbeförderung gibt es ein eigenes Geschäftsfeld. Das Geschäftsfeld der Lufthansa Cargo deckt drei Luftfracht-Produktsegmente ab:

- das Standardsegment mit einem Standardfrachtprodukt,
- das Expresssegment mit Expressfrachtgut,
- das Spezialsegment mit den vier Kompetenzzentren:
  - Transport von temperatursensiblen Produkten,
  - Transport von lebenden Tieren,
  - Luftpost und
  - Transport von wertvollen Gütern.

Im Wettbewerb differenziert sich der Luftfrachtsektor durch die Merkmale Qualität und Schnelligkeit. Diesbezüglich weisen die Töchter Swiss World Cargo und die Cargo-Sparte der AUA gleichgelagerte Produktsegmente auf, die nur hinsichtlich der geografischen Marktabdeckung zur Lufthansa Cargo komplementär sind.

Die Cargo-Sparte bietet Basis-Frachtservices sowie eine Vielzahl von Spezialfrachtangeboten und Speziallösungen für Luftfracht an. Zu den Spezialfrachtangeboten zählt ein Produkt für Expressfracht (weltweite Expresszustellung für besonders eilbedürftiges und hochwertiges Sendungsgut). Spezialfrachtangebote (wie oben erwähnt) sind gekennzeichnet durch besondere Transportanforderungen an das Transportgut, die Schnelligkeit, die Sicherheit sowie die Zuverlässigkeit des Transports und des Umlaufs. Diese Leistungen sind differenzierte Luftfrachtangebote, die das Kerngeschäft der Luftfracht komplettieren. Für die Leistungserbringung steht ein weltumspannendes Luftfrachtnetz zur Verfügung, das hohe Frequenzen an Flugstrecken aufweist. Strategisch setzt die Cargo-Sparte der Lufthansa auf stetiges und profitables Wachstum in allen Verkehrsgebieten. Die Lufthansa Cargo unterhält selbst 19 eigene MD11-Frachter, darüber hinaus stehen durch eine Kooperationsvereinbarung mit der Jade Cargo International sechs Boeing-Jumbo-Flugzeuge (B 747-400ER Frachtflugzeuge) zur Verfügung und man nutzt für Belly-Frachttransporte weiterhin die ca. 400 Passagierflugzeuge der Lufthansa-Passagierfluggesellschaften. Des Weiteren werden die Frachtkapazitäten der Swiss World Cargo sowie die aus Chartervereinbarungen und weltweiten Road Feeder Services (RFS) über LKW-Transporte durch Lufthansa Cargo vermarktet. Hinzukommen werden die Frachtkapazitäten der Austrian Airlines auf ihren Belly-Flugzeugen. Auf den Hub-Hub-Interkontinentalverbindungen erfolgt auf Basis von Code-Sharing-Abkommen aus dem WOW-Bündnis mit Singapore Airlines Cargo, Japan Airlines Cargo, Air China Cargo und Lan Cargo die Vermarktung der Luftfrachtnachfrage zwischen Asien und Europa. Das Streckennetz des Lufthansa-Konzerns deckt mehr als 300 Zielorte ab. In Frankfurt wird der größte Anteil an interkontinentaler Luftfracht umgeschlagen. Im Interkontinentalverkehr verfolgt die Lufthansa die Strategie des Ausbaus der chinesischen Wachstumsregionen und ist zur Stärkung der Marktdurchdringung eine Beteiligung an einem Airport-Cargo-Terminal in Shanghai eingegangen. Einer der asiatischen Hub-Schwerpunkte ist das Frachtdrehkreuz Tianjin in China. Von den strategisch wichtigen Aktivitäten in China verspricht sich die Lufthansa eine stärkere Marktabdeckung in den dortigen Wachstumsmärkten und eine Möglichkeit, Verkehrsströme von China aus in andere Regionen bedienen zu können. Im Luftpostsektor bedient die Lufthansa weltweit mehr als 200 Postgesellschaften und transportiert jährlich mehr als 44.000 Tonnen Luftpost.

Belly-Fracht stellt ein Frachtprodukt dar, dass bei der Lufthansa Cargo primär auf den 400 Passagierflugzeugen von den im Konzern eingebundenen reinen Passagier-Fluggesellschaften vermarktet wird. Dazu zählen die Lufthansa Passagierfluggesellschaft, die Air Dolomiti, die Lufthansa Regional Fluggesellschaft und andere Fluggesellschaften. Darüber hinaus werden die Frachtkapazitäten der Swiss World Cargo und zukünftig der Cargo-Sparte der AUA von der Lufthansa Cargo im Luftfrachtmarkt angeboten. Die Swiss World Cargo vermarktet wiederum die Belly-Frachtkapazitäten der Swiss Passagierfluggesellschaft. Belly-Fracht ist Bestandteil in allen drei Luftfracht-Produktsegmenten des Lufthansa-Konzerns.

Absatzmärkte und Wettbewerb

Lufthansa Cargo ist, gemessen an der transportierten Frachtmenge (FTKT), nach Korean Air Cargo die weltweit zweitgrößte Frachtfluggesellschaft. Wettbewerbsdruck besteht vor allem

in den Luftfracht-Märkten in Russland und China, da hier eine Reihe von neuen Frachtfluggesellschaften in den Markt eingetreten ist. Asien gilt für Lufthansa Cargo nach eigener Darstellung als der wichtigste Markt für Luftfracht. Zwischenzeitlich ist der asiatische Markt gekennzeichnet durch Überkapazitäten. Verglichen mit Asien/Pazifik, wo die Lufthansa-Sparte fast die Hälfte ihrer Verkehrserlöse erzielt, zählt der europäische und deutsche Markt mit nur bescheidenen 11,9 Prozent Anteil am Gesamterlös im Luftfrachtsektor aber zu den wichtigsten geografischen Marktsegmenten (vgl. Abbildung 32). In diesem kontinentalen und heimischen Markt ist der Wettbewerbsdruck weniger rasant gestiegen als in Asien. Europa und Deutschland werden von der Lufthansa Cargo mit Frachtkapazitäten der Lufthansa Passagierfluggesellschaften und mit LKW-Verkehren am Boden bedient. Für den intra-europäischen und innerdeutschen Frachtverkehr sind die Hub-Flughäfen in Frankfurt, München und zwischenzeitlich der primär für Fracht genutzte Leipziger Flughafen herausragend. Auf diesen Flughäfen wird aus den Regionalmärkten und von den Tochterfluggesellschaften für den Europa- und Interkontinentalfrachtverkehr Frachtgut eingesammelt und umgeschlagen. Meist sind Overnight-Services aufgrund kurzer Transitzeiten einzuhalten, womit die Lufthansa insbesondere innerhalb Europas und Deutschlands auf bestimmten Strecken gegenüber den intermodalen Wettbewerbern überlegen ist, vor allem wenn es um zeitkritische Transporte geht. Auf dem amerikanischen Kontinent werden immerhin 33 Prozent der Verkehrserlöse erzielt, sodass dieser Markt neben Europa und Asien für die Lufthansa-Cargo-Sparte erhebliche Bedeutung hat. Allerdings weist dieser Markt Abschwächungstendenzen auf.

Abbildung 32: Verkehrserlöse der Lufthansa-Logistik nach Verkehrsgebieten in %
(Quelle: Lufthansa, 2009a)

Im Vertrieb setzt die Lufthansa-Cargo-Tochter auf innovative Vertriebs- und Kundenkonzepte. Lufthansa Cargo beteiligt sich an der IATA-Initiative „e-freight“, d. h. dem papierlosen Frachttransport, wie man ihn im Passagiersektor längst kennt.

Operative Entwicklung

Die nachfolgende Abbildung zeigt die Entwicklung der Verkehrsgebiete der Lufthansa Cargo für das Jahr 2008 auf und die prozentualen Veränderungen gegenüber dem Vorjahr. Im Einzelnen werden die Nettoverkehrserlöse, das Fracht- bzw. Postaufkommen, die angebotenen und verkauften Frachttonnenkilometer und der prozentuale Fracht-Nutzladefaktor für die Verkehrsgebiete Europa, Amerika, Asien/Pazifik, Nahost/Afrika und gesamt dargestellt. Die Zahlen wurden dem Geschäftsbericht 2008 des Lufthansa Konzerns entnommen, wo die Lufthansa Cargo als Tochterunternehmen separat ausgewiesen wird.

Anhand der angegebenen Werte lässt sich ableiten, dass insbesondere im Europafrachtverkehr die Einbrüche für das Jahr 2008 am größten sind. Das Frachtvolumen ist alleine um 12,4 Prozent zurückgegangen. Die verkauften Frachttonnenkilometer sind um 11,7 Prozent geschrumpft, wodurch auch die Nettoverkehrserlöse um 7,6 Prozent eingebrochen sind. Als Folge des Nachfragerückgangs wurde auch das Angebot an Frachttonnenkilometer um 12,7

Prozent abgesenkt. Dagegen konnte der Fracht-Nutzladefaktor um 0,5 Prozent zulegen.

Entwicklung der Verkehrsgebiete Lufthansa Cargo

	Nettoverkehrserlöse In Mio. € Außenumsatz *		Fracht/Post in Tsd. Tonnen		Angebotene Frachttonnen-kilometer in Mio.		Verkaufte Frachttonnen-kilometer in Mio.		Fracht-Nutzlade-faktor in %	
	2008	**Verän-derung in %**	**2008**	**Verän-derung in %**	**2008**	**Verän-derung in %**	**2008**	**Verän-derung in %**	**2008**	**Verän-derung in P.**
* Ohne Extracharter.										
Europa	303	–7,6	634	–12,4	1 014	–12,7	455	–11,7	44,8	0,5
Amerika	848	12,8	483	–3,6	5 191	9,3	3 398	–0,3	65,5	–6,2
Asien/Pazifik	1 193	4,5	466	–2,3	5 340	–0,2	3 808	–3,6	71,3	–2,6
Nahost/Afrika	210	3,5	114	10,7	1 038	6,5	622	7,4	59,9	0,5
Gesamtverkehr	**2 553**	**5,3**	**1 696**	**–6,0**	**12 584**	**2,8**	**8 283**	**–2,0**	**65,8**	**–3,3**

Abbildung 33: Operative Entwicklung im Luftfrachtsektor in 2008
(Quelle: Lufthansa, Geschäftsbericht 2008, S. 88)

7.3 Wettbewerbsstrategien für Belly-Fracht

Die Ausrichtung der Wettbewerbsstrategie bei Airlines unterliegt drei Basisstrategien (Pompl et al., 2003, S. 9, Porter, 1999, S. 63 ff., Fischer, 2007):

- *„Kostenführerschaft*: Durch die konsequente Reduktion von Kostenquellen soll ein Preisvorteil gegenüber Konkurrenz erreicht werden. Dies wird durch die Standardisierung der Produkte, effizienter Distribution und straff gegliederter Organisation erzielt. Allerdings darf im Sinne der Sicherheit des Flugverkehrs die Qualität nicht darunter leiden. Das ist prinzipiell die Strategie der LCAs.

- *Differenzierung*: Hier wird durch Bildung einzigartiger Produkteigenschaften versucht, ein Alleinstellungsmerkmal gegenüber Wettbewerbern aufzubauen. Gelingt es, dem Kunden einen nennenswerten Nutzenvorteil zu bieten, entzieht man sich dem Preiswettbewerb. Es können höhere Preise und bessere Margen erzielt werden.

- *Konzentration auf Schwerpunkte*: Mit der Spezialisierung auf bestimmte Marktsegmente kann sich der Anbieter Wettbewerbsvorteile im Sinne der Kostenführerschaft und/oder der Differenzierung verschaffen. Hierbei werden Nischen besetzt, die durch eine branchenweite Standardisierung nicht optimal bedient werden und somit vor Übergriffen geschützt sind.“

Die hier dargestellten Basisstrategien gelten primär für den Passagiersektor, lassen sich aber analog auf den Frachtsektor anwenden.

Die Wettbewerbssituation der großen Netzwerkfluggesellschaften und speziell auch bei der Lufthansa ist bei Belly-Fracht geprägt durch Marktsättigung im Inland und in Europa und einem massiven Verdrängungswettbewerb auf den Interkontinentalstrecken. Strategien orientieren sich dabei nicht primär an der Belly-Fracht bzw. Nur-Fracht, sondern an den Luftfracht-Produktsegmenten. Der Transport von Standardfrachtgütern ist einem allgemeinen Preisdruck unterworfen, weil vielfach die aus Überkapazitäten bestehenden Flugstrecken unter den von der IATA empfohlenen Frachtraten vermarktet werden. Eine Airline kann hier nur durch Ausrichtung der Strategie hin zur Kostenführerschaft wettbewerbsfähig bleiben. Die Lufthansa verfolgt diese Strategie, indem sie mit dauerhaft greifenden Kostensenkungsprogrammen in allen Geschäftsfeldern die Kosten in allen Unternehmensbereichen reduziert und somit trotz der niedrigeren Marktpreise gegenüber den Wettbewerbern wettbewerbsfähig

und profitabel bleibt. Die Wettbewerbsstrategie bei Belly-Fracht ist im Inlands- und Europaverkehr primär auf den intermodalen Wettbewerber – den LKW- und Schienentransport – abzustellen. Wie bereits erwähnt sind bei Strecken von weniger als 1000 km die Bodentransporte den Luftfrachttransporten in den Transportkosten überlegen. Kostensenkungspotenziale können durch Standardisierung, straffe Organisation, elektronische Services im Bereich des Vertriebs und andere Maßnahmen aufgebaut werden. Der in dieser Arbeit hervorzuhebende Aspekt betrifft die Kostensenkung im Netzbereich, die sich durch Synergien in der Zusammenführung der Einzelnetze zu einem globalen Netz und zu einer Integration mit dem Kernnetz der Lufthansa abbilden lässt. Im nächsten Kapitel wird detailliert auf die Netzkonfiguration eingegangen und herausgearbeitet, in welchen geografischen Marktsegmenten sich welche betriebswirtschaftlichen Vorteile generieren lassen, die Kostensenkungen zur Folge haben können. Ein zusätzliches Merkmal für die Schaffung von Kostensenkungspotenzialen besteht im Einsatz einer entsprechenden Größe des Flugbetriebs, bei dem sich Kostenersparnisse aus der Eigenschaft einer genügenden Betriebsgröße generieren lassen.

Im Bereich der Spezialfracht-Angebote, die auch Belly-Fracht-Transporte abdecken, lässt sich hingegen eine Differenzierungsstrategie verfolgen. Hier unterscheidet sich der Anbieter am Markt durch Alleinstellungsmerkmale. Im Frachtsektor werden aufgrund der besonderen Merkmale des Transports (Schnelligkeit, Sicherheit, Zuverlässigkeit, frühere Verfügbarkeit des Guts, Verringerung der Lagerkosten, weniger Diebstähle, weniger Schäden, niedrige An- und Abfuhrkosten aufgrund hoher Netzdichte etc.) Nutzenmerkmale bei den relevanten Nachfragern erzeugt, wodurch diese bereit sind, höhere Frachttarife zu akzeptieren. Damit herrscht hier keine Preiskonkurrenz vor, infolgedessen die Lufthansa höhere Margen erzielt. Der Wettbewerb wird im Wesentlichen nur anhand von Qualitätsmerkmalen ausgetragen. In dieses Segment fallen vor allem die Produktsegmente der Expressfracht und der Spezial-Fracht.

Die von der Lufthansa im Rahmen der Unternehmensstrategie propagierte Fokussierung auf Kernkompetenzen ist als eine der dritten Basisstrategien von Pompl herauskristallisiert worden. Es geht dabei um die Konzentration auf Schwerpunkte. Die aufgezeigten Kernkompetenzen der Lufthansa erlauben einen Mix aus einer Kostenführerschafts- und einer Differenzierungsstrategie. Aufgrund der Nutzung des dichten Netzes der Passagierfluggesellschaften (400 Passagiermaschinen mit Belly-Frachtkapazität) und des kombinierten Road Feeder Service lässt sich ein flächendeckendes Luftfrachtangebot unterbreiteten. Die hohe Anzahl von Zubringerdiensten mit hohen Auslastungen, der Einsatz bedarfsgerechter Fluggeräte sowie die Konstitution von Europa- und weltweit aufgebauten Flugnetzen nach dem Nabe-Speiche-Prinzip schlagen sich in betriebswirtschaftlichen Vorteilen auf der Logistikebene nieder. Hier sind die Potenziale für die Kostenführerschaft begründet. Die Spezialisierung auf den Hauptstrecken und zahlreiche Maßnahmen zur Desintegration (Partner-Shipping bzw. Outsourcing von bestimmten Leistungen etc.) sind das Spiegelbild der Fokussierung auf die Kernkompetenzen. Differenzierungspotenzial besteht aber innerhalb des dichten Netzes, wo sich entlegene Strecken fliegen lassen, die von keinen Wettbewerbern bedient werden. Auf der Produktebene lassen sich unter Nutzung des Netzes Differenzierungsstrategien durch die aufgezeigten Spezialfracht-Angebote aufstellen. In beiden Fällen liegen marktseitig Nischen vor. Die branchenweite Standardisierung ist in den aufgezeigten Fällen unter profitablen Bedingungen nicht möglich, sodass man sich mit einer kombinierten Kostenführerschafts- und Differenzierungsstrategie vor Marktübergriffen wappnen kann.

Es bleibt die Frage zu beantworten, wie sich die Übernahme einer Fluggesellschaft in die Wettbewerbsstrategie einbinden lässt.

Übernahmen

Für größere Netzwerkfluggesellschaften sind die kleineren Carriern interessant, weil sich durch deren Akquisition auf der Ebene des Flugbetriebs das Netz des Übernehmers in das bestehende Netz integrieren und netzübergreifend abgestimmte Flüge zwischen der Erwerbergesellschaft und der beherrschten Tochtergesellschaft aufnehmen lassen. Für die

Lufthansa gilt dies für ihre Töchter Swiss und AUA. Folgende Vorteile lassen sich bei der Übernahme einer Fluggesellschaft beim Flugbetrieb ausmachen, die auch für die Allianz von Bedeutung sind, weil hierdurch vor allem der Zubringerverkehr ausgebaut werden kann und somit die Interkontinentalverkehre höhere Auslastungen erzielen können. Soll Belly-Fracht aus den Übernahmenetzen für die Allianzen zu einem zusätzlichen Frachtaufkommen beitragen, dann muss bei der Übernahme bzw. bei der Integration eines abgestimmten Flugbetriebs berücksichtigt werden, dass Belly-Fracht zu den Hub-Flughäfen für die Interkontinentalrouten transportiert werden muss. Damit ist aber auch klar, dass für Belly-Fracht in der Hub-Strategie nur der für Fracht und Passage kombinierte Hub im Interkontinentalverkehr infrage kommt. Alle anderen Hub-Varianten sind für Belly-Fracht ungeeignet.

(1) Vorteile auf der Absatzseite

- Gewinnung weiterer Marktanteile in den Segmenten Passage und Fracht durch Markterweiterung, d. h. Erhöhung des Mobilitätsangebots durch räumlich und kapazitiv erweiterte Luftfrachtangebote bei gleichgearteten Luftfracht-Produkten im Belly-Frachtbereich.
- Eine höhere Marktabdeckung verschafft auf der Absatzseite einen größeren Zielkundenbereich für Frachttransporte (größere Erreichbarkeit der potenziellen Kunden).
- Netzerweiterung geht einher mit weiteren Strecken über der 1000-km-Schwelle (z. B. Klagenfurt–Hamburg), bei der Belly-Fracht gegenüber der LKW-Fracht bzgl. der Kosten überlegen ist. (Je größer das Netz auf der intermodalen Ebene, desto mehr wettbewerbsfähige Streckendienste kommen hinzu.)

(2) Logistikvorteile

- Netzerweiterung und -vertiefung durch Integration des Übernahmenetzes in das Core bzw. Global Network, d. h., das Flugangebot erweitert sich und es entstehen gegebenenfalls mehr Flugfrequenzen auf Flugstrecken.
- Das dichte Netz der Übernahmegesellschaft, das vor allem bei ehemals national ausgerichteten Staats-Carriern gekennzeichnet ist durch eine hohe Slot-Allokation auf den wichtigen Primär- und Sekundärflughäfen zu attraktiven Tagesrandzeiten, stellt für potenzielle Fluggesellschaften auf der intramodalen Ebene Marktzugangsbeschränkungen dar.
- Das Passagier- und Frachtaufkommen in dem integrierten Netz steigt um das Aufkommen im Übernahmenetz an. Dadurch entsteht auf den Drehscheiben-Flughäfen ein großes Potenzial an Bündelung. Durch die Bündelungseffekte im Interkontinentalverkehr kommt es zu besseren Auslastungen der Flugzeuge, wodurch sich die Kosten senken und für den Wettbewerb attraktive Marktpreise durchsetzen lassen.
- Zusätzliches Feeder-Potenzial zur Stärkung der Frachtladefaktoren des Interkontinentalverkehrs der Erwerber-Airline, wenn Belly-Fracht aus dem Übernahmenetz zu interkontinentalen Destinationen zu befördern ist.
  - Dadurch höhere Auslastung der Interkontinentalflugzeuge mit Fracht.
  - Schaffung von Skalenerträgen und Verbesserung der Wettbewerbsstellung im Verdrängungswettbewerb.
- Vermarktungspotenzial von Belly-Fracht mit Start- und Zieldestinationen in Europa oder im Inland.
- Auf wettbewerbslosen Zubringerdiensten sind höhere Frachtraten erzielbar, wenn es für einen Interkontinentaldienst keine Alternative für den Nachfrager gibt (z. B. Klagenfurt–Singapur), dadurch Reduktion der Preisverhandlungsmacht von Nachfragern.
- Auf wettbewerbsstarken Zubringerdiensten (z. B. Wien–Frankfurt versus Wien–Paris) entsteht Potenzial zum Senken der Frachttarife, wenn aufgrund hoher Nachfrage eine gute Auslastung der Feeder-Flüge möglich ist, wodurch sich der Anteil an den Gemeinkosten erhöhen lässt.
- Optimierung des Ladefaktors auf den Interkontinentalverbindungen durch höhere Belly-Frachtzufuhr zum Hub mit dem Ziel, einen zusätzlichen Deckungsbeitrag aus dem Umsatz der zusätzlichen Belly-Fracht bei den Fixkosten zu generieren.

(3) Kostensenkungspotenziale durch Übernahmen

Kostensenkungspotenziale durch Übernahme ergeben sich einerseits aus den aufgezeigten Logistikvorteilen und führen zu folgenden betriebswirtschaftlichen Vorteilen:

- Erzielung von Größenvorteilen auf der Beschaffungsseite (gemeinsamer Einkauf bei Kerosin, Flugzeugbauer etc.).
- Gegebenenfalls Marktmachtpotenzial auf den übernommenen bzw. in dem integrierten Netz der neu hinzugekommenen Hub-Flughäfen gegenüber dem Flughafenbetreiber. Möglichkeit, den Flughafenbetreiber zu einer Reduktion der Hub-Kosten zu bewegen, indem angedroht wird, Verkehr zugunsten der anderen Hubs abzuziehen
- Erzielung von Economies of Scope und von Economies of Density[58].

(4) Übernahmenetz als Instrument zum Vereiteln des Marktzutritts von Wettbewerbern
Unter Wettbewerbsgesichtspunkten ist nicht zu vernachlässigen, dass Übernahmenetze Möglichkeiten zur Abwehr von potenziellen Markteindringlingen sowohl auf den Hub-Flughäfen als auch auf den Streckendiensten schaffen. Speziell bei der AUA und der Swiss hat die Lufthansa zwei ehemalige Flag-Carrier übernommen. Die Netze beider Fluggesellschaften sind nach dem Hub-and-Spoke-Prinzip ausgelegt, mit Natural-Hubs in Wien bzw. Zürich. Aufgrund landesspezifischer Vorbehalte waren die ehemaligen National-Airlines mit Sonderrechten ausgestattet gewesen, die teilweise nach der Akquisition erhalten geblieben sind. Insbesondere auf den Hubs halten die Fluggesellschaften immer noch eine hohe Anzahl an Slots, die zu attraktiven Tagesrandzeiten bestehen. Da die EU-Kommission nur dezidierte Strecken regulierte, blieb die Netzstruktur der beiden Alpen-Airlines weitgehend erhalten. Die Fluggesellschaften sind in der Lage, Marktmacht zur Abwehr anderer Fluggesellschaften auszuüben (vgl. Ausführungen in Abschnitt 5.2.2.2).

7.4 Strategien bei der Netz-Logistik

Die aufgezeigten betriebswirtschaftlichen Vorteile und die Abwehrstrategien gegenüber Mitbewerber-Fluggesellschaften sind nur mit einer hierfür geeigneten Netzkonfiguration Erfolg versprechend.

Netzseitige Umsetzung der Wettbewerbsstrategien
Zur Umsetzung beider Strategien ist ein abgestimmter Flugbetrieb zwischen den Netzen vonnöten. Eine Konsolidierung der Flugzeiten erfordert für den Frachttransport im Interkontinentalverkehr, dass die Feeder-Flugzeuge zeitgleich am Hub eintreffen. Beim Belly-Fracht-Transport im Inlands- und Europa-Verkehr sind maximale Transportlaufzeiten von einem Tag zu beachten. Die Übernahme einer Fluggesellschaft, die Belly-Fracht transportiert, impliziert in der Regel das Vorhandensein eines nach dem Hub-and-Spoke-Prinzip aufgebauten Netzwerkes, da sonst ein Feeder-Verkehr im integrierten Netz scheitern würde. Zur Umsetzung der aufgezeigten strategischen Ziele auf der Ebene des Business-Modells und der Geschäftsfeldstrategien sind netzseitig hohe Anforderungen gestellt. Auch gilt es dabei, die institutionellen und rechtlichen Rahmenbedingungen, wie aufgezeigt, zu berücksichtigen. Die mit der Netzintegration aufkommende Netzerweiterung und Netzvertiefung stellen somit für das Netzmanagement der Erwerbsfluggesellschaft eine herausfordernde Aufgabe dar. Im nächsten Abschnitt wird die Integration eines Netzes einer akquirierten Fluggesellschaft allgemein und dann am Beispiel der Tochtergesellschaften Swiss und AUA bei der Lufthansa näher behandelt. Den erwarteten Synergien aus einem integrierten Netz stehen aber hohe Integrationskosten gegenüber, sodass sich Synergieeffekte nur langfristig einstellen werden.

7.5 Kostenfunktion zur Bewertung von Flugrouten im Luftfrachtbereich

Die nachfolgenden Abschnitte beschäftigen sich mit den Kostenfunktionen für Belly-Frachttransporte, um die Kosten für die Durchführung von Flügen in einem vorgegebenen Netzwerk als Grundlage für die strategische Planung der Flugrouten bewerten zu können.

[58] Die Economies-Vorteile werden im nächsten Kapitel bei der Netzkonfiguration detailliert behandelt.

7.5.1 Absatz und Preisbewertung von Belly-Frachtprodukten

Das Luftfrachtprodukt „Belly-Frachttransport“ gilt im Vergleich zum Luftfahrtprodukt „Passagiertransport“ als schwer kalkulierbar. Im Gegensatz zum Passagiersektor, wo ein verkaufter Sitz ein verkaufter Sitz ist, mit dem die Luftverkehrsleistung in maximal drei Dimensionen klar definiert ist, kann das Produkt Belly-Frachttransport als multidimensionaler Leistungsgegenstand charakterisiert werden. Während beim Passagiertransport eine Differenzierung der zu erbringenden Leistung nach der gewählten Buchungsklasse (Economy, Business, First) erfolgt, lässt sich Belly-Frachttransport in mannigfachen Konstellationen vermarkten. In Abschnitt 7.2 werden verschiedene Möglichkeiten der Leistungs- und Produktdifferenzierung im Zusammenhang mit Belly-Fracht aufgezeigt. Zwar können damit viele potenzielle Nachfrager von Belly-Frachtprodukten angesprochen werden, mit denen sich auf der Vermarktungsseite für die Cargo-Gesellschaft lukrative Servicevereinbarungen mit den Cargo-Kunden treffen lassen. Das große Produkt-/Marktportfolio bei Belly-Fracht und die damit verbundene schwierige Vorhersehbarkeit der tatsächlich nachgefragten Belly-Frachtprodukte stellen auf der Ebene der strategischen Planung für die Airlines eine Herausforderung dar.

Bei Cargo lässt sich der Absatz in zwei Bereiche unterteilen. Ein Bereich ist dadurch charakterisiert, dass Frachtversender bei den Airlines lange im Voraus Frachtkapazitäten reservieren lassen und die blockierten Belly-Frachtkapazitäten gemäß ihrer eigenen Buchungsauslastung kurz vor der Flugdurchführung in Auftrag geben. Der andere Bereich umfasst die Ad-hoc-Buchungen, die insbesondere bei Belly-Frachttransporten in Europa häufig anzutreffen sind. Sie erfolgen meist wenige Tage vor dem geplanten Abflug, sodass eine längerfristige Planung des Belly-Frachtaufkommens schwierig ist. Die Kapazitätsplanungen für das Belly-Fracht- und das Passagieraufkommen auf demselben Flug triften deshalb auseinander, weshalb es auch kompliziert ist, freie Kapazitäten noch vermarkten zu können. Auf der Logistikseite spiegelt sich die multidimensionale Eigenschaft von Belly-Frachttransporten in den unterschiedlichen Handlings-Kosten für die verschiedenen Belly-Frachttransportgüter wider.

Fluggesellschaften legen die Frachtrate für Frachttransporte üblicherweise nach dem Gewicht fest. Es wird dabei kein Unterschied zwischen Frachttransporten in Belly-Flugzeugen und in Frachtmaschinen gemacht. Vor allem bei Spezialfrachtprodukten wird der Preis auch nach der Wertigkeit des Frachtguts bzw. nach der Eilbedürftigkeit des Frachttransports bestimmt. Trotz der Bekanntheit der Belly-Frachtkapazitäten auf einem bestimmten Flug lassen sich aufgrund des großen Produkt-/Marktportfolios von Belly-Frachtprodukten der auf dem Flug erzielbare Erlös für die Vermarktung von Belly-Fracht und die mit der Abwicklung der Belly-Frachttransporte entstehenden Kosten erst kurz vor der Flugdurchführung bestimmen. Aus diesem Grund kann ein Kostenmodell seine Zwecke zur strategischen Planung von Flugrouten nur bedingt erfüllen.

7.5.2 Kostenfunktion zur Bewertung der Flugrouten in einem Netzwerk

In den nachfolgenden Abschnitten erfolgt die Aufstellung von Kostenfunktionen zur Bewertung der Kosten von Flugrouten in einem Hub-and-Spoke-Netzwerk, die sich zur strategischen Planung bei der Gestaltung von Flugrouten eignen. Der nächste Abschnitt führt diesbezüglich zunächst in die Grundlagen der Kostenplanung ein, erörtert anschließend den Teilkostenansatz im Zusammenhang mit Belly-Fracht und die Vorgehensweise bei der Prozesskostenanalyse. Im Anschluss wird in die theoretischen Grundlagen für eine Betriebskosten- und Transportfunktion für Belly-Frachttransporte eingegangen und schließlich erfolgt durch Analyse der Teilprozesse, der Kostentreiber und der Verrechnungssätze für die Betriebs- und Transportkosten die Modellierung geeigneter Kostenfunktionen.

7.5.2.1 Grundlagen zur modellhaften Kostenplanung

Bei der Optimierung der Gestaltung von Flugrouten in einem Luftverkehrsnetz ist es wie bei jedem Optimierungsproblem erforderlich, alternative Möglichkeiten der Flugroutengestaltung

mit Kosten bewerten zu können (vgl. Wlczek, 1988, S. 88 ff.)[59]. Aus diesem Grund müssen die wirtschaftlichen Zusammenhänge in der Flugroutengestaltung erfasst und in Kostenmodellen abgebildet werden (vgl. Wlczek, 1988, S. 88). Dabei sollten die Funktionen zur Bewertung der Kosten die in der Praxis tatsächlich vorzufindenden Kostenstrukturen möglichst genau wiedergeben, da sie bestimmen, welche Konfiguration von Flugrouten optimal erscheint. Wlczek (1988, S. 88) zeigt diesen Sachverhalt für Kostenstrukturen im Güterumschlag für bodengebundene Verkehrsträger auf.

Bei der Bewertung von Flugstreckenverkehren sind wie beim allgemeinen Güterumschlag Transport- und Umschlagskosten entscheidungsdeterminierend (vgl. Wlczek, 1988, S. 133). Die Kosten lassen sich dahingehend differenzieren, ob sie von der Transportmenge oder von der Flugzeit abhängen. Die in der Realität entstehenden Kosten müssen in den Kostenmodellen möglichst exakt nachgebildet werden, damit es zu keiner Verzerrung zwischen der optimalen Modelllösung und der in der Praxis vorherrschenden Lösung kommt. Nur so lässt sich im Rahmen der operativen Planung ein möglichst exakt prognostizierter Flugroutenplan aufstellen. Bei der strategischen Planung der Flugrouten müssen Kriterien für die Transportmengen- und zeitabhängigen Ressourcen getroffen werden. Üblicherweise werden bei zeitlich bedingten Ressourcen die Durchschnittszeiten herangezogen. Bei der Belly-Frachtmenge erfolgt die Betrachtung von Durchschnittsmengen. Insbesondere bei der Kalkulation der Belly-Frachtkapazitäten im Mix zur Passagierauslastung werden von den Fluggesellschaften im Rahmen der strategischen Planung stets Durchschnittswerte zugrunde gelegt. Das Ziel der strategischen bzw. der Logistikplanung besteht darin, kostenminimale Flugrouten für die gemäß der Belly-Frachtnachfrage anfallenden Transportvorgänge zu konfigurieren. Dabei müssen alle Kosten erfasst werden, die beim Transport sowie beim Be- und Entladen der Fracht relevant sind. Dabei sind zeitliche Restriktionen für Servicevereinbarungen bei Belly-Frachtprodukten und die Kapazitäten in den Flugzeugen zu berücksichtigen.

Zum Herleiten praxistauglicher Kostenstrukturen für die Bewertung von Vorgängen des Luftfrachttransports sowie von Vorgängen für das Be- und Entladen von Fracht muss die Abwicklung der Leistungserbringung auf den Flugrouten kostenmäßig analysiert werden (vgl. Wlczek, 1988, S. 88). Ebner (1997, S. 171 ff.) zeigt in seinem Aufsatz auf, dass sich die in der Kostenrechnung etablierten Voll-, Teil- und Plankostenrechnungen nicht eignen, um die allgemein für Transportleistungen adäquate Berechnungsgrundlage zu schaffen. Dies gilt im Besonderen auch für Belly-Luftfrachttransporte, bei denen die Spezifika der Kalkulation noch ausgefeilter sind. Dennoch wird in der Literatur die Meinung vertreten, dass sich Belly-Fracht mit einem Teilkostenansatz zu den Passagierkosten kalkulieren lässt.

Teilkostenansatz

Der Teilkostenansatz ist ein Instrument der so genannten Teilkostenrechnung. Darunter versteht man, dass bei Systemen nur ein Teil der entstandenen Kosten auf den Kostenträger verrechnet wird. Dabei ist sekundär, ob der Kostenträger eine Geschäftseinheit innerhalb desselben Unternehmens ist oder ein Tochter- oder Schwesterunternehmen innerhalb eines Konzerns. Im zuerst genannten Fall spricht man auch von der innerbetrieblichen Kostenverrechnung. Bei Belly-Fracht entspräche der Cargo-Bereich, der die Belly-Frachtkapazitäten in den Belly-Flugzeugen des Passagierbereichs vermarktet, dem Kostenträger. In Abhängigkeit des Systems werden dem Kostenträger nur die variablen Kosten auferlegt. Darunter fallen alle Kosten, die unmittelbar im Zusammenhang mit der Vermarktung und dem Transport von Belly-Fracht stehen. Eine Verrechnung von Gemeinkosten oder fixen Kosten, wie sie üblicherweise bei der Vollkostenrechnung praktiziert wird, gibt es bei der Teilkostenrechnung nicht. Eine Ausprägung der Teilkostenrechnung ist etwa das Direct Costing. Der Nachteil der Teilkostenrechnung besteht darin, dass die Gemeinkosten, die beim Passagiertransport anfallen, nicht umgelegt werden, was zu einer Verzerrung der wahren Kostenlage bei Belly-

[59] Wlczek zeigt in seiner Dissertation die Analogien zu Güterverkehrsnetzen auf. Die Ausführungen dieser Arbeit basieren auf den Arbeitsergebnissen von Wlczek und sind auf die Belange des Luftfrachtsektors angepasst worden.

Fracht führt. Zudem können die Kostentreiber für einzelne Gemeinkostenbestandteile nicht identifiziert werden. Es ist jedoch bekannt, dass der Cargo-Bereich in bestimmten Bereichen Kostenverursacher für Gemeinkosten auf Belly-Flugzeugen ist.

Neben der Frage, ob der Teilkostenansatz sich für die Verrechnung von Kosten im Kontext von Belly-Fracht eignet, ist wichtig, welche Kosten überhaupt entstehen und wie deren Werte bestimmt werden können. Ein möglicher Weg ist, die zur Leistungserbringung erforderlichen Prozesse kostenmäßig zu erfassen. Bei Lufthansa Cargo wurde in diesem Zusammenhang zur Erfolgsmessung von mitarbeiterbezogenen Prozessaktivitäten eine Balance Scorecard im Personalbereich etabliert. Einer der Erfolgsfaktoren besteht in der Reduzierung von Prozesskosten, wozu eine Prozesskostenanalyse für die Ressource Personal nötig ist (vgl. Reupert und Wenisch, 2000, S. 43). Demzufolge stellt die Prozesskostenrechnung bei den Airlines ein geeignetes Instrument zur Untersuchung der Kostenentstehung dar.

Prozesskostenrechnung

Die Prozesskostenrechnung, die in dem Artikel von Cooper et al. (1988) detailliert erläutert wird, scheint den Anforderungen der Luftfrachtgesellschaften am ehesten gerecht zu werden. Cooper et al. beschäftigen sich speziell mit den Bedürfnissen der Prozesskostenrechnung in der Transportbranche (vgl. Wlczek, 1988, S. 88). Eine der Grundvoraussetzung für die Applikation der Prozesskostenrechnung ist die Kenntnis der einzelnen Prozessschritte, um tätigkeits- bzw. zeitbezogene Kostentreiber zu identifizieren. Gemäß Coners (2003) sind zur Implementierung einer prozessbezogenen Kostenrechnung im Wesentlichen vier Prozessschritte nötig. Zuerst gilt es, die Tätigkeiten und zeitlichen Abhängigkeiten bei den erforderlichen Prozessen herauszukristallisieren. Es folgt eine Untersuchung mit dem Ziel, die Kostentreiber bei jedem Prozess zu identifizieren und die ökonomischen Zusammenhänge der Kostenbestandteile zu erfahren. In einem dritten Schritt erfolgt die Analyse der Prozesse nach mengen- und zeitinduzierten Kostentreibern für die Leistungserbringung, um daraus Planmengen und Planzeiten abzuleiten, die sich mit Plankosten hinterlegen lassen. Schließlich sind auch die mengen- und zeitneutralen Leistungsgegenstände zu erfassen. Während sich für die mengen- und zeitabhängigen Kosten direkte Verrechnungssätze formulieren lassen, müssen die davon unabhängigen Kosten mithilfe von Verrechnungssätzen konkretisiert werden, um sie auf Kosten der mengen- bzw. zeitabhängigen Kosten umzulegen. Schließlich ist es erforderlich, die prozessualen Kostensätze für die mengen- bzw. zeitinduzierte Ressourceninanspruchnahme zu verarbeiten. Es geht dabei darum, die Planmengen und -kosten zu einzelnen Sätzen von Planprozesskosten zusammenzuführen. Werden mengen- oder zeitmäßige Ressourcen in Anspruch genommen, werden die Mengen- oder Zeitgewichte der Prozesskostensätze veranschlagt.

Dieses Kapitel stellt in Abschnitt 7.5.3 Bewertungsmodelle für die tatsächlichen Prozesse der Flugstreckenverkehre sowie das Be- und Entladen von Belly-Fracht vor. Auf den Prozess der Auftragsbearbeitung und des Vertriebs wird nicht näher eingegangen. Auch die Kosten bleiben unberücksichtigt. Das Umladen von Fracht von einem in ein anderes Flugzeug im Zuge von Stopover-Flügen ist für die Problemstellung dieser Arbeit obsolet, da für jede Flugroute die Kosten für das Be- und Entladen von Fracht in einem Flugzeug erfasst werden. Besteht ein Gabelflug aus beispielsweise zwei Flügen, dann wird die Fracht im Ausgangsflughafen aufgeladen, am Zwischenstopp-Flughafen entladen, dort in ein neues Flugzeug eingeladen und am Zielort wiederum ausgeladen. Die beiden kombinierten Vorgänge für das Be- und Entladen der zu transportierenden Fracht werden kostenmäßig im Rahmen der Transportkosten auf jeweils einem Flug erfasst.

Die Vorgehensweise der Prozesskostenrechnung in Anlehnung an die vier aufgezeigten Schritte ist wie folgt. Zunächst erfolgt die Festlegung der Kostenarten. Für jede Kostenart werden dann die Teilprozesse innerhalb des für die Kostenart relevanten Prozesses und deren Kostentreiber identifiziert sowie die Wirkungszusammenhänge modellhaft in Form einer

Kostenfunktion abgebildet. Die Kostenmodelle lassen sich zur Bewertung von optimalen Flugrouten in Luftverkehrsnetzen einsetzen. Leistungsneutrale Kosten werden als Fixkosten in Abhängigkeit des Flugzeugtyps verrechnet.

Kostenarten
Lässt man die Kosten für die Auftragsbearbeitung und für den Vertrieb von Belly-Frachtprodukten, wie bereits angedeutet, außen vor, dann können als Kostenarten für die eigentliche Durchführung der Belly-Frachttransporte Betriebskosten des Belly-Flugzeugs für dessen Inanspruchnahme sowie die eigentlichen Kosten für den Transport von Belly-Frachtprodukten herangezogen werden. Zählt man zu den Transportkosten noch die Kosten für das Be- und Entladen der Fracht in und aus dem Flugzeug, dann sind alle wesentlichen Kostenbestandteile erfasst. Zu klären ist aber, wie sich die einzelnen Kostenblöcke und deren -treiber innerhalb der Betriebs- und Transportkosten zusammensetzen und bewerten lassen. Während sich die Transportkosten für Belly-Fracht den Cargo-Abteilungen direkt zuordnen lassen, ist problematisch, in welcher Höhe die Betriebskosten des Passagierflugzeugs den Cargo-Abteilungen in Rechnung gestellt werden können. Zunächst ist zu untersuchen, wie sich die Betriebskosten einer Passagiermaschine zusammensetzen und was deren Kostentreiber sind.

7.5.2.2 Betriebskosten einer Passagiermaschine

Betriebskostenbestandteile in Passagiermaschinen
Unter Betriebskosten versteht man die Kosten, die für den Einsatz des Flugzeugs anfallen. Der Begriff Einsatz lässt sich dabei weit fassen, sodass zu den Betriebskosten auch solche zählen, die anfallen, um das Flugzeug betriebsbereit zu bekommen. Meist werden die Betriebskosten auf der Basis einer Flugstunde gemessen. Wie sich die einzelnen Betriebskosten zusammensetzen, lässt sich nicht einfach bestimmen. Teilweise ist auch umstritten, welche Kostenbestandteile zu den Betriebskosten gerechnet werden und welche nicht, sodass in der Literatur und bei den einzelnen Fluggesellschaften für Betriebskosten unterschiedliche Ergebnisse vorzufinden sind. Ebenso ist uneinheitlich, wie sich die einzelnen Kostenbewertungen im Vergleich zu den Gesamtkosten verteilen. In einer Selbstdarstellung weist die Lufthansa für ihre Passagiertransporte die in der nachfolgenden Abbildung in der Legende erwähnten Kostenblöcke aus.

Abbildung 34: Kostenblöcke der Lufthansa in 2008
(Quelle: Politikbrief der Lufthansa, 2009a, S. 6)

Das Kuchendiagramm gibt dabei Aufschluss, welchen Kostenwert gemessen am Gesamtkostenwert jeder einzelne Kostenblock verschlingt. Die Angaben beziehen sich auf die von

der deutschen Airline in 2008 durchgeführten Passagierflüge.

Jedoch lassen sich aus den angegebenen Kostentreibern und den Zahlen keine Schlüsse für die Kostenblöcke und deren Bewertung im Belly-Frachtbereich ziehen, auch nicht unter der Maßgabe, dass Belly-Fracht im Teilkostenansatz zu den passagierbezogenen Kosten berechnet werden kann.

In der einschlägigen Literatur werden als wesentliche Kostentreiber für die Betriebskosten von Passagierflugzeugen die Abschreibung des Flugzeugs, die Leasinggebühren für die Anschaffung des Flugzeugs und die Technikleistungen angesehen. Als nächstes geht es darum, diese Kostenbestandteile in einer Betriebskostenfunktion abzubilden.

Betriebskosten- bzw. Streckenverkehrskostenfunktion
Nagl (2008, S. 94) zeigt eine auf Basis von Wei und Hansen (2003, S. 726–796) aufgestellte Betriebskostenfunktion für Passagiermaschinen in Abhängigkeit von der Flugzeuggröße und der Einsatzzeit des Flugzeugs auf. Zu den Betriebskosten zählt Nagl neben den bereits angesprochenen Kostenblöcken auch die Sitzanzahl zur Abbildung der Kapazität der durchschnittlichen Sitzplatzanzahl, die durchschnittlich geflogene Entfernung, die Kerosinkosten und die Pilotenkosten, d. h., in der Betriebskostenfunktion werden auch entfernungsabhängige Kosteneinflussfaktoren berücksichtigt. Swan und Adler (2006) haben in ihrer Arbeit herausgefunden, dass die Flugdistanz und die Anzahl der Sitze die zwei hauptsächlichen Kostentreiber für eine Flugstrecke einer Passagiermaschine sind. Die beiden Autoren greifen dies auf und führen zwei streckenbasierte Gleichungen für ein Kurz-/Mittelstreckenflugzeug und ein Langstreckenflugzeug ein. Die Differenzierung zwischen entfernungsabhängigen und entfernungsneutralen Kostenblöcken gibt auch Aufschluss darüber, bei welchen Kostentreibern möglicherweise Economies of Scale verzeichnet werden können. Folgt man der Argumentation von Wei und Hansen (2003, S. 286 ff.), dann sind bei den Betriebskosten generell nur geringe Economies of Scale feststellbar. Allerdings wollen Nagl (2008, S. 95) sowie Wei und Hansen (2003, S. 290) herausgefunden haben, dass die Pilotenkosten mit zunehmender Flugdistanz Economies of Scale hervorrufen. Das klingt schlüssig, da die Arbeitszeiten der Piloten auf längeren Flugstrecken betriebsbezogen besser ausgeschöpft werden, weil weniger Leerlaufzeiten bestehen. Konsequenterweise müsste das dann aber auch für die Einsatzzeiten der übrigen Crew gelten. Will man bei der Aufstellung einer Betriebskostenfunktion auch die Effekte der Economies of Scale beleuchten, dann empfiehlt es sich, den Betriebskostenblock in entfernungsabhängige und -neutrale Kostenbestandteile zu separieren. Weiterhin lassen sich die entfernungsabhängigen Kostenfaktoren mit der zurückzulegenden Flugdistanz gewichten. Aufgrund der Konnexion der Betriebskosten zur Flugstrecke werden die Betriebskosten auch als (Flug-)Streckenverkehrskosten bezeichnet.

Einen Schritt weiter geht Smilowitz (2007, S. 398). Er hat im Zusammenhang mit einem Merger-Modell für Luftfahrtgesellschaften eine Kostenfunktion für den Passagierverkehr aufgestellt, bei der die Kostenseite der Erwerber- und der Übernahmegesellschaft unter dem Aspekt der Post-Merger-Integration simultan betrachtet werden. Auf eine Aufschlüsselung nach den betriebsbezogenen Kostenbestandteilen kann jedoch nicht zurückgegriffen werden, sodass dieser Ansatz für die Problemstellung dieser Arbeit nicht weiterhilft.

Entfernungsabhängige Kostentreiber bei den Betriebskosten
Die Piloten-, Crew- und Kerosinkosten zählen zu den entfernungsabhängigen Kostenbestandteilen. Die Kostengrößen hängen auch vom gewählten Flugzeugtyp ab.

Entfernungsneutrale Kostentreiber bei den Betriebskosten
Beim Flugzeug lassen sich die Kosten für Versicherungen, Steuern und Gebühren sowie angenommene Reparaturen in Abhängigkeit des eingesetzten Flugzeugtyps in die Betriebskosten einbeziehen. Strittig ist hingegen, ob die Leasinggebühren, die Abschreibungskosten und die Technikleistungen für das Flugzeug entfernungsneutrale oder -induzierte Kostentreiber

sind. Für eine Entfernungsabhängigkeit bei den Leasinggebühren und der Abschreibung spricht, dass die Flugleistung einerseits Gegenstand der Bemessung der Leasinggebühren ist und andererseits die Abnutzung des Flugzeugs von der Flugdauer abhängt. Aus diesem Grund macht es für diese Kostenarten Sinn, diese Kosten entfernungsabhängig umzulegen. Die Technikleistungen sind vereinfacht ebenfalls entfernungsabhängig umlagefähig. Nach Nagl (2008) sowie Wei und Hansen (2003) sind dagegen die Kosten für die Wartung nicht entfernungsrelevant.

Betriebskosten als Teil der Gesamtkostenfunktion einer Airline
Laut Nagl (2003, S. 93) stellen die Betriebskosten nur einen Teil der Gesamtkosten von Fluggesellschaften dar. In Bezug auf die Effizienz bei den Betriebskosten werden bei den Airlines vor allem im Bereich der indirekten Betriebskosten wie der Wartung und der Unterhaltung der Netzstrukturen Schwachstellen festgestellt (vgl. Seristö und Vepsäläinen, 1997). Die anderen Kostenarten dagegen gelten als effizient. Die Effizienz ist ein Maßstab dafür, ob die Kosten für die Aufwände im richtigen Verhältnis zur geforderten Leistung stehen.

Verteilung der Betriebskosten zwischen Cargo- und Passagierbereich
Eine Aufschlüsselung der Kosten auf die einzelnen Flugzeugtypen wird als problembehaftet angesehen, da die Kosten auf Kostenträger quotal verrechnet werden müssten, die eigentlich keine Kostenverursacher sind. Dieses Problem macht sich besonders bemerkbar, wenn es um die Weitergabe der Betriebskosten an die Cargo-Abteilung für die Mitbenutzung der Belly-Flugzeuge zum Belly-Frachttransport geht. Dennoch ist die Funktion für die Betriebskosten eines Passagierflugzeugs vom Passagiertransport diktiert und Belly-Fracht kann im Rahmen eines Verrechnungssatzes an diesen Kosten proportional beteiligt werden, d. h., eine eigene vom Passagiertransport losgelöste Betriebskostenfunktion für Belly-Fracht soll es für Unterflurfrachttransporte nicht geben. Es ist also zu klären, wie und in welcher Höhe sich die Betriebskosten für einen Passagierflug für die Inanspruchnahme des Flugzeugs für Belly-Frachttransporte anteilig auf den Cargo-Bereich umlegen lassen. Zu berücksichtigen ist dabei, dass von Planzahlen ausgegangen werden muss. Eine in dieser Arbeit verfolgte Möglichkeit besteht darin, die Betriebskosten eines Flugs zwischen Cargo- und Passagierbereich im Verhältnis zwischen der Passagier- und Frachtauslastung aufzuteilen. Dagegen spricht die Annahme der Verrechnung der Betriebskosten nach dem Teilkostenansatz, bei dem für den Cargo-Bereich nur die variablen Kosten für den Transport der Fracht angesetzt würden.
Der Fracht- bzw. Passagierladefaktor ließe sich als Maß für die jeweilige Fracht- bzw. Passagierauslastung des Flugzeugs heranziehen, indem beide Faktoren zueinander ins Verhältnis gesetzt werden. Auszugehen ist hier von den Planzahlen und nicht von den tatsächlichen Buchungszahlen. In dem Ansatz von Miller (1973) bzw. Garrod und Miklius (1977) wird im Zusammenhang mit der Frage von vorhandenen freien Kapazitäten auf Belly-Flugzeugen mit dem Passagier- und Frachtladefaktor gearbeitet (vgl. Ausführungen in Abschnitt 5.5). Allerdings geht man in der dortigen Betrachtung der Kostenfunktion für ein Belly-Flugzeug auch soweit, die freie Belly-Frachtkapazität in Abhängigkeit von der Auslastung der Passagierkapazität zu untersuchen. Dieses Vorgehen ist realistischer, da die Behandlung der Belly-Frachtkapazitäten subsidiär zu den Passagierkapazitäten erfolgen muss. Bei der Planung der Betriebskosten wird dies aber erschwert, da, wie bereits aufgezeigt, im Belly-Frachtbereich keine langfristigen Prognosen zur Frachtnachfrage aufgestellt werden können. Der Einfachheit halber lässt sich für die Planung der Betriebskosten auf das Verhältnis zwischen Fracht- und Passagierladefaktor abstellen. Für beide Größen sind realitätsnahe Werte zu ermitteln. Die Betriebskostenfunktion, die im Abschnitt 7.5.3.1aufgestellt wird, arbeitet mit einem Proportionalitätsfaktor, der das Verhältnis zwischen Fracht- und Lademenge auf demselben Flug ausdrückt.

7.5.2.3 Transportkosten für Belly-Frachttransporte

Transportkosten, die beim Transport von Belly-Fracht anfallen
Die Transportkosten sind dem Cargo-Bereich als Kostenträger direkt zurechenbare Kosten.

In den Abschnitten 7.5.3 bzw. 7.5.3.2 werden Kriterien zur Beurteilung der Transportkosten in Belly-Flugzeugen aufgestellt.

7.5.3 Kostenfunktionen

Zu den bereits genannten Merkmalen werden nachfolgend für Belly-Frachttransporte in Passagiermaschinen geeignete Kostenfunktionen zur Bewertung der jeweiligen Kosten aufgestellt. Für die Modellierung werden nachfolgende Notation und Definitionen gebraucht.

Notation und Definitionen

Flugzeugabhängige Kostenbestandteile jeweils pro Tonnenmeile

BK(m) = Betriebskosten für einen bestimmten Flugzeugtyp m
OL(m) = Leasinggebühren in Abhängigkeit vom Flugzeugtyp
Absch(m) = Abschreibungen auf das Flugzeug in Abhängigkeit von seinem Typ m
TL(m) = Technikleistungen abhängig vom Flugzeugtyp m
Sonst(m) = Sonstige Kosten (Versicherungen, Steuern, Gebühren, Reparaturen etc.) abhängig vom Flugzeugtyp m
Tr(m) = Treibstoffkosten abhängig vom Flugzeugtyp m

Frachtmengenabhängige Kostenbestandteile für eine Tonne Fracht

$L(z_1(d))$ = Zeit $z_1(d)$ für das Be- und Entladen von Fracht in Belly-Flugzeugen, abhängig vom Gewicht d der Lademenge[60]
PC(d) = Paletten und Container für den Transport von Fracht, abhängig vom Gewicht d der Lademenge
$TH(z_2(d))$ = Zeit $z_2(d)$ für die Nutzung technischer Hilfsmittel für das Be- und Entladen von Fracht im Flugzeug, abhängig vom Gewicht d der Lademenge

Methodisch erfolgt die Konstituierung der Kostenfunktionen in Anlehnung an Wlczek (1988, S. 88 ff.), der im Rahmen seiner Dissertation die Kostenfunktionen für Güterverkehrsnetze untersuchte. Hierbei hat Wlczek für die Bewertung der einzelnen Kosten zuerst die mit den Kosten zusammenhängenden Teilprozesse sowie die Kostentreiber identifiziert, dann geeignete Kostenverrechnungssätze ermittelt und schließlich eine Kostenfunktion aufgestellt. In dieser Arbeit wird ebenfalls in diesen Schritten vorgegangen.

7.5.3.1 Bewertung der Flugstreckenverkehrskosten

- **Identifikation der Teilprozesse**

Die Leistungserstellung bei der Durchführung von Flugstreckenverkehren zwischen zwei Flughäfen erfolgt in den Teilschritten der Bereitstellung des Flugzeugs zur Beladung, des Flugs zwischen den beiden Flughäfen sowie der Bereitstellung des Flugzeugs zur Entladung der Fracht.

- **Identifikation der Kostentreiber**

Die Durchführung der Belly-Frachttransporte nimmt die Ressourcen „Flugzeug-Crew“ und „Flugzeug“ in Anspruch. Bei der Ressource Flugzeug-Crew ist auch die Ressource „Piloten“ mit umfasst. Als essenzielle Kostentreiber für die Flugstreckenverkehre lassen sich also folgende Einflussgrößen je Flugroute r identifizieren:

- die Nachfrage nach einer Frachttransportmenge auf der Flugroute r: D(r),
- die Entfernung des Luftfrachttransports auf Flugroute r: E(r),
- die Flugdauer auf Flugroute r: Z(r).

- **Ermittlung von Verrechnungssätzen**

Um die Bewertung der Kosten für die Erbringung der streckenverkehrsbezogenen Leistungen zu ermöglichen, bedarf es der Generierung von Verrechnungssätzen für die in Anspruch

[60] Das Gewicht der Lagemenge umfasst auch das Leergewicht der Transportbehälter.

genommenen Ressourcen. Diese sollen den den Kostenverursachern zurechenbaren Verbrauch proportional abbilden. Im Rahmen der strategischen Kostenplanung ist deshalb auf die Planmengen und -kosten abzustellen. Da die Personalkosten für Crew und Piloten zeitabhängig anfallen, muss als Planmenge die geplante Einsatzzeit des benötigten Personals für den Flug auf einer Strecke r festgelegt werden. Bei der Ressource Flugzeug fallen die separat ausgewiesenen Betriebskosten an und als Kostentreiber entfernungs-, frachtmengen- und zeitabhängige Einflussgrößen.

Für die Kostentreiber Entfernung, Frachtmenge und Zeit können folgende Verrechnungsparameter ausgemacht werden:

- Treibstoffkosten für die Flugdurchführung je Tonnenmeile: Tr(m),
- Abschreibungskosten je Tonnenmeile: Absch(m),
- Kosten für Technikleistungen am Belly-Flugzeug je Tonnenmeile: TL(m),
- Leasinggebühren für das Belly-Flugzeug je Tonnenmeile: OL(m),
- Kosten je Flugstunde eines Piloten: P(m),
- Kosten je Flugstunde der Crew: Crew(m),
- Kosten des Be- und Entladens von Flugzeugen in Abhängigkeit von der Frachtnachfrage: D(r),

wobei m dem Flugzeugtyp und r der Flugstrecke entspricht.
Darüber hinaus fallen die folgenden flugroutenabhängigen Kosten an:

- Sonstige Kosten für die Flugdurchführung (Start- und Landegebühren, Gebühren für die Inanspruchnahme von sonstigen Flughafeneinrichtungen, Flugstrecken- bzw. flughafenbezogene Steuern und Abgaben, allgemeine Versicherungen etc.): Sonst(m).

Die Streckenverkehrskosten fallen für das Flugzeug als Ganzes an, d. h., es betrifft den Passagier- und den Belly-Frachtbereich zusammen. Im Rahmen der Kostenverrechnung muss ein Verrechnungssatz festgelegt werden, welcher Anteil der Streckenverkehrskosten dem Belly-Frachttransport zugewiesen wird. Als Verrechnungssatz für Belly-Frachttransporte wird in dem Kostenmodell vereinfacht für die Inanspruchnahme der Kapazitäten des Flugzeugs für Belly-Fracht ein bestimmter Prozentsatz σ_r der Streckenverkehrskosten fixiert. σ_r wird als das Verhältnis zwischen dem geplanten Frachtladefaktor (FLF) und dem geplanten Passagierladefaktor (PLF) auf einer Flugroute r bestimmt.

(7.5-1) $\sigma_r = \frac{FLF}{PLF}$

σ_r gibt den Verrechnungssatz für die Gesamtbetriebskosten an, die die Cargo-Gesellschaft für den Belly-Frachttransport übernehmen muss.

- **Kostenmodell zur Bewertung der Transportvorgänge**

Zur Kalkulation der Kosten der Streckenverkehre werden folgende entfernungs- und zeitrelevante Daten benötigt:

<u>Entfernungs- und flugzeugtypabhängige Kostentreiber im Belly-Flugzeug pro Tonnenmeile</u>:

(7.5-2) $BK_E(m) = (Tr(m) + Absch(m) + OL(m) + TL(m))$

$BK_E(M)$ stellt die Summe aller entfernungsrelevanten Kostentreiber je Tonnenmeile dar. Tr(m), Absch(m), OL(m) und TL(m) sind Funktionen für den Treibstoff, für die Abschreibung, für die Leasinggebühren und Technikleistungen je Tonnenmeile in Abhängigkeit vom Flugzeugtyp m, da die Kosten entfernungsdeterminierend sind.

Zeit- und flugzeugtypabhängige Kostentreiber im Belly-Flugzeug pro Flugstunde:

(7.5-3) $BK_Z(m) = Crew(m) + P(m)$

$BK_Z(m)$ stellt die Summe aller zeitabhängigen Betriebskosten eines Belly-Flugzeugs für eine Stunde Flugdauer dar. Crew(m) und P(m) sind die Kosten pro Flugstunde für die Crew und der Piloten, abhängig vom Flugzeugtyp m. Die Kosten fallen zeitabhängig an. Crew und P sind Funktionen zur Ermittlung der Anzahl benötigter Crews und Piloten in Abhängigkeit von der Flugdauer.

Die Gesamtkostenfunktion K zur Bewertung der Flugstreckenverkehre r hat folgende Form und ist abhängig von m, d, r und z:

(7.5-4) $K(m,d,z,r) = D(r)\cdot T(d) + \sigma_r\cdot(E(r)\cdot BK_E(m) + Z(r)\cdot BK_z(m) + Sonst(m) + Geb(r))$

T(d) im ersten Term von (7.5-4) gibt die Kosten für das Be- und Entladen der Fracht in bzw. aus dem Flugzeug sowie die mit dem Transport von Belly-Fracht entstehenden Kosten an. Hierunter fallen die Kosten für die Benutzung von Containern und Paletten etc. sowie für die Inanspruchnahme von Geräten. T(d) gibt die Kosten je Tonne an. Mit dem Produkt $D(r)\cdot T(d)$ werden die gesamten Transportkosten von Belly-Fracht auf der Flugroute r gemäß der Frachtnachfrage D(r) berechnet. Die Verrechnung der entfernungs- und zeitabhängigen Kosten erfolgt mit dem flugroutenbezogenen Verrechnungssatz σ_r für Belly-Fracht aus den Gesamtkosten des durchzuführenden Flugs. Der Term $E(r)\cdot BK_E(m)$ berechnet die entfernungsabhängigen Betriebskosten des Flugzeugs, wobei $BK_E(m)$ die Betriebskosten je Tonnenmeile für den Flugzeugtyp m, der auf der Flugroute r zum Einsatz kommt, angibt und E(r) die Entfernung auf der Flugroute r widerspiegelt. Der Ausdruck $Z(r)\cdot BK_z(m)$ repräsentiert die zeitabhängigen Kostenanteile auf der Flugroute r, wobei $BK_z(m)$ die flugzeugtypabhängigen Kosten für eine Flugstunde darstellt und Z(r) die tatsächliche Flugdauer auf der Route r.

Sonst(r) und Geb(r) enthalten alle Kosten, die nicht entfernungs- und zeitabhängig sind, trotzdem aber generell oder auf Flugrouten anfallen. Unter Sonst(m) fallen Kosten für die Reparatur von Flugzeugen außerhalb der Wartung und für Versicherungen. Auch sonstige Gebühren, die keinen direkten Bezug zur Durchführung eines Flugs haben, aber in Abhängigkeit zum Flugzeugtyp m stehen, werden darunter subsummiert. Geb(r) fasst alle Kosten zusammen, die beim Flugdienst entstehen. Hierzu zählen primär die Start- und Landegebühren. Auftragsbearbeitungs- und Vertriebskosten für die Vermarktung sowie die logistische Abwicklung von Belly-Fracht und Passagieren auf einer Flugroute r werden im Kostenmodell nicht berücksichtigt.

Für das ab Kapitel 12 diskutierte und angepasste Modell von Kuby und Gray (1993) sollen die mit D_r bezeichneten flugstreckenbezogenen Betriebskosten je Flugstrecke r die Kostenbestandteile für die Crew-Kosten und für die Kosten der Abschreibung des Flugzeugs umfassen und die streckenverkehrsbezogenen Kostenbestandteile C_a die Kosten für Kerosin, Wartung und diejenigen, die bei der Flugdurchführung anfallen, beinhalten. Die Betriebskosten werden in den in Kapitel 14 verwendeten Algorithmen mit BK(m) und die der Flugstrecken mit K(m) bezeichnet und m die Abhängigkeit dieser Kosten vom Flugzeugtyp impliziert.

7.5.3.2 Bewertung der Transportkosten für Belly-Fracht

- **Identifikation der Teilprozesse**

Für den Transport von Belly-Fracht lassen sich die folgenden Prozesse identifizieren. Der Belly-Frachttransport besteht je Flugroute aus ein oder mehreren Vorgängen zum Be- und Entladen von Frachtgut in Abhängigkeit von den für die Flugroute konkret gebuchten Belly-Frachttransportservices. Aufgrund der Vielfältigkeit von Belly-Frachttransportangeboten kann hier eine Vielzahl von Auftragsarten für die Belly-Frachtkonfiguration entstehen. Bei diesen

Teilprozessen werden die Ressourcen „Personal“, „technische Hilfsmittel“ und „Transportbehälter“ beansprucht. Beim Personal handelt es sich primär um die am Flughafen bzw. bei der Fluggesellschaft beschäftigten Mitarbeiter, die für das Be- und Entladen von Flugzeugfracht zuständig sind. Zu den technischen Hilfsmitteln zählen vorwiegend die Geräte, mit denen die ULD in das Flugzeug eingeladen und wieder ausgeladen werden. Für deren Inanspruchnahme fallen Kosten an. Die Transportbehälter (Container bzw. Paletten) sind entweder geleast oder gekauft. Es wird angenommen, dass die Behälter wie die Flugzeuge selbst geleast sind, sodass entsprechende Leasinggebühren für deren Nutzungsüberlassung anfallen. Für die Inanspruchnahme des Unterflurbereichs in Belly-Flugzeugen entstehen keine gesonderten Kosten, sie werden über die anteilige Verrechnung dem Kostenverursacher Cargo zugerechnet. Kosten für die Zwischenlagerung von Frachtgut am Flughafen vor dem Einladen am Startort bzw. nach dem Ausladen am Zielort sowie für das Be- und Entladen der einzelnen Paketstücke in die Container bzw. auf die Paletten werden nicht berücksichtigt, da sie keine streckenbezogenen direkten Kosten darstellen.

- **Identifikation der Kostentreiber**

Die Kostentreiber des Belly-Frachttransports sind hauptsächlich die Anzahl der Transportbehälter, die im Flugzeug transportiert werden, sowie deren Eigenschaften beim Handling. Hierzu zählen insbesondere das Gewicht, die Sperrigkeit, die Eilbedürftigkeit und der Umgang mit der Werthaltigkeit der Fracht und dem damit einhergehendem Ressourcen- und Zeitverbrauch. Anhand dieser Einflussgrößen bestimmt sich, welche technischen Hilfsmittel beansprucht werden müssen und welchen Einfluss dies auf die Kosten hat. Für die Kostenverrechnung ist nicht auf das einzelne Paketstück einzugehen, sondern auf die Anzahl der Container und Paletten und das durchschnittliche Ladegewicht. In der Plankostenrechnung ist die durchschnittlich zu erwartende Konfiguration von Paletten und Containern in Abhängigkeit vom Flugzeugtyp zu berücksichtigen.

- **Ermittlung von Verrechnungssätzen**

Die Verrechnung für die Ressourceninanspruchnahme des Personals erfolgt anhand der gebrauchten Arbeitszeit sowie der hierfür anfallenden Löhne, Gehälter und Lohnnebenkosten. Für die Inanspruchnahme der technischen Hilfsmittel zum Be- und Entladen der Container und Paletten werden die Gebühren für die technischen Hilfsmittel je Zeiteinheit zugrunde gelegt. Für die Benutzung von Containern und Paletten werden die Leasinggebühren berechnet und mit der jeweiligen Anzahl multipliziert. Als Ergebnis erhält man einen gewichts- und zeitbasierten Kostensatz.

- **Kostenmodell zur Bewertung der Transportkosten**

Das folgende Kostenmodell für den Transport von Belly-Fracht basiert hinsichtlich des Gewichts des Belly-Frachtguts auf der Einheit Tonne. Die Funktion T ist abhängig vom Gewicht d des Transportguts. Der Einfachheit halber wird angenommen, dass die Kosten für die Inanspruchnahme einer Palette und eines Containers pro Tonne identisch sind.

(7.5-5) $T(d) = L(z_1(d)) + PC(d) + TH(z_2(d))$

Der zeitliche Bedarf $z_1(d)$ der Vorgänge für das Be- und Entladen einzelner Container und Paletten muss in Abhängigkeit ihres Gewichts d ermittelt werden. L entspricht den Kosten für den zeitlichen Aufwand für das Be- und Entladen von Fracht und für das Handling der Fracht. Der Aufwand ist abhängig vom Gewicht d der Fracht. Der zeitliche Bedarf $z_2(d)$ für die Nutzung von technischen Hilfsmitteln für das Be- und Entladen einzelner Container und Paletten muss in Abhängigkeit des Frachtgewichts d ermittelt werden. TH sind die Kosten für die zeitliche Nutzung von technischem Hilfsgerät für das Be- und Entladen von Fracht. Das Nutzungsentgelt ist abhängig vom Gewicht d der Fracht und vom zeitlichen Verbrauch. Die verbrauchsorientierten Aufwände lassen sich dann mit dem Kostenverrechnungssatz für Personal bzw. für die technischen Hilfsmittel gewichten. Die Paletten- und Containerkonfigu-

ration ist abhängig vom Gewicht des Transportguts. Die Kosten für die konkrete Konfiguration sind mit PC angegeben. Die Transportkosten von Belly-Frachtgut berechnen sich aus der Summe der einzelnen Kosten für die Inanspruchnahme von Personal, Containern und Paletten sowie technischen Geräten.

8 Netzintegration als Post-Merger-Aufgabe nach der Akquisition

Die erfolgreiche Umsetzung der Wettbewerbsstrategie, sprich der Erfolg einer Akquisition einer Luftverkehrsgesellschaft, setzt auf der logistischen Ebene die Integration des Übernahmenetzes hin zu einem abgestimmten Flugbetrieb zwischen dem Flugbetrieb des Netzes des Erwerbers und dem der akquirierten Fluggesellschaft voraus. Die Netzintegration stellt eine typische Post-Merger-Aufgabe der Erwerbsfluggesellschaft dar. Im M&A-Jargon wird eine Übernahmegesellschaft auch als „Target“ bezeichnet.

Auf der Netzseite geht es bei der Post-Merger-Aufgabe um die Zusammenführung von zwei von unterschiedlichen Fluggesellschaften betriebenen autonomen Netzen, die selbst in der Hub-and-Spoke-Struktur vorliegen. Diese Aufgabe ist Teil des Change Managements in der Netzlogistik.

Dieses Kapitel zeigt zunächst die Merkmale der autonomen Übernahmenetze vor und nach der Integration aus dem Blickwinkel von Belly-Fracht auf. Es werden dann die Vorteile einer Hub-Konfiguration in einem integrierten Netz dargelegt und im Weiteren die Multiplikator- und Konzentrationswirkung bei einer Multihub-Konfiguration sowie weitere Vorteile des Hub-and-Spoke-Prinzips verdeutlicht. Im Anschluss daran wird speziell die Konzentrationswirkung von Belly-Fracht beim Interkontinental-, beim Europa- und beim Inlandsverkehr vertieft. Schließlich erfolgt die Skizzierung der für Luftfracht bedingten Anforderungen an die Hub-Struktur in einem Hub-and-Spoke-Netzwerk.

8.1 Netzmerkmale vor und nach der Integration aus der Sicht von Belly-Fracht

Road-Feeder-Services

Charakteristisch für die Netze der AUA, Lufthansa und Swiss ist, dass sie geografisch zusammenhängen. Das ermöglicht auch bei einem abgestimmten Feeder-Verkehr die Zufuhr von Fracht der Road-Feeder-Services zwischen diesen Ländern. Insbesondere von Österreich und der Schweiz lassen sich so Flugzeuge auf dem Hub München auch über Bodenverkehr mit Fracht füttern. Generell gilt bei Belly-Fracht, dass auf Stopover-Flügen am Hub-Flughafen ein Umsortieren erforderlich ist, das aufwendiger und teurer ist als die Frachtzufuhr über RFS. Fracht, die beispielsweise von Innsbruck nach München zum Weiterflug von München nach Berlin gedacht ist, lässt sich von Innsbruck nach München mit dem LKW transportieren und von dort nach Berlin mit einem Flugzeug weiterbefördern. Von Innsbruck kann man mit RFS schneller und kostengünstiger die Fracht in München haben, als wenn erst die Fracht als Belly-Fracht von Innsbruck nach Wien und von dort nach München befördert wird. RFS spielt bei der Übernahme der AUA und der Swiss eine erhebliche Rolle für die Lufthansa. Bei der bevorstehenden Fusion British Airways und Iberia ist der geografische Konnex nicht der Fall, sodass diese Übernahme nur bedingt auf die Vorzüge der RFS bei der Netzintegration zurückgreifen kann.

Netzstruktur und Eigenschaften vor den Übernahmen

- Das Lufthansa-Netz ist als Nabe-Speiche-System konzipiert und hat ohne Einbeziehung der Netze der Tochtergesellschaften und Allianzen Hub-Flughäfen in München und Frankfurt und in einer ungeordneten Rolle auch in Düsseldorf. Frankfurt ist sowohl der Hub der Lufthansa-Tochter Cargo als auch der Umsteigerflughafen für die Passagiere auf den Interkontinental- und Europastrecken. München ergänzt den Umsteigerverkehr bei den Europastrecken. Auf beiden Hubs werden Passagiere und Fracht aus den Netzverbindungen eingesammelt und von dort netzweit für den interkontinentalen bzw. intra-europäischen Verkehr weiterbefördert. Aufgrund der Struktur der angebotenen Flugstrecken fungieren die Hubs primär als Sanduhr-Drehscheibe, auf dedizierten Speichen-Flügen auch als Hin-

terland-Hub. Der Hub Frankfurt ist mit den Hub-Flughäfen der Allianzpartner durch Hub-Hub-Relationen (Langstreckenflüge) in anderen Kontinenten verbunden. Das Netzwerk lässt sich als Zwei-Hub-System charakterisieren. Es gilt eine strikte Hubbing-Politik, d. h., jeder Flughafen ist an mindestens einen der Hubs durch entsprechende Flugverbindungen angeschlossen. Es gilt Single Allocation oder Multi Allocation, d. h. ein Spoke-Flughafen kann mit einem oder mehreren Hubs angeschlossen sein. Innerhalb von Europa ist im Passage-Verkehr maximal ein Zwischenstopp vorgesehen, bei Belly-Fracht ist nicht bekannt, zu wie vielen Umladungen es auf Inlands- bzw. Europaflügen kommen kann. Direktflüge zwischen den Spoke-Flughäfen sind zugelassen. Innerhalb von Deutschland ist nicht jeder Flughafen mit jedem Flughafen durch einen Direktflug verbunden.

- Das Netz der Swiss ist nach dem Hub-and-Spoke-Prinzip aufgebaut. Der Drehscheibenflughafen ist Zürich. In dem Züricher Flughafen wird der inländische Verkehr für den Weitertransport nach Europa und für Interkontinentaldestinationen gebündelt. Die Swiss selbst unterhält keine eigenen Allianzen mit anderen hub-orientierten Fluggesellschaften, ist aber in derselben Allianz wie die Lufthansa. Interkontinentale Hub-Hub-Relationen fehlen bei der Schweizer Airline. Zürich unterhält ausgewählte Interkontinentalziele, jedoch nicht in dem Umfang wie in Frankfurt. Das Netzwerk ist nach dem Ein-Hub-System aufgebaut. Es existiert keine strikte Hubbing-Politik, d. h., nicht jeder Spoke-Flughafen ist mit dem Züricher Hub verbunden. Es gilt somit nicht das Single-Allocation-Prinzip. Innerhalb von Europa und der Schweiz ist im Passage-Verkehr maximal ein Zwischenstopp zugelassen, bei Belly-Fracht gilt das Gleiche. Direktflüge zwischen den Spoke-Flughäfen sind die Ausnahme. Feeder-Verkehr im Belly-Frachtbereich kommt auch von RFS. Hier werden alle Spoke-Flughäfen und der Züricher Hub bedient. Das Einsammelgebiet ist national mit Überschneidungen in Deutschland (hier vor allem aus dem süddeutschen Raum) und Österreich. Die Swiss ist Mitglied der Star-Allianz.
- Das Netz der AUA ist analog zu dem der Swiss konzipiert, mit dem Unterschied, dass Wien der Hub-Flughafen ist. Das Netzwerk ist nach dem Ein-Hub-System konfiguriert.
- Netzüberschneidungen ergeben sich aus den bilateralen Luftverkehrsabkommen, d. h., die Lufthansa bedient Strecken von und nach Österreich bzw. von der und in die Schweiz, die Swiss bedient umgekehrt die Länder Deutschland und Österreich und die AUA hat Streckenabkommen von und nach Deutschland bzw. von der und in die Schweiz. Die AUA ist Mitglied in der Star-Allianz. Es gilt eine strikte Hubbing-Politik, d. h., jeder Flughafen ist mit dem Züricher Hub verbunden. Es gilt das Single-Allocation-Prinzip. Innerhalb von Europa und der Schweiz ist im Passage-Verkehr maximal ein Zwischenstopp zugelassen, bei Belly-Fracht gilt das Gleiche. Direktflüge zwischen den Spoke-Flughäfen sind die Ausnahme. Feeder-Verkehr im Belly-Frachtbereich kommt auch von RFS. Hier werden alle Spoke-Flughäfen und der Züricher Hub bedient. Das Einsammelgebiet ist national mit Überschneidungen in Deutschland (hier vor allem der süddeutsche Raum) und der Schweiz.
- Für alle drei Netze gilt, dass bei jedem Nichthub-Knoten Fracht von RFS aufgenommen werden kann.

Eigenschaften und Anforderungen an die Netzstruktur nach der Übernahme

Die Integration der zwei nationalen Netze in ein konsolidiertes Netz der Lufthansa kann zu folgender Netzstruktur führen. Die hier getroffenen Annahmen müssen nicht mit der tatsächlich vorkommenden Netzkonfiguration der Lufthansa, AUA bzw. Swiss übereinstimmen. Sie sind lediglich exemplarisch und im Hinblick auf die Modellierung dieses Netzwerktyps so gewählt worden. Interessant ist jedoch, dass die drei Netze ein geografisch zusammenhängendes Gebiet erschließen, was so bei Fusionen in Europa bislang nicht vorzufinden ist (KLM/Air France: hier liegt Belgien dazwischen, geplante Fusion Iberia und British Airways: hier liegen die Länder ebenfalls nicht nebeneinander).

- Die Netze der AUA und der Swiss sollen in der Nabe-Speiche-Netzstruktur mit einem Ein-Hub-System erhalten bleiben. Auf Länderebene sind die Netze disjunkt und komplementieren sich zu einem Gesamtnetz, das geografisch zusammenhängend ist.
- Das integrierte Netz ist unter logistischen und ökonomischen Kriterien auf der Ebene des

Netzbetriebs zu konsolidieren:
  - Unrentable Strecken werden gestrichen.
  - Aufgrund des bilateralen Abkommens werden Flugstrecken, die von zwei der in dem zusammengeschlossenen Netz bedienten Fluggesellschaften angeboten werden, der Nachfrage nach angepasst, sofern nicht aus anderen Gründen an den Slots festgehalten werden soll.
  - Die Flugfrequenzen und die Größe des Fluggeräts werden an die Nachfrage des Passagierverkehrs angepasst, womit für Belly-Fracht keine eigenen Netzoptionen angestrebt werden.
- Die Abstimmung des Flugbetriebs in den Belly-Flugzeugen erfolgt durch Code Sharing:
  - zentrales Eintreffen der Zubringerflüge an den Hubs für den Interkontinental- und den Europaverkehr,
  - Anpassung der Flugfrequenzen an die Nachfrage in einem integrierten Netz,
  - Anpassung des Fluggeräts an die Nachfrage in einem integrierten Netz.
- Das Flugangebot erstreckt sich auf die Geschäftsfelder der Passage und Belly-Fracht in Österreich und der Schweiz, Frachtkapazitäten in reinen Frachtmaschinen werden nicht angeboten und sind netzseitig auch nicht berücksichtigt.
- Die ehemaligen Natural-Hubs Wien und Zürich bleiben in ihrer Funktion als länderspezifischer Drehscheibenflughafen für europäische und interkontinentale Ziele erhalten. (Der Erhalt der Hubs ist Teil der Übernahmebedingungen, aber auch strategisches Kalkül der Lufthansa, die durch den Erhalt der Slots auf den Drehscheiben Marktneulinge vom Eintritt auf den Hubs abhalten und mithilfe der ehemaligen nationalen Carriers wichtige Marktanteile sichern will.)
- Belly-Fracht, für die nicht auf den Hubs Wien und Zürich, jedoch im Lufthansa-Netz in München bzw. Frankfurt Zieldestinationen angeboten werden, wird dorthin für die Weiterbeförderung transferiert und umgekehrt.
- Belly-Fracht lässt sich auch ohne Hub-Routing auf Direktflügen transportieren, sofern auf der nachgefragten Strecke ein Direktflug angeboten wird.
- Das integrierte Netz über diese drei Länder hinweg ist nach dem Hub-and-Spoke-Prinzip konstituiert, wobei länderübergreifende Direktflüge und Feeder-Dienste von einem Netz zum anderen möglich sind sowie eine Multihub- als auch Zwei-Stopp-Strategie (maximal zwei Zwischenstopps) verfolgt werden.
- Die Mehrhub-Strategie besteht wie folgt:
  - Interkontinentaler Haupt-Hub ist Frankfurt.
  - München ist Europa-Hub (Umsteigerverkehr für europäische Destinationen).
  - Wien, Zürich und Düsseldorf sind Nebenhubs mit eingeschränkter Verkehrsbündelung des Europa- und Interkontinentalverkehrs auf singulären Strecken, Wien und Zürich übernehmen darüber hinaus die Verkehrsbündelung innerhalb von Österreich bzw. der Schweiz.
- Zwischen den Nebenhubs wird nicht zwingend größeres Fluggerät eingesetzt, d. h. Skaleneffekte auf Hub-Hub-Transporten zwischen den Nebenhubs werden nicht erwartet. Die Nebenhubs erfüllen nur die Funktion, durch Umsteigerverkehr eine möglichst breite Verbindungsvielfalt zu generieren.
- Als Implikation gilt, dass die integrative Netzstruktur von den singulären Einzelnetzstrukturen abweicht:
  - Die Subnetze bündeln den inländischen Verkehr über Zubringerdienste im Heimat-Hub für inländische, europäische und interkontinentale Transporte. Im Heimat-Hub werden, soweit verfügbar, direkt die europäischen oder interkontinentalen Verbindungen aufgenommen, falls sie nicht verfügbar sind.
  - Das Routing in eines der anderen beiden Einzelnetze erfolgt durch direkte Hub-Hub-Verbindungen oder durch Direktflüge, wenn von der Zwischendestination zur Zieldestination im anderen Netz ein Direktflug angeboten wird.
- Redundante Flugstrecken sind zu entfernen bzw. bei entsprechender Nachfrage durch Einsatz eines größeren Fluggeräts zu konsolidieren
- In dem integrierten Netz darf es aber nicht zu willkürlichen Routen kommen. Es müssen

solche Routen von einem Start- zu einem Zielflughafen vermieden werden, die Umwege aus Sicht der Entfernung oder Transportzeit sind, d. h., es müssen Restriktionen eingeführt werden, welche Routenbildungen Umwege darstellen, die dann in dem integrierten Netz nicht zugelassen werden.
- Auf aufkommensstarken Strecken müssen Ausnahmen vom Single-Allocation-Prinzip zugelassen sein, wonach nicht jeder Flughafen mit einem anderen über einen Zwischenstopp auf einem Hub verbunden ist. In dem integrierten Netz gilt nicht das strikte Single-Allocation-Prinzip.
- Es sind geeignete Annahmen für die Kosten des Belly-Frachttransports und des Umladens bei einem Zwischenstopp zu treffen.
- Maximal ein Stopover im Passage- und Belly-Frachtbereich für Inlandsflüge.
- Maximal zwei Stopover im Passage- und Belly-Frachtbereich für europäische und interkontinentale Ziele.

Weitere Ziele bei der Netzintegration aus der Sicht von Belly-Fracht
- Vermarktung der Belly-Frachtkapazitäten in Österreich und der Schweiz für europäische und interkontinentale Zieldestinationen.
- Stärkere Auslastung der Kapazitäten im Belly-Frachtbereich durch das zusätzlich hinzugekommene Nachfragevolumen in Österreich und in der Schweiz, wodurch sich die Multiplikatorwirkung und die Konzentrationswirkung des Belly-Frachtverkehrs verbessern.

Ob die aufgezeigte Multihub-Strategie im integrierten Netz betriebswirtschaftliche Vorteile gewährt, soll im Weiteren näher untersucht werden. Hierzu ist aber zunächst auf die Vorteilhaftigkeit eines hub-orientierten Netzes einzugehen.

8.2 Vorteilhaftigkeit von Hub-Konfigurationen

Die Einzelnetze der AUA, Swiss und Lufthansa sind nach dem Prinzip des Hub-and-Spoke-System aufgebaut. Das integrierte Netz ist ebenso ein Nabe-Speiche-System mit mehreren Hub-Flughäfen. In diesem Abschnitt sollen die Vorteile von Hub-Konfigurationen aufgezeigt werden. Der primitivste Fall ist dabei das Ein-Hub-System.

Als Gründe für Hub-and-Spoke-Netzwerke führen die Fluggesellschaften eine bessere Auslastung ihrer Kapazitäten und die Möglichkeit, Direktflüge einzusparen, an. Trotz der Reduktion der Flugrouten soll mit einem hub-basierten Netzwerk ein dichtes Flugnetz aufgebaut werden. Beim Nabe-Speiche-System werden Passagiere und Fracht von den Spoke-Flughäfen zu einem oder mehreren zentralen Hub-Flughafen transportiert, um von dort aus auf weitere Flüge zu ihren Destinationen verteilt zu werden (vgl. Arnold et al., 2008, S. 761).

Hub-Netzwerke weisen zwei Basismerkmale auf, die auch mitunter die Gründe für die Konstituierung hub-orientierter Netzlayouts bei Fluggesellschaften darstellen:

- Multiplikatorwirkung und
- Konzentrationswirkung (Economies of Densities).

Diese beiden Vorteile werden im Folgenden näher herauskristallisiert.

Multiplikator- und Konzentrationswirkung im Ein-Hub-Fall
Es soll die Multiplikator- und Konzentrationswirkung für den Fall aufgezeigt werden, dass das Hub-and-Spoke-Netzwerk zunächst nur aus einem Hub besteht. Anhand der nachfolgenden Abbildung sollen die verschiedenen Paarungen von Städteverbindungen transparent gemacht und dann erläutert werden:

Abbildung 35: Direktflugnetz versus Hub-and-Spoke-Netz
(Quelle: Weber, 2008, S. 22)

Allgemein können mit n Verbindungen zum Hub-Flughafen n(n+1) Flughafenpaare in dem Netz verbunden werden. Möchte eine Fluggesellschaft etwa, wie in der Abbildung oben links dargestellt, 4 Städtepaare miteinander verbinden, benötigt sie 4 Flugzeuge und kann inklusive der Rückflüge 8 Flugrelationen darstellen. Soll hingegen, wie in der Abbildung oben in Mitte zu sehen, jede Stadt mit jeder anderen Stadt verbunden werden, d. h. sollen 16 Städtepaarverbindungen entstehen, benötigt man schon 16 Flugzeuge und betreibt inklusive der Rückflüge 32 Flugrelationen. Durch Einführung eines Hubs gemäß der rechten Zeichnung in der obigen Abbildung lassen sich anhand von 8 Verbindungen 36 Städtepaare kombinieren, womit 72 Hin- und Rückflüge durchgeführt werden können. Jede der Städte A bis D wird über einen Zwischenstopp im Hub mit jeder der Städte E bis H verbunden. Ist der Hub-Flughafen selbst einer Stadt zugeordnet, von wo aus Luftfracht nachgefragt wird, entstehen weitere 16 Relationen (Hin- und Rückflüge), also insgesamt 88 Flugrelationen. Eine Relation von einem Flughafen zum Hub wird als Speiche (engl.: Spoke) oder Speichen-Flug bezeichnet.

Die Konfiguration eines Netzwerks für den Passagier- und Belly-Frachttransport mit hub-orientierten Layouts weist gegenüber dem Netzwerk mit Direktverbindungen verschiedene betriebswirtschaftliche Vorteile auf, die in diesem Kapitel näher behandelt werden. Ein Aspekt, der sich anhand der obigen Abbildung sehr gut verdeutlichen lässt, ist der so genannte Trade-off zwischen der Investition für Flugzeuge in Fluggerät einerseits und dem Grad der Nutzung des Fluggeräts andererseits in Abhängigkeit von dem gewählten Netzwerk des Lufttransportsystems (vgl. Vahrenkamp und Mattfeld, 2007, S. 199). Vahrenkamp und Mattfeld zeigen anhand einer modelltheoretischen Analyse, wo das Netzwerk mit der Direktflugvariante dem Netzwerk mit einer Ein-Hub-Konfiguration gegenübergestellt und der Trade-off ermittelt wird. Hierzu werden exemplarisch 16 Knoten in dem Netzwerk kreisförmig um einen zentralen Hub-Flughafen mit einem Abstand von 1000 km gleichmäßig angeordnet. Für das Aufkommen an Transportsendungen vom Knoten i zum Knoten j werden vereinfachend 30 Tonnen und als Transportgerät Flugzeuge mit einer Transportkapazität von 20 Tonnen impliziert. Aufgrund dieser Konfiguration ergeben sich folgende Größen für die Direktflugvarianten versus Ein-Hub-Variante.

Analysierter Parameter	Direktflugvariante	Ein-Hub-Variante
Anzahl benötigte Flugzeuge	480	368
Flugleistung insgesamt in tkm	20*361.920	20*720.000
Flugleistung pro Flugzeug in tkm	15.080	39.130

Tabelle 13: Leistungsvergleich zwischen der Direktflug- und der Ein-Hub-Variante
(Quelle: Vahrenkamp und Mattfeld, 2007, S. 199)

Anhand dieser Ergebnisse lässt sich manifestieren, dass bei hub-orientierten Netzwerkkonfigurationen weniger Flugzeuge benötigt werden, in diesem Fall 23 Prozent weniger, mit der geringeren Flugzeuganzahl jedoch eine höhere Flugleistung in Tonnenkilometer erzielt werden kann, sich also die Flugzeuge intensiver nutzten lassen, im vorliegenden Fall um den Faktor 8/3. Das heißt, der Trade-off zwischen investiertem Kapital und Nutzungsintensität lässt sich wie folgt veranschaulichen.

Nutzung der Flugzeuge	hoch	Ein-Hub-Variante	
	niedrig		Netzwerk-Layout
		niedrig	hoch
	Investition in Flugzeuge		

Tabelle 14: Trade-off zwischen der Direktflugvariante und der Ein-Hub-Variante
(Quelle: Vahrenkamp und Mattfeld, 2007, S. 200)

Verdeutlichung des Multiplikator- und Konzentrationseffekts

Anhand dieser Ergebnisse lassen sich der so genannte Multiplikator- und Konzentrationseffekt in Hub-and-Spoke-Netzwerken erklären, welche zwei essenzielle betriebswirtschaftliche Vorteile von hub-orientierten Netzwerkkonfigurationen darstellen. Mit n Flugverbindungen zum Hub können n(n+1)/2 Städtepaare verbunden bzw. n(n+1) Flüge (Hin- und Rückflüge) kombiniert werden. Durch die Einführung eines Hubs in einem Netzwerk lässt sich eine essenziell größere Zahl an Flugrelationen als im Direktverkehr anbieten, ohne dass dabei die Anzahl der benötigten Flugzeuge steigt. Diese Eigenschaft wird als Multiplikatorwirkung von hub-orientierten Systemen bezeichnet. Der zweite Effekt ist die Konzentration der Verkehre in einem Nabe-Speiche-System. Bei einem Direktflug von einem Start- zu einem Zielflughafen kann nur die Fracht für diese Relation befördert werden. Wird hingegen in einem Hub ein Zwischenstopp eingelegt, lässt sich auf dem Startflughafen auch Fracht an Bord nehmen, für die vom Hub-Flughafen mehrere Zieldestinationen zur Verfügung stehen. Es kommt hier zur Konzentration der Verkehre. Dieser Effekt wird auch als Economies of Densities bezeichnet (vgl. Vahrenkamp und Mattfeld, 2007, S. 197). Bei größeren Netzen greifen der Multiplikator- und Konzentrationseffekt noch stärker. Nimmt man beispielsweise 20 Flughäfen, die mit einem Hub verbunden sind, dann werden lediglich 19 Verbindungen über den Hub-Flughafen benötigt, um alle Flughäfen durch einen Zwischenstopp am Drehscheibenflughafen miteinander zu verbinden. Im Direktflugnetz werden dagegen dafür bereits 380 Flüge gebraucht.

Zeitliche Abstimmung

Die zeitliche Abstimmung der Zubringerflüge gilt als Voraussetzung für die Multiplikator- und Konzentrationswirkung. Um ein Hub-and-Spoke-Netzwerk gemäß dem Hub-Netzwerk in der Abbildung 35 mit einem Hub zu konfigurieren, muss es in diesem möglich sein, dass die Flugzeuge aus den Städten A bis D relativ zeitgleich eintreffen, damit die Flugzeuge vom Hub zu den Destinationen E bis H gestaffelt abfliegen können. Fliegen beispielsweise die Flugzeuge der Flughäfen A bis D so ab, dass sie um 8:00 Uhr im Hub eintreffen und rechnet man für die Umladung am Hub mit einer Stunde, dann können die Flugzeuge gegen 9:00 Uhr wieder gestaffelt zu den Ausgangsflughäfen A bis D zurückfliegen. In weiteren Tageszyklen lassen sich die aufgezeigten Flugrelationen wieder anfliegen. Nimmt man drei Zyklen an, ergeben sich für einen Tag 264 mögliche Flugrelationen. Diese Zyklen werden in der Terminologie der Luftfahrt als Knoten bezeichnet. Die Lufthansa hat am Drehscheiben-Flughafen München etwa 8 Knoten im innerdeutschen und europäischen Verkehr (vgl. Maurer, 2003). Auf dem Hub-Flughafen Wien dagegen gibt es nur 4 Knoten (vgl. Stanovsky, 2003, S. 357). Das bedeutet, dass bei der Abstimmung des Flugbetriebs zwischen der Luf-

thansa und der AUA unterschiedlich getaktete Knoten zu berücksichtigen sind.

Hub-Hub-Konzentrationen auf Interkontinentalstrecken
Der Konzentrationseffekt wird vor allem bei interkontinentalen Fernrelationen deutlich, die zwischen zwei Hubs, etwa Frankfurt und Hongkong, bestehen. Wie bereits aufgezeigt, wird bei solchen Fernrelationen Fracht im Quellgebiet eingesammelt, zum Ausgangshub gebracht und dort in einem Großfluggerät gebündelt. Dieses fliegt zum Zielhub-Flughafen, wo die Fracht ausgeladen wird, und im Zielgebiet erfolgt die Distribution (vgl. Vahrenkamp und Mattfeld, 2007, S. 196).

Die folgende Abbildung 36 veranschaulicht die Zu- und Abbringerstruktur auf Fernrelationen. Das Beispiel enthält die Fernrelation vom Hub-Flughafen Frankfurt am Main zum Hub-Flughafen Hongkong in Asien. Die Flugstrecke ist eine der am häufigsten geflogenen Passagierstrecken zwischen Europa und Asien. Im Beispiel ist als Flugtag der 4. Oktober gewählt worden. Es wurden insgesamt 244 Passagiere aus 50 Orten (so genannte Inbounds) durch entsprechende Zubringerflüge in Frankfurt eingeflogen. Anhand der Flughafenkürzel in der Abbildung wird ersichtlich, von welchen Ausgangsdestinationen die Passagiere stammen. Bei den Abbringern zeigt sich, dass 44 Passagiere zu weiteren acht Orten (so genannte Outbounds) von Hongkong aus weiterbefördert werden. Die rechte Tabelle im Schaubild zeigt, dass hierfür mehrere Fluggesellschaften vorgesehen und die eigentlichen Zielflughäfen in Asien weit verbreitet sind. Insgesamt werden 459 Märkte auf der Strecke Frankfurt–Hongkong bedient. Zählt man Frankfurt und Hongkong als eigenen Inbound- und Outbound-Flughafen dazu, dann werden auf der aufgezeigten Langstreckenverbindung insgesamt 51 Inbound- und neun Outbound-Destinationen zu 459 Märkten miteinander verbunden. Auch wenn in dieser Abbildung der Passagiertransport aufgezeigt wird, gilt für Belly-Fracht analog das Gleiche. Das hier eingesetzte Flugzeug verfügt im Unterflurbereich entsprechend dem eingesetzten Flugzeugtyp über Belly-Frachtkapazitäten, die sich über die dargestellten und weiteren Inbound-Zubringerflüge vermarkten lassen.

Abbildung 36: LH-Interkontinentalverkehr mit den Hubs Frankfurt und Hongkong
(Quelle: Vahrenkamp und Mattfeld, 2007, S. 196 bzw. Mayrhuber, 2002)

Relevanz von Übernahmen von Fluggesellschaften für den Konzentrationseffekt
Die nachfolgende Abbildung verdeutlicht die Relevanz von Übernahmen von Fluggesellschaften in Europa, da dadurch die Konzentrationswirkung durch die Markterweiterung und das damit einhergehende Potenzial von zusätzlichem Passagier- und Frachtaufkommen für interkontinentale Destinationen zunehmen.

Abbildung 37: Inbound-Zubringernetze für den Interkontinentalverkehr
(Quelle: eigene Darstellung)

8.3 Multiplikator- und Konzentrationswirkung bei Multi-Hubs und Subnetzen

Es gibt die Möglichkeit, ein zu integrierendes Netz mit einer Multihub- und Zwischenstopp- bzw. Feeder-Strategie aufzubauen, bei dem die autonomen Netze in ihrer Struktur erhalten bleiben. Die autonomen Netze stellen in dem integrierten Netz Subnetze dar und weisen eigene Hub-Flughäfen auf. Die Subnetze der AUA und der Swiss dienen als Inbound-Zubringerdienste für die Interkontinentalverkehre der Lufthansa in Frankfurt und entfalten in dieser Funktion die aufgezeigte Multiplikator- und Konzentrationswirkung. Die nachfolgende Abbildung veranschaulicht diese Zusammenhänge. Die drei umrahmten Bereiche verbildlichen die drei Netze der AUA (rechts unten), der Swiss (links unten) und der Lufthansa (oben) und es sind mögliche Übergänge von einem Netz zum anderen über Hub-Hub-Verbindungen (F-Z), (F-W), (M-Z) und (W-Z)[61] eingezeichnet. Ob die Netzübergänge über Hub-Hub- oder auch über Direktverbindungen erfolgen, soll hier zunächst nicht beachtet werden. Die Integration der Netze besteht in der losen Kopplung der autonomen Netze auf der Ebene der Flugverbindungen, die durch Code Sharing aufeinander abgestimmt werden. Die Multiplikator- und Konzentrationseffekte für das integrierte Netz entsprechen analog denen, die oben für den Ein-Hub-Fall aufgezeigt worden sind. Aufgrund dieser Struktur entsteht ein Multihub-System, wobei jedes Netz selbst die Eigenschaften der Multiplikator- und Konzentrationswirkung in den heimischen Hubs aufweist, jedoch nur, wenn in dem jeweiligen Netz entsprechende Europa- bzw. Interkontinentalflüge angeboten werden. Bei den heimischen Streckendiensten der Airlines sind diese Effekte kaum vorhanden, sodass sich mit der Übernahme dieser Airlines diese Wirkungen in dem integrierten Netz erst richtig entfalten können. Über zwei Zwischenstopps, d. h. drei Flugstrecken, kann jeder Flughafen mit jedem in dem integrierten Netz verbunden werden.

[61] F = Frankfurt, M = München, W = Wien, Z = Zürich.

Multiplikator- und Konzentrationswirkung bei einer Multihub-Strategie

Abbildung 38: Multiplikator- und Konzentrationswirkung bei einer Multihub-Strategie
(Quelle: eigene Darstellung)

Vorteilhaftigkeit der Umverteilung in Subnetzen

In Hub-and-Spoke-Systemen, die in der Praxis vorkommen, sind Mehrhub-Systeme feststellbar, wie dies am Beispiel des Lufthansa-Konzerns zu konstatieren ist. Die Systeme sind dabei so konfiguriert, dass ein oder mehrere Hub-Flughäfen sowohl für den Transferverkehr im Passagier- als auch im Frachtbereich zuständig sind, während andere Hub-Airports in dem Netzwerk nur den Passagierbereich und Belly-Fracht für bestimmte Speichen-Flüge bündeln sollen. Von diesen Drehscheiben-Flughäfen wiederum wird die Belly-Fracht auf den für Passage und Fracht bestimmten Hubs gebündelt, wenn für das Frachtgut ein anderer Kontinent als Zielflughafen bestimmt ist. Weiterhin übernehmen diese auch als Subhub-Flughäfen (oder Nebenhub-Flughäfen) bezeichneten Drehscheibenflughäfen die Verteilung der Belly-Fracht innerhalb der sich so ergebenden Subnetze.

In der Literatur wird darüber diskutiert, ob sich die Gesamtkosten für die Transportkette senken lassen, wenn die Fracht-Umverteilung auf den Nebenhubs im Subnetz geschieht. Es liegen hierzu jedoch keine empirischen Ergebnisse vor, da diese Netzkonfigurationen erst in jüngster Zeit etabliert wurden. Ungeachtet dessen kann diesem Kritikpunkt entgegengehalten werden, dass die Vorverlagerung der Umverteilung im Subnetz höhere Transportlaufzeiten und weitere Umschlagkosten bedingen würde. Positiv würde sich hingegen auswirken, dass sich Nachfragespitzen auf dem zentralen Hub-Flughafen kompensieren ließen, da der Umschlag dort durch die vorgezogene Sortierung im Subnetz schneller vonstattengehen kann. Es wäre in diesem Kontext denkbar, für ausschließlich intra-europäische Luftfracht-Transporte den zentralen Hub, der für den Interkontinentalverkehr bestimmt ist, zu meiden und diesen dadurch zu entlasten, indem für Europa determiniertes Transportgut über die Subhubs gebündelt und verteilt werden würde. Diese Strategie geht jedoch nur auf, wenn die ausgewählten Subhubs entsprechend viele Verbindungen zu europäischen Destinationen aufweisen. Die Netzwerkkonfiguration ist dann so auszugestalten, dass neben dem Zentralhub weitere Hub-Flughäfen konstituiert werden, was bei dem Lufthansa-Konzern der Fall ist.

Für Belly-Fracht sind der Multiplikatoreffekt und die Economies of Scope bei dieser Hub-Konfiguration für den Europaverkehr besonders ausgeprägt, wohingegen die Economies of

Scale keine Bedeutung haben. Hub-Hub-Verbindungen dienen primär dazu, Verbindungen zwischen zwei Subnetzen herzustellen, sie rechtfertigen keine Hub-Prämie. An der Hub- und Routendominanz lässt sich strategisch festhalten, indem die mit der Übernahme der Netze anfallenden Slots erhalten bleiben, womit Wettbewerbsvorteile durch Markteintrittsbarrieren geschaffen werden (vgl. hierzu die Ausführungen in Abschnitt 5.2.1).

Ihde und Kloster (2001) sowie Nagl (2008, S. 41) zeigen auf, dass sich die Beurteilung von Economies of Scale bei Verkehrsleistungen in Netzwerken als problematisch darstellt, da man sich nicht schlüssig ist, wie mit der Veränderung der Netzwerkgröße im Kontext von Economies of Scale umzugehen ist. Demnach wird impliziert, dass auch die Vergrößerung der Netzwerke als Folge einer Post-Merger-Integration keine Economies of Scale hervorruft.

8.4 Vor- und Nachteile von Subnetzen

Subnetze, die in ein übergeordnetes Netz integriert werden und selbst nach dem Hub-and-Spoke-System aufgestellt sind, weisen die folgenden Vor- und Nachteile auf:

Das Hub-and-Spoke-System bietet der Erwerber-Fluggesellschaft folgende nicht erschöpfende Vorteile, auf die im Weiteren nicht detailliert eingegangen wird:

- Synergie-Effekte im Bereich der Flugzeug-Wartung und Flugabwicklung durch einen abgestimmten Flugbetrieb (Code Sharing Flüge),
- zusätzliches Passagier- und Frachtaufkommen aus dem Subnetz zur Vermarktung im abgestimmten Flugbetrieb,
- höhere Frachtladefaktoren auf den Langstrecken- und Europaflügen,
- häufigere Flugfrequenzen und damit ein attraktiveres Angebot,
- Angebotserweiterung durch Anschlussflüge aus dem Subnetz in das integrierte Netz,
- vor Wettbewerbern gesicherte Marktposition durch den Besitz attraktiver Slots auf dem Hub-Flughafen des Subnetzes (Protektion von Markteintritt durch Wettbewerber-Fluggesellschaften).

Als Nachteile lassen sich insbesondere festhalten:

- erhöhte Störanfälligkeit bei Verspätungen, insbesondere bei Zubringerdiensten für den Interkontinentalverkehr und den Europaverkehr; aufgrund der in den Flug- bzw. Transportbedingungen ausgesprochenen Anschlussgarantien wirken sich Verspätungen netzweit aus,
- längere Transportzeiten aufgrund der Zwischenlandungen und des Umladens im Hub des Subnetzes,
- Erforderlichkeit der Bündelung des Passagier- und Frachtaufkommens und damit Kapazitätsengpässe insbesondere bei Verkehrsspitzen (z. B. an den Tagesrandzeiten),
- höhere Flugkosten wegen der durch die Zwischenstopps bedingten Starts und Landungen und der damit verbundenen Start- und Landegebühren und der Gebühren für die zusätzliche Nutzung der Flughafeneinrichtungen am Zwischenstopp-Flughafen sowie der eigentlichen Umladegebühren.

8.5 Weitere Vorteile des Hub-and-Spoke-Prinzips

Neben dem verdeutlichten Multiplikator- und Konzentrationseffekt lassen sich weitere betriebswirtschaftliche Vorteile für die Konfiguration eines Flugnetzes nach dem Hub-and-Spoke-Prinzip ausmachen. Von essenzieller Bedeutung sind diesbezüglich Größenvorteile, Kostenvorteile und ein verbesserter Marktzugang, die die größten Potenziale für Synergie-Effekte und eine Implikation der Multiplikator- und Konzentrationswirkung darstellen, zu nennen (vgl. Maurer, 2002, S. 60 f.). Größenvorteil ist eine Grundlage für die Produktionstheorie. Es geht dabei um Kostenvorteile, die aus den Produktionskapazitäten und/oder der Größe des Unternehmens resultieren. Demnach weist ein Unternehmen Größenvorteile auf, umso

größer es selbst bzw. sein Produktionsoutput ist. Der Vorteil besteht darin, dass mit zunehmendem Output der Fixkostenanteil je produzierter Einheit zurückgeht (vgl. Gabler, 2005, S. 12). Größenvorteile werden im Englischen auch als Economies of Scale bezeichnet. Weitere identische Begriffe sind Größenkostenersparnisse, Skaleneffekte und zunehmende Skalenerträge (vgl. Pindyck und Rubinfeld, 2003, S. 324 ff., 330, 343)[62]. Für den Luftfrachtverkehr ergeben sich Skaleneffekte aus einer Stückkostendegression durch höhere Produktionsmengen bei gleich bleibenden Faktorpreisen. Diese werden realisiert durch den Einsatz größerer Fluggeräte mit geringeren Kosten (vgl. Pompl, 2002, S. 146). Vor allem auf den Fernrelationen sind Economies of Scale spürbar anwesend. Jäggi (2000, S. 119) argumentiert jedoch, dass es bei Fluggesellschaften vorteilhaft wäre, dass Größenvorteile nicht nach dem absoluten Output, sprich „wie viel Fracht kann transportiert werden", richten, sondern nach den Netzeigenschaften bestimmt werden sollen. So erwähnt der Autor neben den Economies of Scale die nachfolgenden Größenvorteile, die seiner Meinung nach für die Optimierung eines Netzwerkes von Bedeutung sind.

- *Economies of Size:* Größenvorteil aus Faktorpreiseffekten wie z. B. Mengenrabatte (vgl. Weimann 1998, S. 82, Pompl, 2002, S. 146).

- *Economies of Density:* Stückkostendegression durch höhere Auslastung der Flugzeuge auf den Speichen- und Fernrelationen. Dabei lässt sich ein höherer Frachtladefaktor auf den Flugzeugen beim Luftfrachttransport realisieren. Es handelt sich dabei um eine netzwerkneutrale Produktionsausweitung, d. h. einen Produktionsvorteil, der sich aus einer höheren Auslastung einer unveränderten Anzahl der angeflogenen Destinationen ergibt. Durch das Sternnetz reduziert sich die Zahl der Relationen im Vergleich zu den Direktflügen (vgl. Jäggi, 2000, S. 120).

- *Economies of Scope:* Stückkostendegression durch Verbund und Zusammenführung von Flügen, die dadurch entstehen, wenn zwei oder mehrere Luftverkehrsleistungen gegenüber einer getrennten Produktion geringere Kosten erzeugen, was z. B. bei strategischen Allianzen im Hub-and-Spoke-System der Fall ist (vgl. Weimann, 1998, S. 90 ff.) oder bei Übernahmen von Fluggesellschaften, was in dieser Arbeit behandelt wird.

Bei den Größenvorteilen ist auch auf den Fixkostendegressionseffekt hinzuweisen, wonach vorhandene Fixkosten auf eine größere Anzahl von Leistungsträgern verteilt werden (vgl. Ihde und Klosters, 2001, S. 29). Der Betriebsgrößeneffekt stellt einen weiteren Größenvorteil dar. Darunter versteht man, dass durch die Bündelung der Frachtströme weniger Betriebsmitteleinheiten eingesetzt werden müssen. Diese veranschlagen zwar höhere Fixkosten, jedoch fallen die variablen Kosten je Transporteinheit niedriger aus (vgl. Bailey et al., 1985, S. 48 ff.).

Mayer (2001) nennt neben den aufgezeigten Größenvorteilen noch die Hub- und Routendominanz von Netzwerkfluggesellschaften bei Hub-and-Spoke-Netzen. Gemeint ist damit, dass die Netzwerkfluggesellschaft Wettbewerbsvorteile durch Markteintrittsbarrieren aufbauen kann (vgl. Ausführungen in Kapitel 5). Die Dominanz kommt vor allem bei den ehemaligen nationalen Carriern zum Ausdruck, die aufgrund von Nationalvorbehalten eine Reihe von Sonderrechten auf den Hubs innehaben und eine hohe Anzahl an Slots auf den Hubs zu attraktiven Tageszeiten besitzen. Weiterhin erwähnt die Autorin die so genannte Hub-Prämie, womit die Durchsetzung von höheren Preisen auf dem Hub-Flughafen gemeint ist, weil aufgrund der Vielzahl an Verbindungen die Attraktivität für den Frachttransport über den Hub zunimmt (vgl. Vahrenkamp und Mattfeld, 2007, S. 197). Ein Hub-and-Spoke-System weist zudem den Vorteil auf, dass die Fracht mit ein und demselben Carrier transportiert werden kann, womit sich die Beförderung vom Start- und zum Zielflughafen zeitlich optimieren lässt, was bei einem Wechsel der Fluggesellschaft nicht möglich wäre. Meyer (2001) bezeichnet diesen Vorteil als Online-Verbindung. Schließlich ist die Möglichkeit, mit einem Nabe-

[62] Vergleiche auch die Ausführungen in Kapitel 5 und 9.

Speiche-System ein Flugnetz mit höheren Flugfrequenzen zu erschließen, ergänzend zu erwähnen. Damit kann eine Fluggesellschaft Kundenpotenzial aufbauen und die Kunden lassen sich binden, da eine große Anzahl an Verbindungsmöglichkeiten aus Marketingsicht ein sehr wichtiges Kundenbindungsinstrument darstellt, infolgedessen den inter- und intramodalen Wettbewerbern Kunden abgezogen werden.

Die von Jäggi (2000) angesprochenen Economies of Scale als Größenvorteile werden in der Literatur zum Luftfrachtsektor kontrovers diskutiert. Es ist deshalb fraglich, ob Economies of Scale als Grundlage zur Netzwerkoptimierung geeignet sind. Nagl (2008) untersucht folgenden Sachverhalt. Empirisch wird in der Forschung beobachtet, dass trotz der mit Betriebskosten (Kerosin, Flugpersonal etc.)[63] von Flugzeugen eindeutig einhergehenden Economies of Scale immer häufiger kleinere Fluggeräte zum Einsatz kommen. Dies soll vor allem auf Strecken mit hoher Nachfrage der Fall sein (vgl. Hansen, 2003, 2004, Givoni und Rietveld, 2006, Swan und Adler, 2006). In dem Papier von Nagl werden Gründe für diese Entwicklung aufgezeigt, die nachfolgend wiedergegeben werden (vgl. Nagl, 2008, S. 90 f.). Für die Netzkonfiguration ist ein Wettbewerbsverhalten der Netzwerkfluggesellschaften im Zusammenhang mit Flugfrequenzen von erheblicher Bedeutung, was nachfolgend skizziert wird (vgl. Hansen et al., 2001). Wie bereits in Kapitel 5.3 erläutert wurde, stellen Flugfrequenzen insbesondere für Netzwerkfluggesellschaften eines der Instrumente zum Bestreiten des Wettbewerbs dar. In Abschnitt 5.2.2 wurde dargelegt, dass die Netzwerk-Carrier Slots horten und bestimmte Flugstrecken mit Fluggerätgrößen bestreiten, die nicht ökonomisch sind. Nagl (2008, S. 89 f.) zeigt hierfür einen Grund auf. Demnach kann eine große Anzahl an Flugfrequenzen für eine Flugstrecke zu einem gesteigerten Nachfrageverhalten führen, wodurch die Fluggesellschaft gegenüber anderen Carriers aus Sicht der Nachfrager attraktiver wird. Dieser Sachverhalt wird von Nagl als Skalenkurveneffekt interpretiert. Der Effekt wirkt sich stark auf das Wettbewerbsverhalten der Netzwerkgesellschaften aus.

Manche Netzwerkfluggesellschaften machen sich das für die Airline positive Verhalten auf der Nachfrageseite zunutze, indem sie bewusst auf bestimmten Flügen kleinere und weniger ausgelastete Flüge in ihre Flugpläne aufnehmen, die unter einer gesamtkostenminimalen Betrachtung unökonomisch sind (vgl. Mohring, 1976). Man kann dieses Verhalten auch als Slot-Okkupation ansehen (vgl. hierzu die Ausführungen in Abschnitt 5.2.2.3). Diese Slot-Hortung scheint ein geeignetes Mittel zu sein, um Mitbewerber vom Marktzutritt abzuhalten, da diese keine ausreichenden Frequenzen zur Unterhaltung eins Netzwerks mehr aufbauen können. Weiterhin argumentiert Nagl (2008, S. 91), dass ein nach dem Hub-and-Spoke-Prinzip konstituiertes Netzwerk aus den besagten Wettbewerbsgründen sowie zur Verstärkung des Feeder-Verkehrs zur Erhöhung der Frequenzen auf dedizierten Strecken in dem Netzwerk führt (vgl. Brueckner und Zhang, 2001). Dadurch kommt es zum Einsatz von kleineren Flugzeugen. Vorteilhaft daran ist, dass kleinere Flugzeuge als weniger verspätungsanfällig gelten (vgl. Givoni und Rietveld, 2006).

Da die aufgezeigten Annahmen primär im Passagierbereich und für Belly-Flugzeuge gelten, wirken sie sich implizit auf die Belly-Fracht als Beiprodukt des Passagier-Luftfahrtprodukts aus. In großen Hub-and-Spoke-Netzwerken mit starkem Feeder-Frachtaufkommen werden auf Spoke-Flügen kleine Fluggeräte eingesetzt und dafür die Frequenzen erhöht. So kommt es vor, dass bestimmte Flugstrecken täglich mehrfach geflogen werden. Beispielsweise wird die Strecke Berlin–München von der Lufthansa jeweils 13 Mal täglich hin und zurück angeboten.[64] Es kommen hier Flugzeuge zum Einsatz, die auf den meisten Frequenzen sehr gut ausgelastet sind. Dieser Flugdienst ließe sich auch mit weniger Frequenzen und größeren Flugzeugen erbringen. Tatsächlich zeigt sich, dass an den Tagesrandzeiten, an denen das Verkehrsaufkommen für Anschlussflüge in München besonders hoch ausfällt, größeres Fluggerät eingesetzt wird (A321). Mit weniger Frequenzen hätte jedoch der Passagier das Gefühl, er könne nicht flexibel genug fliegen. Bei Belly-Fracht hat eine hohe Flugverbindungsrate ebenfalls den Vorteil, dass auf vielen Strecken täglich mehrfach Flugverbindungen

[63] Vgl. Antoniou, 1991, S. 171 f.
[64] Stand: Winterflugplan 2009/2010 der Lufthansa.

für Zubringerdienste zur Verfügung stehen. Bei Belly-Frachtkapazitäten, die im Inland oder auf dem Heimatkontinent vermarktet werden, ergeben sich so viele Optionen des Transports von einem Start- nach einem Zielflughafen. Im Gegensatz zum Interkontinentalverkehr, bei dem für eine dedizierte Destination meist nur ein Flug pro Tag angeboten wird und die Feeder-Flüge alle rechtzeitig am Hub eintreffen müssen, ist bei Belly-Fracht, die zu einer inländischen oder europäischen Zieldestination transportiert wird, nur entscheidend, dass im Umlauf genügend Flüge für mögliche Routen bis zum Ziel zur Verfügung stehen. Für Fracht sind Wartezeiten, Umwege sowie mehrfaches Ein-/Ausladen nicht sensitiv. Es geht nur darum, möglichst viele Verbindungsflüge in dem Netzwerk herzustellen. Für zeitkritische Beförderungen gilt die Restriktion, dass die Routen so gebildet werden müssen, dass das Frachtgut trotz Gabelflüge zum vereinbarten Zeitpunkt am Zielflughafen eintrifft. Bei inländischen bzw. europäischen Flugrouten kann die Fracht regelmäßig am Tag des Starts auch am Zielort eintreffen.

Bei der Übernahme von Fluggesellschaften verstärkt sich der Effekt des Einsatzes von kleinem Fluggerät in einem integrierten Gesamtnetz, d. h., die Anzahl der Flüge unter Einsatz kleiner Flugzeuge nimmt zu. Als Fazit lässt sich festhalten, dass der betriebswirtschaftliche Vorteil der Economies of Scale auf der Ebene des Flugbetriebs kein Merkmal für die Netzwerkoptimierung darstellt. Darüber hinaus ist in vielen empirischen Studien nachgewiesen worden, dass Kostenvorteile durch Economies of Scale und Lernkurveneffekte im Luftverkehr allenfalls von nachgeordneter Bedeutung sind (Weimann, 1998, S. 283). Auf diese Diskussion wird in dieser Arbeit nicht weiter eingegangen.

Letztlich bestimmt das Geschäftsmodell der Luftverkehrsgesellschaften und in der Folge das konfigurierte Hub-and-Spoke-Netzwerk die Wahl der eingesetzten Flugzeuge (vgl. Nagl, 2008, S. 121).

Zusammenfassend bleibt festzuhalten, dass sich bei Übernahmen durch die Integration des autonomen Hub-and-Spoke-Netzes der akquirierten Fluggesellschaft im Gesamtnetz die Multiplikator- und Konzentrationswirkung verstärkt und in einem integrierten Netzwerk die Größenvorteile der Economies of Size, der Economies of Density und der Economies of Scope einstellen. Übernahmebedingte Economies of Scale sind dagegen nicht feststellbar.

Nachfolgend werden die verschiedenen Konzentrationswirkungen von Belly-Fracht beim Interkontinentalverkehr sowie bei den intra-kontinentalen und inländischen Verkehren in einem integrierten Hub-and-Spoke-Netzwerk erörtert.

8.6 Die Konzentrationswirkung von Belly-Fracht beim Interkontinentalverkehr

Kombinierte Netzwerkfluggesellschaften unterhalten in ihrem Netzwerk mindestens einen Drehscheibenflughafen, auf dem die Bündelung der Luftfrachtsendungen, die für den Interkontinentalverkehr bestimmt sind, erfolgt. Von diesem Ausgangs-Hub wird das Sendungsgut zum Hub des Zielkontinents durch einen Langstreckenflug befördert. Im Ziel-Hub wird die gebündelte Fracht auf die Anschlussflüge zu den Spoke-Flughäfen verteilt, die den endgültigen Zielorten entsprechen.

Diese Hub-Hub-Strukturen im Interkontinentalverkehr sind für eine Netzwerkgesellschaft von erheblicher Bedeutung, da durch den Einsatz von großem Fluggerät auf den Hub-Hub-Verbindungen Größenvorteile erzielbar sind, die der Fluggesellschaft niedrigere Kosten und somit höhere Erträge bescheren. Das ist aber nur möglich, wenn sich für die Interkontinentalflugzeuge ein möglichst hoher Frachtladefaktor erzielen lässt. Für eine hohe Frachtauslastung ist es wichtig, möglichst viele Feeder-Dienste zum Frachthub zu erhalten, damit aus einem möglichst großen Nachfragegebiet Fracht für die interkontinentalen Zieldestinationen eingesammelt werden kann. Die Netzwerkdichte stellt einen kritischen Erfolgsfaktor für hohe Frachtladefaktoren dar. Dabei scheint der Interkontinentalhub zum Kapazitätsengpass zu werden, da dieser nur eine begrenzte Anzahl an Slots verkraftet und die große Anzahl an

Zubringerflügen, die erforderlich ist, um die großen Fluggeräte für die Langstreckenverbindungen mit Fracht zu füttern, zu einer Verknappung der Slots auf dem Interkontinental-Hub führt. Mit der Forderung einer hohen Verkehrsbündelung auf dem Hub werden diese Prämissen infrage gestellt. Es ist deshalb zunächst zu klären, wie die Hub-Struktur in einem interkontinental betriebenen Hub-and-Spoke-Netz ausgestaltet sein muss.

Ein wesentlicher Nachteil bei dieser zentralisierten Zusammenführung der Fracht ist der Koordinationsaufwand, da die Zubringerflüge für eine Umladung zeitgleich im Hub eintreffen müssen. Während das Frachtgut auf dem Interkontinental-Hub überwiegend in der Nacht abgefertigt wird, muss dies bei der Einbeziehung der Belly-Fracht von Passagierflügen abgestimmt auf die Frachtladezeiten der jeweiligen Maschinen ablaufen. In beiden Fällen bedeutet dies enge Zeitfenster und somit Abfertigungsspitzen für den Frachtumschlag, die von der Flughafenlogistik bewältigt werden müssen (vgl. Arnold et al. 2008, S. 761). Da sich aber die Belly-Flugzeuge nach den Bedürfnissen im Passagiertransport richten, lassen sich diese Anforderungen an den Cargo-Bereich mit Personenflugzeugen nur bedingt realisieren. Nur so können die von der Wirtschaft geforderten akzeptablen Transportlaufzeiten gewährleistet werden. Kommt es bei den Zubringerdiensten zu Verzögerungen, kann es für den vom Hub weggehenden Flug zu Verspätungen kommen.

Die mit der Übernahme von Fluggesellschaften aus dem Übernahmenetz hinzukommenden Belly-Frachtkapazitäten tragen zur Verbesserung der Auslastung auf den Interkontinentalverbindungen bei und leisten einen wichtigen Beitrag zur Erzielung von Größenvorteilen, womit sich die Wettbewerbsfähigkeit der im Verbund agierenden Fluggesellschaften stärken lässt. Belly-Fracht-Feeder-Dienste liefern auf den interkontinentalen Fernrelationen einen Beitrag zu Economies of Scale. Economies of Density sind in einem integrierten Netz stark ausgeprägt. Die Synergie-Effekte führen zu den weiter oben aufgezeigten Kostensenkungspotenzialen, die für die Forcierung einer Kostenführerschaftsstrategie im Verdrängungswettbewerb essenziell sind. Gleichzeitig verschärfen sie aber das Problem der Slot-Verknappung auf dem Fracht-Hub, da die Belly-Fracht aus den Übernahmenetzen durch entsprechende Zubringerflüge zur Fracht-Drehscheibe befördert werden muss. Belly-Fracht verstärkt folglich die Konzentrationswirkung.

8.7 Die Konzentrationswirkung von Belly-Fracht beim Inlands- und Europaverkehr

Konzentrationswirkung

Neben der Nachfrage nach Luftfrachttransporten, die für interkontinentale Ziele bestimmt sind, herrscht auch eine Nachfrage nach Transporten von Sendungsgütern innerhalb des Heimatlandes der Fluggesellschaft und im Europaverkehr vor. Aus dem Blickwinkel der Übernahme einer Fluggesellschaft bietet die landesinterne Beförderung von Luftfracht keine netzweiten Synergien in einem integrierten Flugbetrieb, da die Beförderung im autonomen Netz der Tochtergesellschaft erfolgt. Der vor der Integration sich eingestellte Multiplikator- und Konzentrationseffekt kann nach der Integration zunehmen, falls sich auf den bestehenden Flugverbindungen Luftfracht für einen weiteren Zwischenstopp zusätzlich aufnehmen lässt, etwa für den Weitertransport zu einer europäischen Destination. Es geht hier um Fracht, die vor der Übernahme der Fluggesellschaft nicht angenommen worden wäre, da für die gewünschte Destination keine Flugverbindung vorgesehen war. Im integrierten Netz kann es somit zu Konzentrationswirkungen auf Flugzeugen im heimischen Netz der Übernahmegesellschaft aufgrund zusätzlicher Transferfracht kommen. Der europaweite Luftfrachttransport ist also nach der Integration unter dem Gesichtspunkt der potenziellen Steigerung der netzweiten Konzentrationswirkung von erheblicher Bedeutung. Luftfrachtnachfrage lässt sich in einem integrierten Netz besser vermarkten als in den Einzelnetzen, weil im Gesamtnetz ein größeres Leistungsgebiet offeriert werden kann.

Auf das Fallbeispiel dieser Arbeit angewandt, geht es folglich darum, die Belly-Frachtkapazitäten der AUA sowie der Swiss für den Inlands- und Europaverkehr im integrierten Netz gemeinschaftlich durch den Cargo-Bereich des Lufthansa-Konzerns und die Cargo-

Gesellschaften/-Bereiche der AUA und der Swiss zu vermarkten. Um eine möglichst große Multiplikator- und Konzentrationswirkung zu erzielen, muss Belly-Fracht an den Heimat-Hubs der Länderfluggesellschaften AUA und Swiss eingesammelt und von dort verteilt werden. Parallel dazu ist die Einsammelfunktion über die im integrierten Netz bestehenden Direktflugverbindungen von einem zum anderen Einzelnetz zu nutzen. Im Gegensatz zu den Interkontinental-Relationen, bei denen ein Hub die Sammelfunktion und ein weiterer auf dem anderen Kontinent befindlicher Hub die Verteilerfunktion übernehmen, hat der Hub für den Belly-Frachttransport beide Funktionen inne. Im Unterschied zu den Fernrelationen, bei denen auf die Erzielung von Economies oft Scale (vgl. Pompl, 2002, S. 146) abgestellt wird, stehen im intra-europäischen Luftfrachttransport in Personenflugzeugen Bündelungsvorteile durch den Einsatz von größerem Fluggerät nicht im Mittelpunkt, auch wenn für den Transport von Belly-Fracht im 3L-Netz auch Hub-Hub-Verbindungen vorkommen, für die es im Flugplan der drei Fluggesellschaften besonders viele Frequenzen gibt (vgl. hierzu die Ausführungen in Kapitel 12–14).

Zwar steht auch beim inländischen und europäischen Belly-Frachttransport als Ziel der Netzwerkoptimierung die Degression der Kosten im Vordergrund. Jedoch sind die Potenziale hier deutlich geringer als auf den Interkontinentalstrecken, da auf diesen Strecken vornehmlich Passagiermaschinen für den Luftfrachttransport eingesetzt und die Anforderungen an die Flugzeuggröße aus dem Passagiersektor abgeleitet werden. Der Hintergrund hierfür ist, dass das Produkt Belly-Fracht als Beiprodukt in Abhängigkeit zum Produkt Passage steht. Die Erzielung von Economies of Scale im Frachtbereich greift hier nicht. Dagegen sind alleine durch die Umverteilung der Fracht die Potenziale von Economies of Density und Economies of Scope stark ausgeprägt. Der Hub hat beim Inlands- und Europaverkehr primär die Aufgabe, eine möglichst große Verbindungsvielfalt in Europa und in den Inlandsmärkten zu schaffen. Gerade im Hinblick auf die Verkehrsgeografie in Europa, bei der die aufkommensstarken Flughäfen räumlich dicht beieinander liegen, ist zu bemerken, dass Direktverbindungen bei der Flugplangestaltung eine hohe Priorität eingeräumt wird. Die Konzentrationswirkung von Belly-Fracht im Inlands- und Europaverkehr ist primär in den Formen von Economies of Scope und Economies of Density anwesend. Übernahmen verstärken die Konzentrationswirkung von Belly-Fracht.

8.8 Luftfrachtbedingte Anforderungen an die Hub-Struktur

In diesem Abschnitt werden die Anforderungen an die Hub-Struktur aus der Sicht von Belly-Fracht herausgearbeitet. Es gilt dabei, auf die Anforderungen an den Hub in der Funktion als Interkontinental-Hub zur Bündelung von Belly-Fracht und in der Funktion der bloßen Umverteilung im Inlands- und Europaverkehr einzugehen.

Kombinierter Hub für Fracht und Passage: Eine von Netzwerkfluggesellschaften häufig vorzufindende Art eines Luftfrachthubs ist ein Flughafen, der sowohl für Passage als auch für Fracht genutzt wird. Der Hub dient dazu, eine Vielzahl von Zubringerflügen aus den an den Hub angeschlossenen Spokes des Netzes umzuschlagen und zu konsolidieren. Die Deutsche Lufthansa hat etwa gezielt den Flughafen Frankfurt als gemeinsamen Standort für Fracht und Passage gewählt, um die in den Passagierflugzeugen vorhandenen Belly-Frachtkapazitäten optimal für die Beförderung von Fracht und Post auszuschöpfen. Die Kombination von Passage und Fracht auf einem Hub-Flughafen weist für die Netzwerkfluggesellschaft den Vorteil auf, dass sich die reinen Nurfracht-Maschinen über eine große Anzahl an Zubringerflügen aus dem Passagierbereich mit Belly-Fracht versorgen lassen. Ein kombinierter Hub, der sowohl den Passagier- als auch den Cargo-Bereich abdeckt, ist deshalb für eine Belly-Frachtstrategie zwingend notwendig. Aus Kosten- und Zeitgründen gestaltet sich ein Umschlag über zwei verschiedene Hub-Flughäfen als schwierig. Es geht also darum, die Frachtpotenziale auf den verfügbaren Passagier-Strecken mit den größeren Frachtkapazitäten der reinen Frachtflugzeuge zu verbinden.

Cargo-Hubs: Reine Cargo-Hubs eigenen sich für den Umschlag von Belly-Fracht nicht, da

die Belly-Fracht im Passagier-Hub ankommt und eine Umverteilung vom Passagier-Hub zum Cargo-Hub mit bodengebundenen Verkehrsträgern verbunden wäre.
Passagier-Hubs: Reine Passagier-Hubs eigenen sich für den Umschlag von Belly-Fracht nur dann, wenn der Frachttransport beim Umschlag nicht in reinen Frachtmaschinen erfolgt. Ein typisches Problem bei Belly-Fracht sind die mit einem Hub-and-Spoke-System einhergehenden Umwege bei den Zubringerdiensten. Diese haben zur Folge, dass die Transportlaufzeit gegenüber der Direktverbindung zwischen dem Quell- und Zielflughafen zunimmt und der Weg länger ist. Der Umgang mit Umwegen stellt eine der Herausforderungen an das Netzmanagement der Netzwerkfluggesellschaften bei der Konfiguration der Flugrouten dar.

Nebenhubs in integrierten Hub-and-Spoke-Netzwerken (Feeder-Funktion): In Hub-and-Spoke-Systemen, die in der Praxis vorkommen, sind Mehrhub-Systeme feststellbar. Die Systeme sind dabei so konfiguriert, dass ein oder mehrere Hubs sowohl den Passagier- als auch den Cargo-Bereich abdecken, während andere Hubs in dem Netzwerk nur den Passagierbereich und somit auch die Belly-Fracht für bestimmte Speichen-Flüge bündeln. Von diesen Nebenhub-Flughäfen wiederum erfolgt die Bündelung der Belly-Fracht auf dem für Passage und Fracht bestimmten Interkontinental-Hub, wenn das Sendungsgut eine interkontinentale Zieldestination aufweist. Weiterhin übernehmen diese Nebenhubs auch die Verteilung der Belly-Fracht innerhalb der sich so ergebenden eigenständigen Subnetze.

Es ist weiterhin wichtig, dass auf den Flughäfen zum Betrieb eines Hubs bzw. auf den Feeder-Flughäfen sowohl die erforderlichen Infrastruktureinrichtungen zum Einsammeln, Umladen und Verteilen von Frachtgut als auch eine ausreichende Anzahl von Start- und Landebahnen sowie von Slots verfügbar sind. Im Weiteren soll auf diese Faktoren nicht eingegangen werden.

8.9 Zusammenfassung

In diesem Kapitel konnte aufgezeigt werden, dass die Netzwerkoptimierung als Post-Merger-Aufgabe aus logistischen und wettbewerbsbedingten Gründen erforderlich ist. Es ließen sich folgende Erkenntnisse gewinnen: Skalenerträge durch Stückkostendegression und Größenvorteile aus Faktorpreiseffekten sind nur in seltenen Fällen erreichbar. Dagegen entstehen typischerweise durch die Netzintegration Economies of Density durch die höhere Auslastung der Flugzeuge. Weiterhin lassen sich Economies of Scope durch Stückkostendegression im Verbund und in der Zusammenführung der netzweiten Flüge zum abgestimmten Flugbetrieb in einem integrierten Belly-Frachtbetrieb verzeichnen.

Die Netzwerkoptimierung setzt darüber hinaus voraus, dass die Firmenübernahmen überhaupt nach kartellrechtlichen Bestimmungen gestattet werden und die mit der Zusammenschlusskontrolle einhergehenden Wettbewerbsauflagen nicht die Konstitution eines global optimierbaren Netzwerkes einschränken. Weiterhin ist für den integrierten Netzaufbau wichtig, dass die hierfür erforderliche Zugänge zu den Flughäfen und die für einen abgestimmten Netzbetrieb erforderlichen Slots tatsächlich zur Verfügung stehen bzw. sich an die integrierten Netzanforderungen anpassen lassen.

9 Planung, Verfahren und Modelle bei Hub-and-Spoke-Netzwerken

Dieses Kapitel beschreibt die Planung, die Modelle und die Verfahren zur Konstruktion von Hub-and-Spoke-Netzwerklayouts für die Luftfahrtindustrie. Im nächsten Abschnitt erfolgt die Vorstellung der Netzwerkgestaltung als Teil der strategischen Planung. Es schließt sich ein Abschnitt an, in dem Lösungsansätze für Netzwerkgestaltungsprobleme aus dem Zweig des Operations Research diskutiert und erläutert werden. Darauf folgend stehen die Modelle des Operations Research zur Gestaltung von Verkehrsnetzen sowie eine Klassifikation und Charakterisierung dieser Modelle im Fokus. Es werden dann bekannte exakte und heuristische Berechnungsverfahren zur Lösung der Modelle vorgestellt und auf deren Tauglichkeit bzw. Anwendbarkeit für intra-europäische Hub-and-Spoke-Systeme im Luftverkehr hin untersucht. Das Kapitel schließt mit einer Zusammenfassung der Ergebnisse.

9.1 Netzwerkgestaltung als Teil der strategischen Planung

Planung im Allgemeinen; Planungsaufgaben
Planung wird allgemein als die „gedankliche Antizipation zukünftigen zielorientierten Handelns“ definiert (vgl. Sierke, 1997, S. 627 f.). Je nach Problemstellung werden Planungsaufgaben der strategischen, taktischen oder operativen Planung zugeordnet (vgl. Pfohl, 1997, S. 630 ff.).

Gegenstand der strategischen Planung
Die strategische Planung ist Teil der strategischen Unternehmensplanung, deren Gegenstand die Herausbildung der Erfolgspotenziale zur langfristigen Sicherung des Bestands eines Unternehmens ist (vgl. Bea et al., 2005, S. 50 ff.). Unter Erfolgspotenzial versteht man dabei das Vermögen eines Unternehmens, sich langfristig im Wettbewerb zu behaupten (vgl. Günther und Tempelmeier, 1995). Schreyögg et al. (1995, 2005, S. 165 ff.) unterscheiden zwei Grundfragen der strategischen Planung.

Einerseits geht es bei der Planungsaufgabe um die Festlegung der Geschäftsfelder und die darauf beruhenden Geschäftsfeldstrategien. Andererseits interessiert, wie der Wettbewerb dieser Geschäftsfelder bestritten werden soll. Allgemeine und auch für das Transportwesen taugliche strategische Optionen zum Bestreiten des Wettbewerbs sind die Leistungsdifferenzierung (vgl. Porter, 1999, S. 62 ff.) oder die Kostenführerschaft (vgl. Henderson, 1984). Während im ersten Fall der Markt durch Besonderheiten des angebotenen Gutes oder der Dienstleistung gegenüber den Mitbewerbern bestritten werden soll, zielt die Kostenschwerpunktstrategie auf einen Wettbewerbsvorteil durch einen relativen Kostenvorsprung gegenüber den Konkurrenten ab (vgl. Hill, 1988).[65]

Strategische Logistikplanung ist wesentlicher Bestandteil der strategischen Planung bei Luftverkehrsunternehmen (vgl. Gompf, 1995). Es geht dabei um die Planung der Gestaltung der Struktur eines zu unterhaltenden Luftverkehrsnetzes, mit dem ein Luftfahrtunternehmen ein Geschäftsfeld bestreitet (vgl. Wlcek, 1998, S. 30).[66]

Planung der Netzwerkstrukturen von Luftfahrtunternehmen
Die Gestaltung von Hub-and-Spoke-Luftverkehrsnetzwerken ist Gegenstand der strategischen Logistikplanung. Die Planung bei der Netzwerkgestaltung ist geknüpft an die *Location*- und *Allocation*-Frage[67], die bereits weiter oben angerissen wurden.

Es geht also um die Festlegung, auf welchen Flughäfen eine Luftverkehrsgesellschaft ihre

[65] Vgl. Ausführungen in Abschnitt 7.2.2.
[66] Vgl. Ausführungen in Kapitel 7.
[67] Vgl. Ausführungen in Kapitel 8.

Hubs bzw. Zubringer-Flughäfen positioniert (*Location-Problem*), und interdependent dazu, welche dieser Flughäfen wie durch Flugstrecken miteinander verbunden werden (*Allocation-Problem*). Netzwerkgestaltung aus Sicht der strategischen Planung betrifft somit ein Location-Allocation-Problem.

Charakteristisch bei der Strukturgestaltung von Netzen bei Luftverkehrsgesellschaften ist jedoch vorwiegend keine Neuplanung, sondern eine Ergänzungs- oder Umplanung auf Grundlage bereits bestehender Netzwerkstrukturen. Bei M&A-Transaktionen im Luftverkehrssektor geht häufig ein Umplanen der Netzwerkstrukturen im Rahmen der Netzintegration einher. Die meisten Fluggesellschaften, insbesondere diejenigen, die hub-orientierte Netzwerke unterhalten, befleißigen sich mit Netzerweiterungen (Komplementaritäten) oder -vertiefungen und weniger mit dem Neuausbau von Netzen.[68]

Für die Planungstypen zum Location- und Allocation-Problem von Luftverkehrsunternehmen gilt es, die Anzahl der Hub-Flughäfen, deren Lage und Dimensionierung sowie die Stufigkeit des Netzes, die Zeittaktung der Verkehre und die Auswahl der Flugzeugtypen festzulegen (vgl. Wlcek, 1998, S. 31, Feige et al., 1996, S. 18–25). Bei der Allocation-Frage im Zusammenhang mit der strategischen Planung ist die einzelne Flugrelation von geringer Bedeutung. Aus Strategiesicht geht es bei der Allocation-Frage vielmehr um die Planung des gesamten Netzwerkes und dessen Struktur, um maßgeblich Konformität zu einer aufgestellten Wettbewerbsstrategie zu erreichen (vgl. Hunziker, 1983). Mithilfe der Struktur des Luftverkehrsangebotes und der dazugehörigen Streckendienste wird das Netzwerklayout impliziert, weshalb das Flugnetzwerk einen essenziellen Erfolgsfaktor für die Luftverkehrswirtschaft darstellt (vgl. Wlcek, 1998). Ein Erfolgsfaktor gilt als tragende Säule für den Unternehmenserfolg (vgl. Schreyögg et al., 1995, S. 119). Er ist essenziell, wenn er nicht hinweg gedacht werden kann, ohne dass das Unternehmen in seinem Bestand auf Dauer gefährdet wäre (vgl. Rockart, 1979, S. 81–93).

Taktische und operative Planung

Die taktische Gestaltung von Netzwerken geht den Problemen der effizienten Nutzung und Zuweisung der Ressourcen eines Netzwerkes nach, um das Gesamtsystem performanter zu gestalten (Crainic et al., 1997). Bei der operativen Planung wird sich vornehmlich mit Ressourceneinsatzplanungen für Flugplanperioden beschäftigt (vgl. Borndörfer et al., 1998). Zur Problemstellung der taktischen Planung im Zusammenhang mit Hub-and-Spoke-Frachttransportnetzen sei auf den Aufsatz von Cheung et al. (1999, S. 49–71) verwiesen.

Zeitliche Aspekte der strategischen Planung

In der Literatur wird strittig diskutiert, ob strategische Planung ein kurz-, mittel- oder langfristiges Planungsproblem darstellt. Der zeitliche Planungshorizont darf jedoch nicht zwangsläufig mit der Planungsstufe in Verbindung gebracht werden. Auf das Netzwerk-Design-Problem abgestellt, ist es deshalb fraglich, wie der zeitliche Planungsaspekt zu beurteilen ist. Sohn et al. (2000, S. 17–25) argumentieren, Hub-Location-Planung stelle ein langfristiges Planungsproblem dar, weil es alleine wegen der Slot-Zuteilungen (institutionelle Marktzugangsbarrieren), der hohen Umzugskosten und der meist langfristig eingegangenen Verträge keine alternativen Optionen gäbe. Crainic et al. (1997) wiederum stufen dasselbe Problem eher als mittel- bis langfristig ein, wobei sie die Angabe einer konkreten Zeitdauer für die Fristigkeit schuldig bleiben. Eine zeitliche Trennschärfe des Planungsproblems lässt sich nicht ohne Weiteres ausmachen. Betrachtet man dagegen konkrete Hub-Locations bestehender Netzwerkfluggesellschaften in der Praxis, etwa das FedEx-Netz in den USA, dann lässt sich eher ein sehr langfristiger Planungszeitraum von mehreren Jahrzehnten ausmachen. Federal Express hat auf dem Memphis-Shelby County Airport, der als Haupt-Hub in den USA gilt, einen langfristigen Mietvertrag mit den Flughafenbetreibern abgeschlossen (vgl. Securities and Exchange Commission, 1988). Nach Kuby und Gray (1993, S. 1–12) ist nicht zu erwarten, dass FedEx wegen besserer Mietangebote anderer Flughäfen den Hub Memphis aufgeben würde.

[68] Vgl. Ausführungen zur Allianzbildung im vorhergehenden Kapitel.

Für die Lufthansa lässt sich ebenfalls konstatieren, dass sie sich aufgrund ihres finanziellen Engagements beim Aufbau des Terminals 2 am Flughafen München von diesem zurückziehen würde.

Der zeitliche Planungsaspekt spielt bei den hub-basierten Modellen dieser Arbeit keine weitere Rolle und bleibt außen vor.

Interdependenz zwischen Strategieoptionen und Netzwerklayout
Strategieoption[69] und Netzwerklayout stehen in einer Wechselbeziehung. Ändert sich die Wettbewerbsstrategie, beispielsweise aufgrund veränderter Marktbedingungen, dann kann dies Änderungen des Netzwerklayouts nach sich ziehen. Strategieprogramme zur Umsetzung der veränderten Strategielage können eine Netz-Rekonfiguration auslösen. Dies gilt vor allem bei der Post-Merger-Integration des Netzwerkes nach der Übernahme einer Fluggesellschaft.

9.2 Netzwerkgestaltungsproblem, Klassifikation und Techniken

9.2.1 Netzwerkgestaltungsproblem und Netzwerkflussmodelle

Netzwerkgestaltungsprobleme werden seit den 1960er-Jahren im Zweig der *Location Theory*, einer Disziplin des Operations Research, behandelt (vgl. Osleeb und Ratic, 1986). Für eine Vielzahl von Beschaffungs- und Distributionsproblemen, so etwa für die Entleerung von Briefkästen oder die Konfiguration von Telefon-, Gas- oder Energieleitungen, erfolgte die Einführung von Modellen zur Strukturierung solcher Netzwerke im Operations Research (vgl. Mesa und Boffey, 1996). Viele solcher praktischen Netzwerkgestaltungsprobleme lassen sich mit einer sehr begrenzten Anzahl von Modellen der Location Theory berechnen (vgl. Wlcek, 1998, S. 50). Davon erfasst sind auch die Luftverkehrsnetze (vgl. Minoux, 1989, S. 313–360). Beschaffung oder Distribution ist mit Transporten verknüpft. Solche Transportprobleme gelten als klassische Netzwerkflussprobleme (vgl. Minoux, 1989, S. 313–360). Die Modelle umfassen Knoten und Kanten. Die Knoten stellen Quellen und Ziele dar, auf denen Güter angeboten bzw. nachgefragt werden. Knoten können auch Konsolidierungspunkte sein, wenn auf ihnen Güter gebündelt oder entbündelt werden (so genannte Hubs). Über die Kanten wird der Güterfluss abgeleitet. Kanten werden durch Kostenfunktionen bewertet. Eine Kante ist mit zwei Knoten verbunden.

9.2.2 Klassifikation des Netzwerkgestaltungsproblems

Aus modelltheoretischer Sicht lassen sich Netzwerkgestaltungsprobleme nach den folgenden Kriterien klassifizieren[70]:

- dem Entscheidungsgegenstand,
- dem betrachteten Lösungsraum,
- dem Netzwerkgestaltungsziel (Zielfunktion),
- den Modellrestriktionen (Daten und Nebenfunktionen),[71]
- der Lokalisierung von Knoten oder der Allokation von Kanten, d. h. der Verbindung zweier Knoten, oder dem kombinierten Location- und Allocation-Problem,
- dem Lösungsraum.

Der von den Modellen umfasste Lösungsraum stellt ein erstes Klassifikationsmerkmal dar. Domschke und Krispin (1997) unterscheiden in Bezug auf den Lösungsraum, ob ein kontinuierliches oder ein diskretes Problem vorliegt. Im ersten Fall können die gesuchten Lösungen aus willkürlichen Knoten und Kanten der Euklidischen Ebene[72] bestehen. Im letzteren Fall

[69] Vgl. Leistungsdifferenzierung oder Kostenführerschaft.
[70] Die Klassifikation stellt keinen wissenschaftlichen Neuerungswert dar und dient nur zur Erläuterung für diese Arbeit in Analogie zur bereits erfolgten Klassifikation der Netzwerkgestaltungsprobleme in der Veröffentlichung von Wlcek (1998, S. 49 –56).
[71] Vgl. Domschke et al., 1997, S. 181–194).
[72] Ein euklidischer Raum wird in der Mathematik als ein Raum verstanden, auf den sich die Gesetze der euklidischen Geometrie anwenden lassen. Ein zweidimensionaler euklidischer Raum wird auch euklidische Ebene genannt.

werden aus einer Netzwerkkonfiguration taugliche Knoten und Kanten ausgewählt (vgl. Francis et al., 1990). Die Determinierung des Lösungsraumes bedeutet auch die Festlegung des Umfangs der Entscheidungsgrößen (vgl. Wlcek, 1998, S. 51). Während der euklidische Raum eine willkürliche Auswahl aller potenziellen Punkte in der Ebene zulässt und somit die Entscheidungsgröße möglicher Lokalisierungspunkte groß werden kann, ergibt sich die Entscheidungsgröße im diskreten Fall aus der maximalen Anzahl exogener Knoten aus dem Netz.

Mehrere Autoren entwickelten Lösungsansätze für Location-Probleme von Hubs (Hub-Location-Problem) auf der Basis des kontinuierlichen Problems in der euklidischen Ebene (vgl. O'Kelly, 1986A, Campbell, 1990, Aykin, 1995B, Aykin und Brown, 1992, O'Kelly und Miller, 1991). Einen speziellen kontinuierlichen Fall, bei dem die Ursprungs- und Zielknoten über eine rechteckige Region verteilt sind, untersucht Campbell (1991). Die Lokation von Knoten bei p-Hub-Median-Problemen erfolgt auf Basis des diskreten Problems (vgl. hierzu exemplarisch Mirchandani und Francis, 1990, Aykin, 1990, O'Kelly 1987, Klincewicz, 1991, Serra und ReVelle 1995).

Netzwerkgestaltungsziel
Ein weiteres Klassifikations-Merkmal bildet das der Netzwerkgestaltung zugrunde liegende Ziel. Wlcek (1998, S. 52) nennt in diesem Zusammenhang als mögliche Zielsetzung die Minimierung der Kosten des Netzwerkes bei exogen vorgegebenen Transportaufkommen oder die Maximierung des Deckungsbeitrags in Abhängigkeit vom Transportaufkommen. Mit der Kostenminimierung wird vielfach auch die Erwirtschaftung von Economies of Scale in Verbindung gebracht (vgl. Fleischmann, 1993, S. 31–42, Vahrenkamp, 1998B). Die Zielformulierung wird in den Netzwerkflussmodellen durch Kostenfunktionen ausgedrückt. Für den Fall der Kostenminimierung spricht man auch vom Min-Cost-Network-Flow-Problem, abgekürzt MNFP. Der Typ der Kostenfunktion dient zur weiteren Einordnung der Lösungsansätze und bestimmt den Grad der Komplexität des Netzwerkgestaltungsproblems (vgl. Yaged, 1971, S. 139–172).

Die Kosten lassen sich nach ihren Verläufen näher charakterisieren.

Lineare Kosten
Bei einigen Modellansätzen wird die Kostenproblematik stark simplifiziert und es werden nur lineare Kostenverläufe unterstellt (vgl. z. B. Glover et al., 1981, S. 148–176). Derartige Kostenprobleme lassen sich mithilfe exakter Lösungsverfahren optimal berechnen, etwa anhand des Branch-and-Bound-Verfahrens[73] (vgl. Skorin-Kapov et al., 1996, S. 19). Zur Berechnung der minimalen Gesamtkosten bei Transportproblemen unter der Annahme eines linearen Kostenverlaufs findet die Simplex-Methode Anwendung (vgl. Müller-Merbach, 1988, S. 173 ff.). Glover et al. (a. a. O.) beschreiben allgemein ein Netzwerkflussproblem mit der Restriktion linearer Kosten anhand eines adaptierten Simplex-Verfahrens.

Nicht-lineare Kosten
In den übrigen Fällen wird von nicht-linearen Kostenverläufen ausgegangen. Mit dem Problem nicht-linearer Kosten in Netzwerkmodellen beschäftigen sich u. a. Florian (1986, S. 167–196) sowie Magnanti und Wong (1984).

Fixkosten
Es finden sich auch Ansätze vor, bei denen Knoten, die zur Lokalisation angeboten werden, mit Fixkosten belegt sind. O'Kelly (1992, S. 293–306) untersucht in seinem Aufsatz ein Fixkostenproblem bei der Lokalisation von Hubs in einem Transportnetz. Fixkosten auf dem Hub fallen bereits bei der Standortplanung an und sind Gegenstand der strategischen Planung. In Knoten gebundene Fixkosten gelten als problematisch, da sie partiell aufgrund der Abwesenheit von Optimalitätskriterien gar nicht erst erkannt werden.

[73] Vgl. exakte Lösungsverfahren im nachfolgenden Abschnitt.

Nicht-konvexe Kostenverläufe
Streckengebundene Kosten hingegen fallen regelmäßig als nicht-konvexe Kosten an. Sie werden anhand der Bewertung der Transportflüsse auf den Kanten berechnet. Bei Anwesenheit von nicht-konvexen Kosten existieren keine globalen Optimalitätskriterien. Zur Lösung von Problemen mit nicht-konvexen Kosten lässt sich das Lösungsverfahren der lokalen Linearisierung anwenden.[74] Nicht-konvexe Kosten werden hierbei abschnittsweise linearisiert und es erfolgt die Einführung von Lösungsansätzen für die substituierte lineare Problemstellung. Benson (1996, S. 64 ff.) schlägt in seiner Arbeit zur Minimierung nicht-konvexer Kosten das Extrempunkt-Ranking, die Annäherung, das Branch-and-Bound-Verfahren sowie eine Methode zur Reduzierung der Kosten durch konkave Schnitte vor.[75] Die Berechnung der Minimierung der Kosten erfolgt exakt. Wlcek (1998, S. 53) argumentiert in seiner Dissertation, dass bei Standortentscheidungsfragen nicht nur die Fixkosten zu berücksichtigen sind, sondern die Lokationswahl regelmäßig mit nicht-konvexen Kosten einhergeht. Die nicht-konvexen Kosten für den Knotendurchfluss führen zu nicht-konvexen Standortkosten.

Konkave Kostenverläufe
Larrson et al. (1994, S. 116–129) und Guisewite et al. (1990, S. 75–100) geben in ihren Arbeiten einen Überblick über verschiedene Applikationen und Heuristiken zur Minimierung von konkaven Kosten in einem Netzwerkflussproblem.[76] Balakrishnan et al. (1989, S. 175–202) berechnen ihr konkaves Kostennetzwerkflussproblem mit einem so genannten Composite-Algorithmus. In konkaven Kostenfunktionen ist meist ein Term für einen Fixkostenanteil enthalten. Die Eigenschaft der Konkavität der Kostenfunktion spiegelt das Phänomen der Economies of Scale wider (vgl. Minoux, 1989, S. 318). Die Bündelung von Fracht auf den Hub-Hub-Verbindungen führt zu Größenvorteilen (Inter-Hub-Verbindungen).[77]

Der Größenvorteil zieht Degressionseffekte durch fallende Grenzkosten und fallende Durchschnittskosten nach sich[78] (vgl. Minoux, 1987, S. 283–324). Mit dieser Eigenschaft lassen sich die Kostenverläufe in Nabe-Speiche Systemen durch eine konkave Kostenfunktion abbilden. Netzwerkgestaltungsprobleme mit konkaver Kostenstruktur gelten als NP-schwierig (vgl. Johnson et al., 1978, S. 279–285)[79] und lassen sich deswegen nicht ohne Weiteres in polynomialer Zeit berechnen. Zur Lösung von MNFP bei konkaver Kostenstruktur werden verschiedene Verfahren vorgeschlagen. In dem Artikel von Magnanti und Wong (1984, S. 1–55) wird ein Extrempunkt Ranking Algorithmus, ein Branch-and-Bound-Verfahren und ein dynamischer Programmierungsansatz vorgestellt. Minoux (1987, S. 283–324) schlägt als Lösungstechnik einen Greedy-Algorithmus vor[80].

Der Einfachheit halber wird in einigen Modellansätzen zu Hub-Location-Problemen auf die Einbeziehung einer konkaven Kostenfunktion als Zielfunktion verzichtet. Der Skaleneffekt oder die Kostendegression zwischen den Inter-Hub-Flüssen wird anstelle der Konkavitätseigenschaft des Kostenfunktionsverlaufs durch einen so genannten Proportionalitätsfaktor zum Ausdruck gebracht[81] (vgl. O'Kelly, 1986A, S. 95, 1987, S. 394, O'Kelly et al., 1998, S. 605–616, Horner et al., 2002). Economies of Scale im Luftverkehrstransport untersucht Campbell (1992, S. 77–99) im Rahmen der Lokationsfrage von Hub-Fazilitäten. Yaged stellt in seinem Artikel (1971, S. 139–172) ein Network-Design-Modell vor, dem konkave Routing-Kosten zugrunde liegen.

[74] Das Verfahren der lokalen Linearisierung wird im nächsten Abschnitt vorgestellt.
[75] Die aufgezeigten Verfahren werden im nachfolgenden Abschnitt eingehend erläutert.
[76] Der Begriff der Heuristik wird im übernächsten Abschnitt erläutert.
[77] Economies of Scale entstehen wie folgt: Man nimmt an, dass durch die erhöhten Transportmengen zwischen den Hubs die Transportkosten niedriger ausfallen als zwischen einem Nicht-Hub und dem Hub oder zwischen zwei Nicht-Hubs (vgl. Aykin, 1995A, S. 201).
[78] Grenzkosten entsprechen der ersten Ableitung der Kostenfunktion.
[79] Die Eigenschaft der NP-Schwierigkeit wird im nachfolgenden Abschnitt erläutert.
[80] Die Lösungstechniken werden nachfolgend erläutert.
[81] Auch für die in dieser Arbeit verwendeten Heuristiken und Verfahren für Hub-Location Probleme erfolgt der Einsatz eines Proportionalitätsfaktors.

Abbildung 39: Konkave Kostenfunktion für ein Multicommodity-Flussproblem
(Quelle: eigen Darstellung)

Mischformen von Kostenstrukturen
in der Literatur zur Location Theory finden sich auch vereinzelt Mischformen bei der Kostenstruktur vor. Holmberg et al. (1997, S. 63–74) analysieren etwa treppenförmige Kosten für ein Warehouse-Location-Problem[82] und haben hierfür eine Lagrange-Relaxation-Heuristik, die mit Subgradienten iteriert, entwickelt.

Kostenfunktion für das Modell dieser Arbeit
In Abschnitt 7.5 wird die Kostenfunktion für das Modell für ein Netzwerk-Design-Problem zur Gestaltung optimaler Flugrouten aufgestellt. Die Funktion umfasst Betriebskosten für den Flugbetrieb und die Unterhaltung der Flugrouten und es wird ein linearer Kostenverlauf auf Basis der Streckendistanzen bei den Flugverbindungen angenommen.

Kapazität als Modellrestriktion
Modell-Restriktionen lassen sich als weitere Klassifikationskriterien aufgreifen. In den Netzwerkflussmodellen wird danach differenziert, ob die Knoten und Kanten kapazitiert oder unkapazitiert sind. Darunter versteht man, ob auf den Knoten oder Kanten Kapazitätsobergrenzen bestehen, die in den Modellen als Nebenbedingung Berücksichtigung finden. Modelle, bei denen in den Einrichtungen auch Kapazitätsrestriktionen beachtet werden, werden im Englischen auch als *Capacitated Plant Location Problem* (CPLP) bezeichnet. Bleiben hingegen solche kapazitiven Beschränkungen außen vor, so spricht man von einem *Uncapacitated Plant Location Problem* (UPLP) (vgl. Crainic et al., 1997).

In den Artikeln von Klincewicz (1992, S. 283–303, 1996), Ernst und Krishnamoorthy (1996, S. 139–154, 1998, S. 100 ff.), Klincewicz et al. (1986, S. 251–258), Erlenkotter (1978, S. 99–1008) sowie Skorin-Kapov et al. (1996, S. 582–593) u. a. werden Heuristiken für die Hub-Lokalisation so algorithmisiert, dass sie ohne Restriktionen auskommen, also unkapazitierte Hubs vorausgesetzt werden.

In dem Aufsatz von Herrmann et al. (1996, S. 476–498) wird hingegen ein Netzwerkdesignproblem behandelt, das von kapazitierten Knoten ausgeht. Aykin (1994 S. 501–523) beschreibt ebenfalls ein kapazitiertes Hub-Location- und Routing-Problem im diskreten Lösungsraum mit Restriktionen bei der Hub-Kapazität.

Temporalität, Distanz und Stufigkeit des Transports als Modellrestriktionen
Weitere Modellrestriktionen können sich aus der Berücksichtigung temporaler Aspekte, aus der Stufigkeit des Transports oder durch Einbeziehung der Streckendistanzen ergeben.

[82] Im Warehouse-Location-Problem sind die Standorte von Kunden exogen vorgegeben und es wird eine bestimmte Menge von den Kunden nachgefragt, welche über Lager bedient werden, deren Standorte sich willkürlich in der Ebene befinden bzw. im Vorfeld ausgewählt sind (vgl. Klincewicz et al., 1986, S. 251–258).

Zeitliche Restriktionen werden u. a. in der Modellwelt von Hall (1989, S. 139–149) sowie Kuby und Gray (1993, S. 1–12) für ein Netzwerk-Design-Problem im Luftfrachtbereich berücksichtigt. Die zeitliche Erreichbarkeit von Hubs und der Einfluss von Zeitzonen spielen insbesondere in Transportnetzen der USA eine bedeutsame Rolle (vgl. O'Kelly und Miller 1994, S. 31–40). Speziell mit Restriktionen resultierend aus der Stufigkeit des Transportnetzes setzt sich vor allem Minoux (1989, S. 313–360) auseinander. Weitere hier nicht mehr diskutierte Modellbeschränkungen lassen sich bei Magnanti (1984, S. 1–48) nachlesen.

Transportaufkommen
Weiterhin ist in den Netzwerkflussmodellen relevant, ob das Transportaufkommen a priori als feste Größe vorgegeben (deterministisch) ist oder randomisierte Güterströme in der Modellrechnung gegenständlich sind. Franca und Luna (1982, S. 113–126) stellen zur Lösung ihres kapazitierten Warehouse-Location-Problems ein Verfahren vor, bei dem sie von stochastischen Bedarfen beim Transportaufkommen ausgehen. Auch im Modellansatz zum Hub-Location-and-Routing-Problem von Aykin (1995B, S. 200–219) wird für die Hub-Lokalisierung eine randomisierte Startlösung auf der Basis von vier möglichen Selektions-Strategien vorgeschlagen.

Bedeutsam ist überdies auch, ob bei den Modellen die Lokalisation von Knoten oder die Determinierung der Güterströme über die Kanten im Mittelpunkt der Modellaufstellung und -rechnung steht. Im ersten Fall interessiert auch die mögliche Konsolidierung von Knoten zur Bündelung und weiteren Distribution von Transportaufkommen. Bei Hub-Location-Problemen beschäftigt man sich vornehmlich mit der Aufgabe der Lokalisation von Knoten, so etwa bei den Modellansätzen in den Veröffentlichungen von Aykin (1995B, S. 200–219), Lee et al. 1996 (S. 185–194), O'Kelly (1986A, S. 92–106), Skorin-Kapov et al. (1994, S. 500–509).

Bei Problemen von kantenorientierten Netzwerkkonfigurationen liegt der Fokus auf der Allokationsfrage, d. h. beim Routing-Problem. Meist liegt jedoch den Modellansätzen ein kombinatorisches Location- und Routing-Problem zugrunde (vgl. Cooper 1963, S. 331–343, 1964, S. 37–52, Jacobson et al., 1980, S. 378–387).

Exaktes oder heuristisches Lösungsverfahren
Ein eher modellpragmatisches Unterscheidungskriterium ist, ob sich das Netzwerkgestaltungsproblem mithilfe exakter oder heuristischer Verfahren lösen lässt. Die Klassifikation und Nennung von Verfahren erfolgen im nächsten Abschnitt.

Zusammenfassung der Klassifikationskriterien für Netzwerkgestaltungsprobleme

Klassifikationskriterium	Ausprägungen
Entscheidungsgegenstand	Knotenauswahl (Location-Problem) Kantenzuordnung zu Knoten (Allocation-Problem) Knoten und Kanten (kombiniert als Location- und Allocation-Problem
Verfahren	exakt heuristisch
Lösungsraum	diskret im Netzwerk kontinuierlich im euklidischen Raum
Kostenstruktur	linear konvex nicht-konvex konkav nicht-linear gemischt
Temporale Aspekte	langfristig (→ Modelle zur strategischen Planung) kurzfristig (→ Modelle zur taktischen Planung)
Bedarf	deterministisch stochastisch

Klassifikationskriterium	Ausprägungen
Kapazitätsproblem	kapazitiert unkapazitiert
Restriktionen der Modelle	Kapazitätsrestriktion Restriktionen an die Zielfunktion Distanzen zwischen Knoten zeitliche Aspekte zwischen Knoten
Netzwerkstrukturelle Entscheidungsparameter	Lokalisation der Knoten Güterflussbetrachtung der Kanten Symbiose aus beiden
Zielsetzung	Kostenminimierung Maximierung des Deckungsbeitrags

Tabelle 15: Klassifikation des Netzwerkgestaltungsproblems

Neben den bereits aufgezeigten Untersuchungen können die aufgestellten Klassifikationsmerkmale zu Netzgestaltungsproblemen und den Lösungsverfahren speziell bei Love et al. (1988), Shetty (1989) und Drezner 1995 im Detail nachgelesen werden. Speziell bei Luftverkehrsnetzen empfehlen sich als weiter führende Literatur Barnhart et al. (1996, S. 852–863), Jaillet (1996, S. 195–212) und Kafani (1981)[83].

Taugliche Lösungsverfahren impliziert durch die Kostenstruktur
Liegen bei MCNF-Problemen lineare Kostenverläufe vor, dann lässt sich das Netzwerkproblem mit einem in Bezug auf das Problem modifizierten Simplex-Verfahren (vgl. Glover et al., 1981, S. 148–176) oder speziellen auf Netzwerkflussprobleme adaptierten Algorithmen (vgl. Magnanti et al., 1984, S. 1–48) berechnen. Solche Problemstellungen erweisen sich jedoch als praxisfremd und somit als untauglich. Bei einer Vielzahl von alltäglichen Netzwerkgestaltungsproblemen liegen keine linearen Kosten vor, sondern es werden durch Anwesenheit zusätzlicher Problemmerkmale nicht-konvexe Kosten angenommen.

In den nächsten beiden übergeordneten Abschnitten erfolgt die Vorstellung der bereits weiter oben klassifizierten exakten und heuristischen Lösungstechniken, mit denen sich Netzwerkprobleme mit der Eigenschaft nicht-konvexer Kosten berechnen lassen.

9.3 Exakte Lösungsverfahren

Exakte Lösungsverfahren eignen sich zur Lösung von Netzwerkgestaltungsproblemen, wenn das Ziel die Ermittlung minimaler nicht-konvexer Kosten ist. Diese Verfahren berechnen optimale Ergebnisse. Dieser Problemstellung haften jedoch fehlende globale Optimalitätskriterien an. Deshalb erfolgt die Enumeration extremaler Punkte als lokale Optima, weil mit einem dieser Punkte die Optimallösung assoziiert wird (vgl. Fleischmann, 1998). Ungünstig ist in manchen Lösungsverfahren, dass die Suche nach der Optimallösung in lokalen Optima verharrt. Klincewicz (1992) verfolgt in seiner Arbeit die Idee der Vermeidung lokaler Optima im Zusammenhang mit dem p-Hub-Location-Problem mithilfe einer Tabuisierung, d. h., es werden Abbruchkriterien zum Terminieren des Algorithmus bei lokal vermuteten Optimallösungen eingeführt. Globale Optimalitätskriterien sind auch dann auszuschließen, wenn nicht lineare Restriktionen Prämisse der Modelle sind. Benson (1996, S. 64 ff.) nennt zur Minimierung nicht-konvexer Kosten mehrere Techniken. Die wichtigsten davon sind das Branch-and-Bound-Verfahren sowie das Extrempunkt-Ranking.

9.3.1 Branch-and-Bound-Verfahren

Die Idee des Branch-and-Bound-Verfahrens stammt von Land und Doig (1960, S. 497–520) und ist seither im Bereich des Operations Research nicht mehr wegzudenken. Dakin (1965, S. 250–255) entwickelte auf Basis dieser Idee einen einfach zu implementierenden Algorithmus. Das Branch-and-Bound-Verfahren zählt zu den impliziten Enumerationsverfahren (vgl. Burkard, 1995, S. 18). Enumerationsverfahren eignen sich zur Lösung ganzzahliger

[83] Die Layoutplanung von Luftverkehrsnetzen wird in dieser Arbeit noch ausführlich behandelt.

Optimierungsprobleme, wie bei dem hier vorgestellen Kostenminimierungsproblem. Für kleine Problemstellungen lassen sich die ausgerechneten Zielfunktionswerte enumerativ vergleichen, um daraus die Optimallösung zu bestimmen. In diesem Fall spricht man von einer vollständigen Enumeration. Andernfalls ist es günstiger, die zulässigen Lösungen in Klassen aufzuteilen und innerhalb der Klassen nach Optimallösungen zu suchen. Wird während der Enumeration festgestellt, dass sich eine potenzielle Optimallösung nicht in der aktuell untersuchten Klasse befindet, lässt sich diese Klasse im Weiteren ausschließen.

Branch-and-Bound ist ein implizites Enumerations-Verfahren mit dem Ziel der Ermittlung einer besten Lösung für ein ganzzahliges Optimierungsproblem. Die Kostenminimierung stellt ein derartiges Optimierungsproblem dar. Die Idee der Methode von Branch-and-Bound besteht darin, den Enumerations-Algorithmus in ein Branching („Verzweigen“) und ein Bounding („Beschränken“) aufzuteilen. Im Rahmen der Enumeration wird versucht, Lösungsklassen als suboptimal zu identifizieren.

Branching („Verzweigen“)
Mit dem Branching soll durch Bildung von Teilproblemen eine Verkleinerung des ursprünglichen Problems erreicht werden. Der Vorgang der Problemreduktion wird auch als Relaxation bezeichnet, der der Teilproblemaufteilung als Separation (vgl. Skorin-Kapov et al., 1996 S. 582–593). Der Branching-Schritt erfolgt rekursiv. Hierzu haben sich drei Verfahren herausgebildet: die Tiefen-, die Breiten- und die Bestensuche.

Bounding („Beschränken“)
Im Bounding-Schritt findet die Ausklammerung der Lösungsklassen durch Berechnung und Vergleich zweier Schranken statt, die in weiteren Branching-Schritten nicht mehr betrachtet werden sollen. Der Weg vom ersten Branching zu einem Teilproblem ist die untere Schranke („lower bound“) des betrachteten Teilproblems. Eine obere Schranke („upper bound“) in einem Branching-Schritt bildet die in diesem Schritt aktuelle optimal zulässige Lösung. Ist in einem Teilproblem der untere Schrankenwert höher als der obere Schrankenwert, so lässt sich die in dem Branching-Schritt durchlaufene Lösungsklasse abschneiden, da wenigstens eine bessere Lösung in einer anderen Lösungsklasse existiert. Das Branch-and-Bound-Verfahren terminiert bereits vor der Ermittlung der optimalen Lösung und stellt damit ein unvollständig exaktes Verfahren dar.

Im Bereich der Location-Allocation-Problematik wendet Aykin (1995A, S. 201–221) ein Branch-and-Bound-Verfahren für den Vergleich von heuristischen Ergebnissen mit exakten Lösungen an. Auch Crainic et al. (1993, S. 90–101) nutzen zur Lösung eines Hub-Location-Problems ein solches Verfahren. O’Kelly et al. (1995, S. 713–721) wenden ein Branch-and-Bound-Verfahren mit Lower Bounds für ein Hub-Location-Problem an. Ernst et al. (1996, S. 139–154) bzw. Ebery et al. (2000, S. 614–631) formulieren ebenfalls ein p-Hub-Median-Problem als Multicommodity-Ansatz und verwenden für den Upper Bound ein Branch-and-Bound-Verfahren. Skorin-Kapov et al. (1996, S. 502–509) setzen in ihrem p-Hub-Median-Problem ebenfalls zur LP-Relaxation ein Branch-and-Bound-Verfahren ein und Crainic et al. (1993A, S. 359–383) tun dies wiederum bei einem Multicommodity-Problem.

9.3.2 Extrempunkt-Ranking

Ein weiteres exaktes Verfahren stellt das Extrempunkt-Ranking dar, das zu den spezifischen Verfahren zählt. Es überwindet die Schwäche des Linearisierungsverfahrens, das die Vermutung des Vorhandenseins einer optimalen Lösung auf einem Extrempunkt der untersuchten Region nicht zu berücksichtigen vermag (vgl. Magnanti et al. 1984, S. 42). Beim Extrempunkt-Ranking wird hingegen bewusst dem Umstand Rechnung getragen, dass die optimale Lösung auf einem Extrempunkt der untersuchten Region liegt. Heuristiken zum Extrempunkt-Ranking untersuchen speziell die Nachbarschaftsregionen, auf denen Extrempunkte vermutet werden, wovon sich weniger Rechenschritte als bei der Linearisierung versprochen werden. Der Nachteil dieser Methode ist aber, dass die Anzahl möglicher Netzwerkzyklen mit Zunahme der Problemgröße rapide anwächst. Wissenschaftliche Arbeiten zum Extrempunkt-

Ranking sind in der Literatur eher spärlich vertreten. Die meisten Untersuchungen zu diesem Thema fanden im Zusammenhang mit konkaven Kostenverlaufsproblemen statt. Stellvertretend sei auf die folgenden Arbeiten hingewiesen. Zadeh (1973, S. 315–331) führt in seiner Arbeit eine Serie von Heuristiken auf der Basis eines Extrempunkt-Rankings ein. Den Heuristiken ist eigentümlich, dass deren Algorithmen den Netzwerkfluss über Zyklen rerouten, womit sich die Anzahl der Rechenschritte deutlich reduzieren lässt. Lösungen zu Netzwerkproblemen mit konkaven Kostenstrukturen lassen sich somit schneller berechnen. Auch Gallo et al. (1979, S. 239–249, 1980, S. 248–255) wenden ein Extrempunkt-Verfahren zur Nachbarschaftssuche auf eine Problemstellung mit konkaven Kosten an.

9.4 Heuristische Verfahren

Der Einsatz heuristischer Verfahren, oder auch bloß Heuristiken bzw. heuristische Methoden genannt, erfolgt zur Lösung solcher komplexer Problemstrukturen, bei denen unter Verzicht auf eine optimale Lösung näherungsweise suboptimale Lösungen erzeugt werden und der hierfür benötigte Rechenaufwand vertretbar bleibt (vgl. Müller-Merbach, 1988, S. 173 ff.). Semantisch heißt heuristisch so viel wie „nützlich zum Entdecken oder Herausfinden“ (vgl. Rödder et al., 1995, S. 29). Heuristische Verfahren gelten als Näherungsverfahren (vgl. Domschke, 1990). Bei Einsatz von heuristischen Verfahren gibt es expressis verbis keine Garantie für eine optimale Lösung. Sie dürfen nicht als das Gegenstück zu exakten Verfahren aufgefasst werden, vielmehr gelten sie als suboptimierende Verfahren unter Verzicht auf den Konvergenzbeweis (vgl. Gietz, 1994, S. 24).

Heuristische Verfahren werden dann favorisiert eingesetzt, wenn für die Ermittlung einer optimalen Lösung der Rechenaufwand unter Einsatz eines exakten Lösungsverfahrens unvertretbar wird. Der wichtigste Vorteil heuristischer Verfahren besteht in der Einfachheit der Programmierung des Algorithmus und der deutlichen Reduktion des Rechenaufwands auf polynominale Beschränkung (vgl. Domschke, 1990, S. 15). Als Nachteile sind die Suboptimalität der Lösung und die Unwissenheit über die Lösungsgüte zu nennen. Auf der Anwendungsseite haben Heuristiken mittlerweile nicht zuletzt wegen der aufgezeigten Vorteile eine hohe Akzeptanz erfahren (vgl. Müller-Merbach, 1988, S. 290). Vielfach kommen Heuristiken zur Lösung des Traveling-Salesman-Problems zur Anwendung (vgl. Ruigies 1995, S. 5).

Einen allgemeinen Überblick über heuristische Verfahren im Operations Research liefern Burckhardt (1969, S. 233–248) und Hellmann (1984, S. 155, S. 165). Speziell für Netzwerk-Design-Probleme schlägt Fleischmann (1998) folgende Lösungsheuristiken vor:

- lokale Linearisierung,
- Dekomposition der Problemstellung,
- Local-Search-Verfahren,
- Relaxation-Verfahren.

Heuristiken für Hub-Location-Probleme beschreibt Cooper (1964, S. 37–52). Mit neueren metaheuristischen Ansätzen beschäftigen sich vor allem in jüngerer Zeit einige Coautoren.[84] In den nachfolgenden Unterabschnitten werden die wichtigsten Heuristiken vorgestellt, wobei auf das Local-Search-Verfahren ein besonderes Augenmerk gelegt wird.

9.4.1 Lokale Linearisierung

Die Lokale Linearisierung stellt eine Heuristik dar, die sich zur Lösung von Problemstellungen mit nicht konvexen Kostenstrukturen eignet. Die Lösungsstrategie ist dabei, die nichtkonvexe Kostenstruktur in lokale lineare Kostenblöcke zu transformieren, um so quasilineare Kostenverläufe zu erhalten (vgl. Wlcek, 1988, S. 55). Die Problemstellung reduziert sich so zu einer ganzzahligen Optimierungsaufgabe.[85] Liegt dem Optimierungsproblem eine

[84] Vgl. die Heuristiken zu Simulated Annealing (vgl. Eglesi, 1990, S. 271–281) und zum Tabu-Search-Verfahren (vgl. Klincewicz, 1989, 1991, S. 25–37) weiter unten.
[85] Optimierungsproblem, bei dem alle Variablen nur ganzzahlige Werte annehmen dürfen.

konkave und differenzierbare Kostenfunktion zugrunde und werden bei der Bildung der Kostenblöcke die Grenzkostensätze verwendet, so lässt sich die Konvergenz zu einem lokalen Optimum nachweisen, d. h., das lokale Minimum erfüllt die Kuhn-Tucker-Bedingungen[86]. Yaged (1971, S. 139–172) gilt als Vorreiter für die Einführung einer Heuristik auf Basis der lokalen Linearisierung zur Lösung eines konkaven Routing-Kostenproblems (MCMF-Problem[87]). Der Heuristik liegt eine Methode namens *successive approximation technique* (oder *linearization technique*) zugrunde, die die oben aufgezeigten Eigenschaften und Verfahren abbildet. Der Vorteil dieses Ansatzes der ganzzahligen Optimierung von Yaged besteht in der Einfachheit des Algorithmus und dessen Implementierung[88] sowie in der Effizienz der Berechnung, da numerisch durchgeführte Analysen zeigen, dass ungeachtet der Startlösung und groß dimensionierter Netzwerke die Anzahl der Ganzzahligkeits-Iterationen sehr niedrig ist[89]. Minoux (1989, S. 318 f.) zufolge weist die Methode grundsätzliche Mängel auf, welche die Lösungsgüte beeinträchtigen. Denn welche ganzzahligen Werte ermittelt werden, hängt entscheidend von der Startlösung ab. Eine Verbesserung der Ausgangslösung ausgedrückt als Kostendifferenz zwischen der anfänglichen Lösung und der echten optimalen Lösung fällt oftmals marginaler aus, als man erwarten würde. Der Autor schlussfolgert, dass das lokale Optimum im Ergebnis nur dann gut ausfällt, wenn die Startlösung bereits die minimale Kostenlösung approximiert. Das eigentliche Kernproblem der lokalen Linearisierung ist somit mit der Aufgabe behaftet, eine möglichst gute Ausgangslösung zu finden, die möglichst rasch in lokalen Optima terminiert.

Für Netzwerk-Design-Probleme im Bereich von Luftverkehrsnetzen sind keine Verfahren bekannt, bei denen die vorgestellte Technik zum Einsatz kommt, nicht zuletzt deswegen, weil in den Modellansätzen zulasten der Verwendung einer Kostenfunktion vielfach mit Proportionalitätsfaktoren gearbeitet wird, so wie auch in dieser Arbeit (vgl. z. B. O'Kelly, 1987, S. 394). Wlcek (1998, S. 55) dagegen nennt in seiner Arbeit einen Anwendungsfall im Bereich der Gestaltung von Distributionssystemen.

9.4.2 Dekomposition der Problemstellung

Die Grundidee der Dekomposition besteht darin, eine komplexe, speziell strukturierte Problemstellung in Unterproblemkreise zu zerlegen, die sich so einfacher lösen lassen. Das Dekompositionsprinzip lässt sich auf Dantzig und Wolfe (1960, S. 30–38) zurückführen. Zwar argumentiert Müller-Merbach (1988, S. 173–175), dass strukturelle Probleme auch mit der Simplex-Methode oder mit Derivaten der Simplex-Methode lösbar sind, jedoch weist die Dekomposition gegenüber der Simplex-Methode einen rechnerischen Vorteil auf. Nicht alle Netzwerk-Design-Problemstellungen sind dekompositionsfähig, sondern nur solche, die sich in autonom lösbare Teilprobleme aufgliedern lassen. Unkapazitierte Netzwerk-Design-Probleme, denen die Standortentscheidung und Zuordnung zu Standorten gegenständlich ist, eignen sich zur Dekomposition. Standortentscheidungsprobleme werden in die Teilprobleme Standortfestlegung und Ermittlung der Transportkosten auf Basis der fixierten Standorte zerlegt (vgl. Wlcek, 1998, S. 54). Bei Modellen mit Standort- und Zuordnungsproblemen (Location-Allocation-Problemen) erfolgt die Zerlegung in die Teilprobleme Standortentscheidung und Zuordnungsentscheidung. Hub-Location-Probleme sind auf diese Weise geradezu prädestiniert für eine Dekomposition. Der wesentliche Vorteil der Dekomposition besteht in der deutlichen Reduktion der zu untersuchenden Problemgröße.

Zur Dekompositionsproblemstellung sind verschiedene Heuristiken und Methoden entwickelt worden. Benders (1962, S. 238–252) löst ein gemischt ganzzahliges Programm, dem eine mit speziellen Strukturen ausgestattete Problemaufgabe zugrunde liegt, mithilfe eines Dekompositionsansatzes. Dabei teilt er das Grundproblem in zwei Optimierungsaufgaben auf, wobei sich die eine durch ein konventionelles lineares Programm berechnen lässt und die andere ein triviales ganzzahliges Optimierungsproblem darstellt. Die sog. Benders Dekom-

[86] Das Kriterium für das lokale Maximum einer Funktion unter Nebenbedingungen bezeichnet man als Kuhn-Tucker-Bedingung.
[87] MCMF steht für Minimum Cost Multicommodity Flow, d. h., es geht um die Optimierung von Netzwerk-Design-Problemen mit dem Ziel der Minimierung der Kosten auf Basis des Warenflusses (Commodity Flow).
[88] Jede Iteration kommt mit „kürzeste Pfad"-Berechnungen aus.
[89] In der Regel kommt man mit 5 bis 8 Iterationen aus.

position zählt zu den Schnittebenenverfahren zur Lösung reiner ganzzahliger linearer Programme (vgl. Burkard, 1995, S. 48).

Franca et al. (1982, S. 113–126) verwenden einen Algorithmus auf Grundlage der allgemeinen Benders Dekomposition für ein kombiniertes Transport- und Lokationsproblem. Richardson (1975, S. 52–71) benutzt die Bender Dekomposition bei der Konzeption von Flugzeugrouten.

O'Kelly (1987, S. 397 f.) unterteilt ein Ein- und Zwei-Hub-Location-Problem als quadratisches Integer-Programm in ein „Location-to-Hub"- und in ein „Allocation-to-Hub"-Problem und setzt zur Lösung jedes Teilproblem einen eigenen heuristischen Algorithmus ein. Die erste Heuristik zum Location-Problem löst durch vollständige Enumeration die Konfiguration aller möglichen Hub-Anordnungen unter der Annahme, dass jeder Knoten an den nächsten Hub angeschlossen wird. Die zweite Heuristik nimmt die Allokation eines jeden Nichthubs zum ersten oder zweiten Hub vor. O'Kellys Problemstellung wurde durch Nachfolgeautoren weiter untersucht und es erfolgte die Entwicklung neuer Heuristiken, denen das Konzept der Dekomposition zugrunde gelegt wurde. Klincewicz (1991, S. 25–37) entwickelt eine Exchange-und-Clustering-Heuristik für die gleiche Problemstellung zur Lokation und zur Allokation. In einer weiteren Arbeit (1992, S. 283–302) setzt er eine auf Tabu Search basierte Heuristik ein, um lokale Optima im p-Hub-Problem zu vermeiden[90]. Zur gleichen Problemstellung wendet Skorin-Kapov (1994, S. 502–509) eine Tabu-Suche an. Das von O'Kelly (1987, S. 38–403) aufgezeigte Location- und Allocation-Problem rechnet er auf Basis der Flugverkehrsdaten des Civil Aeronautics Board in den USA für 25 Städte durch. Die Problemstellung und damit auch der Dekompositionsansatz lassen sich auf Lokations- und Allokationsprobleme in Luftverkehrsnetzen übertragen.

9.4.3 Klassifikation von Local-Search-Verfahren

Local-Search-Verfahren, oder auch lokale Suchverfahren genannt, zeichnen sich dadurch aus, dass sie einfache Nachbarlösungen erzeugen und der Algorithmus eine schnelle Berechnung der Zielfunktionswerte erlaubt. Sie eignen sich bestens für Heuristiken zur Nachbarschaftssuche in Netzwerkgestaltungsproblemen. Nachbarschaftssuchverfahren sind iterative Verfahren, indem wiederholend neue Lösungen erzeugt, evaluiert und daraufhin entweder übernommen oder verworfen werden (vgl. Wlcek, 1998, S. 57). Lokale Suchverfahren eignen sich insbesondere zur Lösung von p-Hub-Median-Problemen.

Zur Klassifikation von Heuristiken für Local-Search-Verfahren dienen die nachfolgenden Merkmale[91]

- Single-Start-Verfahren (ausgehend von einer einzigen Lösung);
- Multi-Start-Verfahren (ausgehend von mehreren Anfangslösungen);
- Art der Untersuchung der Nachbarschaft: ein Nachbar, Teile der Nachbarschaft, ganze Nachbarschaft;
- Erzeugung der Nachbarschaft: deterministisch, stochastisch, dynamisch;
- Bewertung einer Nachbarlösung;
- Terminierung der Heuristik.

Die Kriterien lassen sich noch dahingehend differenzieren, ob sie die Lösungsgüte der Heuristik oder den Algorithmus der Heuristik als solche näher charakterisieren:

Ausgangs- oder Verbesserungsheuristik (-verfahren)
Ein erstes Unterscheidungskriterium ist, ob es sich um eine Ausgangs- oder Verbesserungsheuristik (-verfahren) handelt. Ein Ausgangs- oder Eröffnungsverfahren ermittelt eine erste

[90] Auf die Heuristik-Tabu-Suche oder Tabu Search wird weiter unten näher eingegangen.
[91] Die Klassifikation erfolgt in Anlehnung an die Einordnung von lokalen Suchverfahren in der Dissertation von Wlcek (1998, S. 57– 61). In dieser Arbeit werden speziell die Klassifikationsmerkmale aufgeführt und mit Literaturbeispielen hinterlegt, die Gegenstand der Modellberechnung sind.

zulässige Lösung (vgl. Fleischmann, 1994, S. 217). Ein Verbesserungsverfahren optimiert hingegen schrittweise einen schon bekannten initialen Lösungswert (vgl. Rödder et al., 1995, S. 29). Verbesserungsverfahren gelten als suboptimierende Iterationsverfahren. Location-Search-Verfahren stellen üblicherweise Verbesserungsverfahren dar (vgl. Rödder et al., 1995, S. 30). Kombinierte Ausgangs- und Verbesserungsverfahren sind möglich und kommen in der Praxis durchaus vor. Gietz (1994, S. 26) klassifiziert eine solche Kombinatorik als Verbundverfahren im Zusammenhang mit Vehicle-Routing-Problemen.

Für nicht mit exakten Verfahren berechenbare Operations-Research-Probleme ist mittlerweile eine große Anzahl von Ausgangsheuristiken entwickelt worden. Exemplarisch hierfür sollen einige Ausgangsheuristiken für Standort- und Zuordnungsprobleme angerissen werden. Das Verfahren des besten Nachfolgers gilt als wohlbekannte Ausgangsheuristik beim klassischen Traveling-Salesman-Problem (vgl. Müller-Merbach, 1966, S. 32–46). Speziell für Location-Allocation-Probleme greift man auch für die Location-Aufgabe auf Exchange-Heuristiken oder auf die vollständige Enumeration als Ausgangsverfahren zurück (vgl. O'Kelly et al., 1991A, S. 367–380).

Die Performance der Ausgangsheuristik quantifiziert den Unterschied der Lösungsgüte zwischen einer zulässigen Ausgangslösung und der optimalen Lösung und hängt entscheidend von den Lösungseigenschaften der ausgewählten Startlösung ab. Die Performance differiert unter den Ausgangsverfahren beträchtlich. Insoweit finden sich in der Literatur auch einige Arbeiten, in denen sich speziell mit Strategien zum Auffinden einer Anfangslösung beschäftigt wird. Stellvertretend hierfür wird auf den Aufsatz von Aykin (1995A, S. 206) verwiesen, der im Rahmen einer Untersuchung zur Theorie und Methodik des Hub-Location-und-Routing-Problems neben der Enumeration vier Strategien zur Lokalisation von Start-Hubs für einen Location-Routing-Algorithmus vorstellt. Bei einer Strategie werden die Ausgangshubs durch Randomisierung in der euklidischen Ebene erzeugt. Bei den übrigen Strategien und für den Fall der Enumeration erfolgt die Ermittlung von Start-Hubs aus der Menge der Nachfragepunkte. Diesem Vorgehen liegt die Erwartungshaltung zugrunde, dass eine Optimallösung nahe an die Bedingungen der Struktur der Routen und des Hub-Location geknüpft ist. Klincewicz (1991, S. 27 ff.) untersucht die Aufnahme von Hubs in die Startlösung unter Multikriteria-Bedingungen und schlägt hierfür zwei Heuristiken vor. Eine Single-Exchange-Heuristik (Ausgangsverfahren) startet mit einer anfänglichen Menge von p Hubs, welche die p-größten Werte von O_i und D_i[92] für sich verbuchen. Eine Double-Exchange-Heuristik startet mit der Lösungsmenge der Single-Exchange-Heuristik.[93]

Single-Start- oder Multi-Start-Verfahren

Startet das Verbesserungsverfahren mit einer einzigen initialen Lösung, so spricht man von einem Single-Start-(Verbesserungs-)Verfahren. Erfolgt die Suche des Verbesserungsverfahrens mit einer Mehrzahl anfänglicher Lösungen oder mehrfach unabhängig voneinander (vgl. Wlcek, 1998, S. 57), so bezeichnet man es als Multi-Start-(Verbesserungs-)Verfahren. Single- oder Multi-Start-Verfahren sind auch bei Eröffnungsheuristiken denkbar. Soweit ein Verfahren iterativ neue Lösungsmengen berechnet, gilt es nach der obigen Definition als Multi-Start-Verfahren.

Der Multi-Start der Double-Exchange-Heuristik[94] von Klincewicz (1991, S. 25–37) für ein p-Hub-Location-Problem erfolgt mit einer Hubkonfiguration von p Hubs, soweit $p > 1$ ist. Auch die Tabu-Suche in Skorin-Kapov et al. (1994, S. 502–509) startet wie im Ansatz von Klincewicz (a. a. O) mit einer mehrfachen Ausgangslösung unter derselben Voraussetzung für p und überdies für diejenigen Knoten, die den höchsten Verkehr O_i und D_i aufweisen. Die Add-Heuristik gilt wegen der Eröffnung singulärer Hubs in jedem Lösungsschritt als Single-Start-Verfahren, wohingegen bei der Drop-Heuristik[95] die gesamte Nachbarschaft in einem

[92] O steht für Origin (Startort) und D für Destination (Zielort).
[93] Die Exchange-Heuristik wird weiter unten noch näher behandelt.
[94] Die Double-Exchange-Heuristik wird in einem späteren Kapitel noch erläutert.
[95] Beide Heuristiken werden nachfolgend noch erklärt.

Rechenschritt simultan untersucht wird und somit als Multi-Start-Verfahren zu qualifizieren ist (vgl. Aykin, 1995B, S. 29). Die vom vorgenannten Autor aufgestellte Drop-Heuristik basiert auf einem Greedy-Algorithmus mit einer Multi-Start-Lösung, die den Namen Drop-Greedy-Algorithmus trägt, und die Interchange-Heuristik wird auf eine Single-Start-Lösung gestützt. Für randomisiert selektierte Startlösungen in der euklidischen Ebene kann es eine oder mehrere Startlösungen geben, was zur Indifferenz eines Single- oder Multi-Start-Verfahrens führen kann.

Erzeugung der anfänglichen Lösung und der Nachbarschaft
Die zu untersuchende Nachbarschaft in einer Anfangs- oder Verbesserungslösung lässt sich stochastisch oder deterministisch erzeugen. Im ersten Fall wird die zu analysierende Nachbarschaft von der Suchstrategie randomisiert für die einzelnen Iterationsschritte selektiert. Im letzten Fall wird die Nachbarschaft konkret bestimmt und nicht der zufälligen Auswahl durch die Heuristik überlassen. Sinn macht eine zufallsgesteuerte Nachbarschaftssuche allerdings nur im Falle der Teilmengenbetrachtung einer Nachbarschaft.

In dem Ansatz von Klincewicz (1992) und Aykin (1995A, S. 207) wird die Ausgangslösung von p Hubs (Start-Hub-Location) randomisiert ermittelt. Die Heuristik 1 im Single-p-Hub-Median-Problem von O'Kelly (1987) bestimmt die Lokalisation von Hubs durch vollständige Enumeration nach der Regel der nächsten Entfernung, soweit die Anzahl der Hubs nicht größer als vier ist. Auch beim Traveling-Salesman-Problem oder beim klassischen Rundreiseproblem erfolgt die Auswahl einer genau vorher festgelegten Nachbarschaft (vgl. Held, 1970, S. 1138–1162). Diese Vorgehensweise der Nachbarschaftsauswahl bezeichnet man als deterministisch. Auch die weiter unten vorgestellte Metaheuristik Tabu-Suche gilt im Vergleich zu anderen Metaheuristiken als deterministisches Verfahren (vgl. Rödder et al., 1995, S. 49).

Für Metaheuristiken hingegen ist eine zufallsgetriebene Nachbarschaftsauswahl charakteristisch wie Simulated Annealing (vgl. Kirkpatrick et al., 1983, S. 671–680), Record-to-Record (vgl. Dueck 1993, S. 86–92), Treshold-Accepting und Sintflut (vgl. Dueck et al., 1990, S. 161–175) sowie genetische Verfahren (vgl. Lonkte, 1994)[96].

Umfang der Nachbarschaft
Der Umfang und die Art der zu untersuchenden Nachbarschaft sind abhängig von der Problemstellung und wirken sich im hohen Maße auf die Qualität der Lösung aus (vgl. Wlcek, 1998, S. 57). Der Umfang der Nachbarschaft kann von einem Nachbarelement über eine Nachbarschaftsteilmenge bis hin zur gesamten Nachbarschaft reichen. Die selektive Nachbarschaftsmenge hängt von der gewünschten Lösungsgüte und Zielsetzung ab und beeinflusst die Berechnungszeit der Untersuchungsheuristik. Die Auswahl der Nachbarschaft kann sofern nicht die gesamte Nachbarschaft einbeziehen bzw. stochastisch oder deterministisch festgelegt werden. Im Rahmen der Bewertung von benachbarten Lösungen ist zu entscheiden, welche Nachbarn in die nächste Lösungsiteration übernommen und welche verworfen werden. Der Abbruch der Nachbarschaftssuche erfolgt nach festgelegten Kriterien.

Bei Exchange-Heuristiken[97] wird in der Regel nur ein einzelnes Nachbarschaftselement analysiert[98]. Bei Lokation- und Allocation-Austauschheuristiken zu p-Hub-Median-Problemen erfolgt der Austausch eines Nichthubs mit einem Hub bzw. die Zuordnung eines Nichthubs zu einem Hub unter der Voraussetzung einer Kostenreduktion (vgl. Vahrenkamp, 1998B, S. 13). Bei der Double-Exchange-Heuristik von Klincewicz (1991, S. 29) werden zwei Nichthubs gegen zwei Hubs ausgetauscht, d. h., es werden zwei Nachbarschaftselemente aus einer Startlösung mit p Hubs untersucht. Es gibt auch Verfahren, wie etwa die Tabu-Suche, bei denen in einem Iterationsschritt simultan mehrere Nachbar-Elemente oder gar die gesamte

[96] Auf die Metaheuristiken Simulated Annealing, Record-to-Record, Treshold-Accepting wird weiter unten noch eingegangen.
[97] Auch Austauschheuristiken genannt.
[98] Die Heuristiken werden weiter unten noch näher behandelt.

Nachbarschaft selektiv betrachtet werden (vgl. Crainic et al., 1993 S. 359–383, 1995, S. 113–123, Gendron et al. 1999). Auch Varianten des Abstiegsverfahrens behandeln die gesamte Nachbarschaft simultan in einem Rechenschritt (vgl. Dutta et al., 1994, S. 344–356).

Die genetischen Algorithmen operieren in der Regel auf einem zufällig ausgewählten Teil des Lösungsraumes, so genannten Lösungspopulationen, sowohl bei den Ausgangs- als auch bei den Verbesserungslösungen (vgl. Rödder et al., 1995, S. 64).

Terminierung der Algorithmen
Die Terminierung des Algorithmus der Heuristik stellt ein weiteres Klassifizierungskriterium dar. Darunter versteht man, unter welchen Bedingungen die Heuristik beendet wird. Es gibt grundsätzlich zwei Arten zur Beendigung einer laufenden Iteration der Heuristik. Zum einen wird die Heuristik für den Fall beendet, wenn eine Lösung gefunden ist, die die optimale Lösung ist. Zum anderen bricht der Algorithmus der Heuristik z. B. nach einer vorher festgelegten höchsten Anzahl durchlaufener Iterationen ab in Ermangelung des Auffindens einer Optimalitätslösung. In der Literatur wird eine Vielfalt an möglichen Abbruchkriterien diskutiert. Bei den p-Hub-Location-Problemen terminieren die meisten Algorithmen nach dem Kriterium der Iterationszahl.

In dem Tabu-Search-Verfahren zum p-Hub-Locatin-Problem etwa von Klincewicz (1992, S. 283–302) sind maximal so viele Iterationen zugelassen wie die Anzahl der gewünschten Hub-Anzahl p.

Single- oder Multikriteria-Zuordnung
Es wird weiterhin unterschieden, ob die Hub-Zuordnung eines Nichthub-Knotens anhand eines oder mehrerer Kriterien erfolgt. Man spricht deshalb entweder von einer Single- oder Multikriteria-Zuordnung. In vielen Fällen zu Hub-Location-Problemen wird lediglich die Distanz zwischen einem Hub-Knoten und einem Nichthub-Knoten als singuläres Kriterium für eine Hub-Zuordnung gebraucht, so etwa in dem quadratischen Zuordnungsproblem bei O'Kelly (1987)[99] oder in den Heuristiken bei Campbell (1991). Klincewicz (1992, S. 27 f.) dagegen kritisiert in seinem Aufsatz die Zuordnungspolitik nach dem Single-Kriterium und fordert allgemeinere, flexiblere Regeln für Hub-Zuordnungsschemen, die sich an der Problemstellung ausrichten lassen. Er führt ein Multikriteria-Hub-Assignment ein und bezieht neben dem bekannten Kriterium der Entfernung lediglich das Verkehrsaufkommen als weitere Zuordnungsvariable ein.

Lösungsstrategie und propagierte Lösungsgüte
Die Lösungsstrategie ist eng mit dem Ziel zur Verfolgung einer bestimmten Lösungsgüte verknüpft. Die Eigenschaften der Nachbarschaftssuche tragen dabei wesentlich zur Lösungsqualität bei (vgl. Wlcek, 1998, S. 58). Auf der Ebene der Lösungsgüte werden beste und zweitbeste, d. h. optimale und suboptimale Lösungsklassen differenziert. Die Strategie kann auch lediglich die Ermittlung des nächsten Nachbarn umfassen. Die Intensität der Suche impliziert wiederum die Lösungsgüte, d. h., je breiter oder tiefer die Nachbarschaft analysiert wird, desto besser kann die Qualität der Lösung ausfallen. Dadurch bestimmt sich auch der Rechenaufwand und es leitet sich die Auswahl des Untersuchungsumfangs der Nachbarschaft her (vgl. Wlcek, a. a. O).

Die Strategie der besten Lösung bzw. des besten Nachbarn wird etwa bei der Tabu-Search-Methode oder bei Ausgangsverfahren verfolgt. Die Tabu-Suchstrategie lässt jedoch zur Vermeidung von Zyklen in lokalen Optima auch Verschlechterungen der Nachbarwerte zu.

Mit zweitbesten Lösungen begnügt sich O'Kelly (1987, S. 393–404) bei der Heuristik 2 zum Hub-Location-Problem, wohingegen die auf Enumeration basierte Heuristik 1 die Ermittlung

[99] Die Heuristik entscheidet Hub-Zuordnungen ausschließlich nach dem Kriterium der Distanz.

bester Lösungen zum Ziel hat. In dem Ansatz von Klincewicz (1992, S. 283–302) wird gar aus den Ausgangslösungen mit den sieben größten Kostenersparnissen (so genannte sieben beste Lösungen) eine stochastische Auswahl für die Verbesserungsheuristik vorgenommen. Bei Ausgangsverfahren wird regelmäßig eine schlechte Lösungsgüte hingenommen.

Formulierung von Eigenschaften von Nachbarschaftselementen
Die Tatbestandsmäßigkeit von Eigenschaften von Nachbarschaftselementen muss sich durch geeignete Entscheidungsvariablen formulieren und in die Modelle einführen lassen. Das Vorhandensein oder das Fehlen einer Eigenschaft lässt sich über ihren Zustand erklären und mittels einer binären Variable durch Setzen der Werte {1 = anwesend; 0 = abwesend} steuern. Falls eine willkürlich gewählte Variable X_i zur Beschreibung von Eigenschaften den Wert 1 annimmt, dann bedeutet dies, dass für das Nachbarelement i die Eigenschaft X zutrifft, andernfalls wäre der Wert 0.

Bei Standortentscheidungsfragen, so etwa beim Hub-Location-Problem, wird die Eigenschaft, ob ein Nichthub-Knoten an einen bestimmten Hub-Knoten angeschlossen ist, durch eine duale Variable mit der möglichen Wertemenge {0; 1} zum Ausdruck gebracht.

O'Kelly (1986A, S. 96) hat bereits die Knotenzuordnung zum Hub 1 bzw. 2 in seinem Zwei-Hub-Location-Problem mittels zweier Binärvariablen U_i bzw. V_i gelöst, indem die Variable U bzw. V den Wert eins aufweist, wenn der Knoten i über den Hub 1 bzw. Hub 2 geroutet wird. Andernfalls weist die Variable den Wert 0 für U_i bzw. V_i auf. Crainic et al. (1989, S. 370) benutzen in ihrem Modell für ein Multicommodity-Location-Allocation-Problem eine Binärvariable y_j zur Beschreibung der Eigenschaft der Öffnung eines Depots j. Binärvariablen lassen sich zur Formulierung vielfältiger Zuordnungsentscheidungsprobleme einsetzen.

Heuristiken für die Nachbarschaftsselektion
Ein Add-Schritt beschreibt die Hinzufügung eines Standorts aus der Nachbarschaft zur Lösungsmenge. Bei einem Drop-Schritt hingegen wird ein Standort aus der Lösungsmenge gelöscht. In beiden Fällen wird ein einzelnes Nachbarschaftselement betrachtet. Ein Exchange-Schritt hingegen kombiniert den Add- und Drop-Schritt in einem Durchgang. Für die einzelnen Schritte wurden problemspezifische Heuristiken entwickelt, die vornehmlich bei Location-Allocation-Problemen zum Einsatz kommen. Die Add-, Drop- und Exchange-Heuristiken entsprechen den in den Modellen am häufigsten verwendeten Heuristikverfahren (vgl. Magnanti et al., 1984, S. 29 f.).

Die Add-Heuristik hat zur Aufgabe, ausgehend von einem selektierten Ausgangs-Hub und bis zum Erreichen der Anzahl p Hubs, durch Eröffnung weiterer Hubs in jedem Schritt die Gesamtkosten höchstmöglich zu reduzieren. Die Add-Heuristik stellt eine Verbesserungsheuristik dar, da sie eine initiale Lösung vorausschickt. Es handelt sich auch, wie bereits aufgezeigt, um ein Single-Start-Verfahren, da es mit einer Ausgangslösung auskommt. Es wird in jeder Iteration nur mit einem Nachbarelement gearbeitet. Die Eröffnung eines Hubs kann nach deterministischen oder probabilistischen Regeln erfolgen. Abbruchkriterium sind für beide Heuristiken die p-Hub-Schritte.

Die Drop-Heuristik selektiert die gesamte Nachbarschaft, also den gesamten Lösungsraum, simultan. Zu Beginn erfolgt die Eröffnung alle Krnoten mit Hubs. Es werden dann iterativ so lange Hubs eliminiert, wie sich die Gesamtkosten in dem Rechenschritt maximal reduzieren lassen bzw. bis die maximale Anzahl von p Hubs erreicht ist. Die Nachbarschaft wird bei dieser Heuristik deterministisch selektiert. Es handelt sich überdies um ein Multi-Start-Verfahren, da die Ausgangslösung in der Regel mehr als ein Lösungselement enthält. In der Literatur werden auch Varianten von Add- und Drop-Heuristikkombinationen zur Lösung unkapazitierter Design-Problemen angewandt (vgl. Dionne et al., 1979, S. 39–59).

Austauschheuristiken werden auch Interchange- oder einfach Exchange-Heurisitiken ge-

nannt (vgl. Vahrenkamp, 1998B, S. 13). Der Verfasser nennt Austauschheuristiken für eine Location- und eine Allocation-Aufgabe. Bei der ersten Heuristik wird ein Hub-Knoten in der Lösungsmenge durch einen Nichthub-Knoten substituiert, soweit sich durch diesen Vorgang eine für den Iterationsschritt maximale Reduzierung der Kosten erreichen lässt. Für den Allokations-Fall wird ein Nichthub-Knoten einem Hub-Knoten zugeordnet, bis keine weitere Kostenverbesserung mehr möglich ist (vgl. Magnanti et al., 1984, S. 30). Eine Interchange-Heuristik, bei der das Terminierungskriterium im Iterationsschritt die maximale Kostensenkung darstellt, bezeichnet man auch als so genannte Greedy-Heuristik (vgl. Vahrenkamp a. a. O). Charakteristisch für Exchange-Heuristiken sind das ursprüngliche Lösungsdesign und die Kombinatorik aus einer Add- und/oder Drop-Heuristik. Interchange-Heuristiken werden auch danach differenziert, ob sie einen Single- oder Double-Exchange vornehmen.

Add-, Drop- und Interchange-Heuristiken gelten zur Lösung von kleinen bis mittelgroßen Netzwerk-Design-Problemen als besonders effektiv. Magnanti et al. (1984, S. 31) führen jedoch für groß dimensionierte Netze ab 100 Knoten und 600 Verbindungen exzessiv ansteigende Rechenzeiten an. Bedenkt man jedoch, dass der Artikel nun über 20 Jahre alt ist und die Rechnergeschwindigkeiten seither deutlich zugelegt haben, so stellt dies heutzutage keine wirkliche Restriktion mehr dar.

Für das Single-p-Median-Problem schlägt Klincewicz (1991, S. 26–37) zur Knotenzuordnung aller möglicher Mengen von p-Hubs eine „One-at-a-Time (Single-Exchange)“- und eine „Two-at-a-Time (Double-Exchange)“-Heuristik vor. Während die Single-Exchange-Heuristik der vorgestellten klassischen Location- und Allocation-Austauschheuristik angelehnt ist, geht bei der Double-Exchange-Heuristik die Austauschprozedur von zwei Nichthubs gegen zwei Hubs simultan vonstatten. Durch den Gebrauch der Double-Exchange-Heuristik lässt sich auf die vollständige Enumeration verzichten (vgl. Vahrenkamp, a. a. O, S. 14). Aykin (1995B, S. 200–219) löst die Allokationsaufgabe mithilfe eines Drop-Greedy-Algorithmus für das Eröffnungsverfahren. Die auf maximale Kostensenkung nach dem Greedy-Ansatz formulierte Optimalitätskondition übernahm er aus einer früheren Arbeit (vgl. Aykin, 1990, S. 409 ff.). Die im Rahmen einer Location-Austauschheuristik verbesserten Ausgangslösungen vergleicht Aykin mit den durchgerechneten Werten desselben Problems durch ein Branch-and-Bound-Verfahren, wobei er als Lower Bound zur Löschung der Bounds eine Drop-Greedy-Interchange-Heuristik einführt.

Bereits in einem früheren erschienenen Aufsatz verwendet Aykin (1994, S. 501–523) eine Greedy-Drop-Heuristik zur Bestimmung der Standorte für Hubs. Bereits 1977 entwickelt Minoux einen Greedy-Algorithmus zur Maximierung von submodularen Mengenfunktionen. In einer weiteren Arbeit gebraucht Minoux (1989, S. 313–360) für die Berechnung des Minimums eines konkaven Kosten-Netzwerk-Problems wiederum einen Greedy-Algorithmus und erreicht damit für die gleiche Startlösung im Vergleich zu einer Kuhn-Tucker-Lösung[100] entscheidende Verbesserungen. Klincewicz (1991, S. 29 f.) beschreibt eine Clustering-Heuristik, indem er in Kontradiktion zu einer Exchange-Heuristik oder zu enumerativen Heuristiken die Knoten in p Cluster gruppiert und innerhalb jedes Clusters einen Hub lokalisiert. Er verwendet dabei eine Clustering-Heuristik in Anlehnung an Church (1990), indem er größere Schemata zum Netzwerkdesign von Umschlagplätzen formuliert. Die Allokation von Knoten zu den Clustern in Unkenntnis des Hubs innerhalb des Clusters erfolgt nach einer Multikriteria-Bedingung, wobei das Zentrum des Clusters als willkürlicher, d. h. fiktiver Hub angenommen wird. Nach dieser Cluster-Allokation erfolgt die Zuordnung von Knoten zum realen Hub, der vorher inhärent im Cluster determiniert wird.

Art der Nachbarschaftssuche

Die Art der Nachbarschaftssuche resultiert aus dem Umfang und der Granularität der Suche. Man differenziert die Breiten-, Tiefen- und Bestensuche. Während im ersten Fall ein großer Nachbarschaftsbereich rudimentär untersucht wird, wird sich im zweiten Fall auf eine dedi-

[100] Vgl. Großmann et al. (1976).

zierte Nachbarschaftsregion beschränkt und diese besonders intensiv und genau analysiert. Bei der Bestensuche wird die Nachbarschaft nur nach optimalen Lösungskandidaten abgesucht. Rekursive Nachbarschaftssuchverfahren wenden regelmäßig eine Tiefensuche an, wohingegen bei exakten Suchverfahren, etwa dem Branch-and-Bound-Verfahren, eine inkrementelle Suche (Bestensuche) im Branching mit einer Zeitschranke vorzufinden ist und im Bound-Schritt mehrere Variationen von Suchstrategien vorkommen. Bei den übrigen Suchheuristiken steht häufig die Bestensuche im Mittelpunkt der Analyse. Die nachfolgende Tabelle fasst die Charakteristika für Heuristiken der Nachbarschaftssuche stichpunktartig zusammen.

Charakteristikum für Heuristik	**Beschreibung**
Art der Heuristik	• Ausgangsheuristik • Verbesserungsheuristik
Art der initialen Lösung	• deterministisch • stochastisch/probabilistisch
Umfang der initialen Lösung	• eine Lösung (→ Single-Start) • mehrere Lösungen (→ Multi-Start)
Betrachtung der Nachbarschaft	• ein Nachbar • mehrere Nachbarn • gesamte Nachbarschaft
Lösungsstrategie der korrespondierenden Heuristik (Ausgangs- oder Verbesserungs-Heuristik)	• bester Nachbar • Zielfunktionswert (minimal, maximal) • zweitbeste Lösung
Terminierungskriterium Algorithmus/Heuristik	• maximale Iterationszahl erreicht • Eintritt der Optimalitätsbedingung
Lösung, Dekomposition	• Allocation-Problem • Location-Problem
Kriterien hinsichtlich der Zielfunktion	• Multikritera-Zuordnung • Singlekriteria-Zuordnung
Art der Nachbarschaftsselektion (Verfahren)	• deterministisch • stochastisch
Iterative Nachbarschaftsdefinition	• Add-Schritte • Drop-Schritte • Exchange-Schritte als Kombination eines Add- und Drop-Schrittes → Single-Exchange (One-at-a-Time) → Double-Exchange (Two-at-a-Time) • Enumeration • Clustering
Art der Nachbarschaftssuche	• Tiefensuche • Breitensuche • Bestensuche

Tabelle 16: Charakteristika für Heuristiken zur Nachbarschaftssuche

9.4.4 Strategien und Metaheuristiken für die Nachbarschaftssuche

In der Literatur gewinnen die nachfolgenden Metaheuristiken für die Nachbarschaftssuche immer mehr an Bedeutung. Ein Grund hierfür ist, dass, wie bereits weiter oben ausgeführt wurde, die Nachbarschaftssuchverfahren die Ermittlung aller Nachbarlösungen bei schneller Berechnung der Zielfunktionswerte erlaubt. Es liegt dabei die Vermutung nahe, dass benachbarte Lösungen gemeinsame Eigenschaften aufweisen, die es bei der Zielfunktionsberechnung zu berücksichtigen gilt (vgl. Rödder et al., 1995, S. 47).

Abstiegsverfahren
Für unrestringierte, d. h. nichtlineare Optimierungsprobleme kommen Abstiegsverfahren zur Anwendung. Beim Abstiegsverfahren werden in einem Iterationsschritt nur solche benachbarten Lösungen als Ausgangslösung in die nächste Iteration überführt, die zu einer Zielfunktionswertverbesserung beitragen. Der Umfang der Nachbarschaft bei der Nachbarschaftssuche ist in den einzelnen Verfahren sehr unterschiedlich ausgeprägt. In einigen Verfahren wird die gesamte Nachbarschaft untersucht und es wird die Lösung in die Lösungsmenge übernommen, die die höchste Zielfunktionswertverbesserung aufweist. In anderen Verfahren wiederum übernimmt man gleich die erste entdeckte Änderung eines positiven Zielfunktionswertes in die Lösungsmenge und terminiert die laufende Iteration. Abstiegsverfahren sind Verbesserungsverfahren und setzen eine Ausgangslösung voraus (vgl. Wlcek, 1998, S. 59). Ein allgemeiner Überblick zu numerischen Verfahren zur Lösung unrestringierter Optimierungsarbeiten findet sich in dem Artikel von Geiger et al. (1999). In der Dissertation von Weinbrecht (2000, S. 111 ff.) erfolgt die Lösung eines kontinuierlichen p-Hub-Median-Problems in Anlehnung an die Verwendung von Vonori-Diagrammen zu demselben Problemgegenstand gemäß dem Überblicksartikel zu Anwendungen und Methoden von Lokalisierungsproblemen bei Fazilitäten von Suzuki und Okabi (1995) mithilfe eines Abstiegsverfahrens, das iterativ Näherungslösungen liefert.

Simulated Annealing
Eine weitere Heuristik, die sich in der Location Theory etablieren konnte, ist Simulated Annealing. Simulated Annealing lässt sich auf Kirkpatrick et al. (1983, S. 671–680) zurückführen, der erstmals auf Basis des von Metropolis et al. (1956) entwickelten Algorithmus zur Simulation der Abkühlung eines festen Stoffes diese Erkenntnisse auf kombinatorische Optimierungsprobleme anwendeten (vgl. Rödder et al., 1995, S. 43). Das Verfahren entspricht einem suboptimalen Suchverfahren, das im Gegensatz zur nachfolgend beschriebenen Tabu-Suche sofort in lokalen Optima verharrt und Zyklen vermeidet. Ausgehend von einer Ausgangsheuristik wird in jeder Iteration ein Nachbar der aktuellen Lösung randomisiert selektiert und evaluiert (vgl. Wlcek, 1998, S. 59).

Der Unterschied zu anderen Heuristiken besteht in der Akzeptanz der Übernahme von Nachbarelementen in die Lösungsmenge. Während bei den übrigen Verfahren nur solche Nachbarelemente in die Lösungsmenge aufgenommen werden, bei denen eine tatsächliche Zielfunktionswertverbesserung zu verzeichnen ist, werden bei Simulated Annealing eintretende Verbesserungen anhand einer so genannten Abkühlungswahrscheinlichkeit nur geschätzt (vgl. Kuhn, 1992, S. 387 ff.). Während bei den übrigen Heuristiken meistens nur solche Nachbarschaftselemente in die Lösungsmenge übernommen werden, bei denen eine tatsächliche Verbesserung des Zielfunktionswertes zutrifft, können bei Simulated Annealing auch solche Nachbarschaftselemente in die Lösungsmenge aufgenommen werden, die zu einer Zielfunktionswertverschlechterung führen. Einzig die Abkühlungswahrscheinlichkeit dient als Kriterium für diese Entscheidung. Jedoch fällt die Wahrscheinlichkeit für eine Auswahl in die Lösungsmenge mit steigender Verschlechterung der Zielfunktionswerte (vgl. Van Laarhoven et al., 1987). Die Simulated-Annealing-Heuristik gilt als stochastisches Verbesserungsverfahren.

Der Überblicksartikel von Eglesi (1990, S. 271–281) stellt Einsatzmöglichkeiten von Simulated Annealing vor. Speziell bei Location-Allocation-Problemen hat die Metaheuristik Simulated Annealing mittlerweile eine hohe Beachtung gefunden. Aykin (1995B, S. 200–219) benutzt zur Lösung des Single-p-Median-Problems eine auf Simulated Annealing basierte Location-Exchange-Heuristik. Die Entscheidung für den Austausch von Nichthub-Knoten gegen Hub-Knoten nimmt die Heuristik anhand einer auf Simulated Annealing beruhenden Abkühlungswahrscheinlichkeit für die probabilistisch ermittelten Verbesserungswerte vor, wobei Verbesserungen grundsätzlich und sonst mit der Abkühlungswahrscheinlichkeit in die Lösungsmenge übernommen werden (vgl. Vahrenkamp, 1998B, S. 15). Für die Bestimmung des Upper Bounds in einem Branch-and-Bound-Verfahren zur Lösung eines Single-p-Hub-

Median-Problems nutzen Ernst et al. (1996, S. 139–154) Simulated Annealing für ein unkapazitiertes Single-Allocation-p-Hub-Median-Problem und in einer weiteren Arbeit (1998, S. 100 ff.) für dasselbe Problem für den „Multi-Allocation“[101]-Fall. Weitere Verfasser von Simulated-Annealing-Heuristiken zur Lösung von Location-Allocation-Problemen sind Liu et al. (1994, S. 1304–1315), die Distanzprobleme mit einer Abkühlungsheuristik berechnen, und Golden (1986), der Routing- und Location-Probleme mit der Simulated-Annealing-Methodik löst.

Schwellwertverfahren: spezielle Simulated-Annealing-Varianten (Treshold-Accepting, Record-to-Record und Great Deluge)

Spezielle Varianten einer Simulated-Annealing-Heuristik stellen die Schwellwertverfahren Treshold-Accepting, Record-to-Record und Great Deluge dar. Im deutschen Sprachgebrauch sind Treshold-Accepting auch als Toleranzschwellenmethode und Great Deluge als Sintflut bekannt. Den Namen Schwellwertverfahren haben diese Verfahren aufgrund der Entscheidungsregel für die Nachbarschaftsauswahl nach dem Kriterium der Differenz vom Zielfunktionsfunktionswert (Akzeptanzwerte) erhalten.

Treshold-Accepting

In Analogie zu Simulated Annealing wird in jeder Iteration nur ein Element aus der Nachbarschaft randomisiert ausgewählt und analysiert. Den Namen Treshold-Accepting erhielt das Verfahren nach dem Prinzip der Auswahl von Nachbarelementen in der Lösungsmenge. Die Akzeptanzrate bestimmt sich nach der Differenz zwischen der aktuellen und der benachbarten Lösung aufgrund einer anfänglich festgelegten maximalen und während des Iterationslaufs schrittweise abgesenkten Abweichung vom Zielfunktionswert („Treshold-Akzeptanz“) (vgl. Wlcek, 1998, S. 60). Die Heuristik wird beendet, sobald die festgelegte Differenz unterschritten oder der maximale Zielfunktionswert im Verhältnis zum besten ermittelten Ergebnis geringer wird. Obgleich der Treshold-Accepting-Algorithmus in seinem Aufwand und seiner Genauigkeit sehr stark von seinen Eingabeparametern abhängt, besteht der Vorteil dieser Heuristik insbesondere darin, große Nachbarschaften aufgrund der Methodik und der Eigenschaften des Verfahrens effizient zu berechnen.

Dueck et al. (1990, S. 161–175) haben erstmalig einen Treshold-Accepting-Algorithmus entwickelt, der dem klassischen Simulated-Anneling-Verfahren für allgemeingültige Optimierungsprobleme überlegen sein soll. Das Prinzip von Treshold-Accepting geht auf die Verfasser zurück. Einen Performance-Vergleich von Simulated Annealing mit Treshold-Accepting unternimmt etwa Otto (1994, S. 188). Die Metaheuristik ist aber wenig verbreitet und insbesondere bei Location-Allocation-Problemen relativ unbekannt. Allerdings finden sich Arbeiten, die Treshold Accepting zur Lösung von Traveling-Salesman-Problemen[102], Rucksackproblemen (vgl. Dueck, 1989) oder Scheduling-Problemen einsetzen (vgl. Bouleimen et al., 2003, S. 268–281).

Record-to-Record

Auch bei der Record-to-Record Schwellwertheuristik wird in jeder Iteration nur ein Element zufällig aus der Nachbarschaft ausgewählt und untersucht. Im Unterschied zu Treshold-Accepting erfolgt die Selektion eines Nachbarschaftselements in Abhängigkeit von der Differenz der Zielfunktionswerte von der benachbarten und der besten bekannten Lösung. Die Terminierung des Record-to-Record-Algorithmus erfolgt analog wie bei Treshold-Accepting. Record-to-Record ist eine Domäne des deutschen Operations Research. Neben Treshold-Accepting gilt Dueck (1993, S. 86–92) auch als Initiator für diese Heuristik im Rahmen seiner Forschungstätigkeit am Wissenschaftlichen Zentrum der IBM[103] in Heidelberg. Eine Applikation der Record-to-Record-Heuristik auf Location-Allocation-Probleme ist nicht ohne Weiteres auszumachen.

[101] Die Eigenschaften Single-Allocation und Multi-Allocation bei p-Hub-Median-Problemstellungen werden im nachfolgenden Kapitel beschrieben.
[102] Vgl. stellvertretend http:// www.wior.uni-karlsruhe.de/LS_Neumann/ Lehre/SS2004/Seminar/organizationTheorie.pdf [abgerufen am 3.04.2006].
[103] IBM steht für International Business Machine und ist ein eingetragenes Warenzeichen.

Great Deluge
Beim Great Deluge- oder Sintflutverfahren wird auch wie bei den anderen Toleranzschwellwertverfahren lediglich ein Element je Iteration nach dem Zufallsprinzip aus der Nachbarschaft ausgewählt. Die Akzeptanzbedingung bei diesem Verfahren wird aufgrund des absoluten Zielfunktionswertes der benachbarten Lösung entschieden. Wie bei den ersten beiden Algorithmen gilt auch Dueck als Mitinitiator des Sintflut-Verfahrens (vgl. Dueck et al., 1993, S. 42–511). Zur Aufstellung von Akzeptanzregeln bei Treshold-Accepting und Great Deluge sowie für eine Unterscheidung zwischen den drei vorgestellten Schwellwertverfahren sei auf Schneider (1999, S. 23 ff.) verwiesen.

Tabu-Suche
Die Tabu-Suche (auch Tabu Search genannt) stellt neben Simulated Annealing ein weiteres Verbesserungsverfahren[104] in der Kategorie der Nachbarschaftssuchverfahren zur Lösung kombinatorischer Optimierungsprobleme und von allen Suchverfahren die am häufigsten benutzte Metaheuristik dar. Die Tabu-Suche für Local-Search-Verfahren geht auf Glover (1986, S. 533–549) zurück. Tabu Search ist eine Metastrategie[105], oder auch Metaheuristik genannt, die im Lösungsraum eines Problems im Hinblick auf ein Optimalitätskriterium einer Nutzenfunktion gute Lösungen verspricht, indem anfänglich erzeugte nicht optimale Lösungen sukzessive verbessert werden. Tabu Search untersucht regelmäßig in einer Iteration mehrere Nachbarelemente simultan, in den meisten Fällen sogar die gesamte Nachbarschaft (vgl. Wlcek, 1998, S. 59). Dadurch erweist sich der Algorithmus als sehr effizient. Ähnlich wie bei Simulated Annealing werden auch solche Nachbarn in der Lösungsmenge akzeptiert, die zu einer möglichen Verschlechterung des Zielfunktionswerts führen. Welche in dem aktuellen Rechenschritt erzeugten Lösungselemente Gegenstand der nächsten Iteration werden, wird über eine so genannte Lenkungsprozedur gesteuert.

Tabu Search muss im Gegensatz zu exponentiellen, optimalen Suchmethoden nicht zwingend eine optimale Lösung ermitteln. Die Überwindung von lokalen Optima ist die wesentliche Eigenschaft dieses Suchverfahrens. Lösungen der Tabusuche sind bereits optimal oder befinden sich in der Nähe der Optimallösung. Die Lösungsqualität gilt als das größte Problem der suboptimalen Suchstrategie. Zwar ermittelt die Tabu-Suche eine gute, aber nicht notwendig optimale Lösung. So wird eine lokal optimierte Lösung bewusst akzeptiert. Zur Überwindung der lokalen Optima wird die Suche fortgesetzt, solange noch keine Terminierungsbedingung eingetreten ist. Problematisch beim Tabu-Such-Verfahren sind Zyklen, die entstehen, wenn die Suche ständig zwischen einem Punkt des Lösungsraums und einem lokalen Optimum verweilt. Die Idee beim Tabu Search ist dabei, die Lenkungsprozedur strategisch zu beschränken, d. h., es werden auch schlechtere Zielfunktionswerte zugelassen (vgl. Glover, 1990, S. 74–94). Die damit einhergehende Gefahr der Zyklenbildung wird durch den Einsatz geeigneter Steuerungsmechanismen in der Lenkungsprozedur umgangen. Hierzu wird eine so genannte Tabu-Liste eingeführt. In die Tabu-Liste werden Iterationsergebnisse aufgenommen und mit der Lösung eines aktuellen Schrittes verglichen. Damit lässt sich vermeiden, dass bereits lokalisierte Lösungen erneut behandelt werden. Diesen Vorgang bezeichnet man Tabuisierung. Nach jeder Iteration erfolgt eine Aktualisierung der Tabu-Liste. Der aktuelle Zug wird mit dem zuletzt in der Tabu-Liste eingetragenen Zug getauscht. Das Tabu Search terminiert, falls die optimale Lösung gefunden, die Nachbarschaft der nachfolgenden Iteration die leere Menge oder die maximale Anzahl von Iterationsschritten überschritten ist. Sengstacke (1994, S. 22) beschreibt Erweiterungen zum Tabu-Such-Verfahren, darunter auch die Einbeziehung eines Aspirationskriteriums bei der Tabusuche. Dieses Kriterium lässt einen tabuisierten veränderten Schritt in der Lösungsmenge zu, wenn die daraus resultierende Konfiguration die bisher beste Lösung zu verbessern vermag (vgl. Meyfarth, 1996, S. 18). Diese Vorgehensweise erscheint sinnvoll, da damit gute Nachbarschaftskonfigurationen in der Analyse einbezogen sind, die ansonsten möglicherweise wegen eines Eintrags eines Tabuzugs in der Tabuliste nicht untersucht würden. Ein weiteres Konzept der Tabusuche ist die Intensivierung. Mit ihr soll erreicht werden, dass Lösungsräume intensiver

[104] Vgl. Domschke et al. (1991).
[105] Mit einer Metastrategie wird hier ein allgemeines Vorgehensprinzip beschrieben.

analysiert werden, die sehr häufig in den Tabuzügen auftreten. Anhand von Häufigkeitszählern lässt sich die Intensivierung bewerkstelligen. Im Gegensatz zur Intensivierung ist das Konzept der Diversifikation dazu gedacht, verstärkt Nachbarschaftskonfigurationen zu untersuchen, die sich im aussichtsreichen Teil des Lösungsraums vorfinden, der in früheren Tabuzügen selten besucht war (vgl. De Werra et al., 1989, S. 131–141).

In der Location Theory hat der Einsatz der Tabu-Suche zur Lösung von Hub-Location-Problemen mittlerweile einen hohen Stellenwert eingenommen. Skorin-Kapov et al. (1994, S. 502–509) bestimmen die Lokalisation von p-Hubs eines p-Hub-Median-Problems nach dem Kriterium der p-Knoten mit dem meisten Verkehr O_i und D_i mithilfe eines zweistufigen Tabu-Search-Ansatzes. Klincewicz (1992, S. 283–302) benutzt die Tabu-Suche in einer p-Hub-Location speziell zur Vermeidung von lokalen Optima. Nach der Lokalisationsaufgabe verwendet Klincewicz eine Location-Exchange-Heuristik zur Ergebnisverbesserung, die er über eine Tabu-Liste steuert (vgl. Vahrenkamp, 1998B, S. 14). Crainic et al. (1993A, S. 359–383) wenden für ein Multicommodity-Problem für die Teilaufgaben Lokalisation und Allokation eine Tabu-Such-Prozedur an. In einer anderen Veröffentlichung erfolgt für eine synchronisierte Tabu-Suche die Untersuchung von Strategien zur parallelen Ausführung des Tabu-Search-Algorithmus (vgl. Crainic et al., 1995, S. 113–123).

Genetischer Algorithmus

Zur Nachbarschaftssuche eignen sich auch so genannte genetische Algorithmen. Holland (1967) gilt als Begründer der theoretischen Grundlagen der genetischen Algorithmen. Bereits in den Sechzigerjahren beschäftigte er sich mit der Simulation und der Theorie der Evolution, um die Erkenntnisse dieser Wissenschaftsdisziplin auf andere Problemstellungen zu übertragen. Genetische Algorithmen arbeiten nach dem Prinzip, in der Natur vorzufindende Erscheinungen der Intelligenz, der Selbstorganisation und der komplexen Formen auf andere Probleme zu adaptieren, indem diese künstlich auf andere Problemstellungen angewendet und in die Algorithmen eingebunden werden (vgl. Ablay, 1987, S. 104). Sämtliche Ansätze der genetischen Algorithmen beruhen auf den Erkenntnissen der Evolutionstheorie (vgl. Heistermann, 1994). Mehrere Individuen bilden eine so genannte Population und streiten in einem gemeinsamen Lebensraum um limitierte Ressourcen zum Überleben. Ein einzelnes Individuum wird durch ein oder mehrere Gene charakterisiert, die quasi seine Erbanlagen wiedergeben (vgl. Holland, 1992, S. 45). Die Güte der Erbanlage wird durch ihre Fitness ausgedrückt. Die Gesamtheit aller Gene der Individuen einer Population bezeichnet man als Chromosom. Das Verfahren des genetischen Algorithmus arbeitet nach folgendem Schema. Iterativ erfolgt die Auswahl einzelner Individuen gemäß ihrer Fitness in die Lösungspopulation durch einen Selektionsschritt. Die Fitness wird wahrscheinlichkeitsbasiert anhand einer so genannten Fitnessfunktion, die nichts weiter als die altbekannte Zielfunktion wiedergibt, berechnet. Die „fittesten“ Individuen haben die höchsten Chancen, in die Lösungspopulation zur Erzeugung der Nachkommen der nächsten Generation aufgenommen zu werden. Den Vorgang für die Erzeugung der Nachkommen in die nächste Generation bezeichnet man als Reproduktion. Nachfolgeindividuen lassen sich auch durch Kreuzung oder eine so genannte Rekombination bilden. Unter diesem Vorgehen, auch Crossover genannt, versteht man, dass die Gene zweier Eltern-Individuen gekreuzt werden und daraus ein Kinder-Individuum generiert wird. Schließlich lassen sich auch Gene mutieren, d. h. in ihren Eigenschaften abändern. Das kann dann sehr hilfreich sein, wenn inhomogene oder divergente Populationen durch Manipulation der Genwerte überwunden werden sollen (vgl. Lontke, 1994, S. 149 und Schöneberg et al., 1994, S. 187).

Die Terminologie zum genetischen Algorithmus lässt sich auch auf Location-Allocation-Probleme anwenden. So lässt sich im Location-Fall ein Knoten als ein Individuum abbilden. Ein Gen etwa beschreibt, ob es sich um einen Hub- oder einen Nichthub-Knoten handelt. Ein konkretes Hub-Layout (Lokation/Allokation) kann als Population aufgefasst werden. Die Eigenschaft des Layouts in einem Iterations-Zustand, d. h., welche Knoten als Hub gewählt sind und wie die Nichthub-Knoten den Hubs zugeordnet sind, kann mittels eines Chromosoms dargestellt werden. Die Zielfunktion zu einem Location-Allocation-Problem lässt sich

auch als taugliche Fitnessfunktion interpretieren.

Im Vergleich zu den bekannten Optimierungsverfahren für die Nachbarschaftssuche eignet sich der Einsatz eines genetischen Algorithmus für ein breites Spektrum von Problemstellungen. Die Methoden des genetischen Algorithmus arbeiten effizienter als diejenigen, denen eine vollständige oder randomisierte Suchstrategie zugrunde liegt. Die Suchergebnisse für ein Problem sind nur unwesentlich schlechter als beim Einsatz spezieller Suchmethoden. Goldberg (1989, S. 212) zeigt die Unterschiede des genetischen Algorithmus zu den klassischen Suchmethoden auf.

Genetische Algorithmen arbeiten nicht mit Parametern, sondern mit einer codierten Parametermenge. Sie durchsuchen die Nachbarschaft mit einer Untersuchungspopulation, d. h. mit einer Menge von Punkten des Nachbarschaftsraums, und nicht bloß von einem einzelnen Punkt aus. Der Vorteil dieser Vorgehensweise besteht im Ausschluss der Gefahr, mit einer einzelnen Lösung in einem lokalen Suboptimum zu verharren (vgl. Ablay 1987, S. 104). Weiterhin lassen sich mit einer größeren Population viele Nachbarschaftsgebiete simultan und parallel analysieren (vgl. Holland, 1992, S. 46) im Gegensatz zu Local-Search-Verfahren, die den Lösungsraum sequenziell abarbeiten (vgl. Wlcek, 1998, S. 61).

Bei genetischen Algorithmen findet die Entscheidung für die Suche nach besseren Lösungen auf Basis von Funktionswertverbesserungen bei den einzelnen Individuen statt und nicht nach anderen Kriterien, wie dies etwa bei anderen Algorithmen der Fall ist[106]. Die Funktionswerte werden von einer Fitnessfunktion (Bewertungsfunktion) berechnet, die die „Überlebensfähigkeit“ eines Individuums für die nächste Generation widerspiegelt. Die Problemstellung als solche spielt bei genetischen Algorithmen im Gegensatz zu den anderen Suchverfahren keine Rolle (vgl. Weckwerth, 1993, S. 54).

Genetische Algorithmen überführen Lösungspopulationen in die nächste Generation nach einem probabilistischen Verfahren, was nicht heißt, dass die Auswahl der zu übernehmenden Individuen stochastisch erfolgen muss, jedoch auch nicht zwingend deterministisch. Gemeint ist vielmehr, dass besonders zielführende Gebiete im Lösungsraum mit einer höheren Wahrscheinlichkeit durchlaufen werden.

Schließlich ist aufgrund der Balance zwischen Effizienz und Notwendigkeit die Robustheit des genetischen Algorithmus als Vorteil herauszuheben.

Chu et al. (1997, S. 17–23) setzen genetische Algorithmen zur Lösung von Generalized-Assignment-Problemen ein. Die Verfasser stellen einen Ansatz vor, bei dem die Standardprozedur zu einem genetischen Algorithmus um eine problemspezifische Kodierung einer Lösungsstruktur und um eine Fitness-Nicht-Fitness-Evaluierungsfunktion angereichert wird. Im Bereich der Location Theory hat vor allem zur Lösung des Traveling-Salesman-Problems der Einsatz eines genetischen Algorithmus Beachtung gefunden. Stellvertretend für die unüberschaubare Anzahl von Veröffentlichen zu dieser Themenstellung wird auf die Arbeit von Michalewicz (1992) verwiesen. Abdinnour-Helm (1998, S. 488–499) beschäftigt sich in seiner Arbeit mit dem Einsatz eines genetischen Algorithmus zur Lösung eines Single-p-Median-Problems.

Column-Generation-Heuristik

Zur Lösung von Problemstellungen mit komplexen Restriktionen[107] oder hoher Problemgröße wird auch auf die Technik der linearen Programmierung zurückgegriffen. Für diesen Problemtyp hat sich heutzutage eine Heuristik namens Column Generation herauskristallisiert, die mit einer hohen Anzahl von Variablen in einem linearen Programm effizient umzugehen vermag. Die Einbeziehung der Column-Generation-Technik in die lineare Programmierung lässt sich auf Desoriers et al. (1984, S. 545–565) zurückführen, die diese zur Lösung eines

[106] Vgl. etwa Gradientenmethoden, die Differentialkoeffizienten verwenden.
[107] Z. B. Transportprobleme mit Zeitbeschränkungen oder nicht-konvexe Zielfunktionen.

Vehicle-Routing-Problems in einem Branch-and-Bound-Verfahren einführten. Column Generation wird vornehmlich zur Lösung von Routing- und Schedule-Problemen genutzt (vgl. Wlcek, 1998, S. 61). Die Strategie der Column-Generation-Methodik ist Problemdekomposition, d. h., die Problemgröße wird in granularere Einzelprobleme zerlegt. Bezogen auf den Integer-Programming-Ansatz bedeutet dies, Partitionen unabhängiger Variablen und Beschränkungsbedingungen zu generieren und isoliert lokale Optima zu berechnen. Durch Spaltenbildung in einer Matrix erfolgt die Generierung spaltenbewerteter Teillösungen, die sich gegenseitig exkludieren (Disjunktheit der Teilprobleme, -lösungen), d. h. nicht simultan in der Lösungsmenge enthalten sind. Damit lässt sich die Komplexität der Problemstellung merklich reduzieren. Die Erzeugung der Gesamtlösung erfolgt nach einem Partitionierungsverfahren, demzufolge die Spalten, die Bestandteil der Gesamtlösung werden sollen, selektiert werden. Der Vorteil dieser Heuristik besteht in der Effizienz des Algorithmus, komplexe Integer-Programming-Probleme mit einer hohen Anzahl exogener Variablen schnell zu berechnen.

In der Literatur ist zwischenzeitlich eine hohe Anzahl an Integer-Programming-Column-Generation-Anwendungen publiziert worden. Einen allgemeinen Algorithmus zur Lösung von Problemen durch Integer Programming Column Generation stellen etwa Vanderbeck et al. (1996, S. 151–159) vor. In einigen Aufsätzen wird die Effizienz des Column-Generation-Ansatzes diskutiert (vgl. Desrochers et al., 2001, S. 309–324). Kuby und Gray (1993, S. 1–12) untersuchen ein Routing-Problem, bei dem exogen vorgegebene Transportmengen von Depots zu einem Hub befördert werden. Der auf Column-Generation-Heuristik basierte Lösungsansatz für das Transport- und Zuordnungsproblem berücksichtigt auch Zeitrestriktionen (vgl. Wlcek, 1998, S. 77).

9.4.5 Relaxationsansätze in der linearen Programmierung

Unter Relaxation versteht man die Abschwächung der Nebenbedingung zu einem diskreten Optimierungsproblem, indem ein schwer lösbares als leichter lösbares Problem formuliert wird und dabei alle zulässigen Punkte des schwer lösbaren Problems gleichzeitig solche des leicht lösbaren sind (vgl. Rödder et al., 1995, S. 22 f.). Es werden dabei bestehende Modell-Restriktionen aufgegeben oder vereinfacht.

Beim Branch-and-Bound-Verfahren dient die Relaxation zur Ermittlung des Lower oder Upper Bounds für den Optimalwert der Zielfunktion zu einem vorgegebenen Problem. Mit der Lower-Bound-Schwellwertschranke lässt sich eine Validierung der Lösungsqualität oder eine Einschränkung der Lösungsmenge verbinden (vgl. Wlcek, 1998, S. 55). Bei der ganzzahligen Optimierung erfolgt die Relaxation der Nebenbedingungen zur Ganzzahligkeit, d. h., es werden willkürlich andere als die Ganzzahligkeitsbedingungen vernachlässigt und durch Einführung einer entsprechend gewichteten Strafgebühr in der Zielfunktion kompensiert. Anstatt die harte Nebenbedingung zu erzwingen, wird bewusst die Nebenbedingung verletzt und man belegt diese Verletzung mit einem Preis, eben der Strafgebühr. Die Strafgebühr wird formal als Langrange-Multiplikator bezeichnet. Für den Fall der Relaxation von Ganzzahligkeitsbedingungen nennt man diese Problemstellung auch LP-Relaxation[108] (vgl. Beasley 1993, S. 383–399). Die Gewichtung des Langrange-Multiplikators folgt der Anforderung, einen möglichst hohen Lower Bound zu erreichen. Speziell für die iterative Steuerung des Langrange-Multiplikators haben sich zwei Techniken etabliert, die auch Langrangean Heuristiken genannt werden. Bei der Subgradienten-Heuristik wird der Langrange-Multiplikator iterativ hin zur Optimallösung adaptiert (vgl. Minoux, 1984, S. 271–288). Bei der so genannten Dual-Ascent-Heuristik erfolgt eine Anpassung des Langrange-Multiplikators nur für den Fall einer Verbesserung des Zielfunktionswertes (vgl. Crainic et al., 1993, S. 90–101, Crainic und Delorme, 1993, S. 90–101). Die Thematik Relaxation ist in der Literatur für vielfältige Problemstellungen weit verbreitet. Mit der Subgradienten-Technik im Zusammenhang mit groß dimensionierten Integer-Programming-Ansätzen befasst sich vor allem Minoux (a. a. O., u. a.). In Bezug auf Subgradienten-Methoden speziell für Network-Design-Probleme sei auf

[108] LP-Relaxation steht für Lineare-Programmierungs-Relaxation.

Farvolden et al. (1994, S. 256–272) verwiesen. Skorin-Kapov et al. (1996, S. 582–593) stellen zu einem p-Hub-Median-Problem fest, dass die LP-Relaxation fraktional ist, und führen durch ein Summationsverfahren der Nebenbedingungen eine härtere Relaxation ein (vgl. Vahrenkamp, 1998B, S. 19). Zu den durch Umformulierung des quadratischen Zuordnungsproblems im Zwei-Hub-Location-Problem von O'Kelly (a. a. O) erforderlichen linearen Nebenbedingungen setzen Ernst et al. (1996, S. 139–154) nach dem Lösungsansatz von Skorin et al. (a. a. O.) auf eine LP-Relaxation für einen engen Lower Bound. Sohn et al. (1997, S. 617–622) nutzen LP-Relaxation in einem linearen Programm für das Zwei-Hub-Location-Problem. Klincewicz et al. (1987, S. 198–206) setzen Langrange-Relaxation mit einer Dual-Ascent-Technik zur Determinierung eines Lower Bounds in einem Branch-and-Bound-Verfahren ein.

9.5 Zusammenfassung

Dieses Kapitel ging auf die Planung, die Verfahren und die Modelle bei der Gestaltung von hub-orientierten Layouts ein. Dabei wurde die Netzwerkgestaltung als Teil der strategischen Planung ausgemacht, weil zwischen dem strategischen Planungsproblem beim Aufbau eines Transportnetzes eine Interdependenz zum Netzwerklayout besteht und sich daraus Strategieoptionen ableiten lassen. Weiterhin wurde das Netzwerkgestaltungsproblem näher charakterisiert, klassifiziert sowie Techniken und Modelle zur Lösung diskutiert. Des Weiteren wurden exakte und heuristische Lösungsverfahren vorgestellt und angegeben, welche Problemstellungen durch den Lösungsansatz berechenbar sind. Dabei ließ sich aufzeigen, dass sich im Rahmen der heuristischen Verfahren Metaheuristiken entwickelt haben, die sich speziell zur Lösung im Nachbarschaftssuchverfahren eignen und für solche Problemstellungen gute suboptimale Lösungsergebnisse liefern.

Speziell zur Lösung von Location-Allocation-Problemen im Zusammenhang mit der Konstituierung von Hub-and-Spoke-Netzwerken werden in vielen Modellen Näherungsverfahren gebraucht. Zur Problemvereinfachung wird das Location-Allocation-Problem in zwei Einzelprobleme dekomponiert. Zur Lösung von Problemen zur Standortentscheidung, also der Hub-Selektion, erfolgte die Entwicklung von Add- und Drop-Heuristiken. Für den Austausch eines Nichthubs mit einem Hub kommen Austauschheuristiken zum Einsatz. Metaheuristiken wie die Schwellwertverfahren finden sich zur Lösung von Nabe-Speiche Netzwerken nur vereinzelt, eignen sich aber besonders bei großen Netzen. Wegen der verhältnismäßig kleinen Anzahl von Flughäfen und Flugstreckenverbindungen lassen sich bloße intra-europäische Nabe-Speiche-Luftverkehrsnetze enumerativ berechnen. Auf den Einsatz heuristischer Lösungsverferfahren kann an sich verzichtet werden.

10 Netzwerkgestaltungsprobleme und Hub-and-Spoke-Modelle

Dieses Kapitel untersucht aufbauend auf den bisherigen Ergebnissen im ersten Abschnitt, wie in der Location Theory, einem spezifischen Gebiet des Operations Research, Netzwerkgestaltungsprobleme behandelt werden. Es folgt ein Abschnitt, der Kriterien zur Gestaltung von hub-orientierten und linearen Netzwerklayouts aufzeigt. Anschließend steht die Frage im Mittelpunkt, inwieweit sich Hub-Modelle zur strategischen Planung von Netzwerkgestaltungsproblemen eignen. Es schließt sich ein Abschnitt an, in dem konkrete p-Hub-Modelle aus dem Bereich der Location Theory des Operations Research vorgestellt werden und überprüft wird, ob sie sich für die Konfiguration von Luftverkehrsnetzen eignen. Das Kapitel endet mit einer kritischen Würdigung der Literaturansätze.

10.1 Behandlung von Netzwerkgestaltungsproblemen in der Location Theory

10.1.1 Varianten von Netzwerkgestaltungsproblemen

Seit mehr als vier Jahrzehnten beschäftigt sich der Zweig der Location Theory des Operations Research mit der modelltheoretischen Materie zur Lösung von Netzwerkgestaltungsproblemen (vgl. Osleeb et al., 1986, Minoux, 1989, S. 313–360)[109]. Solche Problemstellungen lassen sich in drei Problemkreise unterteilen: Less-to-Many-, Many-to-Less- und Many-to-Many-Problemen.

Less-to-Many-Probleme
Das Less-to-Many-Problem stellt den in der Literatur am meisten beachteten Problemtyp dar und wies anfänglich eine streng hierarchische Struktur auf. Überwiegend wurden die Handelsketten der Konsumgüterindustrie untersucht und hierfür ein- und mehrstufige Verteilsysteme entwickelt (vgl. Dearing, 1985). Ziel der Location Theory war folglich, ausgehend von prognostizierten oder empirisch ermittelten Nachfragefeldern optimale Standorte für Zentral- und Zwischenlager zu ermitteln, bei denen Transport- und Lagerkosten bei gleichzeitiger Nachfragebefriedigung minimiert wurden. Ausgangspunkt dieses Forschungsfeldes war immer eine Situation, in der Güter von einem oder einigen wenigen Quellstandorten zu sehr vielen Zielstandorten (Less-to-Many-Problem) zu transportieren waren. Im Kern geht es bei dieser Problemstellung um die Distribution von Gütern von einigen Werken zu vielen Kunden, also um die Frage der Nachfrage-und-Angebots-Koordination von Gütern (vgl. Vahrenkamp und Vogt, 1998 S. 1). Less-to-Many-Probleme werden mithilfe von Berechnungsmodellen für Warehouse-Location-Probleme gelöst. Lösungsansätze hierfür entwickelten unter vielen Autoren Klincewicz et al. (1986), Klincewicz und Luss (1987) sowie Erlenkotter (1978).

Many-to-Less-Probleme
Der umgekehrte Fall, bei dem von vielen Quellorten zu einem oder einigen wenigen Zielorten (Many-to-Less) befördert werden muss, war beispielsweise für die Entsorgungsindustrie von besonderem Interesse und wurde parallel zu den Less-to-Many-Problemen untersucht.

Many-to-Many-Probleme
Untersuchungen zu Many-to-Many-Problemen, wie sie im Logistik-Sektor von Interesse sind, erfolgten zu jener Zeit nur sporadisch und sehr theoretisch. Grund dafür waren zum einen die Monopole der nationalen Postgesellschaften, die sich dafür verantwortlich zeichneten, dass historisch gewachsene Strukturen beibehalten werden konnten, und zum anderen das national gesplittete sowie staatlich kontrollierte Luftverkehrswesen, das die Transportplanung über Landesgrenzen hinaus stark einschränkte. Im Zuge der Deregulierung und Liberalisierung beider Märkte gewann die Many-to-Many-Problematik immer mehr an Bedeutung, so-

[109] Solche Problemstellungen sind auch als Plant-Layout-Probleme oder Facility-Allocation-Probleme bekannt (vgl. Müller-Merbach, 1998, S. 314).

dass sich in der Literatur nach 1980 vermehrt Arbeiten finden, die die Optimierung entsprechender Netzwerke zum Inhalt haben (vgl. Vahrenkamp und Vogt, 1998 S. 5).

Betrachtet man noch im Hinblick auf die KEP-Dienste die Art der zu transportierenden Güter, muss ein Unterschied zu den bereits oben erwähnten Konsumgüterproduzenten klar hervorgehoben werden. Das einzelne Konsumgut hat keinen festen Adressaten. Das Unternehmen liefert zwar an feste Adressen, aber die einzelnen Güter wären substituierbar bei gleichem Effekt. Anders verhält es sich bei der Versendung von Paketen. Hier hat jedes Gut genau einen bestimmten Adressaten. Damit kommen zum eigentlichen Transport noch der Arbeitsschritt der Sortierung hinzu und die Notwendigkeit einer zwischenzeitlichen Bündelung des Transportstroms. Die Funktionstauglichkeit eines Hub-and-Spoke-Netzes hängt entscheidend davon ab, ob der Transport der Pakete von den Nichthubs zu den Hubs zum Umschlag zeitgerecht erfolgt (vgl. Vahrenkamp und Vogt, 1998, S. 5).

10.1.2 Modelltypen zur Gestaltung von Netzwerkproblemen

Modelle für Less-to-Many-, Many-to-Less-Problemstellungen

Facility-Location-Modelle eignen sich zur Bestimmung optimaler Standorte und deren Eigenschaften innerhalb eines bestehenden Netzwerkes unter Beachtung von Modellannahmen (vgl. ReVelle, 1993, S. 147–158). Soweit auch die Lösung des Allokations-Problems in den Modellen zur Aufgabe gemacht wird, also der Frage nach der Zuordnung von Standorten zueinander nachgegangen wird, spricht man auch von einem kombinierten Location-Allocation-Problem. Somit lässt sich Netzwerkgestaltung allgemein als die Festlegung von Knoten (Lokation) und die Zuordnung von Knoten zueinander (Allokation) ausmachen. Kombinierte Location-Allocation-Probleme wurden bereits in den 1960er-Jahren untersucht (vgl. Cooper, 1963). Die Netzwerkgestaltung, d. h. die Lösung eines Location-Allocation-Problems ist Aufgabe der strategischen Planung. Als Planungsparameter für die Standortlokalisierung bodengebundener Transporte fließen bei Crainic et al. (1997, S. 113–123) die Standortlage, die Standorteigenschaften und die Transportverbindungen zwischen Standorten in die Modellbetrachtung ein. Diese Merkmale lassen sich analog ohne nähere Erläuterung auf die Standortfrage bei Flughäfen übertragen.

Network-Design-Modelle lösen neben der Standortfrage auch die Zuordnung der Standorte zueinander. Sie kombinieren somit das Location-Allocation-Problem in ein und demselben Modell (vgl. Crainic et al., a. a. O.). Isolierte Location-Probleme wurden im Operations Research wissenschaftlich bereits sehr frühzeitig untersucht. Zur Lösung dieses Problemtyps erfolgte die Entwicklung von drei Modellkategorien: Center-, Covering- und Median-Modelle. Bei den Covering-Modellen (eng.: covering = Abdeckung) werden Einrichtungen so als Scheitelpunkt gewählt, dass die verbleibenden Scheitelpunkte durch einen solchen Scheitelpunkt abgedeckt sind, d. h., sie liegen innerhalb einer bestimmten Distanz zum Scheitelpunkt. Dem Covering liegt als Ziel die Minimierung der Kosten der Einrichtung des Standorts unter der Nebenbedingung, dass alle anderen Scheitelpunkte abgedeckt sind, zugrunde.

Bei den Center-Modellen werden p Einrichtungen als Scheitelpunkte eines Netzwerks lokalisiert und konfiguriert (vgl. Flynn und Ratick, 1988, S. 139–147). Das Ziel der Center-Modellierung besteht in der Minimierung der Kosten, die sich aus der maximalen Distanz zwischen der Einrichtung und einem Punkt im Netzwerk berechnen lassen. Bereits im vorletztes Jahrhundert untersuchte Jordan (1869, S. 185–190) ein Ein-Center Problem unter grafentheoretischen Gesichtspunkten.

Das Median-Problem lokalisiert bzw. positioniert eine Einrichtung relativ zu einer nachgefragten Kundenmenge, sodass die Summe der über die Distanz gewichteten Kosten über alle Nachfragen zwischen Kunden und der Fazilität minimiert wird (vgl. Hakimi, 1964, S. 450–459). Soweit die Untersuchung von p Einrichtungen in diesen Modellen erfolgt, werden die Modelle auch als p-Center-, p-Covering- oder p-Median-Modelle bezeichnet (vgl. Tansel et al., 1983, S. 481–511). Für einen Überblick über die verschiedenen Weiterentwicklungen dieser Modelltypen sei auf den Artikel von Christofides (1975, S. 400) verwiesen.

Modelle für Many-to-Many-Problemstellungen
Campbell (1994, S. 387–405) erweitert die p-Center-, p-Covering- und p-Median-Modelle zu korrespondierenden Hub-Modellen, d. h., der Lokationsfrage liegen Hub-Positionierungen zugrunde. Diese Modelle werden sinngemäß p-Hub-Modelle bezeichnet. Dabei haben sich vor allem p-Hub-Covering-Modelle und p-Hub-Median-Modelle etabliert (vgl. Khumawala, 1975, S. 309–321).

p-Hub- bzw. p-Hub-Median-Modelle eignen sich zur Modellierung von Many-to-Many-Problemstellungen (vgl. Campbell, 1996, S. 923–935). Das Median-Problem besteht in der Standortentscheidungsfrage von Hubs und der Zuordnung der Quellstandorte zu den Hubs. Es lässt sich somit als ein kombiniertes Location-Allocation-Problem auffassen. Charakteristisch für die Lokation ist die Unterscheidung der Hubs nach den Kriterien der Entfernung und der Transportmenge zwischen Quellstandort und Hub.

Seit etwa 1985 befassen sich Autoren mit der Many-to-Many-Materie, die unter dem Begriff Hub-and-Spoke-Netzwerke oder Nabe-Speiche-Netzwerke einen eigenen Zweig innerhalb der Location Theory ausmacht (vgl. stellvertretend Daganzo, 1987, S. 541–555). Die Modelle werden demgemäß auch Hub-and-Spoke- oder Nabe-Speiche-Modelle genannt. Ein essenzieller Unterschied in der Modellbetrachtung von Nabe-Speiche-Netzen gegenüber den Modellen der klassischen Location Theory besteht darin, dass nicht die Lager (Center und Mediane) Gegenstand der Modellannahmen sind, sondern zentralisierte Umschlagpunkte. Derartige Punkte werden als Hub oder Drehkreuz bezeichnet. Dabei ist festzustellen, dass ausgehend vom Grundmodell des Einhubsystems viele Weiterentwicklungen zu verzeichnen sind wie Mehr-Hub-Systeme, darauf aufbauend Single- und Multi-Allocation, Feeder-Systeme, also hierarchisch angeordnete Hubs, und dazu jeweils realitätsnähernde Zulassungen und Beschränkungen, wie z. B. Direktverbindungen zwischen Nichthubs, Kapazitätsbeschränkungen, Zeitlimits, Zeitfenster etc.

Zur Behandlung von Hub-and-Spoke-Netzwerken liegt eine Vielzahl von Veröffentlichungen vor, deren Beginn Morton O'Kelly (1986A, 1986B, 1987) markiert. Andere Autoren setzten in späteren Jahren an diesen Arbeiten an, entwickelten die mathematischen Modelle der Netzwerke weiter und untersuchten eine Vielzahl von Lösungs-, Optimierungs- und Näherungsmethoden (vgl. u. a. stellvertretend Aykin, 1995A, Campbell, 1994, Ernst und Krishnamoorthy, 1996, Klincewicz, 1991, 1992, Skorin-Skapov et al., 1994, Sohn und Park, 1997, S. 617–622). Alle Modelle basieren auf Kosteninformationen und suchen nach Wegen, Kosten in einem Transportnetz zu senken. Die Modelle variieren bisweilen beträchtlich. Im Artikel von Magnanti et al. (1984) werden einige Spezialfälle zu Netzwerkdesign-Problemen im Zusammenhang mit Nabe-Modelle beschrieben.

10.2 Kriterien zur Gestaltung hub-orientierter und linearer Netzwerklayouts

O'Kelly und Miller (1994) definieren acht Grundtypen von Nabe-Speiche-Transportsystemen, die sie nach den folgenden Kriterien gliedern:

a) sind die Knoten einem Hub (Single Allocation) oder mehreren Hubs zugeordnet (Multiple Allocation),
b) liegen eine strikte Hubbing-, eine nicht strikte Hubbing-Politik oder ausschließlich Nonstop-Services vor
c) sind Verbindungen unter den Hubs direkt möglich (h kleiner gleich 2) oder muss von einem Hub zu einem anderen ein Weg über Zwischenhubs genommen werden.

Vahrenkamp und Mattfeld (2007, S. 203 f.) geben als weitere Kriterien die Anzahl s der zugelassenen Zwischenstopps einer Route an und darüber hinaus, ob sich an Nichthub-Knoten einer Route Fracht von Feedern aufnehmen lässt oder nicht, und die Anzahl der existierenden Hubs. Diese und weitere Kriterien werden nachfolgend näher charakterisiert.

Kriterien in Verbindung mit der Lokation und Netzwerknutzung
Es werden die nachfolgenden Notationen eingeführt. Sei n die Anzahl möglicher Standorte in einem diskreten Netzwerk in der zweidimensionalen Ebene und k ein Knoten, $k \in n$, in der zweidimensionalen Ebene[110] bzw. ein Knoten in einem Graphen. Im Gegensatz zum diskreten Netzwerklayout sind im kontinuierlichen Fall keine Standorte a priori vorgegeben. Sei die Quelle als Q und das Ziel als Z bezeichnet, dann wird $\Pi(Q, S)$ als die Transportverbindung zwischen Q und Z geschrieben. Gemäß der Problemstellung dieser Arbeit sei n die Anzahl von Flughäfen, und Q und Z stellen Standorte in Form von Flughäfen dar. Für den Fall, dass jeder Standort mit jedem anderen Standort verbunden sein kann, lässt sich jede Quelle den (n-1) vorhandenen Standorten zuordnen, die dann als Zielstandorte fungieren. Zwischen einer Quelle und einem Ziel werde ein Transportfluss betrachtet, der im Transport von Passagieren oder von Güterfrachtsendungen bestehen kann. Zwischen zwei Paaren $\Pi(Q, S)$, die auch als die Relation (i, j) bezeichnet werden, werde die Menge L_{ij} befördert.

Bei der Lokalisierung von Hubs geht es um die Auswahl potenzieller Standorte für Hubs im Netzwerklayout. Direkte Verbindungen im Netzwerklayout werden als Nonstop-Service aufgefasst und als Direktfluglinien bezeichnet. Wird auf direkte Verbindungen verzichtet, so spricht man von einer strikten Hubbing-Politik, d. h., jedes Sendungsaufkommen wird grundsätzlich von einer Quelle zum Ziel über einem Hub transportiert. Für den Fall, dass für ein Paar $\Pi(Q, Z)$ eine Nonstop-Politik oder eine Route über mindestens einen Hub möglich ist, liegt eine nicht strikte Hubbing-Politik vor. Eine strikte Hubbing-Politik findet sich im Ein-Hub-Modell von O'Kelly (1986A, S. 92–106). In dieser Arbeit führt O'Kelly ein Modell für Direktflugverbindungen auf der Basis einer Rasterstruktur ein, bei welchem eine nicht strikte Hubbing-Politik und ein Nonstop-Service unterstellt werden. Eine nicht strikte Hubbing-Politik zu Hub-Location-Problemen wendet unter mehreren Autoren Aykin (1988, S. 155–157, 1991A, 1994, S. 501–523) in einigen Veröffentlichungen an.

Aufgrund der Hubbing-Politik resultieren die zu unterhaltenden Stopps. Gilt die Single-Allocation-Politik, dann müssen zwingend zwei Nichthubs, die ein Paar $\Pi(Q, Z)$ bilden, stets über einen Hub geroutet werden, weil jeder Nichthub mit einem Hub verknüpft ist und alle ein- und ausgehenden Transportströme über den Hub abgewickelt werden müssen. In diesem Fall liegt ein so genannter One-Stop-Service vor. Sind hingegen zwei Nichthubs mit unterschiedlichen Hubs verbunden und die beiden Hubs wiederum miteinander gekoppelt, dann liegt ein Two-Stop-Service vor, weil beim Transport vom Quell-Nichthub zum Ziel-Nichthub eine Umladung beim ersten Hub und dann nach dem Transport vom ersten Hub zum zweiten Hub eine weitere Umladung zum Ziel-Nichthub erforderlich ist. Für den Fall einer Multi-Hub-Bildung resultieren auch Multiple-Stop-Services, wenn mehrere Hubs miteinander verbunden sind und jede Hub-Hub-Konfiguration eine Fernrelation bildet. In einigen Modellansätzen zu Hub-and-Spoke-Modellen wird eine strikte One-Stop-Strategie verfolgt (vgl. O'Kelly, 1986A, S. 92–106, O'Kelly et al., 1991, S. 283–296). In anderen Arbeiten ist auch eine Nonstop-Politik zugelassen, d. h., ein auf Enumeration basierter Algorithmus zu einem Integer-Programm untersucht die Nonstop, Ein- und Zwei-Stopp-Strategie parallel (vgl. Aykin (1991A, 1991B, 1994, S. 501–523). In den Modellannahmen von Campbell wird hingegen ein Nonstop-Service abgelehnt (vgl. Campbell, 1991, 1994, S. 387–405).

Wird bei einer Verbindung von einem Nichthub zu einem Hub ein Zwischenstopp in einem weiteren Nichthub eingelegt, etwa um zusätzliche Fracht oder Passagiere aufzunehmen, so spricht man von einem Zwischenstopp-Service bzw. Stopover-Service. Die Wegeführung vom Nichthub zum Hub wird als Route bezeichnet und kann ein oder mehrere Zwischenstopps über Nichthubs umfassen. Die Strategie des Zwischenstopps wird verfolgt, wenn in einem Konsolidierungspunkt die Fracht von Feeder-Flugzeugen aufgenommen oder Fracht aus dem Gebiet des Zwischenstopps aufgenommen oder abgegeben werden soll. Eine Zwischenstopp-Strategie sei jedoch wohlüberlegt, da der damit einhergehende Umladeaufwand

[110] Entspricht der Euklidischen Ebene bzw. dem kontinuierlichen Fall.

und Zeitverlust leicht die Vorteile der Einsparung von Transportmitteln verdrängen kann. Es sei z_s die Anzahl der möglichen Zwischenstopps. Sind keine Zwischenstopps erlaubt, so ist $z_s = 0$. Zwischenstopp-Services werden in dieser Arbeit im Rahmen der Aufstellung eines Modells präsentiert. In der Literatur finden sich insbesondere in den 1990er-Jahren einige Modellparadigmen mit Zwischenstopp-Strategien. Kuby et al. (1993, S. 1–12) gehen in ihrem rekursiven Modellansatz speziell auf die Problematik von Stopover ein. Als Motivation hierzu diente den Forschern das Netz des Paketdienstanbieters Federal Express, der in Memphis, USA, einen Hubflughafen unterhält und ein Hub-and-Spoke-Netzwerk mit einer Stopover-Strategie betreibt. Auch Barnhart et al. (1996, S. 852–863) variieren die konventionellen Location-Theory-Modelle und führen als Modellrestriktion eine Stopover-Politik ein.

Eine weitere Möglichkeit der Konfiguration von Zwischenstopps bildet die Einführung so genannter Feeder. Feeder sind Transportmittel, im Falle des Lufttransports Flugzeuge, die zwischen einem Nichthub und einem Hub-Flughafen Zubringerdienste erbringen. Feeder liefern ein bestimmtes Aufkommen zunächst nicht zu einem Hub, sondern zum nächsten Nichthub, der anschließend eine Transportkonsolidierung zum verbundenen Hub vornimmt. Das Prinzip der Feeder-Politik besteht darin, zu Beginn einer Route und an Stopover-Flughäfen kleinere Flugzeuge als Feeder einzusetzen (vgl. Kuby et al., 1993). Die Feeder-Politik ist also stark geknüpft an eine Stopover-Politik. Die nachfolgende Abbildung zeigt die diversen Stopp-Services zusammenfassend noch einmal auf.

Abbildung 40: Stopp-Service-Politiken
(Quelle: eigene Darstellung)

Kriterien im Zusammenhang mit der Allokation

Neben der Lokalisierung ist auch die Allokation Gegenstand der Betrachtung in Hub-and-Spoke-Modellen. Das Netzwerkgestaltungsproblem ist damit ein kombiniertes Location-Allocation-Problem. Bei der Allokation geht es um die Frage, welche Nichthubs einem oder mehreren Hubs zugeordnet werden. Darf ein Nichthub nur einem Hub zugeordnet werden, spricht man von Single Allocation. Kann ein Nichthub mit mehreren Hubs verbunden werden,

liegt hingegen Multiple Allocation vor.

Anhand der Allokationsregel lassen sich die klassischen Modelle der Location Theory von den Hub-Location-Modellen unterscheiden. Während bei Commodity-Problemen die Single-Allocation-Politik im Mittelpunkt steht, wird beim Netzwerklayout im Less-to-Many Transportfall (z. B. bei den Paketdiensten) meist eine Multiple-Allocation-Politik verfolgt. Bei Single Allocation erfolgt die Routenführung ausgehend von einem bestimmten Quellgebiet zu einem beliebigen Zielgebiet stets über den zugeordneten Hub. Bei Multiple Allocation lässt sich dagegen von einem dedizierten Quellgebiet zu einem beliebigen Zielgebiet jede Route aussuchen, auf der mindestens ein Hub ausgewählt werden kann. Das Quellgebiet muss mit dem selektierten Hub verbunden sein.

Die Single-Allocation-Regel ist Gegenstand in der Modellformulierung etwa bei O'Kelly (1986A, S. 92–106), (1987, S. 393–404), (1992, S. 293–306), Klincewicz (1989, 1991, S. 25–37) sowie Aykin (1990, S. 409 ff.). Die multiple Zuordnungsregel wird dagegen in den Modellen von Hall (1989, S. 139–149), O'Kelly und Lao (1991, S. 283–296) und Campbell (1990, S. 345–361, 1991) angewandt. Es existieren auch Modellaufstellungen, bei denen eine Zuordnung von Nichthubs zu Hubs sowohl nach der Single-Allocation-Regel als auch nach der Multiple-Allocation-Regel simultan vorkommt (vgl. Campbell, 1994, S. 387–405, Skorin-Kapov et al., 1996, S. 582–593).

Abbildung 41: Single Allocation im Vergleich zu Multiple Allocation
(Quelle: eigene Darstellung)

Kriterien in Verbindung mit dem Netzwerklayout

Charakteristisch für ein Netz ist neben der Lokations- und Allokationsfrage die zugrunde liegende Netzwerkstruktur. Es werden lineare, rasterorientierte und auf Nabe-Speiche (oder Hub and Spoke) orientierte Netzwerkstrukturen unterschieden. Der Rasterstruktur ist eigentümlich, dass jedes Quellgebiet mit jedem Zielgebiet verbunden ist, d. h., es existieren ausschließlich Direktverbindungen. Rasterstrukturierte Layouts bezeichnet man auch als lineare Netze bzw. lineares Layout. Die Konstituierung der Art des Netzwerks im Gütertransport hängt von den jeweils verfolgten ökonomischen Zielen ab (vgl. Vahrenkamp, 1998A).

Das Nabe-Speiche-System wurde in dieser Arbeit bereits unter verschiedenen Kontexten beleuchtet. Zum Vergleich mit dem Rastersystem soll jedoch an dieser Stelle noch einmal darauf eingegangen werden. Die Modellierung von Nabe-Speiche-Netzen (Hub-and-Spoke-Netze) oder auch Hub-Layouts erfolgt unter Beachtung einer strikten Hubbing-Politik. Kenn-

zeichen dieser Modellierung sind Speichen, die quasi konzentrisch Kreise um einen Hub bilden. Im Gebiet innerhalb dieser fiktiven Kreise soll das Transportaufkommen eingesammelt und über den der Speiche allokierten Hub gebündelt werden. Derartige Hub-Layouts sind auch als Hub-and-Spoke-Netze bekannt, wobei Spoke für die englische Bezeichnung von Speiche steht und p die Anzahl von Hubs im Modell beschreibt. Für den Fall des linearen Layouts ist $p = 0$, beim Hub-Layout ist $p > 0$, d. h., es muss mindestens ein Hub bestehen. Für die variable Anzahl p Hubs wird das Netz auch als p-Hub Netz bezeichnet. Beim linearen Layout gibt es $n (n – 1) = n^2 – n$ mögliche Verbindungen, im Hub-Layout nur 2n Transportrelationen, d. h. eine bidirektionale Verbindung vom Depot zum Hub und zurück ($n \cdot 2 = 2n$) (vgl. Wlcek, 1998, S. 33).

Abbildung 42: Lineares Layout versus Hub-Layout
(Quelle: eigene Darstellung)

Bei einer Hubbing-Politik mit $p > 1$ erfolgt zwischen dem Quell- und Zielgebiet der Transport eines Teils des Transportaufkommens über mindestens eine Hub-Hub-Verbindung. Solche Hub-Hub-Transporte werden auch als Interhub-Relation oder auch bloß als Fernrelation bezeichnet (vgl. Vahrenkamp, 1998B, S. 9). Neben der Festlegung der Anzahl p zugelassener Hubs muss auch die maximale Anzahl h möglicher Sendungen von den Quellen zum Ziel definiert werden. In der Praxis zeigt sich, dass vor allem bei den KEP-Diensten Nabe-Speiche-Systeme mit höchstens zwei Stopps vorkommen, weil sich bei einer höheren Anzahl an Zwischenstopps ein Overnight-Service für die Paketzustellung wegen des Umsortierens kaum bewerkstelligen ließe (vgl. Vahrenkamp, a. a. O.). Je höher die Hub-Anzahl, desto höher fällt der Zeitanteil für das Umsortieren an den Hubs aus. Der Bündelungsvorteil kann durch den hohen Umsortierungsaufwand verloren gehen. Vahrenkamp (1996) kristallisiert in einem Aufsatz die Vorteile der Hub-Struktur gegenüber der linearen Netzwerkstruktur speziell im Paketdienstbereich heraus.

Zusammengefasst ergeben sich, wie in der nachfolgenden Tabelle nochmals hervorgehoben, die folgenden Merkmale zur Gestaltung rasterstrukturierter oder hub-orientierter Netzwerklayouts, die an die Klassifikationen von möglichen Netzwerklayouts von Vahrenkamp (1998B, S. 6 f.) und O'Kelly et al. (1994, S. 31–40) angelehnt sind.

Merkmal des Netzwerklayouts	Ausprägungen
Netzwerklayout	• lineares (rasterstrukturiertes) Layout • Hub-and-Spoke-Layout
Art der Layout-Bildung	• diskret • kontinuierlich

Merkmal des Netzwerklayouts	Ausprägungen
Strategie zur Flugstreckenbildung	• strikte Hubbing-Politik • nicht strikte Hubbing-Politik • Nonstop-Service (Direktverbindungen)
Hubbing-Politik	• keine Hubs (Direktverbindungen), d. h. lineares Layout • Single-Hub • Double-Hub • p-Hubs (multiple)
Allokation (Kriterien zur Zuordnung von Nichthubs zu Hubs)	• Single (nur ein Kriterium wird für die Zuordnung eines Nichthubs zu einem Hub herangezogen) • Multiple (anhand mehrerer Kriterien wird die Zuordnung eines Nichthubs zu einem Hub festgemacht)
Stopp-Services	• Nonstop-Service • One-Stop-Service • Two-Stop-Service • Multiple-Stop-Service
Zwischenstopp-Strategie zwischen Nichthub-Knoten	• Routing, d. h. $z_s > 0$ • Nicht-Routing, d. h. $z_s = 0$ • Feeder-Politik
Kapazitätsbeschränkung	• mit Kapazitätsbeschränkung • ohne Kapazitätsbeschränkung

Tabelle 17: Klassifikation der Netzwerklayout-Parameter

10.3 Konkrete p-Hub- und p-Hub-Median-Modelle für Luftverkehrsnetze

Trotz der teils erschöpfenden Behandlung von p-Hub- und p-Hub-Median-Modellen in der Literatur sollen in diesem Abschnitt die wesentlichen Aspekte dieser Modellansätze nachgezeichnet werden. Dies geschieht auch vor dem Hintergrund, zu evaluieren, ob sich eines der Modelle für die Problemstellung dieser Arbeit eignen würde.

O'Kelly (1986A) gilt als einer der Initiatoren bei der Untersuchung von Hub-and-Spoke-Modellen. In seiner Arbeit klagt er an, dass die amerikanischen Fluglinien mehr oder weniger unabhängig voneinander um zentrale Stützpunkte herum aufgebaut wurden. Er untersucht anhand von Passagierzahlen von und nach 25 Städten aus dem Jahr 1970[111], ob sich bei einer Zugrundelegung eines Hub-and-Spoke-Layouts die Kosten des Passagiertransports minimieren lassen, und vergleicht seine Ergebnisse mit denen der bis dahin üblichen Behandlung solcher Probleme nach der Steinerschen Graphentheorie.[112] Des Weiteren analysiert er den Ein-Hub- und den Zwei-Hub-Fall. Bei letzterem führt er einen Proportionalitätsfaktor a ein, mit dem die Kosteneinsparung durch die Bündelung des Verkehrs zwischen zwei Hubs Berücksichtigung finden soll. Die Kosten für die Einrichtung eines Hubs bleiben beim Proportionalitätsfaktor unberücksichtigt. Nach den Ergebnissen von O'Kelly steigt die Anzahl der Zuordnungen bei zwei Hubs exponentiell an. Eine Lösung durch Enumeration ist für diesen Fall ausgeschlossen. Das Motiv für die Untersuchung des Zwei-Hub-Falls bestand darin, dass der KEP-Anbieter Federal Express (FedEx)[113] zu Beginn des Aufbaus eines Transportnetzes neben seinem Haupt-Hub in Memphis regionale Sortiereinrichtungen in Pittsburgh und Salt Lake City als zweite Hubs unterhielt, obgleich das Unternehmen Ende der 1980er-Jahre in Memphis eine strenge Single-Hub-Politik eingeschlagen hatte (vgl. Chan und Ponder, 1979, S. 221–229).

Das Zwei-Hub-Problem dekomponiert der Autor in ein Clustering- und ein Location-Problem. Beim Clustering[114] unterteilt er die Knoten in zwei disjunkte Partitionen, die jeweils durch ei-

[111] Die Daten wurden einige Jahre zuvor schon von Fotheringham und Williams (1983, S. 343 ff.) untersucht. Mit der Abbildung des Single-Hub-Location-Problems in der euklidischen Ebene (kontinuierlicher Lösungsraum) besteht kein Unterschied zu Webers Kostenminimierungsmodell (Steiner-Weber-Modell).
[112] Vgl. hierzu Beaumont (1980, S. 37–50), O'Kelly (1986B), Fotheringham und O'Kelly(1989).
[113] Federal Express und FedEx sind eingetragene Warenzeichen.
[114] Zuordnung der Flughäfen zu Hub-Flughäfen.

nen Hub bedient werden, und enumeriert sie. Das Location-Problem löst O'Kelly unter Anwendung eines Algorithmus von Powell (1970). Hierzu macht er eine vereinfachende Annahme. Er untersucht nur die nicht überlappenden Partitionen der Knoten zwischen zwei Hubs. Während diese Annahme zu einer optimalen Lösung im Zwei-Center-Location-Allocation-Modell nach Ostresh (1975, S. 209–216) führt, gilt dies für das Zwei-Hub-Modell bei O'Kelly gerade nicht.

O'Kelly stellt zunächst für den Zwei-Hub-Fall Überlegungen zum Transportfluss auf. Hierzu betrachtet er zwei Knoten, die miteinander verbunden werden sollen. Falls das Paar $\Pi(Q, Z)$ mit demselben Hub verknüpft ist, entsteht nur eine Q-Hub-Z-Verbindung. Falls hingegen Q und Z jeweils mit anderen Hubs vernetzt sind, muss es zwischen diesen Hubs Interhub-Verbindungen in der Transportrelation Q-Hub-Hub-Z geben. Gerade für diese Hub-Hub-Relationen vermutet der Autor Skaleneffekte, und genau dieses Phänomen wurde in den konventionellen Modellen der Luft- und Raumfahrt gemäß der Steinerschen Graphentheorie zu jener Zeit nicht aufgegriffen, wie O'Kelly aufzuzeigen vermag. Auch im Zwei-Hub-Modell leitet O'Kelly die Kosten anhand der Entfernung zwischen Q und Z ab. Die Kosteneinsparungspotenziale durch die Bündelungseffekte auf der Hub-Hub-Verbindung drückt er mittels eines erstmalig eingeführten Proportionalitätsfaktors mit der Notation a aus. Da mit zunehmender Knotenzahl und wachsender Zahl von Hubs die Menge an Rechenoperationen exponentiell ansteigt, beschränkt er sich auf zwei Hubs und lässt die Ergebnisse seiner Berechnungen unkommentiert, fasst die von ihm ermittelten optimalen Lösungen aber zur Veranschaulichung in Abbildungen zusammen.

O'Kelly zeigt in seinem Ansatz auf, dass der Zwei-Hub-Fall gegenüber dem Ein-Hub-Fall ungleich schwieriger ist, da mit ihm strukturelle Probleme beim Netzwerk einhergehen. Das Problem im Netzwerkproblem besteht in der Determinierung der Städte-Zuordnungen zu den zwei Hubs. Obgleich dieser diskrete Modellansatz eine sehr starke Ähnlichkeit zum Median-Location-Problem aufweist (vgl. Kolen, 1986), erweist sich die Komplexität der Lösung für den Zwei-Hub-Fall als ein quadratisches Zuordnungsproblem.

O'Kelly bemängelt die bislang auch in den klassischen Modellen der Luft- und Raumfahrt angewandte Projektion des Netzwerklayouts auf den euklidischen Raum und führt dabei an, dass Hub-Flughäfen regelmäßig nicht auf der grünen Wiese entstehen, sondern bestehende Airports mit einer Hub-Funktion konfiguriert werden. Die Standortentscheidungsfrage lässt sich unter dieser Annahme als diskretes Problem auffassen, sodass sich auch vom kontinuierlichen Lösungsraum auf einen diskreten Lösungsraum übergehen lässt.

In einer weiteren Arbeit entwickelt O'Kelly (1987) seinen Ansatz weiter, gestaltet ihn jedoch offen. Es seien dabei n Knoten und p Hubs zugelassen. Eingeschränkt ist dabei die Möglichkeit, Knoten an Hubs anzubinden, indem jeder Knoten nur mit einem Hub verbunden sein darf (Single-Allocation-Regel). Das Verfahren wird hiernach Single-p-hub-Median-Problem genannt, auf dessen mathematische Modellierung im nachfolgenden Kapitel eingegangen wird. Eine weitere Vereinfachung des Modells ist die Vorgabe, dass jeder Knoten an den nach der Entfernung nächsten Hub gehängt wird (so genannte Heuristik 1 bzw. abgekürzt Heur1) bzw. die zwei nächsten Möglichkeiten untersucht werden (so genannte Heuristik 2 bzw. abgekürzt Heur2). Folglich geht es hier um die Berechnung optimaler Zwei-Hub-Layouts bei sich verändernden Proportionalitätsfaktoren in den Heuristiken zur Prognose praxistauglicher Skaleneffekte. Der Skaleneffekt resultiert aus der Multiplikation des Proportionalitätsfaktors mit den Interhubkosten und drückt die Kosteneinsparungen durch die Zwischenhubtransporte aus. Für Skalenfaktoren von nicht mehr als 0,6 arbeiten die beiden Heuristiken gleich effizient. O'Kelly berechnet den Zwei-Hub-Fall unter der Annahme sich verändernder Proportionalitätsfaktoren und zeigt die Auswirkungen dieser Änderungen bezogen auf die Optimalitätsergebnisse auf.

Der Ansatz von Klincewicz (1991) baut auf den Ergebnissen des quadratischen Zuordnungsproblems von O'Kelly (1987) auf, lässt aber das lineare Programm von O'Kelly im Arti-

kel von 1986A außer Acht. Klincewicz entwickelt zwei Interchange-Heuristiken, die den Heuristiken 1 und 2 von O'Kelly an Recheneffizienz überlegen sind und sich für den allgemeinen p-Hub-Fall eignen. Die beiden Heuristiken unterteilen sich in eine Exchange- und eine Clustering-Heuristik[115], die nebeneinander und voneinander unabhängig arbeiten. Es sind eine Menge von p Hubs vorgegeben und es erfolgt die Analyse der Zuordnungsmöglichkeiten von Knoten auf der Basis erweiterter Zuordnungskriterien anhand der Exchange-Heuristik. Die Heuristik basiert auf einer Multi-Start-Lösung. In die Startlösung werden diejenigen Hubkonfigurationen aufgenommen, welche die größten Werte für p an ein- und ausgehenden Transportströmen aufweisen. Beim p-Hub-Location-Problem seien eine bestimmte Anzahl von Knoten und deren ein- und ausgehende Transportmengen exogen vorgegeben. Angenommen und vorgegeben sind darüber hinaus lineare Kosten pro Einheit zu versehender Transportmengen zwischen zwei Knoten. Aufgrund der vorgegebenen Menge von Knoten erfolgt die Selektion von p Knoten als potenzielle Hubs. Die Problemformulierung führt zu einem diskreten Location-Problem. Das quadratische Zuordnungsproblem für das p-Hub-Location Problem ist im Vergleich zum klassischen p-Median- oder p-Center-Problem NP-schwierig[116], wobei grundsätzlich nach der ersten Iteration, also nach der Hub-Lokalisierung, die Komplexität der Berechenbarkeit der Heuristiken trivial wird. Gerade die Schwierigkeit des quadratischen Zuordnungsproblems bei O'Kelly hat Klincewicz dazu gebracht, für große Netzwerke effizientere Heuristiken zu untersuchen, als sie bei O'Kelly vorkamen. Dabei differenziert sich die Problemformulierung nur sehr marginal von der von O'Kelly (1987).

Gegenstand bei Klincewicz ist auch die Zuordnung von Knoten zu Hubs auf der Basis eines Multikriteria-Ansatzes im Gegensatz zum O'Kelly-Ansatz und anderen Verfahren, die lediglich die Zuordnung nach der Entfernung, also nach einem einzigen (Single) Kriterium entscheiden. Klincewicz beklagt in diesem Kontext das zu einfach gehaltene Assignment-Problem von O'Kelly und führt ein General-Assignment-Problem ein, das durch den Multikriteria-Ansatz gelöst wird. Neben der Entfernung dient als weiteres Zuordnungskriterium das Verkehrsaufkommen in den einzelnen Knoten. Die Aufgabe der Austauschheuristik ist es, einen Hub mit einem Nichthub nach vorgegebenen Kriterien zu tauschen (Location-Austauschheuristik) bzw. einen an einen Hub angebundenen Knoten an einen anderen Knoten anzuhängen (so genannte Allocation-Austauschheuristik). Die Austauschheuristiken wendet Klincewicz sowohl für den Single-Exchange- („one-at-a-time") als auch für den Double-Exchange-Fall („two-at-a-time") an. Während beim Single-Exchange der Tausch eines Nichthubs gegen einen Hub erfolgt, wird beim Double-Exchange der simultane Austausch von zwei Nichthubs gegen zwei Hubs vorgenommen. Die doppelte Austauschvariante ist gegenüber dem Single-Austausch rechenintensiver. Angewandt auf die CAB-Daten (10, 15, 20, 25 Knoten, 2, 3 und 4 Hubs), die auch O'Kelly (1986A, 1986B, 1987) und viele andere Autoren als Berechnungsbeispiele den Heuristiken zugrunde legen, erreicht die Double-Exchange-Heuristik eine Lösung nach einer maximalen Rechenzeit von 11 Sekunden. Die Lösungsgüte liegt somit weniger als 10 Prozent über den von O'Kelly (1987) entwickelten optimalen Lösungen der Heuristik 1.

Neben der Exchange-Heuristik führt Klincewicz eine Clustering-Heuristik ein, welche die gegebenen Knoten in p-Gruppen zusammenführt. Innerhalb einer p-Gruppe wird eine Hub-Lokation durchgeführt. Die Heuristik basiert, wie bereits erwähnt, auf einem größeren schematisch entwickelten Design-Paket eines Umschlagnetzwerkes. Die Zuordnung von Knoten zum Cluster erfolgt nach den Kriterien der Entfernung und dem Verkehrsaufkommen. Neben den CAB-Daten wendet Klincewicz die Exchange- und Clustering-Heuristik auch auf ein 52-Knoten-Problem an, das von Monma und Sheng (1986)[117] übernommen wurde. Während die enumerativ-basierte Heuristik von O'Kelly optimale Ergebnisse bei sehr stark angestiegenen Rechenzeiten liefert, variiert die Rechenzeit bei den Interchange-Heuristiken in Abhängigkeit von den Multikriteria-Bedingungen sehr stark. Alle Rechenergebnisse der Interchange-Heuristiken wurden mit der Enumeration verglichen. Die Double-Exchange-Heuristiken wa-

[115] Vgl. Momma und Sheng (1986).
[116] Vgl. zur NP-Schwierigkeit Love et al. (1998).
[117] Entstammen den Daten von AT&T Laboratories.

ren in 23 von 36 Fällen gegenüber der Single-Exchange-Problematik mit der Entfernung als Single-Kriterium überlegen, wohingegen nur 19 von 36 Problemen bei einem Multikriteria-Ansatz gegenüber der Single-Exchange-Problematik besser waren.

Im Jahre 1992 entwickelt Klincewicz (1992) seine Heuristiken weiter. Wiederum ist sein Ziel, die Rechenzeit gegenüber den O'Kelly-Heuristiken zu verkürzen und auch seine in 1991 formulierten Exchange- und Clustering-Heuristiken hinsichtlich der Rechenzeiten zu verbessern. Hierzu konzentriert er sich auf die Untersuchung von zufallsgesteuerten Algorithmen und die Einführung von intelligenten Strategien für den Location-Austausch. Die Randomisierung hatte dabei zur Aufgabe, eine zufällige Auswahl von Knoten für eine Startlösung für ein p-Hub-Location-Problem vorzunehmen. Aus einer Liste von Hub-Kombinationen, die sukzessive generiert werden, wählt der Algorithmus diejenigen sieben besten Möglichkeiten für die Anbindung eines Nichthub-Knotens zu einem Hub aus, mit denen die größten Einsparungen zu erzielen sind. Die Auswahl aus den sieben besten Möglichkeiten für die Startlösung erfolgt stochastisch, wobei nur ein Element aus der Liste in die Startkonfiguration aufgenommen wird. Es liegt somit eine Single-Start-Lösung vor. Die Startkonfiguration entspricht einer ersten Hub-Lokalisation, bildet also eine Eröffnungsheuristik. Mit einer weiteren Verbesserungsheuristik, die für den Location-Austausch gedacht ist und mittels einer Tabu-Liste den Verbesserungsvorgang lenkt, sollen gegenüber der Ausgangslösung Verbesserungen in der Zielfunktionsformulierung erzielt werden. Zum Vergleich dieser neuen Heuristik mit seinen Interchange-Heuristiken und den O'Kelly-Heuristiken benutzt Klincewicz wiederum die CAB-Daten. Mit der Einführung intelligenter Strategien durch die Tabuisierung erreicht er gegenüber seinen Ergebnissen in 1991 für die Double-Exchange-Heuristik für jeden betrachteten Fall Verbesserungen von 1 bis 6 Prozent.

Darko Skorin-Kapov und Jadranka Skorin-Kapov (1994) wenden auf das gleiche Problem eine Tabu-Suche an. Dabei wählen sie wie bei Klincewicz (1992) eine Ausgangssituation, bei der die p Hubs auf die aufkommensstärksten Knoten gelegt werden. Auch hier wird mit dem gleichen Datenmaterial die Heuristik von O'Kelly verglichen, mit dem Ergebnis, dass bei nahezu gleichem Rechenaufwand in etwa gleiche optimale Layouts ermittelt werden.

O'Kelly und Lao (1991) entwickeln neben den vielfachen Aufsätzen, die sich nur mit verbesserten Heuristiken zum quadratischen Zuordnungsproblem beschäftigten, ein Lösungsverfahren für diese Problemstellung: das Verfahren der ganzzahligen Programmierung. In die Problemstellung wurde neben der Routen-Auswahl auch die Service-Auswahl auf den Routen einbezogen, d. h., wie die Routen bedient werden. Das Problem wird in einem diskreten Lösungsraum abgebildet und die Lösung erfolgt durch Linearisierung. Interessant an der Problemformulierung ist, dass die dem Verfahren unterstellte Zwei-Hub-Politik in eine Master- und eine Mini-Hubbing-Politik unterteilt wird. Beim Problem lässt sich nur eine One-Stop-Strategie berücksichtigen. Bei der hier gebrauchten Hubbing-Politik wird davon ausgegangen, dass ein Hub den Master-Hub bildet und der andere Hub ein Mini-Hub ist. Die Master-/Mini-Hub-Strategie verfolgt auch das Unternehmen FedEx in seiner US-Netzkonfiguration.

Einige Forschungsansätzen beschäftigen sich in ihren Modellberechnungen im Speziellen mit KEP-Diensten im Luftverkehrsbereich, so bspw. De Neufville und Gordon (1972, S. 207–222), und legen den Modellberechnungen Real-Welt-Geschehnisse des Transportsektors zugrunde, womit sich in den Modellen reale Netzwerkbegebenheiten berücksichtigen lassen, die sich in der Praxis als besonders tauglich erweisen.

Aykin (1995A) benutzt zur Lösung des Single-p-Median-Problems mit den Daten des US-Luftverkehrsnetzes des KEP-Anbieters FedEx eine auf Simulated Annealing beruhende Heuristik. Die Anbindung von Knoten an Hubs löst der Autor mit einem Drop-Greedy-Algorithmus. Basis dafür sind die von ihm 1990[118] veröffentlichten notwendigen Optimalitätsbedingungen. Die nun ermittelte Startlösung wird mittels einer Location-Austauschheuristik

[118] Vgl. Aykin (1990).

weiterverarbeitet, die aber dergestalt arbeitet, dass eine mögliche Verbesserung des Ergebnisses vor jedem Tausch geschätzt wird und nur bei positivem Schätzwert dieser Tausch auch tatsächlich durchgeführt wird. Ein qualitativer Vergleich seiner Heuristik mit den Lösungsansätzen anderer Autoren bleibt außen vor. Jedoch vergleicht Aykin seine auf Basis von Simulated Annealing errechneten Modellwerte mit den Netzdaten von FedEx.

In weiteren Veröffentlichungen beschäftigt sich Aykin mit dem zusätzlichen Aspekt des Direktfluges zwischen zwei Knoten. In einem Aufsatz (Aykin, 1994) erweitert er das mathematische Modell um Direktflüge und Kapazitätsbeschränkungen auf den Flughäfen. Er stellt dabei fest, dass das Ziel der strikten Hubbing-Politik – die Bündelung der Passage bzw. Fracht – auf den Hub-Flughäfen durch die begrenzten Kapazitäten an seine Grenzen stößt.

Ernst und Krishnamoorthy stellen 1996 einen Simulated-Annealing-Algorithmus für das Single-p-Median-Problems zur Verbesserung der Lösung des quadratischen Zuordnungsproblems vor. Dabei definieren sie Cluster, um die Problemstellung zu dekomponieren. In diesen Clustern werden die Knoten zusammengefasst, die mit demselben Hub verbunden sind. Gestartet wird mit einer randomisierten Ausgangslösung mit p Clustern (Multistart-Lösung). Weiterhin erfolgt die Definition von zwei Möglichkeiten der Optimierung des Systems (Nachbarschaftssuche). Zum einen können Knoten von einem zum anderen Cluster übergeben (erste Nachbarschaftssuchstrategie) werden und zum anderen lässt sich bei einem Knoten und bei einem Hub innerhalb eines Clusters der Status tauschen (zweite Nachbarschaftssuchstrategie). Dabei findet dieses Verfahren in 99,5 Prozent aller Fälle die optimale Lösung, die zur Kontrolle für jede untersuchte Datenmenge ermittelt wurde. Die Verkehrsdaten bezogen sich zum einen auf die bekannten CAB-Daten aus dem Jahre 1970 und zum anderen wurde in Neuerung das Sendungsdatenmaterial der australischen Post mit 200 Knoten in die Berechnungen mit aufgenommen.

Zwei Jahre später untersuchen Ernst und Krishnamoorthy (1998) in Erweiterung zu ihren Modellanalysen in 1996 ein p-hub-Median-Problem mit der Möglichkeit, einen Knoten mit mehr als einem Hub zu verbinden (Multi Allocation). Dabei vereinfachen sie das Problem, indem sie einen Algorithmus einsetzen, der für ein zu transportierendes Gut immer nur den kürzesten Weg zulässt. Dieses Verfahren ist mit der Single-Allocation-Situation nicht mehr vergleichbar. Neben Aykin (1995A) rückt das FedEx-Netzwerk in den USA bei vielen Forschern ab Ende der 1980-Jahre in den Mittelpunkt des Interesses. So versucht Malkin (1982, S. 1–27) bspw. Antworten auf Fragen zum enormen Wachstum von FedEx zu finden. Wheeler und Mitchelson (1989, S. 523–543) zeigen in ihrem Forschungsarbeiten auf, dass im FedEx-Netz zu den angeflogenen Städten keine zu- und abgehende Symmetrie im Transportaufkommen besteht und bis auf wenige Ausnahmen die Pakete auf gleiche Art und Weise verteilt werden, wie sie eingesammelt wurden.

Chestler (1985, S. 59–71) untersucht in einem 9-Städte-Paar aus den USA die Effizienz von Stopover-Flügen. Drezner und Drezner (2001, S. 67–73) beziehen sich in ihrem Aufsatz auf die in der Literatur aufgestellten grundlegenden Aussagen zu Zwei-Hub-Modellen. Zunächst konstatieren sie, dass hinter einer Zwei-Hub-Strategie gegenüber der Direktflugvariante Skaleneffekte zu verzeichnen sind und dies für den Passagier-Transport realitätsfern ist, weil der Passagier nicht gewillt sei, mehr als einen Umstieg auf seiner Reiseroute in Kauf zu nehmen. Insoweit sehen die Autoren Zwei-Hub-Modelle als limitiert brauchbar an. In ihrer Publikation schlagen sie deshalb ein Modell mit einer Ein-Hub-Strategie vor.

Seit dem Ende der 1980er-Jahre finden sich auch verstärkt Arbeiten zu Hub-and-Spoke-Modellen, bei denen Zeitrestriktionen in die Modellbedingungen aufgenommen wurden. Stellvertretend sei hier die Arbeit von Hall (1989, S. 139–149) genannt. Mit der von der Start- und Landezeit abhängigen Flugzeug-Routenbildung beschäftigen sich für ein Hub-and-Spoke-Luftverkehrsnetz Daskin und Panayotopoulos (1989, S. 91–99). Im Ansatz von Grove und O'Kelly (1986, S. 103–119) werden Verzögerungen von Flugplänen simuliert, wodurch das Modell einen praxisnahen Bezug erhält.

In den 1990er- und 2000er Jahren lässt sich auch feststellen, dass sich einige Autoren mit größer dimensionierten Hub-Location-Problemen auseinandersetzen, so etwa Ebery (2001, S. 447–458). In diesen Modellen sind einerseits die Anzahl der Knoten und andererseits die Anzahl der Hubs groß.

Ein Grund für das Bestehen von Modellrestriktionen in den Forschungsansätzen der Vergangenheit, insbesondere im Umfang von Testdaten, lag an den begrenzten Rechnerkapazitäten. Heutige Personal Computer, die in der Regel ein Mehrfaches an Rechnerleistung gegenüber den Rechnern aufbringen, die in den Anfängen der Berechnung von Hub-and-Spoke-Netzen herangezogen wurden, lassen die Effizienzbetrachtung von Heuristiken bzw. programmierten Algorithmen (Laufzeit-Performanz) in den Hintergrund des Interesses rücken.

Einige Ansätze setzen sich dagegen mit der Komplexitätsbetrachtung der verwendeten Algorithmen oder mit strukturellen oder restriktiven Unterschieden zwischen den in der Literatur einschlägigen Heuristiken auseinander. In den Publikationen von Klincewicz (1991, 1992), Skorin-Kapov et al. (1994), Aykin (1995A) sowie Ernst und Krishmanoorthy (1996) erfolgt die Formulierung von Verbesserungsheuristiken, mit denen sich im Gegensatz zu den Heuristiken von O'Kelly das quadratische Zuordnungsproblem für Ein- und Zwei-Hub-Systeme effizienter berechnen lässt. In anderen Publikationen wird speziell auf das Phänomen der NP-Schwierigkeit des quadratischen Terms in der Zielfunktion (Zuordnungsproblem) eingegangen (vgl. Klincewicz, 1991, 1992, Love et al., 1998). Die NP-Schwierigkeit bringt die Rechenkomplexität des Assignment-Problems zum Ausdruck. In einigen Ansätzen wird dabei diskutiert, unter welchen Modellannahmen NP-Komplexität vorliegen soll. Sohn und Park (2000) etwa postulieren in ihrer Modellformulierung, dass das Single-Allocation-Problem erst ab einer Hub-Konfiguration mit drei oder mehr fixen Hubs NP-schwierig wird, obgleich bereits beim Zwei-Hub-Modell der Einsatz polynomialer Zeit-Algorithmen erfolgt. Klincewicz (1991) zufolge ist das quadratische Zuordnungsproblem im Vergleich zu den klassischen p-Median- oder p-Center-Problemen für jedes p-Hub-Location-Problem nach der ersten Iteration, d. h. nach der Hub-Lokation, NP-schwierig und wird für die weiteren Iterationen trivial.

Der Einbezug von Hub-Konfigurationen mit Routen- und Zeitstrukturen beginnt erst Anfang der 1990er-Jahre. Vahrenkamp und Mattfeld (2007, S. 217 f.) stellen Ansätze vor, die sich im Schwerpunkt mit diesen Fragestellungen auseinandersetzen. Jaillet et al. (1996) betrachten in ihren Modellen die zeitliche Erreichbarkeit der Hubs sowie die Routenbildung von Flugzeugen. Daskin und Panayotopoulus (1989) beziehen darüber hinaus die Start- und Landezeiten ein. Hall (1989) geht noch weiter und untersucht den Einfluss der Zeitzonen. In diesen Modellansätzen wurde sich schon mit Problemstellungen, die der in dieser Arbeit ähneln, beschäftigt.

In drei Arbeiten werden optimale Netze unter der Annahme berechnet, dass die Hub-Lokation nicht Gegenstand der Optimierung ist (vgl. Dasking und Panayotopoulos, 1989, Kuby und Gray, 1993, Barnhart und Schneur, 1996).

10.4 Spezielles Hub-and-Spoke-Modell für Zwischenstopps und Feeder

Es soll im Weiteren in Anlehnung an die Problemstellung dieser Arbeit ein Modellansatz behandelt werden, der sich für Zwischenstopps und Feeder-Flüge zum Einsammeln und Umverteilen von Belly-Fracht eignet.

Kuby und Gray (1993) sowie Gray (1990) untersuchten in ihrem Aufsatz das Fluglinienetz des KEP-Anbieters FedEx im westlichen Teil der USA und verglichen dieses mit einem reinen Hub-Netzwerk sowie dem von ihnen entwickelten p-Hub-Netzwerk mit Stopovers und Feedern. Im Vergleich zu den einfachen Kosten-Minimierungsmodellen legen die Autoren in ihrem Modellansatz einen Schwerpunkt auf die Gestaltung von Routen, wie dies in der Prob-

lemformulierung dieser Arbeit der Fall ist.

Kuby und Gray fiel zunächst auf, dass bei der Formulierung der bisherigen Modelle in der Literatur eine strikte Hubbing-Politik angenommen wurde. Beim FedEx-Netz hingegen legten die Flugzeuge auf ihrer Route zum Hub Memphis relativ viele Zwischenstopps auf Flughäfen, die sich in der Verkehrsrichtung der Routenführung nach Memphis hin befinden, ein. Auf diesen Flughäfen wurde zusätzliche Fracht in das Flugzeug geladen, die vorher von Feeder-Flugzeugen zum Zwischenstopp-Flughafen von kleineren Flughäfen eingesammelt wurde. Folglich lag bei der FedEx-Netzwerkkonfiguration keine strikte Hubbing-Politik vor.

Deshalb interessierten sich die beiden Verfasser dafür, welche Kosteneinsparungen die Einführung von Zwischenstopps (Stopover) oder Feeder-Verkehr unter Berücksichtigung von Zeitrestriktionen mit sich bringen kann. Hierzu lassen sie in ihrem Modellansatz zu, dass zu Beginn einer Route und an den Stopover-Flughäfen eine Anlieferung von Fracht durch kleinere Flugzeuge möglich ist (Feeder). Grundsätzlich stellt somit jeder Flughafen einen Sortier- und Umschlagort für Fracht dar, was logistische Abstimmungen im Netzwerk erforderlich macht. An einem Umschlagort geht es um die Aufnahme von Fracht von angekommenen Flugzeugen, die Aufnahme von Fracht, die am Umschlagort (Quellgebiet) eingesammelt wird, und die Abgabe von Fracht für die Destination des Stopps.

Das Modell wurde als gemischtes Integer-Programm formuliert und mit einer Standardsoftware gelöst. Es ermittelt ein kostenminimales Netzwerklayout mit Memphis als determiniertem Hub, wobei als Ergebnis die zu bedienenden Routen, Pfade und Kanten im Netzwerklayout resultieren. Das Modell identifiziert eine optimale Menge von Flugzeugrouten und minimiert die gesamten Flugtransportkosten des Hub-Systems, wobei der kritische Faktor Zeit, demzufolge die Pakete im Hub Memphis ankommen und abgehen sollen, als Modellrestriktion beachtet wird. Im Modell sind zwei Flugzeugtypen mit spezifischen Kosten für den Frachttransport sowie angenommenen Fixkosten zugelassen. Das Sendungsaufkommen in der Berechnung wird modellhaft aus der Bevölkerungsdichte der angeflogenen Städte hergeleitet. Die Komplexität der Berechnung wird dahingehend reduziert, dass nur Routen zugelassen seien, die eine maximale Flugdauer von 6,8 Stunden nicht überschreiten. Dieser Wert resultiert aus der längsten Flugzeit im Netzwerk. Die Zeitrestriktion ist nötig, damit das Sendungsgut zum Sortieren und Umladen im Memphis-Hub rechtzeitig eintrifft.

Ausgangspunkt des Netzwerkes ist der Hub in Memphis (dort werden in der Nacht die eingehenden Briefe, Päckchen und Pakete sortiert), zu dem jede Sendung gelangt und von dem jede Sendung in der gleichen Nacht wieder abgeht. Die Daten von FedEx wurden verschiedenen Datenquellen entnommen. Anhand der Stopover-Streckenführung Las Vegas–Albuquerque–Memphis zeigen Kuby und Gray auf, dass sich weniger Flüge mit einem höheren Ladefaktor unterhalten lassen. Einsparungseffekte ergeben sich dadurch in den operativen Kosten (Kerosin, Flugzeugbesatzung, Reduktion der zu fliegenden Flugmeilen, Anzahl der Flugzeuge, sonstige Flugeinsatzkosten). Bei Feeder-Routen, so etwa bei Vancouver–Seattle und Spokane–Seattle, erfolgt auch die Integration von Städten mit kleinerem Frachtaufkommen auf ökonomische Art und Weise im Hub-and-Spoke-System. Kleinere, ineffizientere Maschinen werden bewusst auf diesen Kurzstrecken-Verbindungen eingesetzt. Der Einsatz von Großraumflugzeugen erfolgt dagegen auf Langstrecken mit dem Bedarf eines hohen Ladefaktors.

Um eine Verbesserung des FedEx-Flugnetzes zu erreichen, legen Kuby und Gray für die Einführung von Stopover-Flügen Nebenbedingungen fest, die zum Ziel haben, die zurückzulegenden Flugdistanzen zu begrenzen. Deshalb seien Stopovers nur möglich, wenn sich der Stopover-Flughafen innerhalb eines Sektors von 2 mal 30 Grad zur direkten Verbindung zwischen Start-/Zielflughafen und dem Hub Memphis befindet, es sei denn, er liegt weniger als 150 Meilen vom Start-/Zielflughafen entfernt, in diesem Fall ist ein Stopover stets möglich. Durch diese Nebenbedingung erreichen die Forscher eine leichte Veränderung im Vergleich zum FedEx-Netz. Als Ergebnis ihrer Studie erhalten sie ein Fluglinienetz, dessen Trans-

portkosten etwa 18 Prozent unter denen des FedEx-Netzes liegen. Das klassische Ein-Hub-System verursacht um 42 Prozent mehr Transportkosten gegenüber dem FedEx-Fluglinienetzes.

Neben den hier aufgelisteten Forschungsansätzen gibt es noch eine Reihe weiterer Modellbetrachtungen zu Hub-and-Spoke-Systemen, die aber hier nicht weiter aufgegriffen werden.

In einigen Arbeiten zu Hub-and-Spoke-Netzwerken wird speziell ohne Modellierung auf Feeder und Stopover eingegangen. Dabei lassen sich folgende Erkenntnisse ableiten. Hub-and-Spoke-Netzwerke mit Feeder und Stopover eignen sich nicht für den Passagierverkehr. O'Kelly (1986) und Chestler (1985) zeigen auf, dass Passagiere nicht gewillt sind, größere Umwege auf ihren Flugreisen hinzunehmen. In der Folge sind im Passagierverkehr multiple Hub-Systeme entstanden. Im Gegensatz dazu stellen Umwege bei der Fracht kein Problem für die Cargo Airlines bzw. Belly-Fluggesellschaften dar, solange das Paket am Zielort rechtzeitig eintrifft. Den Paketkunden interessiert es regelmäßig nicht, welchen Weg sein Paket einnimmt. Es gibt auch zwischen Passagier- und Cargo-Hubbing einen Unterschied hinsichtlich der Folgen von Überlastungen auf Flughäfen. Grove und O'Kelly (1986) zeigen auf, dass es für eine Passagier-Fluggesellschaft nicht praktikabel ist, Landungen über einen langen Tageszeitraum zu vereinnahmen (ca. zwei Stunden), um den vollen Vorteil von Hubbing in Anspruch zu nehmen. Der offensichtliche Weg, um Staus bzw. Überlastungen zu begegnen, ist die Positionierung des Hubs in einer kleineren Stadt, was für Passagier-Fluggesellschaften unökonomisch ist, da sie einen Großteil von Originär-Passagiere benötigen (vgl. Toh und Higgins, 1985). Die Aircargo-Fluggesellschaften, deren Flüge in der mittleren Hälfte der Nacht abgewickelt werden, die nicht vom lokalen originalen Verkehrsaufkommen abhängt, sind diesem Problem nicht ausgesetzt. Im Nur-Luftfrachtbereich haben Express-Package-Anbieter ihre Hubs auf kleineren Flughäfen positioniert, wo es wenig anderen Flugwettbewerb um die nächtlichen Start- und Landebahnzugänge gibt. Die vorgenannten Argumente sind repräsentativ für reine Cargo-Fluggesellschaften bzw. die Paketdienste. Da Belly-Fracht den Bedingungen des Flugbetriebs für den Passagiersektor zuzurechnen ist, sind diese Ausführungen Im Hinblick auf die Gültigkeit bei Belly-Fracht zu analysieren. Zum einen ist ein mehrfaches Umsteigen von Passagieren in Passagiermaschinen unakzeptabel. Belly-Fracht hängt aber nicht am Passagier, sondern wird lediglich in einer Passagiermaschine befördert. Nur das Passagiergepäck hat einen direkten Sachzusammenhang zum Fluggast, zählt aber nicht zur Belly-Fracht. Auch eignen sich für Belly-Fracht-Transporte, wie bereits aufgezeigt wurde, keine reinen Cargo-Hubs. Es bedarf bei den Drehscheibenflughäfen eines kombinierten Passagier- und Frachthubs, wodurch das von Grove und O'Kelly (1986) dargelegte Überlastungsproblem auf Hubs durch das zusätzliche Belly-Frachtaufkommen resultiert.

Weiterhin kommt in Abweichung zum Konzept von Kuby und Gray (1993) hinzu, dass in Bezug auf die der Zeit, die ein Paket von einem Ursprungs- zu einem Zielflughafen bei Zwischenstopps benötigt, zu berücksichtigen ist, dass die bereits geladene Fracht auf dem Flugzeug bleibt und nur weitere Fracht hinzugenommen wird. Bei dem hier behandelten Problem wird die Fracht bei einem Zwischenstopp regelmäßig in ein anderes Flugzeug, nicht notwendigerweise in einen anderen Flugzeugtyp umgeladen, wodurch weitere Zeitkapazitäten für das Umladen der Fracht entstehen.

10.5 Vorteilhaftigkeit einer Zwischenstopp- und Feeder-Strategie

In der Literatur wurde bis zu dem Zeitpunkt, als der Aufsatz von Kuby und Gray in 1993 erschien, nicht der Frage nachgegangen, wie nach der Hub-Auswahl ein Netzwerk so zu konfigurieren sei, dass sich eine größtmögliche Betriebseffizienz auf der Ebene der Flugroutengestaltung erzielen lässt. Zudem erfolgte bis dahin keine detaillierte Analyse des Netzwerk-Design-Problems hinsichtlich der Effizienz von Zwischenstopps und Feeder-Flügen. Flynn und Ratick (1988) untersuchten zwar Stopovers im Passagierbereich im Zusammenhang mit essenziellen Air-Service-Programmen, jedoch blieben Feeder-Flüge und Ladefaktoren beim Design von Flugrouten unberücksichtigt. In ihren Studien, denen keine Modellierung zugrun-

de gelegt wurde und die sich inhaltlich mit der Deregulierung beschäftigten, zeigten Neufville und Gordon (1972) sowie Devaney and Garges (1972) die Vorteile eines Hub-and-Spoke-Netzwerkes gegenüber linearen Netzwerken auf. Anhand der Effizienzbetrachtung zu reinen Hub-and-Spoke-Systemen lässt sich auf die Vorzüge von Zwischenstopps und Feedern abstellen, da diese in der Regel in adaptierten Hub-and-Spoke-Systemen integriert werden.

Die Effizienz von Hub-and-Spoke-Strukturen zeigte Chestler (1985) anhand eines 9-Städte-Netzwerkes bildlich auf. Für die Verbindungen zwischen allen Städten werden 72 Flüge mit 36 Flugzeugen benötigt, während sich mit einem zentralen Hub die Anzahl der Flüge auf 18 und die der Flugzeuge auf 9 reduzieren lassen. Kuby und Gray setzen bei diesen Ergebnissen an und stellen ein Hub-and-Spoke-System mit Zwischenstopps und Feedern einem mit der gleichen Anzahl an Städten gegenüber.

In Erweiterung zu den Skalenerträgen bei reinen Hub-and-Spoke-Systemen führen Feeder-Routen und Multileg-Flüge (Stopover-Flüge) zu einer Reduzierung der Anzahl der benötigten Flugzeuge, weshalb sich die gesamte im Netzwerk geflogene Distanz gegenüber der Gesamtentfernung im reinen Hub-and-Spoke-System reduziert. Stopover-Flüge verhelfen den Fluggesellschaften, Vorabinvestitionen in Flugzeuge sowie flugstreckenbedingte Aufwände für Personal und Kerosin einzusparen.

Die Vorteilhaftigkeit von Zwischenstopps und Feeder-Flügen soll anhand der nachfolgenden Abbildung mit dem 9-Städte-Netzwerk verdeutlicht werden. Im linken Schaubild ist ein reines lineares Netzwerk, in der Mitte ein reines Hub-and-Spoke-Netzwerk mit einem Hub sowie im rechten Bereich ein Hub-and-Spoke-Netzwerk mit einem Hub, Zwischenstopps in Nichthubs und Feeder-Verkehr veranschaulicht.

Vergleich der Netzwerkformen

Abbildung 43: Hub-and-Spoke-System mit Feeder und Stopover im Vergleich
(Quelle: Kuby und Gray, 1993, S. 4)

10.6 Zusammenfassung und Kommentierung der Untersuchungen

Die im vorhergehenden Abschnitt vorgenommene Nachzeichnung der Untersuchungen von

Hub-and-Spoke-Systemen zeigt verschiedene Erkenntnisse und Tendenzen auf. So lässt sich zum einen festhalten, dass die Behandlung von Hub-and-Spoke-Problemstellungen, insbesondere auch im Kontext der Konfiguration von Luftverkehrsnetzen, eine US-amerikanische Domäne darstellt. Resümiert man die Ergebnisse zu den untersuchten Modellen, lässt sich feststellen, dass sich die meisten Berechnungsbeispiele auf den US-amerikanischen Luftverkehrsmarkt erstrecken.

Viele Forschungsansätze basieren auf den CAB-Daten von 1970. Es liegen nur wenige Berechnungen von Hub-and-Spoke-Netzwerken für den europäischen Luftverkehrsmarkt vor. Dies mag einerseits nicht verwundern, da sich die Deregulierung des US-Luftverkehrsmarktes bereits sehr frühzeitig vollzogen hat und die Forschung im Operations Research damit beflügelt wurde, die netzbedingten Implikationen aufgrund aufkommender Hub-and-Spoke-Netzwerklayouts durch geeignete Modelle nachzurechnen. Speziell in Europa greift dagegen dieser Prozess erst sehr viel später in seiner Wirkung und fand infolgedessen nicht die erwünschte Attraktivität für eine nähere modellhafte Behandlung im Operations Research. Auf der anderen Seite zeigt sich wiederum, dass sich insbesondere Forscher des jetzigen Jahrtausends, so etwa Sohn und Park (2000, S. 17–21) sowie Drezner und Drezner (2001, S. 67–71), erneut mit dem US-Luftverkehrsnetzen auseinandersetzen, obgleich die Vermutung naheliegt, dass das Interesse an diesem Untersuchungsgegenstand längst abgeflaut sein müsste. Die CAB-Daten sind jedoch veraltet und überdies als praxisuntauglich einzustufen, weil sie nur einen sehr kleinen, spezifischen Realweltausschnitt darstellen. Es verbleibt somit nur die Feststellung, dass alle Modellansätze, die auf diesem Datenmaterial beruhen, lediglich von theoretischer Bedeutung sind. Auch sind alle diejenigen Forschungsbeiträge, bei denen der Versuch unternommen wurde, die NP-Schwierigkeit zum quadratischen Zuordnungsproblem zu diskutieren oder effizientere Verbesserungsheuristiken zu manifestieren, letztlich nur unter mathematischen Gesichtspunkten von Interesse, da ihnen der Praxisbezug fehlt. Weiterhin bleibt kritisch anzumerken, dass Hub-and-Spoke-Modelle, die europäische Realdaten von Luftverkehrsnetzen umfassen, bis auf wenige Ausnahmen in der Literatur kaum vorzufinden sind (vgl. etwa Jäggi, 2000).

Dieser Umstand ist zumindest deswegen bemerkenswert, weil der europäische Luftverkehrssektor hinsichtlich des Verkehrsaufkommens und der Netzdichte in der weltweiten Betrachtung von eminenter Bedeutung ist und an sich naheliegt, dass hier ein interessanter Untersuchungsgegenstand bei den Operations-Research-Forschern auszumachen wäre. Auch ist der europäische Luftverkehrsmarkt hinsichtlich seiner Netzstrukturen weniger homogen als in den USA, was ebenfalls einen weiteren attraktiven Untersuchungsgegenstand darstellen sollte. Des Weiteren ist eine nähere Analyse der Europanetze im Luftverkehr unter dem Phänomen von Bedeutung, dass die US-KEP-Dienste, die in Europa bemerkenswerte Marktanteile zu verzeichnen haben, in den USA Gewinne erwirtschaften, wohingegen sie auf innereuropäischen Netzen vielfach defizitär arbeiten, was sich möglicherweise auf mangelnde Skaleneffekte in der bestehenden europäischen Netzwerkstruktur zurückführen lässt.

Weiterhin ist zu konstatieren, dass sich nur wenige Forschungsbeiträge zur Problemstellung von Inter-Hub-and-Spoke-Netzwerken ausmachen lassen. In vielen Fällen sind nur kontinentale oder länderspezifische, d. h. disjunkte Luftverkehrsnetzwerke Gegenstand der Untersuchungen. Interagierende Netze, wie beispielsweise die simultane Betrachtung des amerikanischen und europäischen Netzes, wurden bislang kaum behandelt. Dies verwundert insoweit, als durch die Bildung von Allianzen von Fluggesellschaften weltumspannende Hub-and-Spoke-Netzwerke entstanden sind, aber auch KEP-Dienste zwischenzeitlich weltweite Netzwerkstrukturen aufgebaut haben und unterhalten und innerhalb dieser Netze abgestimmte kontinentale Sub-Netze konfiguriert haben. FedEx beispielsweise führte bereits 1997 einen „Around-the-Word“-Flug ein, der auf interkontinentalen[119] Hub-Strukturen fußt, der auch den Europaverkehr berücksichtigt (vgl. Federal Express Europe, 1997). Analoges lässt sich bei DHL feststellen. Der US-Carrier hat ein weltumspannendes Hub-Netzwerk

[119] Nordamerika, Europa, Asien, Japan.

etabliert (vgl. Lefer und Nelms, 1994, S. 101).

Selbst zu innereuropäischen, d. h., länderübergreifenden Netzen finden sich nur wenige Literaturbeiträge (vgl. Adler und Berechman, 2001, S. 371–390), obwohl der länderübergreifenden Behandlung von Hub-and-Spoke-Netzwerken mit Multihub-Strukturen und unterschiedlichen Hub-Funktionen vor dem Hintergrund der Konsolidierung des europäischen Luftverkehrsmarktes, der gekennzeichnet ist durch Übernahmen von Fluggesellschaften, große Aufmerksamkeit geschenkt werden sollte.

In dieser Arbeit steht die Modellierung eines länderübergreifenden Hub-and-Spoke-Netzwerkes im Mittelpunkt, bei dem die Hub-Lage exogen ist, mehrere Hubs in unterschiedlicher Funktion vorkommen, Feeder-Aufkommen von Belly-Flugzeugen an Nichthub-Flughäfen eingesammelt wird und bis zu zwei Stopover zugelassen sind. Das von Kuby und Gray (1993) aufgestellte Modell wird in dieser Arbeit analog auf die Problemstellung des integrierten Lufthansa-Netzwerkes angewandt.

11 Ein-, Zwei- und p-Hub- sowie p-Hub-Median-Modelle

Die folgenden Abschnitte stellen Ein-, Zwei-, p-Hub- und p-Hub-Median-Modelle[120] aus dem Operations Research vor, die sich allgemein zur Lösung von Hub-and-Spoke-Systemen eignen und auch zur Klärung von Nabe-Speiche-Problemstellungen bei Luftverkehrsnetzen eingesetzt werden. Ausgehend von der Klassifikation der Modelle im nachfolgenden Abschnitt erfolgen deren Beschreibung und Erläuterung, um anschließend ein Fazit ziehen zu können, ob sie sich für die Problemstellung der Flugroutengestaltung eignen.

11.1 Klassifikation der Modelle

Im Folgenden werden verschiedene mathematische Modelle zur Berechnung von Hub-and-Spoke-Netzwerken und daran anschließend die Algorithmen und Heuristiken zu deren Lösung dargestellt. Folgende Tabelle liefert eine grobe Übersicht zu Operations-Research-Modellen zur Gestaltung von Hub-and-Spoke-Netzen und dazu passende Lösungsverfahren. Die Einteilung ist angelehnt an die verschiedenen Netzwerkbedingungen.

	Ohne Kapazitätsbeschränkungen		Mit Kapazitätsbeschränkungen	
	Single Allocation	Multi Allocation	ohne Direktflüge	mit Direktflügen
Ein-Hub-System	lineare Zielfunktion	--	-	-
Zwei-Hub-System	quadratische Zielfunktion	-	-	Lagrange-Ansatz
p-Hub-System	UHP-S Tabu Search, GRASP, Austausch (einfach u. doppelt), Cluster-Heuristiken	UHP-M Dual-Algorithmus	-	-
p-Median Problem	HMP-S Branch-and-Bound, genetischer Algorithmus, GATS	HMP-M	-	-

Tabelle 18: Modelle von Hub-and-Spoke-Netzen und passende Lösungsverfahren
(Quelle: Abdinnour-Helm, 1998, S. 489, Campbell, 1996, S. 923–935)

Die Modelle lassen sich weiterhin danach klassifizieren, ob der Problemgegenstand statisch untersucht wird oder ob Zeit- und Routenrestriktionen in den Modellbedingungen berücksichtigt werden (vgl. Vahrenkamp und Mattfeld, 2007, S. 217 f.).

11.2 Ein-Hub-Modell

Das hier vorgestellte Ein-Hub-Modell mit Single-Allocation-Restriktion basiert auf dem Modellansatz von O'Kelly (1986A). Das Netzwerk im Modell lässt sich sowohl auf Basis des kontinuierlichen als auch des diskreten Lösungsraums konfigurieren, und die Hubbing-Politik ist strikt, d. h., die Verbindung von einem Nichthub zu einem Nichthub erfolgt ausschließlich über einen Hub. Es liegt somit ein One-Stop-Service vor, d. h., es ist höchstens ein Zwischenstopp zugelassen. Äquivalent zum Steiner-Weber-Modell wird im O'Kelly-Modell ausgehend von einer Zielfunktion die kostenminimale Lokalisierung eines Hubs ermittelt. Für den diskreten Fall erfolgt anhand exogen vorgegebener Knoten die Berechnung eines kostenminimalen Hubs. Im kontinuierlichen Fall hingegen wird nicht notwendigerweise ein bestehender Knoten als Hub lokalisiert. Das Modell löst ein kombiniertes Location-Allocation-

[120] Gemäß Abschnitt 10.3

Problem, wobei die Allokation durch nicht wahlfreie Zuordnung eines Nichthubs an einen Hub exogen ist. Die Problembehandlung erschöpft sich somit in der Lokalisation eines Hubs. Die Tatsache, dass jeder Nichthub-Knoten einem einzigen Hub-Knoten zugeordnet ist, genügt der Single-Allocation-Bedingung. An das Hub-System sind keine Feeder-Systeme angeschlossen. Eine Nonstop-Politik in Form von Direktverbindungen sei ausgeschlossen. Die Verbindung von einem Nichthub zu einem Hub wird Route genannt. Die folgende Abbildung demonstriert die aufgestellten Netzeigenschaften.

Abbildung 44: Ein-Hub-Modell mit streckenproportionalen Kosten und acht Nichthubs

Sei n die Anzahl der Orte von Flughäfen im betrachteten Ein-Hub-Layout. P bezeichne den Standort eines beliebigen Flughafens ohne die Eigenschaft, ein Hub oder ein Nichthub zu sein. Die Lage von P im Euklidraum werde anhand seiner x- und y-Koordinaten festgelegt. $[P^H]$ ist die Menge aller Hubs, vorliegend umfasst die Menge nur ein Element, und $[P^{NH}]$ die Menge aller Nichthubs. $[P^{NH}]$ besteht aus genau (n-1) Anzahl Flughafenknoten. [P] repräsentiert die Menge aller Flughafenknoten P. $[P^{NH}] \cup [P^H] = [P]$. $[P^{NH}] \cap [P^H] = \emptyset$, d. h., beide Mengen sind disjunkt zueinander und $[P^{NH}] \subset [P]$ bzw. $[P^H] \subset [P]$. Es gilt weiterhin die Bedingung, dass ein Flughafenstandort entweder ein Hub oder ein Nichthub ist, d. h. $(P \in [P^H] \vee P \in [P^{NH}])$, und zugleich kann ein Hub kein Nichthub sein und ein Nichthub kein Hub, d. h., die folgende Bedingung muss erfüllt sein:

(11.2-1) $(\exists(P \in [P^H]) \Rightarrow (P \notin [P^{NH}]))$ bzw. $\exists(P \in [P^{NH}]) \Rightarrow (P \notin [P^H])$

Es wird weiterhin angenommen, dass das Frachtaufkommen zwischen beliebigen Städtepaaren notiert als $\Pi(P_i, P_j)$ bekannt und somit exogen ist und vereinfacht geschrieben wird als L_{ij} mit $i,j = \{1,...,n\}$. Innerhalb einer Stadt gebe es kein Frachtaufkommen (Load), also $L_{ij} = 0$. $s(P_i, P_j)$ sei die Wegstrecke von P_i nach P_j, ungeachtet, ob P ein Hub oder Nichthub ist. Betrachtet wird ein Problem der optimalen Ortswahl eines Hubs, über den sämtliche Städteverbindungen führen. Es gebe also keine Direktverbindungen zwischen Nichthubs, außer denen von einem Nichthub zu einem Hub und von einem Hub zu einem Nichthub. Der Ort des Hubs wird beschrieben durch $P^H = (x_H, y_H)$, die Orte der betrachteten n Städte durch $P_i^{NH} = (x_i, y_i)$ mit $i = \{1,..,n\}$, d. h., i ist der i-te Nichthub. (x, y) seien die Koordinaten der Lage des Hubs bzw. Nichthubs im euklidischen Raum. Da jeder Flughafen einer Stadt sowohl Start- als auch Zielflughafen sein soll, erhält man eine quadratische $((n+1)\times(n+1))$-

Flugstreckenmatrix oder Interknoten-Matrix $\underline{\underline{S}}$:

$$(11.2\text{-}2)\quad \underline{\underline{S}} = \begin{pmatrix} s\left(P_1^{NH}, P_1^{NH}\right) & s\left(P_1^{NH}, P_2^{NH}\right) & \cdots & s\left(P_1^{NH}, P_n^{NH}\right) & s\left(P_1^{NH}, P^H\right) \\ s\left(P_2^{NH}, P_2^{NH}\right) & s\left(P_2^{NH}, P_2^{NH}\right) & \cdots & s\left(P_2^{NH}, P_n^{NH}\right) & s\left(P_2^{NH}, P^H\right) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ s\left(P_n^{NH}, P_1^{NH}\right) & s\left(P_n^{NH}, P_2^{NH}\right) & \cdots & s\left(P_n^{NH}, P_n^{NH}\right) & s\left(P_n^{NH}, P^H\right) \\ s\left(P^H, P_1^{NH}\right) & s\left(P^H, P_2^{NH}\right) & \cdots & s\left(P^H, P_n^{NH}\right) & s\left(P^H, P^H\right) \end{pmatrix}.$$

Vereinfachend seien die Kosten als die Distanz zwischen den Knoten, also den Hub-Nichthub- und Nichthub-Hub-Verbindungen zu verstehen. Das Ziel der Flugkostenminimierung erfolgt wegen der angenommenen Proportionalität zwischen Flugkosten und Flugstrecke über die Minimierung aller Flugstrecken in Verbindung mit der Transportmenge (Annahme der Streckenproportionalität). S repräsentiert die Matrix, in der alle Flugstrecken-Distanzen eingetragen sind. Jeder Wert in der Matrix repräsentiert den Wert für die Distanz zwischen zwei Flughäfen. Es sind dabei sowohl Nichthub-Nichthub- als auch Nichthub-Hub- bzw. Hub-Nichthub-Entfernungen in der Matrix abgebildet. $s(P_i^{NH}, P_i^{NH})$, $s(P_i^{NH}, P^H)$, $s(P^H, P_i^{NH})$, $s(P^H, P_i^{NH})$ $\forall i = \{1,..,n\text{-}1\}$ entsprechen den möglichen Optionen für Streckenbildungen. s repräsentiert den Wert der Entfernung für das angegebene Tupel eines Ausgangs- und Zielorts. Es sei weiterhin das n-te Element in der Matrix der Hub-Knoten, und die Elemente 1 bis (n-1) seien die Nichthub-Knoten. Reduziert man die Matrix auf die relevanten Nichthub-Hub-Verbindungen und lässt die Nichthub-Nichthub-Verbindungen außer Acht, dann reduziert sich die Matrix in (11.2-2) auf die für das Modell relevanten Entfernungen. Die Entfernung zwischen einem Nichthub- und einem Hub-Knoten wird im euklidischen Raum nach der Eukliddistanz gemäß der Formel (11.2-3) ermittelt. Für jedes Tupel ($P_i^{NH} = (x_i, y_i)$, $P^H = (x_H, y_H)$) $\forall i = \{1,..,n\text{-}1\}$ werden die Entfernungen berechnet.

$$(11.2\text{-}3)\quad s(P_i^{NH}, P^H) = \sqrt{\left(\left(x_i - x_H\right)^2 + \left(y_i - y_H\right)^2\right)}\ ;\forall(i = \{1,..,(n-1)\})$$

Seien Z die gesamten Flugkosten für die Konfiguration des Ein-Hub-and-Spoke-Systems, dann ist die nachfolgende Gleichung (11.2-4) die Optimierungsfunktion, die ein optimales Hub-and-Spoke-Layout berechnet, für das Z minimal ist.

$$(11.2\text{-}4)\quad \min_{(P^H)} Z = \sum_i \sum_j L_{i,j} \cdot \left(s\left(P_i^{NH}, P^H\right) + s\left(P^H, P_j^{NH}\right)\right) \forall(i, j) = \{1,..,(n-1)\}$$

Der Term $\left(s\left(P_i^{NH}, P^H\right) + s\left(P^H, P_j^{NH}\right)\right)$ in (11.2-4) addiert die Distanz von jedem Nichthub-Knoten i (Ausgangsort) zum Hub und vom Hub zu jedem Nichthub-Knoten j (Zielort). Somit erhält man die Summe der Distanzen über alle Nichthub-Hub-Nichthub-Verbindungen. Das Produkt in (11.2-4) $L_{ij} \cdot \left(s\left(P_i^{NH}, P^H\right) + s\left(P^H, P_j^{NH}\right)\right)$ berechnet für die Flugstrecken von den Nichthub-Flughäfen zum Hub-Flughafen das Ladungsaufkommen. Die beiden Summenterme sind dazu gedacht, sämtliche Ladungsaufkommen auf Verbindungen von Nichthubs (Ausgangsorte) zum Hub und vom Hub zu Nichthubs (Zielorte) zu berücksichtigen.

Wird nach der Abhängigkeit zu den Zählvariablen sortiert, erhält man:

$$(11.2\text{-}5)\quad \min_{\left(p^H\right)} Z = \left[\sum_i s\left(P_i^{NH}, P^H\right) \cdot \sum_j L_{i,j} + \sum_j s\left(P^H, P_j^{NH}\right) \cdot \sum_i L_{i,j}\right].$$

Wird das gesamte Ladungsaufkommen am Startort i als $L_i^s = \sum_j L_{i,j}$ und das gesamte La-

dungsaufkommen am Zielort j als $L_j^Z = \sum_i L_{i,j}$ zusammengefasst, vereinfacht sich Gleichung (11.2-5) zu:

(11.2-6) $$\underset{\left(p^H\right)}{min}\, Z = \left[\sum_i s\left(P_i^{NH}, P^H\right) \cdot L_i^S + \sum_j s\left(P^H, P_j^{NH}\right) \cdot L_j^Z \right].$$

$L_k = L_k^S + L_k^Z$ beschreibt den gesamten Ladungs-Anteil des Standortes k an der insgesamt zu fliegenden Ladung. Damit reduziert sich die Zielfunktion auf

(11.2-7) $$\underset{\left(p^H\right)}{min}\, Z = \sum_k s\left(P_k^{NH}, P^H\right) \cdot L_k\ .$$

Die Gleichung (11.2-7) stellt das klassische Weber-Kosten-Lokations-Problem dar (vgl. hierzu O'Kelly, 1986A, S. 93). Werden weiterhin die Vorteile der Hub-Logistik in Form von Skaleneffekten und die Kosten für die Einrichtung einer Flugstrecke ignoriert, so lässt sich folgende Rentabilitätsabfrage formulieren: Die Einrichtung des optimal gelegenen Hubs lohnt sich nur, wenn gilt:

(11.2-8) $$\sum_i \sum_j L_{i,j} \cdot \left(s\left(P_i^{NH}, P^H\right) + s\left(P^H, P_j^{NH}\right) \right) < \sum_i \sum_j L_{i,j} \cdot s\left(P_i^{NH}, P_j^{NH}\right),$$

d. h., die Summe der Transportkosten aller Direktverbindungen darf nicht größer sein als die Summe aller Transportkosten der über den Hub P^H geleiteten (P^{NH}-P^H-P^{NH})-Verbindungen[121] (vgl. hierzu den Term $\sum_i \sum_j L_{i,j} \cdot s\left(P_i^{NH}, P_j^{NH}\right)$ in (11.2-8)).

Werden hingegen die Kosten für die Einrichtung einer Flugstrecke K_R einbezogen, wobei R für die Route, also eine der möglichen Flugstrecken im Netzwerk steht, K_R eine Konstante ist, die für alle Strecken gültig ist, n·(n-1) alle möglichen Flugverbindungen abdeckt und $\frac{K^R}{2}$ gedacht ist, die Flüge nur in einer Richtung zu berücksichtigen, dann erweitert sich die Bedingung aus (11.2-8) zu

(11.2-9)
$$\sum_i \sum_j L_{i,j} \cdot \left(s\left(P_i^{NH}, P^H\right) + s\left(P^H, P_j^{NH}\right) \right) + K_R \cdot n < \sum_i \sum_j L_{i,j} \cdot s\left(P_i^{NH}, P_j^{NH}\right) + \left(\frac{K_R}{2}\right) \cdot n \cdot (n-1)$$

und folglich zu

(11.2-10) $$\sum_i \sum_j L_{i,j} \cdot \left(s\left(P_i^{NH}, P^H\right) + s\left(P^H, P_j^{NH}\right) \right) < \sum_i \sum_j L_{i,j} \cdot s\left(P_i^{NH}, P_j^{NH}\right) + \left(\frac{K_R}{2}\right) \cdot \left(n^2 - 3n\right).$$

Die Gleichungen (11.2-9) und (11.2-10) stellen die Rentabilitätsbedingung für die Einrichtung eines Hubs im Modell dar. Wird die konsolidierte Bedingung in (11.2-10) betrachtet, dann ist der linke Term vor dem „<"-Zeichen der konsolidierte Kostenanteil aufgrund eines Ein-Hub-Systems und der rechte Term vor dem „<"-Zeichen der konsolidierte Kostenanteil im Falle keiner Hub-Bildung, also der Ausschließlichkeit von Direktverbindungen. Die Rentabilitätsbedingung für die Einrichtung eines Hubs in einem gegebenen Layout lautet somit, dass der linke Term kleiner sein muss als der rechte Term, also die Gesamtkosten im Ein-Hub-System günstiger sein müssen als im Falle der Direktverbindungen ohne Hubbing-Politik. Der primäre Vorteil in der Konstituierung eines Netzwerklayouts als Ein-Hub-System mit Sin-

[121] Die P^{NH}-P^H-P^{NH}-Verbindung entspricht der Nichthub-Hub-Nichthub-Verbindung.

gle Allocation begründet sich in der Reduzierung der operablen Flugstrecken. Das hier präsentierte Modell für ein Ein-Hub-System mit Single Allocation entspricht dem Weber-Modell zur Lokalisierung kostenminimaler Standorte.

Das Modell berücksichtigt indes nicht die Unterhaltung von Sortier- und Umschlagverfahren im Hubknoten. Zwar sind die Einrichtungskosten ein weiteres Kalkül für die Effizienz eines Hubs, jedoch werden die Umschlagkosten der Einfachheit halber außer Acht gelassen.

Zur Lösung der dieser Arbeit zugrunde liegenden Problemstellung, bei der ein Multihub-and-Spoke-System vorliegt, ist das Modell von O'Kelly für ein Ein-Hub-System ungeeignet. Betrachtet man hingegen die Subnetze der AUA bzw. der Swiss separat, da sie ein Hub-and-Spoke-System mit nur einem Hub abbilden, könnte für die Frage der geeigneten Hub-Lokation das Modell von O'Kelly geeignet sein. Diese Frage ist jedoch nur von theoretischer Bedeutung, da die Hubs Wien und Zürich feste Hub-Lokationen in Österreich bzw. in der Schweiz sind. Für das 3L-Netz ist dieser Modellansatz von vornherein nicht geeignet. Des Weiteren geht es in der vorliegenden Problemstellung um die optimale Gestaltung von Flugrouten und nicht um die Lokation von Hubs. Die Hub-Flughäfen sind in dem dieser Arbeit zugrunde liegenden Modell exogen vorgegeben.

11.3 Zwei-Hub-Modell

Der hier behandelte Modellansatz basiert auf den Annahmen zum Zwei-Hub-Modell von O'Kelly (1986A). Dieses wird durch Dekomposition in ein Clustering- und ein Location-Problem unterteilt. Auch beim Zwei-Hub-Modell gilt eine strikte Hubbing-Politik auf der Basis einer Single-Allocation-Bedingung. Die Abbildung des Netzwerklayouts erfolgt im kontinuierlichen Lösungsraum (euklidische Ebene E^2). Das Modell von O'Kelly zeichnet sich dadurch aus, dass jeder Nichthub-Knoten genau an einen Hub-Knoten gebunden ist. Es werden zunächst zwei mögliche Fälle unterschieden:

- Der Quellstandort und der Zielstandort sind nicht am gleichen Hub angeschlossen. Hier liegen ein (Nichthub)-Hub1-(Nichthub)-Routing und ein so genannter One-Stop-Service vor. Die maximale Anzahl von Zwischenstopps ist eins.

- Der Quellstandort und der Zielstandort sind an zwei unterschiedlichen Hubs angeschlossen. Hier bestehen ein (Nichthub)-Hub1-Hub2-(Nichthub)-Routing und ein Two-Stop-Service. Die maximale Anzahl von Zwischenstopps beträgt zwei.

In beiden Konstellationen liegt kein Nonstop-Service vor. Auch sind in diesem Modell keine Feeder zugelassen. Die Verbindung von einem Nichthub zu einem Hub wird als Route bezeichnet.

Der O'Kelly-Ansatz für das Zwei-Hub-Modell unterscheidet sich vom klassischen planaren Steiner-Baum-Problem von Dreyfus und Wagner (1972, S. 195–207) dadurch, dass jeder Nichthub lediglich mit einem Hub verbunden sein kann, wohingegen beim Steiner-Baum-Problem jeder Knoten mit jedem anderen Knoten verknüpft sein kann, also insbesondere Nichthub-zu-Nichthub-Kombinationen zulässig sind.

Im Modell von O'Kelly werden wiederum Interaktionskosten zwischen den Nichthubs zu Hubs und Hub-zu-Hub-Verbindungen betrachtet. Im Modell wird weiterhin angenommen, dass jede Hub-Region (Partition) exklusiv ist, d. h., jeder Nichthub in der Partition wird genau dem Hub derselben Partition zugewiesen. Die Hub-Partitionen sind überschneidungsfrei. Die Menge von Nichthubs einer Partition ist disjunkt zur Menge von Nichthubs der anderen Partition. Sei HP_i die i-te Hub-Partition mit i = {1, 2} für den Zwei-Hub-Fall, dann gilt: $(\forall P^{NH} \in HP_1) \rightarrow (P^{NH} \notin HP_2)$. Ein Nichthub in der Hub-Partition 1 (HP_1) ist kein Element in der Hub-Partition 2 (HP_2) und umgekehrt, d. h. $(\forall P^{NH} \in HP_2) \rightarrow (P^{NH} \notin HP_1)$.

Zwei-Hub-System in der euklidischen Ebene mit zwei Partitionen

Abbildung 45: Partionen im Zwei-Hub-System nach O'Kelly (1986A)
(Quelle: eigene Darstellung)

Sei n die Anzahl der Orte von Flughäfen im betrachteten Layout. P bezeichne den Standort eines Flughafens. $[P^H]$ ist die Menge aller Hubs, vorliegend bestehend aus zwei Elementen, und $[P^{NH}]$ die Menge aller Nichthubs, bestehend aus n-2 Elementen. Es gilt weiterhin die Bedingung, dass ein Flughafenstandort entweder ein Hub oder Nichthub ist, d. h. $(P \in [P^H] \vee P \in [P^{NH}])$, und zugleich kann ein Hub kein Nichthub sein und ein Nichthub kein Hub, d. h., die Bedingung

(11.3.-1) $(\exists(P \in [P^H]) \Rightarrow (P \notin [P^{NH}])$ bzw. $\exists(P \in [P^{NH}]) \Rightarrow (P \notin [P^H])$

muss erfüllt sein. Es wird weiterhin angenommen, dass das Frachtaufkommen zwischen beliebigen Städtepaaren $\Pi(P_i,P_j)$ bekannt und somit exogen ist und geschrieben wird als L_{ij} mit (i,j) = {1,...,n}. Die Städtepaare erfassen auch den Fall von Hub-zu-Nichthub- bzw. Hub-zu-Hub-Verbindungen, d. h. $P_{i,j} \in [P^{NH}]$ oder $\in [P^H]$. Innerhalb einer Stadt gebe es kein Frachtaufkommen (Load), also $L_{ii} = 0$. [I] sei die Menge aller möglichen Indizes für einen Start- bzw. Zielort und [H] die Menge der Indizes für mögliche Hub-Standorte. Betrachtet wird ein Problem der optimalen Ortswahl zweier Hubs, über die sämtliche Städteverbindungen führen. Es gebe also keine Direktverbindungen, außer denen von und zu einem Hub. Außerdem gebe es keinen Flughafen, der an beide Hubs geknüpft ist, so genannte *Single Allocation*-Bedingung. Die Orte der zwei Hubs werden beschrieben durch die Koordinaten im Euklid-Raum, $P_k^H = (x_{Hk},y_{Hk})$ mit $P_k^H \in [P^H]$ und k = {1,2}, die Orte der betrachteten n Städte allgemein durch die Koordinaten $P_z = (x_z,y_z)$ mit z = {1,…,n}, die n-2-Nichthub-Städte durch die Koordinaten $P_i^{NH} = (x_i,y_i)$ mit i = {1,…,n-2}. Die anfallenden Flugstrecken S für den Transport werden zunächst einmal nur von den Startorten zu den beiden Hubs und von diesen zu den Zielorten betrachtet und ebenso wie bei der Ein-Hub-Problematik folgendermaßen formalisiert:

(11.3-2)

$$S_{ik} = \sqrt{\left((x_i - x_{Hk})^2 + (y_i - y_{Hk})^2\right)} \;; \forall(k = \{1,..,(n-2)\}, k = \{1,2\})$$, bzw.

$$S_{kj} = \sqrt{\left((x_{Hk} - x_j)^2 + (y_{Hk} - y_j)^2\right)} \;; \forall(k = \{1,2\}, j = \{1,..,(n-2)\})$$

Um ein brauchbares Zwei-Hub-Modell zu erhalten, muss an dieser Stelle zwischen den Transporten von den Startorten bzw. zu den Zielorten und den Transporten zwischen den zwei Hubs unterschieden werden. Durch die starke Bündelung des Frachtaufkommens auf dieser Strecke lässt sich eine große Kostensenkung pro Frachteinheit erreichen, der man durch eine rein geometrische Betrachtungsweise nicht Rechnung tragen würde. Anders for-

muliert, ist die Lage der Hubs innerhalb ihres Zu- und Abbringernetzes entscheidender als ihre Lage zueinander. Formal erfolgt die Erweiterung der kartesischen Streckenberechnung um einen Proportionalitätsfaktor 0 < a < 1, der den sich aus der Hub-Hub-Konfiguration angenommenen Skalenerträgen (*Economies of Scale*) von a < 1 entspricht.

Gleichung (11.3-3) gibt die Interaktionskosten (= Interhub-Transportkosten) zwischen den Hubs P_k^H und P_m^H an.

(11.3-3) $$s_{km} = a\sqrt{\left(\left(x_{Hk} - x_{Hm}\right)^2 + \left(y_{Hk} - y_{Hm}\right)^2\right)} \;;\; \forall(k = 1\{1,2\}, m = \{1,2\})$$

Werden die Interhub-Kosten, die durch den Transport zwischen den Hubs $P_{k=1}^H$ und $P_{m=2}^H$ entstehen, differenziert, dann resultieren für die Koordinaten x_m, y_m, x_k und y_k folgende Differentialgleichungen für $\forall_{(i=1..n-2, k=1, m=2)}$

(11.3-4) $$\frac{\partial s_{ik}}{\partial X_m} = \begin{cases} \dfrac{\left(x_m - x_i\right)}{s_{im}}; & k = m, \\ 0; & k \neq m. \end{cases}$$

(11.3-5) $$\frac{\partial s_{ik}}{\partial y_m} = \begin{cases} \dfrac{\left(y_m - y_i\right)}{s_{im}}; & k = m, \\ 0; & k \neq m. \end{cases}$$

(11.3-6) $$\frac{\partial s_{km}}{\partial x_k} = \frac{a^2\left(x_k - x_m\right)}{s_{km}}$$

(11.3-7) $$\frac{\partial s_{km}}{\partial y_k} = \frac{a^2\left(y_k - y_m\right)}{s_{km}}$$

(11.3-8) $$\frac{\partial s_{km}}{\partial x_m} = \frac{a^2\left(x_m - x_k\right)}{s_{km}}$$

(11.3-9) $$\frac{\partial s_{km}}{\partial y_m} = \frac{a^2\left(y_m - y_k\right)}{s_{km}}$$

Bei der Betrachtung zweier möglicher Hubs aus der Menge aller möglichen Knoten [P] gilt es bei den Start- und Zielorten zu unterscheiden, ob sie vom einen oder vom anderen Hub bedient werden. Dies geschieht über die Einführung zweier logischer binärer Entscheidungsvariablen U und V.

(11.3-10) $$U_i = \begin{cases} 1 & \text{wenn Knoten i an Hub l liegt} \\ 0 & \text{ansonsten} \end{cases}, \quad V_i = \begin{cases} 1 & \text{wenn Knoten i an Hub 2 liegt} \\ 0 & \text{ansonsten} \end{cases}.$$

Mit $n_1 = \sum_i U_i$ und $n_2 = \sum_i V_i = n - n_1$ errechnet sich die Anzahl der Start- und Zielorte, die mit Hub 1 (P_1^H) bzw. Hub 2 (P_2^H) verbunden sind. Das Ziel der Flugkostenminimierung erfolgt wieder über die Minimierung der Kosten aller Flugstrecken:

(11.3-11)

$$\min_{P_{k=1}^{H},P_{m=2}^{H}} Z=\sum_{i}\sum_{j}L_{ij}\cdot\left[U_i\cdot U_j\cdot\left(S_{ik}+S_{kj}\right)+V_i\cdot V_j\cdot\left(S_{im}+S_{mj}\right)+U_i\cdot V_j\cdot\left(S_{ik}+S_{km}+S_{mj}\right)+V_i\cdot U_j\cdot\left(S_{im}+S_{mk}+S_{kj}\right)\right]$$

Dabei beschreiben die beiden ersten Summanden innerhalb der eckigen Klammer das Frachtaufkommen zwischen Start- und Zielorten, die jeweils über den gleichen Hub miteinander verbunden sind. Die beiden anderen berücksichtigen das Ladungsaufkommen zwischen Flughafenpaaren, die an verschiedene Hubs geknüpft sind. Es gibt in einem Zwei-Hub-System also die folgenden vier verschiedenen Fälle des Luftfrachttransports:

a. Vom Startort nur über Hub 1 (U_iU_j-Variante → Term 1 in (11.3-11) mit den Kosten S_{ik} und S_{kj}) zum Zielort.

b. Nur über Hub 2 (V_iV_j-Variante → Term 2 in (11.3-11) mit den Kosten S_{im} und S_{mj}) zum Zielort.

c. Über Hub 1 und dann Hub 2 (U_iV_j-Variante → Term 3 in (11-3.11) mit den Kosten S_{ik}, S_{km} und S_{mj}) zum Zielort.

d. Über Hub 2 und dann Hub 1 (V_iU_j-Variante → Term 4 in (11.3-11) mit den Kosten S_{im}, S_{mk} und S_{kj}) zum Zielort.

Für jedes Nichthub-Flughafenpaar $\Pi(P_i^{NH}, P_j^{NH})$ kann es nur eine der vier Kombinationen geben. Fasst man zum einen die Produkte der logischen Operatoren und zum anderen die Streckenberechnungen mithilfe einer Zählvariable $l \in \{1, 2, 3, 4\}$ zu folgenden Funktionen zusammen

(11.3-12) $$S_{ijl}=\begin{cases} S_{ik}+S_{kj} & l=1 \\ S_{im}+S_{mj} & l=2 \\ S_{ik}+S_{km}+S_{mj} & l=3 \\ S_{im}+S_{mk}+S_{kj} & l=4 \end{cases}$$

(11.3-13) $$U_{ijl}=\begin{cases} U_i\cdot U_j & l=1 \\ V_i\cdot V_j & l=2 \\ U_i\cdot V_j & l=3 \\ V_i\cdot U_j & l=4 \end{cases} \quad ,$$

schreibt sich die Minimierungsaufgabe kürzer als

(11.3-14) $$\min_{P_{k=1}^{H},P_{m=2}^{H}} Z=\sum_{i}\sum_{j}L_{ij}\sum_{l=\{1,2,3,4\}}U_{ijl}\cdot S_{ijl}\ ;\ (i,j)\in\{1,...,n-2\};(l\in\{1,2,3,4\})\ ,$$

wobei P_k^H (x_{Hk},y_{Hk}) und P_m^H (x_{Hm},y_{Hm}) die beiden Hubs im Modell darstellen. Für eine vorgegebene Menge von ganzzahligen Variablen (U, V) kann das Zwei-Hub-Problem mit den konventionellen Methoden numerisch berechnet werden, da sich die vier Gleichungen simultan auflösen lassen. Sei $V(X_1, Y_1, X_2, Y_2)$ ein Vektor, dann lässt sich das Minimierungs-Problem für ein vorgegebenes U_{ijl} folgenderweise als Differentialgleichung formulieren:

(11.3-15) $$\frac{\partial Z}{\partial V_{f=\{1,2,3,4\}}} = \sum_i \sum_j L_{ij} \sum_{l=\{1,2,3,4\}} U_{ijl} \cdot \frac{\partial S_{ijl}}{\partial V_{f=\{1,2,3,4\}}} = 0 \ .$$

Das Zwei-Hub-Modell eignet sich aus den gleichen Gründen wie beim Ein-Hub-Modell nicht zur Lösung der Problemstellung dieser Arbeit. Es ließen sich jedoch anhand des Zwei-Hub-Modells durch die Einführung eines Proportionalitätsfaktors a die Effekte der Economies of Scale von Hub-Hub-Transporten beim Einsatz größeren Fluggeräts, das im Modell bei Hub-Hub-Verbindung ebenfalls unterstellt wird, aufzeigen.

11.4 p-Hub-Modell

Das in diesem Abschnitt behandelte p-Hub-Modell mit Single-Allocation-Bedingung stützt sich auf die theoretischen Grundlagen des quadratischen Integer-Programms für die Lokalisation von interaktiven Hub-Einrichtungen von O'Kelly (1987). Sind die Ein-Hub- und Zwei-Hub-Modelle in der Anzahl der zugelassenen Hubs restriktiv, geht man in diesem Ansatz von einer variablen Anzahl von p Hubs aus, d. h., $1 \leq p \leq n$. Die Anzahl p Hubs sei ebenfalls exogen. n sei die Anzahl der möglichen Knoten für Zwischenverbindungen im Netzwerk und eine exogene Variable im Modell. Das Netzwerklayout wird auf den diskreten Lösungsraum projiziert. Es wird eine strikte Hubbing-Politik und eine Multiple-Stopover-Politik angenommen. Es liegt keine Nonstop-Politik vor. Direktverbindungen zwischen Nichthubs und Nichthubs im linearen Netzwerklayout seien ausgeschlossen.

p-Hub-System mit Single Allocation

Abbildung 46: p-Hub-System mit Single Allocation
(Quelle: eigene Darstellung)

Das Modell basiert auf der Annahme, die Hubs so zu lokalisieren, dass die Transportkosten minimal sind. Diese sind im hub-basierten Netzwerk abhängig von den auszuwählenden Umschlags-Knoten, also den Hub-Standorten. Auch in dieser Modellbetrachtung erfolgt die Ermittlung der Kostenkomponenten aus linearen Kostenfunktionen gemäß der zugeordneten Variablen. Anders als in den ersten beiden Modell-Ansätzen von O'Kelly (1986A) werden in diesem Modell aufgrund der Transaktionskosten der Interhub-Verbindungen quadratische Kostenterme vermutet. Es geht darum, eine kostenminimale Lokalisierung von p Hubs durchzuführen. Aufgrund der Prämisse einer strikten Hubbing-Politik und einer Single Allocation wird das Problem auch als *Single-p-Hub-Median-Problem* bezeichnet. Wegen der Quadratur des Kosten-Problems eignen sich die Standardmodelle nicht zur linearen Optimierung.

Es wird weiterhin angenommen, dass sowohl die Kosten pro Mengeneinheit für die Transporte von einem Nichthub-Knoten zu einem Hub-Knoten und umgekehrt als auch die Interhub-Kosten pro transportierter Mengeneinheit bekannt und somit konstant sind. Die An-

zahl der Hubs im betrachteten Netzwerk sei in diesem Fall p, die Anzahl der Start- und Zielorte n. Das Ladungsaufkommen bzw. die Flugstrecke zwischen i und j ist bekannt und wird geschrieben als L_{ij} bzw. S_{ij} mit $L_{ii} = 0$ bzw. $S_{ii} = 0$ per Annahme, d. h., innerhalb eines Flughafens P_i gebe es kein Frachtaufkommen. Zunächst erfolgt die verallgemeinernde Darstellung der logischen Operatoren (binäre Entscheidungsvariablen), die eine Aussage darüber machen, ob ein Start- bzw. Zielort an einen bestimmten Hub geknüpft ist:

(11.4-1) $U_{ik} = \begin{cases} 1 & \text{wenn Knoten i an Hub k liegt} \\ 0 & \text{ansonsten} \end{cases}$

(11.4-2) $U_{ii} = \begin{cases} 1 & \text{wenn Knoten i ein Hub ist} \\ 0 & \text{ansonsten} \end{cases}$

Das Ziel der Flugkostenminimierung erfolgt über die Minimierung aller Flugstrecken in Verbindung mit den Transportmengen und wird geschrieben als

(11.4-3) $$\min_{P-Hubs} Z = \sum_i \sum_j L_{ij} \cdot \left(\sum_k U_{ik} \cdot S_{ik} + \sum_m U_{jm} \cdot S_{jm} + a \cdot \sum_k \sum_m U_{ik} \cdot U_{jm} \cdot S_{km} \right)$$

mit folgenden Nebenbedingungen: Es besteht ein Direktverbindungsverbot für Knoten-Verbindungen ohne Hub-Beteiligung, d. h., solange kein Hub eröffnet ist, wird verhindert, dass ein Hub durch einen Nichthub lokalisiert wird. In diesem Fall muss U_{jj} den Wert 1 haben.

(11.4-4) $(n - p + 1) \cdot U_{jj} - \sum_i U_{ij} \geq 0 \;; \forall j$ [122]

Die Bedingung für die Single-Allocation-Anforderung, d. h., ein Nichthub-Knoten kann nur an einen Hub-Knoten angeschlossen werden, lautet:

(11.4-5) $\sum_j U_{ij} = 1 \;; \forall i$,

die Anzahl untersuchter Hubs p wird mit

(11.4-6) $\sum_j U_{jj} = p$ ausgedrückt und

(11.4-7) $U_{ij} \in \{0,1\}$ ist die binäre Entscheidungsvariable zur Bestimmung der Eigenschaft eines Knotens, Hub oder Nichthub zu sein.

Die ersten beiden Terme innerhalb der Klammer bei (11.4-3) beschreiben das jeweilige Frachtaufkommen von den Startorten zu ihren Hubs bzw. von den Hubs zu den angeschlossenen Zielorten. Der dritte Term umfasst die zwischen den Hubs zu transportierende Ladung und stellt den von O'Kelly 1987 in seinem Modell entwickelten quadratischen Term der Kostenfunktion der Entscheidungsvariablen U_{ij} dar. Die Interhub-Kosten werden mit einem Parameter a multipliziert, wobei $0 < a < 1$ gilt. a steht für den so genannten Proportionalitätsfaktor, der die Skaleneffekte für Zwischenhubflüsse ausdrückt. Skaleneffekte werden durch die Bündelungseffekte der Hubkonzentration und Redistribution vermutet, da die Transportfluggesellschaften auf Inter-Hub-Strecken mit Großraumflugzeugen operieren können. Dabei ist der Proportionalitätsfaktor a, der die starke Bündelung der Fracht auf diesen Strecken berücksichtigt, vor die Doppelsumme gezogen. Die Nebenbedingung (11.4-4) verhindert den Fall der Direktverbindung eines Startorts mit einem Zielort, der kein Hub ist ($U_{jj} = 0$). Der Term (n-p+1) in (11.4-4) legt dabei die maximal mögliche Anzahl an Knoten fest, die ein Hub

[122] Vgl. Revelle und Swain, 1970, S. 30–42.

einschließlich sich selbst an sich binden kann. (11.4-5) repräsentiert die Single-Allocation-Bedingung, die voraussetzt, dass jeder Nichthub nur an einen Hub angeschlossen ist. U_{ij} bilden binäre Entscheidungsvariablen (11.4-6) generiert schließlich die exakte Anzahl an Hubs im Netzwerk. Wird die Doppelsumme am Anfang von (11.4-3) aufgelöst, erhält man

(11.4-7) $$\min_{P-Hubs} Z = \left[\sum_i \sum_k U_{ik} \cdot S_{ik} \sum_j L_{ij} + \sum_j \sum_m U_{jm} \cdot S_{jm} \sum_i L_{ij} + a \cdot \sum_j \sum_m U_{jm} \cdot \sum_i \sum_k U_{ik} \cdot S_{km} \cdot L_{ij} \right].$$

Es sei $L_S = \sum_i \sum_j L_i$ das gesamte Ladungsaufkommen mit dem Startort i und $L_{Z\,j} = \sum_i L_{i\,j}$ das gesamte Ladungsaufkommen mit dem Zielort j, dann folgt für (11.4-7)

(11.4-8) $$\min_{p-Hubs} Z = \left[\sum_i \sum_k U_{ik} \cdot S_{ik} \cdot (L_{Si} + L_{Zi}) + \sum_j \sum_m U_{jm} \cdot \sum_i \sum_k U_{ik} \cdot a(L_{ij} S_{km}) \right]$$ [123]

Der erste Summand in (11.4-8) beschreibt nun in einem Hub-and-Spoke-Netzwerk das Ladungsaufkommen, das über sämtliche Speichen (Spokes) bewegt wird (Allokations-Kosten von jedem Nichthub-Knoten an einen Hub-Knoten), und der zweite die Ladungsbewegungen zwischen den Hubs. Der zweite Term mit der Doppelsumme arbeitet, indem er über i-k-Σ den Startort mit seinem Hub verbindet und über j-m-Σ den Hub des Zielortes lokalisiert. Dabei ist in der i-k-Σ-Gleichung der Proportionalitätsfaktor a enthalten. Der zweite Term summiert die Interhub-Kosten über alle Hubs. Für den Fall a = 0, d. h. ohne Einbezug von Skaleneffekten, reduziert sich (11.4-3) zur Zielfunktion

(11.4-9) $$\min_{p-Hubs} Z = \sum_i \sum_j L_{ij} \cdot \left(\sum_k U_{ik} \cdot S_{ik} + \sum_m U_{jm} \cdot S_{jm} \right).$$

Der quadratische Term entfällt somit vollständig, womit ein *klassisches p-Median-Problem* vorliegt, wie es auch von Kolen (1986) sowie Chhajed und Lowe (1992, S. 56–66) beschrieben wird. Das p-Median-Problem besteht in der Standortentscheidungsfrage von Hubs und der Zuordnung der Nichthubs zu den Hubs. Das Median-Problem gilt somit als kombiniertes Location-Allocation-Problem.

Zur Lösung des p-Hub-Median-Problems werden unterschiedliche Heuristiken aus der traditionellen Location Theory angewandt. Der quadratische Term in der Zielfunktion verhindert deren Berechenbarkeit mithilfe exakter Lösungsverfahren. Die Allokation der Hub-Verbindungen hängt von der Lokation der Hubs ab. Es werde folgende Matrix T definiert.

(11.4-10) $$T = a \cdot \left[\begin{array}{c|c|c|c} L_{11}S_{11} \ldots L_{11}S_{1n} & L_{12}S_{11} \ldots\ldots L_{12}S_{1n} & & L_{1n}S_{11} \ldots L_{1n}S_{1n} \\ \vdots & \vdots & \ldots\ldots & \vdots \\ L_{11}S_{n1} \ldots L_{11}S_{nn} & L_{1n}S_{n1} \ldots\ldots L_{12}S_{nn} & & L_{1n}S_{n1} \ldots L_{1n}S_{nn} \\ \hline L_{21}S_{11} \ldots\ldots L_{21}S_{1n} & L_{22}S_{22} \ldots L_{22}S_{1n} & & L_{2n}S_{11} \ldots L_{2n}S_{1n} \\ \vdots & \vdots & \ldots\ldots & \vdots \\ L_{21}S_{n1} \ldots\ldots L_{21}S_{nn} & L_{22}S_{n1} \ldots\ldots L_{22}S_{nn} & & L_{2n}S_{n1} \ldots L_{2n}S_{nn} \\ \hline \vdots & \vdots & \ldots\ldots & \vdots \\ \hline L_{n1}S_{11} \ldots\ldots L_{n1}S_{1n} & L_{n2}S_{11} \ldots\ldots L_{n2}S_{1n} & & L_{nn}S_{11} \ldots\ldots L_{nn}S_{1n} \\ \vdots & \vdots & \ldots\ldots & \vdots \\ L_{n1}S_{n1} \ldots\ldots L_{n1}S_{n1} & L_{n2}S_{n1} \ldots\ldots L_{n2}S_{nn} & & L_{nn}S_{n1} \ldots\ldots L_{nn}S_{nn} \end{array} \right]$$

[123] Vgl. Abdinnour-Helm, 1998, S. 490.

Die vorstehende Matrix T enthält für jede Flugstrecke das Produkt aus Ladungsaufkommen L_{ij} und Flugstreckendistanz S_{ij} $\forall i,j$.

Das Modell eignet sich für die in dieser Arbeit aufgeworfene Problemstellung nur dann, wenn der Flugroutengestaltung die Optimierung der Hubs im Hub-and-Spoke-System vorausgehen würde und sich nach optimaler Lokation der Hubs die Allokation der Nichthubs an die Hubs als weitere Aufgabe anschließen würde. Da jedoch unterstellt wird, dass im Rahmen einer Post-Merger-Integration auf Netzebene die bestehenden Hubflughäfen erhalten bleiben, ist dieses kombinierte Location-Allocation-Problem für den vorliegenden Problemgegenstand obsolet. Kuby und Gray (1993) diskutieren in ihrem Aufsatz, vor der Flugroutenoptimierung in einem exogen vorgegebenen Netzwerk als vorgelagerte Optimierungsmaßnahme die Hub-Standorte einer Optimalitätsprüfung zu unterziehen, wozu sich ein entsprechend adaptiertes p-Hub-Modell eignen würde.

11.5 p-Hub-Median-Modell

Geht es darum, die Standortentscheidungsfrage für Hubs und die sich konsekutiv ergebende Allokation von Nichthubs zu den Hubs in Abhängigkeit von der Entfernung zum Hub und vom Transportaufkommen von Quellstandorten zum Hub zu determinieren, dann liegt ein p-Hub-Median-Problem vor. Zur Lösung dieses Problems eignet sich nachfolgend beschriebenes p-Hub-Median-Modell.

Es seien n Orte (Start/Ziel) gegeben. Das Frachtaufkommen L_{ij} zwischen den Orten i und j ist wiederum bekannt. Weiterhin ist die Kenntnis des Proportionalitätsfaktors a, der die Kosten von Hub-Hub-Flügen gegenüber Hub-and-Spoke-Flügen ausdrückt, vorausgesetzt. Innerhalb des Netzes seien die n Orte beschrieben durch P_i, $i = \{1,\ldots,n\}$ und die Entfernungen zwischen ihnen durch s_{ij}. P_i^{NH}, P_j^{NH} seien dabei die Orte (P_i, P_j), die Nichthubs sind. Die beiden Orte P_k^H, P_m^H seien Hubs.

(11.5-1) $S_{ij}\cdot(P_i^{NH}, P_k^H, P_m^H, P_m^{NH}) = s_{ik}+a\cdot s_{km}+s_{mj}$.

S_{ij} ist gleichzusetzen mit den Einheitstransportkosten von i nach j über Hub k und Hub m. Der Fall k = m sei möglich mit $s_{kk} = s_{mm} = 0$. Es sei $[P^H]$ eine Menge von p Knoten $\{h_1, h_2,\ldots, h_p\}$, die alle Hubs seien, also $\forall_{i=\{1,\ldots p\}}\ ((h_i = P_i^H) \in [P^H])$.

(11.5-2)

$$S_{ij}\left(P_i^{NH},[P^H],P_j^{NH}\right)=\min\ \left[S_{ij}\left(P_i^{NH},P_1^H,P_1^H,P_j^{NH}\right),S_{ij}\left(P_i^{NH},P_1^H,P_2^H,P_j^{NH}\right),\ldots,S_{ij}\left(P_i^{NH},P_p^H,P_p^H,P_j^{NH}\right)\right]$$

(11.5-2) beschreibt das Minimum an Transportkosten für eine Ladungseinheit von i nach j über höchstens zwei der gegebenen Knoten in $[P^H]$. Der p-Hub-Median von n Knoten entspricht der Menge an p Knoten $[P^{H*}]$, für die gilt:

(11.5-3) $$\sum_i\sum_j L_{ij}\cdot S_{ij}\left(P_i^{NH},[P^{H*}],P_j^{NH}\right)\leq\sum_i\sum_j L_{ij}\cdot S_{ij}\left(P_i^{NH},[P^H],P_j^{NH}\right).$$

Das Ziel der Flugkostenminimierung erfolgt über die Minimierung aller Flugstrecken und wird als *p-Hub-Median-Problem mit Multi-Allocation (HMP-M)* geschrieben zu

(11.5-4) $$\min\ Z=\sum_i\sum_j\sum_k\sum_m L_{ij}\cdot U_{ijkm}\cdot S_{ijkm}$$

mit den Nebenbedingungen

(11.5-5) $\sum_k \sum_m U_{ijkm} = 1 \; ; \forall i, j$ als Bedingung für das Direktflugverbot,

(11.5-6) $\sum_k U_{kk} = p$ als Modellrestriktion für eine Anzahl von p-Hubs,

(11.5-7) $0 \leq U_{ijkm} \leq U_{kk}$; $\forall$(i,j,k,m) als Bedingung für die Routen-Bildung über Hubs,

(11.5-8) $0 \leq U_{ijkm} \leq U_{mm}$; $\forall$(i,j,k,m) als Restriktion für die Routenbildung über Hubs (strikte Hubbing-Politik),

(11.5-9) $U_{kk} \in \{0,1\}$; $\forall k$. Die binäre Entscheidungsvariable U_{kk} steuert die Bedingung, ob der Knoten k ein Hub ist oder nicht.

Dabei beschreibt U_{ijkm} den Anteil des Ladungstransports von i nach j, der über die Hubs k und m geführt wird, und $U_{kk} = l$, wenn k ein Hub ist und 0 ansonsten. Bedingung (11.5-6) setzt die Möglichkeit von Direktflügen außer Kraft. (11.5-6) kreiert genau p Hubs. (11.5-7) und (11.5-8) gewährleisten, dass Flüge über Orte geroutet werden, die auch Hubs sind. Sie lassen sich auch folgendermaßen ausdrücken

(11.5-10) $\sum_i \sum_j \sum_m U_{ijkm} \leq n \cdot (n - p + 1) \cdot U_{kk} \; ; \forall k$

(11.5-11) $\sum_i \sum_j \sum_k U_{ijkm} \leq n \cdot (n - p + 1) \cdot U_{mm} \; ; \forall m$

Als reines *p-Median-Problem* stellt sich die Zielfunktion folgendermaßen dar

(11.5-12) $\min \; Z = \sum_i \sum_k L_{Zi} \cdot U_{Zik} \cdot S_{ik}$

mit den Nebenbedingungen

(11.5-13) $\sum_k U_{Zik} = 1 \; ; \forall i$ als Bedingung für das Direktflugverbot,

(11.5-14) $\sum_k U_{kk} = p$ als Bedingung, die die Anzahl der Hubs p festlegt,

(11.5-15) $0 \leq U_{Zik} \leq U_{kk}$; $\forall$(i,k) als Bedingung für die Routenbildung über Hubs,

(11.5-16) $U_{kk} \in \{0,1\}$; $\forall k$ als binäre Entscheidungsvariable U_{kk}, ob Knoten k ein Hub ist.

Wird die Gleichung (11.4-3) aus dem vorigen Kapitel 11.4 umgeschrieben, dann erhält man

(11.5-17) $\min \; Z = \sum_i \sum_j \sum_k \sum_m L_{ij} \cdot \left(U_{ik} \cdot S_{ik} + U_{jm} \cdot S_{jm} + a \cdot U_{ik} \cdot U_{jm} \cdot S_{km} \right)$.

Die oben genannten Nebenbedingungen gelten weiterhin. Diese Schreibweise wird *Single-Allocation-p-Hub-Median-Problem (HMP-S)* genannt. Auch *das multiple-Allocation-p-Hub-Median-Problem (HMP-M)* in (11.5-3) lässt sich in ein *HMP-S* überführen, und zwar mit der

Verknüpfung

(11.5-18) $$\sum_j \sum_m \left(L_{ij} \cdot U_{ijkm} + L_{ji} \cdot U_{jimk}\right) = \sum_j \left(L_{ij} + L_{ji}\right) \cdot U_{Zik} \;; \forall (i,k)$$

Für folgende Grenzfälle liefern die drei Zielfunktionen einen gleichen Output; zum einen für den Fall p = 1, also für das Ein-Hub-Modell, und zum anderen für a = 0, d. h. für den Fall, dass der Transport zwischen den Hubs kostenfrei, also ohne Berücksichtigung von Skaleneffekten verläuft.

Das Modell eignet sich nicht für die in dieser Arbeit aufgeworfene Problemstellung aus denselben Gründen wie in Abschnitt 11.4 ausgeführt wurde.

11.6 Das p-Hub-Modell mit Kapazitätsbeschränkung und Direktflügen[124]

Einer der Schwachpunkte des reinen p-Hub-Modells und des p-Hub-Median-Modells besteht darin, dass im Modell keine Direktflüge zugelassen sind und auch Kapazitätsbeschränkungen unberücksichtigt bleiben. Da Luftverkehrs-Netzwerke durch eine Post-Merger-Integration aus der Zusammenführung einzelner Hub-and-Spoke-Netzwerke entstehen, in denen auch Direktflugverbindungen zugelassen sind und allgemein die Hubs unter dem Congestion-Problem leiden, wird hier ein Modelltyp vorgestellt, der sich grundsätzlich für die Optimierung von sich aus Post-Merger-Maßnahmen ergebenden Netzwerktypen eignet.

Es sei [D] die Menge an Städtepaaren (i,j), für die Direktflüge erlaubt seien. Alle Routen zwischen zwei beliebigen Knoten lassen sich entweder über einen Hub oder über zwei Hubs (Start und Ziel) miteinander verbinden. Für die Routen in D kommt die Direktflugalternative als dritte Möglichkeit hinzu. Exogen vorgegeben sind wiederum n Knoten und davon p Hubs. $[P^H]$ sei die Menge p möglicher Hubs, [P] die Menge aller Knoten mit [P] = n, $[P^H]$ = h, $[P^H] \subseteq$ [P] und h $\geq$ p. Eingeführt werden zwei Direktflug-Operatoren

(11.6-1) $$D_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{wenn} (\mathrm{i,j}) \in \mathrm{D} \\ 0 & \text{ansonsten} \end{cases}$$

und

(11.6-2) $$D^*_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{wenn (i, j) direkt bedient wird} \\ 0 & \text{ansonsten} \end{cases} .$$

L_{ij} ist das bekannte Frachtaufkommen von i nach j, es gelte $L_{ij} \neq L_{ji}$. Für eine Direktverbindung zweier Knoten gelte: (11.6-3) $Z_{i00j} = S_{ij} \cdot L_{ij}$ und für eine Route über einen (dabei ist $S_{kk} = 0$) oder zwei Hubs mit a als den bereits angesprochenen Proportionalitätsfaktor (11.6-4) $Z_{ikmj} = (S_{ik} + aS_{km} + S_{mj}) \cdot L_{ij}$. Die Zielfunktion lautet wie folgt:

(11.6-5) $$minZ = \sum_{i \in [P]} \sum_{\substack{j \in [P] \\ j \neq i}} D_{ij} \cdot Z_{i00j} \cdot D^*_{ij} + \sum_{i \in [P]} \sum_{k \in [P^H]} \sum_{m \in [P^H]} \sum_{\substack{j \in [P] \\ j \neq i}} Z_{ikmj} \cdot U_{ikmj} + \sum_{k \in [P^H]} Z_{kk} \cdot U_{kk}$$ mit

(11.6-6) $$U_{ikmj} = \begin{cases} 1 & \text{wenn (i, j) über (k, m) geleitet wird} \\ 0 & \text{ansonsten} \end{cases}$$

und

[124] Vgl. Aykin (1994, S. 501–523).

(11.6-7) $U_{kk} = \begin{cases} 1 & \text{wenn k ein Hub ist} \\ 0 & \text{ansonsten} \end{cases}$

und den Nebenbedingungen

(11.6-8) $D_{ij} \cdot D_{ij}^{*} + \sum_{k \in [P^H]} \sum_{m \in [P^H]} U_{ikmj} = 1 \; ; \forall i \neq j \in [P]$

(11.6-9)

$$\sum_{i \in [P]} \sum_{\substack{j \in [P] \\ j \neq i}} \left[c_k \cdot (U_{ii}, U_{kk}, U_{jj}) \cdot U_{ikkj} + \sum_{\substack{m \in [P^H] \\ m \neq k}} \left[c_k \cdot (U_{ii}, U_{mm}, U_{jj}) \cdot U_{ikmj} + c_m \cdot (U_{ii}, U_{mm}, U_{jj}) \cdot U_{imkj} \right] \right] \leq C_{kk} \cdot U_{kk}$$

; $\forall k \in [P^H]$

(11.6-10) $\sum_{k \in [P^H]} U_{kk} = p$

(11.6-11) $\sum_{\substack{i \in [P] \\ i \neq k}} \sum_{\substack{(f,g) \in [P] \\ f,g \neq k}} (U_{ifgk} + U_{kfgi}) + \sum_{(i.k),(k,i) \in [D]} (D_{ik}^{*} + D_{ki}^{*}) \leq K(1 - U_{kk}); \forall k \in [P^H]$

(11.6-12) $\sum_{\substack{g \in [P^H] \\ g \neq k \\ g \neq m}} (U_{kkgm} + U_{mgkk} + U_{mmgk} + U_{kgmm}) + \sum_{g \in [P^H]} (U_{kggm} + U_{mggk}) \leq K(2 - U_{kk} - U_{mm})$

$\forall (k,m) \in [P^H]$ und $k \neq m$

Z_{kk} entsprechen den Kosten zur Einrichtung eines Hubs auf Knoten k. C_{kk} repräsentiert die verfügbare Kapazität auf Knoten k und K ist eine große positive Konstante. $C_k(U_{ii}, U_{kk}, U_{jj})$ und $c_m(U_{ii}, U_{mm}, U_{jj})$ in (11.6-9) sind die auf den Hubs k und m benötigten Kapazitäten, wenn eine Ladung von i nach j über k und m geleitet ist. Nebenbedingung (11.6-8) stellt sicher, dass für einen Transport von i nach j genau eine Alternative ausgewählt wird, also entweder über einen oder zwei Hubs oder wenn möglich direkt. (11.6-9) überwacht die Kapazitätsgrenzen der ausgewählten Hubs, $\forall k \in [PH]$. (11.6-10) generiert genau p Hubs im System und (11.6-11) sowie (11.6-12) verhindern ein Routing über mehr als zwei Hubs.

Das Modell eignet sich zur Überprüfung einer Netzwerkkonfiguration mit p Hubs, wenn Direktflüge und Kapazitätsrestriktionen in der Modellierung Berücksichtigung finden sollen. Für den Problemgegenstand dieser Arbeit ist das Modell jedoch in wesentlichen Konzepten unbrauchbar, da bei der Post-Merger-Netzintegration davon ausgegangen wird, dass die Hub-and-Spoke-Struktur beibehalten wird und lediglich einzelne Flugrelationen adaptiert werden, jedoch die Netztopologie in ihren wesentlichen Bestandteilen unberührt bleibt. Das heißt, die Anzahl der Hubs, deren Lage und bestehenden Slot-Kapazitäten sind exogene Parameter.

11.7 Zusammenfassung und Würdigung

In diesem Kapitel sind verschiedene Varianten von p-Hub-Modellen in Anlehnung an die Standardwerke der Literatur vorgestellt worden. In allen erläuterten Modellansätzen gilt eine strikte Hubbing-Politik. Die Zuordnung von Nichthubs zu Hubs erfolgt sowohl nach dem Single- als auch nach dem Multiple-Allocation-Kriterium. Ausgehend vom Ein-Hub-System mit zwingender Single-Allocation-Bedingung wird das Zwei-Hub-System ebenfalls mit derselben

Bedingung modelliert. Das vorgestellte p-Hub-Modell und das p-Hub-Median-Modell erlauben sowohl eine Single Allocation als auch eine Multiple Allocation. Schließlich wird beim p-Hub-Modell der Fall mit den Nebenbedingungen von Direktflügen und Kapazitätsbeschränkungen untersucht und in den Modellgleichungen mittels Operatoren berücksichtigt. Bei den Nebenbedingungen sind auch die Kosten für die Einrichtung eines Hubs sowie die Kapazitäten der Hubs für das Umsortieren parametrisierbar.

Die Modelle sind nur sehr eingeschränkt praxistauglich. Zwar lassen sie sich mit Daten aus der Realwelt durchrechnen. Die Modellrestriktionen abstrahieren jedoch sehr stark von dem, was in der Praxis gefordert wird. Üblicherweise liegen den Netzwerkgestaltungsproblemen als Zielfunktion echte Kostenfunktionen zugrunde. In den hier präsentierten Modellansätzen wird von der stark vereinfachten Kostenfunktion durch Annahme der Tonnenkilometerleistung als Substitut für eine Kostenfunktion ausgegangen, indem die Wegstrecke mit dem Frachtaufkommen multipliziert wird. Das heißt, vereinfachend wird so getan, als würde quasi der Kostenaufwand für den Transport proportional zur transportierten Strecke entstehen. Diese Hypothese ist als realitätsfremd einzustufen, da es vielfältige Einflussfaktoren auf die Transportkosten gibt. Zu nennen sind hier etwa Kosten für die Frachteinrichtungen als Fixkosten, die sich in der angenommenen Streckenproportionalität nicht niederschlagen. Weitere Aspekte, die auf den starken Verlust der Praxisnähe in den Modellansätzen hindeuten, sind der Verzicht auf die Berücksichtigung von Kapazitätsbeschränkungen oder die Nichtzulassung von Direktflügen. Realitätsfremd sind ferner aus den weiter oben aufgezeigten Gründen der Wettbewerbsbedingungen die Modelle, bei denen im kontinuierlichen Euklidraum auf der grünen Wiese Flughäfen zu errichten sind. Auch ist der Modellansatz, demzufolge aus einer vorgegebenen Menge von Flughäfen Hubs gewählt werden können, ohne im Modell darauf abzustellen, ob der betroffene Flughafen dafür geeignet ist, unbrauchbar.

Dennoch lassen sich anhand der aufgezeigten Modelle Hub-and-Spoke-Netzwerke konstituieren, die nach dem Kriterium des Frachtaufkommens zwischen den Flughäfen optimal gelöst sind.

Im Hinblick auf die Problemstellung dieser Arbeit sind die Modelle allesamt ungeeignet, da sie entweder nur die Lokation von Hubs zum Untersuchungsgegenstand haben bzw. ein kombiniertes Location-Allocation-Problem von Hubs und deren Zuordnungen behandeln, wohingegen im hier verfolgten Modellansatz die optimale Gestaltung von Flugrouten im Vordergrund steht, wobei die Anzahl und die Lage der Hubs exogen vorgegeben und die Kapazitätsrestriktionen für Frachttransporte auf der Ebene der Flugrouten zu bewerten sind.

In den nachfolgenden Kapiteln wird deshalb dediziert untersucht, ob es in den Standardwerken der Literatur geeignete Modelle für das Netzwerk-Design-Problem gibt. Abgestellt wird zunächst auf den Modellansatz von Kuby und Gray (1993), die ein Modell für das Problem einer Flugroutengestaltung formuliert haben.

12 Gestaltung eines Multihub-Netzwerks mit Feeder-Subnetzen

Für die dieser Arbeit zugrunde liegende Problemstellung soll im Folgenden ein Modell aufgestellt werden, das eine Menge von Flugrouten in einem Hub-and-Spoke-Netzwerkverbund bei minimalen Luftfrachttransportkosten im System identifiziert, unter der Annahme, dass das Belly-Frachtaufkommen von den Start- zu den Zielflughäfen in der geforderten Zeit eintrifft. Der Netzwerkverbund besteht aus drei autonomen Hub-and-Spoke-Subnetzen, die mittels Hub-Hub-Verbindungen und zugelassenen Direktflügen verbunden sind, und der exogenen Vorgabe mehrerer Hub-Flughäfen. Mittels der Fallstudie dieser Arbeit – der Daten des Luftfrachtaufkommens für Deutschland, Österreich und die Schweiz – erfolgt der Test des Modells mit den drei Hub-and-Spoke-Netzen der AUA, Swiss und Lufthansa. Der Netzwerkverbund wird als 3-Ländernetzwerk (abgekürzt 3L-Netzwerk bzw. 3L-Netz) bezeichnet. Das Netzwerk besteht aus der Menge der Flughäfen, die von den drei Fluggesellschaften im Passagier-/Belly-Frachtbereich angeflogen werden, und den Streckendiensten zwischen diesen Flughäfen. Die Testdaten stammen aus verschiedenen öffentlich zugänglichen Quellen.

Das Problem wird aufgrund seiner Eigenheiten als Multihub-Netzwerk-Design-Problem (MNDP) bezeichnet. Beim Netzwerk-Design geht es um die Ermittlung optimaler Routen in einem vorgegebenen Flugnetz. Bei der Routenbildung finden auch Stopover-Flüge und Feeder-Verkehr aus Subnetzen Berücksichtigung. Beim Netzwerkverbund der Fallstudie wird der tatsächliche Flugbetrieb in den drei Einzelnetzen anhand der tatsächlichen Flugpläne abgebildet. Ob dieser integrierte Flugbetrieb optimal ist, soll Thema der nachfolgenden Kapitel sein. Es ist jedoch anzumerken, dass der Flugbetrieb des Netzes der Swiss bereits an das Lufthansa Global Network angepasst ist, wohingegen dies beim Flugbetrieb der AUA im Rahmen der Post-Merger-Integration noch im Gange ist.

12.1 Geeignetes Modell zur Lösung der Problemstellung

Die im vorangegangenen Kapitel beschriebenen statischen Modelle der Location Theory eignen sich aus folgenden Gründen nicht für die Optimierung eines Netzwerkes bei vorgegebener Hub-Anzahl und -Lokation. Einerseits sind in einem Netzwerk die Hubs aus den aufgezeigten wettbewerbsbedingten Gründen fest vorgegeben. Des Weiteren kommt die prinzipielle Zulassung der Konstituierung von Drehscheibenflughäfen auf der grünen Wiese in diesen Modellen in der Praxis nicht vor. Auch wird vielfach in den Modellen davon ausgegangen, dass eine strikte Hubbing-Politik vorherrscht, d. h. Direktflüge nicht zugelassen sind. Die Realität zeigt jedoch, dass auch in Hub-and-Spoke-Netzwerken Nonstop-Flüge ohne Zwischenstopp am Hub vorkommen. Die in der Literatur diskutierten stilisierten und stark vereinfachten Hub-and-Spoke-Strukturen existieren so nicht in der Realwelt des Luftfahrtsektors. Insbesondere bei der Integration von Luftverkehrsnetzwerken nach Übernahmen wird die Abweichung eines integrierten Netzwerks vom reinen Hub-and-Spoke-System sogar noch verstärkt. Andererseits zeigt sich, dass bei Fluggesellschaften auf der operationalen Ebene durch Restrukturierung, Anpassung an Marktgegebenheiten oder Integrationen als Folge von Übernahmen Handlungsbedarf auf der Netzebene besteht und die Hub-and-Spoke-Netzwerke in ihrer Struktur überarbeitet werden.

Es geht also darum, bei vorgegebener Hub-Struktur und Slot-Allokation und bei bekanntem Luftfrachtaufkommen auf den angebotenen Flugstrecken unter Maßgabe der nachfolgenden Bedingungen optimale Flugrouten zu identifizieren. Auf einer Flugroute sind bis zu zwei Zwischenstopps zulässig. Das Luftfrachtaufkommen lässt sich unter Optimalitätsgesichtspunkten zwischen den drei Fluggesellschaften aufteilen. Vereinfachend erfolgt keine Modellierung der Komplexitäten aus dem Betrieb der drei Fluggesellschaften. Die Optimalitätsbedingung

lautet dabei, die Gesamttransportkosten für den Transport des Luftfrachtaufkommens über alle Flugverbindungen von Ausgangs- zu Zielflughäfen zu minimieren.

Das in Abschnitt 10.3 angesprochene Modell von Kuby und Gray (1993) wurde als Hub-Netzwerkdesign-Problem formuliert, das zur Problemstellung dieser Arbeit Analogien aufweist. Es wird deshalb im Folgenden der Frage nachgegangen, ob dieses Modell auf die hier gegenständliche Problemstellung anwendbar ist, und es werden gegebenenfalls Anpassungen bzw. Erweiterungen am Modell vorgenommen.

12.2 Beschreibung des Netzwerkes

12.2.1 Beschreibung des Netzwerkes und des Flugbetriebs

Nachfolgend werden das Netzwerk und der Flugbetrieb der Fallstudie zum 3L-Netz vorgestellt und die Abweichungen von den in der Wirklichkeit vorkommenden Gegebenheiten aufgezeigt:

- Das dem Modell zugrunde liegende Netzwerk ist länderübergreifend und umfasst Deutschland, Österreich und die Schweiz, weshalb es als 3L-Netzwerk bezeichnet wird. Das Netzwerk besteht aus den in der nachfolgenden Tabelle eingetragenen Flughäfen in allen drei Ländern. Die Ländergrenzen spielen modellseitig keine Rolle, bis auf die Tatsache, dass aufgrund der einzelnen Ländernetze der Netzverbund fünf Hubs enthält. Die Lage der Flughafenstandorte wird üblicherweise mit den Geo-Daten festgehalten. Da jedoch die Distanzen zwischen den Flughafenstandorten in den Flugplänen angegeben werden, entfällt die Entfernungsermittlung, wozu die Geo-Daten erforderlich gewesen wären. Der Hub Düsseldorf spielt im 3L-Netzwerk eine untergeordnete Rolle, da er sich als Sanduhr-Hub nur für Flüge in Richtung Osten eignet und im Netzwerkverbund die meisten Flugverbindungen in Nord-Süd-Richtung ausgelegt sind. Dennoch zeigt sich im Flugplan der Lufthansa auf Routen nach Österreich bzw. in die Schweiz, dass auch Zwischenstopps in Düsseldorf eingelegt werden.
- Die Hub-Standorte sind fix: Düsseldorf, Frankfurt, München, Wien und Zürich. Der Modellierung ist nicht gegenständlich, im 3L-Netzwerk die Anzahl und die Lage der Hubs aus der Menge der Flughafenstädte in die Modelloptimierung einzubeziehen.
- Im Netzwerk soll jeder Flughafen-Knoten Feeder-Fracht und RFS-Fracht aufnehmen können, wobei im Modell RFS-Fracht unberücksichtigt bleibt, d. h., weder das Frachtaufkommen von RFS noch der bodengebundene Verkehr werden in die Modellüberlegungen mit einbezogen.
- Im Modell werden auf den Flugverbindungen die tatsächlich in den Flugplänen ausgewiesenen Flugzeugtypen und deren Frachtkapazitäten (vgl. Abschnitt 2.15) einbezogen. In diesem Punkt unterscheidet sich dieser Modellansatz von dem von Kuby und Gray, bei dem lediglich zwei Flugzeugtypen zugelassen sind (ein Feeder-Flugzeugtyp und ein größerer Flugzeugtyp).
- Der Netzwerkverbund überschneidet sich. So gibt es z. B. von Nichthub-Flughäfen in Österreich und der Schweiz Verbindungen nach Deutschland (z. B. von Innsbruck nach München und Frankfurt oder von Basel/Mühlhausen nach München), auf denen ein länderübergreifender Belly-Fracht-Transport erfolgt. Im Netzwerk sind Direktflüge zwischen zwei Nichthub-Flughäfen zugelassen, es gilt keine strikte Hubbing-Politik, auch nicht innerhalb der drei Subnetze. Weiterhin gilt keine Single-Allocation-Bedingung, d. h., ein Flughafen muss nicht zwingend mit einem Hub verbunden sein. Im LH-Netz ist jedoch jeder Nichthub-Flughafen mit einem der Hubs in München oder Frankfurt verknüpft, was bei den Netzen der Swiss und der AUA nicht der Fall ist. Die Multi-Allocation-Eigenschaft ist zugelassen, d. h., ein Nichthub-Flughafen kann auch länderübergreifend mit mehreren Hub-Flughäfen vernetzt sein (z. B. Berlin ist im LH-Netz mit den Hubs München, Frankfurt und Düsseldorf verbunden, im AUA-Netz mit dem Hub Wien, im Swiss-Netz mit dem Hub Zürich).
- Im 3L-Netz kommen im Gegensatz zum Fedex-Netz von Kuby und Gray (1993) keine Zwischenstopps vor, um Feeder-Fracht aufzunehmen. Während bei Kuby und Gray dasselbe

Flugzeug auf einer Flugroute mehrere Zwischenstopps einlegen und auf jedem Zwischenstopp im selben Flugzeug weitere Feeder-Fracht aufnehmen kann und keine Umladung der bereits im Flugzeug befindlichen Fracht erforderlich ist, gibt es solche Zwischenstopps im Netzwerkverbund nicht. Es ist nicht bekannt, ob bei der AUA, Swiss oder Lufthansa bei einem Flug von A über den Zwischenstopp B nach C auf beiden Strecken dasselbe Flugzeug eingesetzt wird. Im 3L-Netzwerk wird deshalb unterstellt, dass ein Zwischenstopp stets mit der Umladung der Fracht in ein anderes Flugzeug behaftet ist. Somit sind die Trade-offs aus dem Zwischenstopp, wie er bei Kuby und Gray (1993) ausgemacht wird, im 3L-Netzwerk abwesend.

- Die Feeder-Funktion übernehmen primär die Nichthubs im Verbund und für landesübergreifende Zulieferung von Fracht primär die jeweiligen Hubs sowie ausgewählte Flughäfen. Innerhalb der drei Subnetze besteht Feeder-Transport zwischen den Nichthub-Flughäfen und den Hubs.

12.2.2 Menge der Flughäfen im 3L-Netzwerk

Die Flughäfen des 3L-Netzwerks sind in der nachfolgenden Tabelle eingetragen. Die Flughäfen werden mit dem offiziellen Flughafen-Kürzel notiert. Es wird weiterhin angegeben, ob der Flughafen Hub oder Nichthub ist. Es sind nicht alle Verkehrsflughäfen[125] von Deutschland, Österreich und der Schweiz aufgelistet, sondern nur die, für die entweder Frachtdaten des statistischen Bundesamts (veröffentlicht durch die DLR) verfügbar sind bzw. die von den Fluggesellschaften AUA, Lufthansa oder Swiss angeflogen werden.

Nr.	Flughafenstadt	IATA-Flughafen-Kürzel	Funktion
Deutschland			
1	Hamburg	HAM	Nichthub
2	Bremen	BRE	Nichthub
3	Berlin (Tegel)	TXL	Nichthub
4	Hannover	HAJ	Nichthub
5	Leipzig	LEJ	Nichthub
6	Düsseldorf	DUS	Nichthub
7	Dresden	DRS	Nichthub
8	Köln/Bonn	CGN	Nichthub
9	Frankfurt	FRA	Passagier- und Frachthub
10	Nürnberg	NUE	Nichthub
11	Stuttgart	STR	Nichthub
12	München	MUC	Passagier- und Frachthub
13	Erfurt	ERF	Nichthub
14	Friedrichshafen	FDH	Nichthub
15	Münster/Osnabrück	FMO	Nichthub
16	Paderborn/Lippstadt	PAD	Nichthub

[125] Bzw. in der Schweiz Landesflughäfen und Regionalflughafen.

Nr.	Flughafenstadt	IATA-Flughafen-Kürzel	Funktion
17	Dortmund	DTM	Nichthub
18	Saarbrücken	SCN	Nichthub
19	Mannheim	MHG	Nichthub
20	Hof	HOQ	Nichthub
Schweiz			
21	Basel	BSL/EAP (/MLH)[126]	Nichthub
22	Genf	GVA	Nichthub
23	Bern	BRN	Nichthub
24	Zürich	ZRH	Passagier- und Frachthub
25	Lugano	LUG	Nichthub
Österreich			
26	Innsbruck	INN	Nichthub
27	Graz	GRZ	Nichthub
28	Klagenfurt	KLU	Nichthub
29	Linz	LNZ	Nichthub
30	Salzburg	SZG	Nichthub
31	Wien	VIE	Passagier- und Frachthub

Tabelle 19: Tabelle der Flughäfen, IATA-Flughafenkürzel und Flughafenfunktion

12.3 Vergleich des 3L-Netzwerks mit dem reinen Hub-and-Spoke-Netzwerksystem

Vergleicht man das 3L-Netzwerk mit dem reinen Hub-and-Spoke-Netzwerksystem, dann wird ersichtlich, warum Netzwerke mit Zwischenstopps und Feeder-Verkehr zur Bündelung von Fracht am Hub zu Kosteneinsparungen führen und welche Trade-offs sich auf der Netzebene erzielen lassen. Der Einsatz von Stopover-Flügen ermöglicht, wie anhand der Beispielsflugroute Hamburg–Wien–Klagenfurt deutlich wird, weniger Flüge mit höheren Frachtladefaktoren, wodurch sich im Flugbetrieb Einsparungen bei den Flugzeugkosten, beim Kerosinverbrauch und beim Kabinenpersonal erzielen lassen. Feeder-Zubringerdienste, wie bspw. auf der Flugroute Innsbruck–München, machen es möglich, Städte mit geringer Frachtnachfrage auf ökonomische Art und Weise in das Netzwerk zu integrieren, indem auf singulären Strecken kleineres, nicht effizientes Fluggerät zum Einsatz kommt, wodurch größere Maschinen höhere Auslastungszahlen über größere Distanzen erzielen. Beispielsweise ließe sich durch den Feeder-Verkehr von Innsbruck nach München Fracht nach München transportieren, die dort in ein größeres Flugzeug nach Hamburg umgeladen wird. Durch die zusätzliche Fracht aus Innsbruck wäre das zweite Flugzeug besser ausgelastet. Das System ist jedoch nur funktionsfähig, wenn der für das Einsammeln, Sortieren/Umladen und Verteilen der Fracht bei einem Zwischenstopp beanspruchte Zeitaufwand minimal ist. Darüber hinaus dürfen durch den Zwischenstopp die spätestens möglichen Anlieferungszeiten für die Fracht nicht überschritten werden.

[126] Hier pauschal BSL bezeichnet.

Bei der hier behandelten Problemstellung ist ein Zwischenstopp nicht zwingend mit der Tatsache verknüpft, dass Frachtgut zusätzlich zugeladen wird. Dies stellt sogar die Ausnahme dar. Vielmehr steht mit einem Zwischenstopp die Umverteilung auf ein anderes Flugzeug für eine andere Flugroute im Vordergrund. In diesem Punkt unterscheidet sich dieser Ansatz von dem von Kuby und Gray. Weiterhin ist wie im Netzwerk von Kuby und Gray auch hier gegenständlich, dass Zwischenstopps auf Nichthub-Flughäfen möglich sind und nicht nur auf Hub-Flughäfen, wie das bei den traditionellen Hub-and-Spoke-Problemstellungen der Fall ist. Neben der Zeitrestriktion wird auch als Gegenargument für Stopover und Feeder angeführt, dass mehr Round-About-Routen entstehen. Dadurch muss zur Lösung eines optimalen Hub-Netzwerkes der Trade-off zwischen dem Frachtladefaktor, den Skaleneffekten aus den Verbundvorteilen des Netzes, den Zeitrestriktionen und der Flugstreckendistanz im Modell simultan berücksichtigt werden. Diese Parameter sind im Modell entsprechend einzubauen.

12.4 Reduktion des 3L-Netzwerkes auf die luftfrachtrelevanten Verbindungen

Die DLR-Statistik weist nicht von jedem deutschen Flughafen eine Luftfrachtnachfrage nach Österreich und in die Schweiz aus. Da im Modell mit der realen Luftfrachtnachfrage gearbeitet werden soll, reduziert sich das Streckenangebot im 3L-Netzwerk auf die luftfrachtrelevanten Verbindungen, was die Anzahl der Problemdaten erheblich reduziert. Der Blick ist jedoch im Modell auf das Gesamtnetzwerk gerichtet, da die Direktverbindungen von deutschen Flughäfen nach Österreich bzw. in die Schweiz möglicherweise nicht ausreichen, um die Luftfrachtnachfrage ohne Stopover-Flüge abzubilden. Es wird deshalb wie folgt vorgegangen. Zunächst erfolgt die Überprüfung, ob die Flugfrequenzen auf den Direktverbindungen ausreichen, um die nachgefragten Frachtmengen auf den einzelnen Strecken von deutschen Flughäfen in die beiden Alpenländer mit den Belly-Flugzeugkapazitäten abzudecken. Bei Kapazitätsüberschreitungen werden mögliche Flugpfade im 3L-Netzwerk generiert, d. h. zeitlich aufeinander abgestimmte Flugverbindungen aus dem offiziellen Flugplan herausgesucht, mit denen sich die überschüssige Frachtnachfrage über Gabelflüge abbilden ließe. Hierbei ist jedoch zu berücksichtigen, dass auf diesen Transferflügen auch Frachtnachfrage vorherrscht, die nicht bestimmungsgemäß nach Österreich bzw. in die Schweiz muss und das inner-deutsche Frachtaufkommen, das originär auf diesen Gabelflügen bereits Frachtkapazitäten beansprucht, eine Modellrestriktion ist. Beispielsweise könnte Belly-Fracht, die von Hamburg nach Linz transportiert werden soll und sich auf dieser Direktverbindung mangels Frachtkapazität der Belly-Flugzeuge nicht befördern lässt, über Umwege nach Linz gelangen. Eine mögliche Route aus dem Flugplan der Lufthansa ist zuerst der Transport von Hamburg nach Frankfurt und nach diesem Zwischenstopp von Frankfurt nach Linz. In diesem Fall wäre zu berücksichtigen, dass auch auf der Route Hamburg–Frankfurt eine Frachtnachfrage vorherrscht, die vorrangig zu behandeln ist, weshalb die Beiladung der Fracht mit der Zieldestination nach Linz zurückstehen müsste, d. h. nur dann befördert werden könnte, wenn hierfür ausreichende Restkapazitäten auf dem Belly-Flugzeug vorhanden sind.

12.5 Vergleich des 3L-Netzwerkes mit dem Netzwerk bei Kuby und Gray

Im Modell von Kuby und Gray stoppen die meisten Flüge auf einer Flugroute in mehreren Städten, sodass im Netzwerk eine Reihe von Feeder-Routen vorkommt, bei denen die Ladung kleinerer Flugzeuge an den Zwischenstopps in größeren Städten in größere Flugzeugen umverteilt wird (vgl. Kuby und Gray, 1993). Durch dieses Feeder-Konzept lassen sich Zeiteinsparungen und Economies of Scale erzielen, indem beim untersuchten Hub-and-Spoke-Netzwerk von Kuby und Gray nur eine Umladung bzw. ein Umsortieren im Hub von Memphis erfolgt. Allerdings sieht in der Realität das Fedex-Netz anders aus, da im Netzwerk mehrere Mini-Hubs implementiert sind, auf denen Umladungen vorkommen. Die Zwischenstopp- und Feeder-Strategie, die für den reinen Luftfrachttransport bei Integratoren typisch ist und im Modellansatz bei Kuby und Gray behandelt wird, liegt bei Belly-Fracht nicht vor. Hierfür gibt es mehrere Gründe, auf die nachfolgend eingegangen werden soll.

Analogien und Abweichungen bei der 3L-Problemstellung
Während Kuby und Gray sich auf den reinen Cargo-Bereich beziehen und getroffene Annahmen für den reinen Luftfrachtbetrieb aufgezeigt werden, gelten diese nicht unmittelbar für Belly-Fracht. Unterflurfracht stellt ein Beiprodukt zum Passagierverkehr dar, sodass sich das Konzept für Belly-Fracht primär nach dem Passagier-Konzept richtet. Dies hat auch Auswirkungen auf das Netz und den Netzbetrieb. Auf der Netzebene unterscheidet sich das von Kuby und Gray untersuchte Netz vom 3L-Netz wie folgt. Strukturell gibt es Unterschiede bei den Hubs und deren Anzahl. Memphis ist ein Sanduhrhub, der die Frachtströme von West nach Ost und in den Süden der USA leitet. Weiterhin wird im Netzwerk von Kuby und Gray nur ein Hub betrachtet, die von Fedex unterhaltenen Mini-Hubs werden nicht modelliert. Das 3L-Netz weist dagegen fünf Hubs auf, wovon Frankfurt und München hinsichtlich der Verkehrsrichtung nach Österreich und in die Schweiz eine Sanduhr-Funktion einnehmen. Für die Hubs Wien und Zürich liegt eine Mixtur aus Sanduhr- und Hinterland-Hub vor. Der Hub Düsseldorf weist partiell eine Sanduhreigenschaft Richtung Osten auf. Der Flughafen hat jedoch im Umsteiger-Verkehr innerhalb des 3L-Netzes nur geringe Bedeutung. Vielmehr dient er als Hub für ausgewählte Flüge des Interkontinentalverkehrs (z. B. Flüge in die USA).

Hinsichtlich der unterstellten fixen Hub-Flughäfen im Modell sind beide Problemstellungen methodisch identisch, sodass beide Ansätze sich von den frühen Forschungsansätzen unterscheiden, die die Hub-Lokation zum Problemgegenstand hatten. Auch liegt beim 3L-Netz kein klassisches reines Hub-and-Spoke-System vor, sondern vielmehr die Integration von drei autonomen Hub-and-Spoke-Systemen, bei denen netzübergreifend dedizierte Flüge mittels Code Sharing aufeinander abgestimmt sind. Das betrifft insbesondere Flüge von und zu den Hubs. Ein explizites Stopover- und Feeder-Konzept ist bis auf die Ausnahme von RFS-Feeder auf keinem Flughafen in den Netzwerken vorgesehen. Zwangsweise Stopover ergeben sich dort, wenn von A nach B kein Direktflug besteht und ein Transfer über einen Hub oder einen übrigen Flughafen erforderlich ist. Feeder-Verkehr entsteht dort, wo bei einer Streckenführung von A nach B der Einsatz aufkommensschwache Routen mit kleineren Fluggeräten erfolgt.

Allerdings unterscheidet sich die 3L-Problematik von der Fedex-Problemstellung in der Hinsicht, dass auf einer Route nicht beliebig viele Stopps in Städten eingelegt werden, die auf der Route liegen. Zwar ist das 3L-Netz für den Passagierbetrieb ausgelegt, bei dem innerhalb der Länder maximal ein und innerhalb der drei Länder maximal zwei Umstiege in der Realität vorkommen und in seltenen Fällen mehr als zwei Umsteigevorgänge theoretisch möglich sind. Bei der Belly-Fracht gilt aber, wie von Kuby und Gray aufgezeigt, die Tatsache, dass es beim Transportgut indifferent ist, wie oft es umgeladen wird. Dieses Argument findet seine Grenzen, wenn das mehrfache Umladen unter ökonomischen Gesichtspunkten keinen Sinn mehr macht. Ein starker Unterschied zwischen dem Fedex- und dem 3L-Netz besteht hinsichtlich der Hub-Struktur. Die 3L-Hubs sind allesamt Passagier- und Frachthubs, allerdings werden bei den Flughäfen Wien und Zürich nur auf singulären Strecken reine Frachtflüge angeboten, sodass diese Hub-Flughäfen primär kombinierte Passage- und Belly-Frachtumschlagflughäfen darstellen. Auch ist das Hubbing nicht auf Flughäfen kleinerer Städte ausgelegt. Die fünf Hubs selbst haben aufgrund ihrer eigenen Hinterland-Eigenschaft und der RFS-Feeder ein hohes Originär-Frachtaufkommen, sodass die von Kuby und Gray aufgezeigte Verknappung der Slots und in der Folge das so genannte „Congestion“-Problem im 3L-Netz immanent sind, in Frankfurt sogar massiv bestehen. Bei Kuby und Gray wird auch darauf abgestellt, dass es mehrere Startflughäfen mit Originär-Frachtaufkommen gibt und das Problem besteht, dieses zum zentralen Hub nach Memphis zu transportieren. Es liegt eine N:1-Relation vor, d. h., eine Anzahl N Flughäfen ist genau mit einem Hub verbunden. Das Netz weist die Single-Allocation-Eigenschaft auf. In der hier behandelten Problemstellung werden N:N Beziehungen zugelassen, d. h., jeder Flughafen kann theoretisch mit jedem Flughafen des 3L-Netzes verbunden sein (kartesisches Produkt von Flugverbindungen im linearen Netzwerk theoretisch darstellbar). Tatsächlich wird nicht das kartesische Produkt aus N Flugverbindungen abgebildet, d. h., die Flugpläne zeigen auf, dass nicht alle Städte im Netz verbunden sind. Ein Großteil der Flugverbindungen im 3L-Netz schließt ein

oder zwei Zwischenstopps auf einem Flughafen ein. Jedoch zeigt sich, wie das bereits mehrfach in dieser Arbeit dargelegt wurde, dass die meisten Zwischenstopps bei der Lufthansa in den Hub-Flughäfen München und Frankfurt und bei der AUA im Wiener Hub-Flughafen eingelegt werden. Bei der Swiss besteht bereits eine starke Integration des Flugbetriebs mit dem Lufthansa-Flugplan, sodass für Flüge zwischen Deutschland und der Schweiz und umgekehrt der Transferverkehr über die Hubs München und Frankfurt und nicht schwerpunktmäßig über Zürich geleitet wird. Hierzu wurden auch zu den aufkommensstarken Flughäfen der Schweiz, wie etwa Genf und Basel/Mühlhausen, zahlreiche Direktflüge von und nach Deutschland aufgegriffen.

12.6 Annahmen bzw. Vereinfachungen bei der Modellierung

Zusammenfassend lassen sich die folgenden Annahmen bzw. Vereinfachungen treffen, die in den Kapiteln 13 und 14 konkretisiert werden:

1. Die Lokation der Netzwerk-Hubs wird wie bei Kuby und Gray als fix angenommen.
2. Die Menge der Flughäfen, die im Netzwerk bedient werden sollen, ist wie bei Kuby und Gray fest vorgegeben.
3. Dem Netzwerk liegt im Gegensatz zu Kuby und Gray, bei denen es nur einen Hub für die Frachtbündelung und -umverteilung gibt, die Annahme zugrunde, dass jeder Flughafen ein Kandidat für den Frachtumschlag ist.
4. Double-Turn-Flüge, bei denen Flugzeuge für einen Zweitflug zu Städten, die dicht beieinander liegen, erneut eingesetzt werden, bleiben im Modell unberücksichtigt.
5. Die Flugzeugrouten und der Flugplan werden als nicht tagesspezifisch geändert angesehen.
6. Das tägliche Volumen an Belly-Fracht wird als bekannt und deterministisch aufgefasst.
7. Die Kosten der Linienführung stellen keine Funktion des Cargovolumens dar. Bei den Kerosinkosten wird angenommen, dass diese in Abhängigkeit von der Beladung nicht signifikant variieren.
8. Im Gegensatz zum Modell von Kuby und Gray, in dem die Zieldestination ausschließlich der Hub-Flughafen von Memphis ist, werden in diesem Ansatz mehrere Zieldestinationen zugelassen.
9. Für jedes Tupel einer Zuordnung von Ursprungs- und Zieldestination liegt das Originalfrachtaufkommen für den Frachttransport vom Ursprungsort zum Zielort vor. Für diese Flugrelationen bestehen die Frachtaufkommen, was jedoch nicht bedeutet, dass vom Originalflughafen zum Zielflughafen ein Direktflug einhergeht oder ein oder zwei Gabelflüge möglich sind.
10. Es werden je Flugstrecke an einem betrachteten Flugtag in der Regel mehrere Flugverbindungen angeboten. Bei Kuby und Gray wird eine Flugstrecke nur einmal täglich bedient.

Unter Berücksichtigung der Annahme, dass die zu bedienenden Hubs und die Flughafenstädte exogen feststehen (Annahmen 1 und 2), bestehen mittel- bis langfristige Entscheidungen bzgl. der hierfür notwendigen Investitionen. Zeitlich betrachtet stellt das Hub-Network-Design ein kurz- bis mittelfristiges Problem dar, abhängig davon, ob die Flugzeuge gekauft oder geleast sind. Die Hub-Lokation und die Bodendienstleistungen gehen logischerweise dem Netzwerkdesign-Problem voraus. Bei Kuby und Gray ist das Datenmaterial für das Paketaufkommen probabilistischer Natur. In ihrem Ansatz erfolgt eine Wahrscheinlichkeitsverteilung für das Paketaufkommen, wodurch ein deterministisches Volumen generiert wird, indem ein bestimmter Prozentwert des Durchschnittswerts des zu planenden Frachtvolumens angenommen wird. Das 3L-Netz soll nicht unter dem Planungshorizont mit Plandaten durchgerechnet werden, sondern mit vergangenheitsbezogenen Frachtdaten. Das Datenmaterial ist nicht probabilistischer, sondern deterministischer Natur. Da die Paketgrößen bei Kuby und Gray nicht bekannt waren, wurde dieser Frage empirisch nachgegangen. Die Autoren führten aufgrund der an die Wirklichkeit angelehnten Wahrscheinlichkeit der Paketnachfrage eine Reservespanne beim Ladegewicht zur Anpassung über den durchschnitt-

lichen täglichen Bedarf ein. Bei Kuby und Gray gibt es eine Reihe weiterer Annahmen im Kontext der Generierung der Testdaten, die aber nicht Teil der Modellstruktur sind.

Modelldaten, Annahmen und Vereinfachungen

Für die Modellberechnung werden die Belly-Frachtdaten der DLR von August 2009 genutzt, die auch die Luftfrachtdaten von deutschen Städten nach Österreich und in die Schweiz umfassen, jedoch nicht umgekehrt. Die DLR veröffentlicht monatlich die tatsächlich geflogene Fracht, differenziert dabei aber nicht nach dem Frachttransport auf Belly-Flugzeugen und reinen Frachtmaschinen. Eine bessere Statistik ließ sich nicht ausfindig machen. Die Statistik gibt ferner keine Auskunft darüber, ob bei den ausgewiesenen Frachtdaten das Gepäck der Passagiere mitzählt oder nicht. Vereinfachend wird angenommen, dass es sich bei den Frachtdaten um Fracht im Sinne der engeren Definition nach der IATA (vgl. Abschnitt 2.4) handelt. Weiterhin wird vorausgesetzt, dass Luftfracht zwischen den determinierten Flughäfen untereinander ausschließlich in der Form als Belly-Fracht transportiert wird und zwischen den Flughafenpaaren keine reinen Frachtmaschinen für den Luftfrachttransport zum Einsatz kommen. Es wird weiterhin unterstellt, dass die Beförderung des von der DLR publizierten Frachtaufkommens im Streckengebiet der ausgewählten Flughäfen ausschließlich durch die Lufthansa, AUA und Swiss erfolgt. Diese Annahme ist nicht ganz abwegig, da die Mitbewerber-Fluggesellschaften sich im aufgezeigten Streckengebiet schwerpunktmäßig auf den Passagiertransport konzentrieren und dem Beiprodukt Belly-Fracht keine oder nur eine sehr geringe Beachtung widmen (z. B. Easyjet). Insbesondere in Österreich und in der Schweiz sind AUA bzw. Swiss ohnehin Marktführer im Belly-Frachtbereich, sodass sie die Hauptmarktanteile am Belly-Frachtaufkommen auf sich vereinen können.

Die DLR-Statistik weist die Luftfracht an Bord nicht nach Fluggesellschaften unterteilt aus, sodass hier Annahmen für die AUA, Lufthansa und Swiss zu treffen sind. Die DLR-Statistik erfasst die Frachttransporte zwischen den deutschen Flughäfen und zwischen Österreich und der Schweiz in der Richtung dieser beiden Länder zu den deutschen Flughäfen. Bei dieser Statistik wird jedoch nicht zwischen reiner Luftfracht und Belly-Fracht differenziert. Vielmehr stellen die Werte die absoluten Luftfrachtzahlen dar. Es wird deshalb für die Luftfrachtzahlen für Luftfrachttransporte innerhalb von Deutschland unterstellt, dass 50 Prozent davon auf Belly-Fracht entfallen (Annahme gemäß der Lufthansa, vgl. Abschnitt 2.18). Bei Luftfrachttransporten von Deutschland nach Österreich bzw. in die Schweiz und umgekehrt bzw. zwischen Österreich und der Schweiz und umgekehrt wird bei den statistischen Angaben zur Luftfracht von 100 Prozent Belly-Frachtanteil ausgegangen (Annahme, dass in beiden Alpenländern nur Belly-Flugzeuge zum Einsatz kommen, vgl. Abschnitte 3.4.5 bzw. 3.4.6).

Die DLR-Statistiken machen Angaben zu deutschen Destinationen nach Österreich und in die Schweiz, es erfolgt jedoch keine Aufschlüsselung, welche Flughäfen in den beiden Alpenländern mit den Luftfrachttransporten von deutschen Flughäfen angeflogen werden, und es gibt im DLR-Zahlenwerk keine Frachtstatistiken von österreichischen und schweizerischen Flughäfen in Richtung deutscher Flughäfen. Weiterhin sind die Luftfrachtströme innerhalb Österreichs und der Schweiz sowie zwischen Österreich und der Schweiz zwischen den einzelnen Flughäfen in diesen beiden Ländern unbekannt. Luftfrachttransporte von Österreich bzw. der Schweiz in Richtung Deutschland und innerhalb Österreichs und der Schweiz und von Österreich in die Schweiz bzw. umgekehrt werden nicht behandelt. Transporte von Österreich nach Deutschland über die Schweiz kommen im integrierten Netz der drei Fluggesellschaften AUA, Lufthansa Swiss nicht vor, sodass diese Frachtströme ohnehin nur von theoretischer Natur sind. Ergänzend hierzu entsprächen solche Routenführungen nach einer im Modell aufzustellenden Definition, wenn ein Umweg vorliegt, keinen zulässigen Routen.

Die Luftfrachtstatistik der DLR gibt die Luftfrachtzahlen auf allen Starts von Flugzeugen für den betreffenden Monat von den angegebenen Start- zu den Zielflughäfen wieder. Die DLR-Frachtdaten repräsentieren die absolut transportierte Luftfracht auf Monatsbasis und es wird für alle durchgeführten Flüge das Gewicht des transportierten Frachtguts in der Einheit Tonnen aufgeführt. Im Unterschied zu den Modelldaten von Kuby und Gray (1993), bei denen

probabilistische Daten verwendet wurden, werden in dieser Arbeit die tatsächlich geflogenen Luftfrachtwerte als Modelldaten gebraucht. Die Monatswerte werden durch die Anzahl der betreffenden Tage geteilt, um die Frachtdaten auf Tagesbasis zu erhalten. Die Modellberechnung erfolgt für einen ausgewählten Tag des betreffenden Monats gemäß dem Flugplan.

Modellierung des Flugbetriebs, Annahme zu den Flugzeugtypen

- Der Flugbetrieb im Modell wird stark vereinfacht. Es erfolgt, wie bereits angedeutet, die Selektion eines repräsentativen Tages. Hierzu werden die offiziellen Flugpläne der AUA, der Swiss und der Lufthansa zugrunde gelegt und für die Flughäfen in einer Inzidenz-Matrix festgehalten, wie die Verbindungen zwischen den Flughäfen am selektierten Tag ausfallen und welches Fluggerät eingesetzt wird. Eine Auswertung auf Monatsbasis würde nicht hinreichend Aufschluss darüber geben, ob im Netz Kapazitätsengpässe aufgrund der Frachtzahlen bestehen.
- Im Modell erfolgt keine zeitliche Abstimmung von Anschlussflügen. Es wird davon ausgegangen, dass bei den in den Flugplänen ausgewiesenen Anschlussflügen die zeitliche Taktung von den Flugplanerstellern berücksichtigt ist. Hierbei geht es insbesondere darum, wie viel Zeit für die Umladung der Fracht von einem zum anderen Flugzeug zur Verfügung steht.
- Im Modell von Kuby und Gray sind zwei Flugzeugtypen zugelassen: ein kleineres Feeder-Frachtflugzeug (Dassault) und ein größeres Frachtflugzeug (B 727-200). Im Modell in dieser Arbeit sind in Abänderung zu Kuby und Gray keine reinen Frachtflugzeuge gegenständlich, sondern die Belly-Flugzeugtypen, die auf den für das 3L-Netz relevanten Flugstrecken gemäß den Flugplänen der drei Fluggesellschaften geflogen werden.

Modellannahmen und -restriktionen

- Es sind Annahmen zur Kostenfunktion des Modells zu treffen, die die Flugstreckenverkehrskosten von Flügen abbildet.
- Es sind Annahmen zum Sortieren und Umladen bei Zwischenstopps auf einem Hub-and-Spoke-Flughafen zu treffen.
- Bei der Gestaltung der Flugverbindungen ist darauf zu achten, dass die bestehenden Flugzeugkapazitäten beim Belly-Frachttransport nicht überschritten werden. Entsprechende Annahmen für den Kapazitätsbedarf je Flugzeugtyp für das Passagiergepäck sind zu treffen.
- Bei der Modellierung ist im Weiteren zu beachten, dass eine Anlieferung der Belly-Fracht am Zielflughafen am selben Tag erfolgt. Die Flugzeiten müssen demnach so getaktet werden, dass die Belly-Frachttransporte am Zielflughafen taggleich eintreffen. Das bedeutet, dass die Flüge spätestens um 24:00 Uhr am Zielflughafen ankommen müssen. Etwaige Nachtflugbeschränkungen ab 22:00 Uhr bleiben unberücksichtigt. Bei den Flugplänen werden nur solche Flüge in die Modelldaten mit einbezogen, die spätestens um Mitternacht am Zielort planmäßig eintreffen. Verspätungen werden im Modell nicht berücksichtigt.

Notation von Bögen und Pfaden

Bögen und Pfade stellen Relationen dar. Sie werden notiert als (Origin, Destination), wobei die Werte für Origin und Destination den jeweiligen Flughafenkürzeln entsprechen.

Beispielsweise ist die Flugstrecke von Berlin, abgekürzt mit TXL, nach Graz, abgekürzt mit GRZ, wie folgt als Flugrelation notiert: (TXL, GRZ). Die Strecke stellt gemäß den nachfolgend getroffenen Modellannahmen einen Pfad dar.

12.7 Konzepte des Modells und Definition von Bögen, Pfaden und Routen

Konzepte

Die Modellierung der Flugrouten im 3L-Netzwerk basiert auf den drei Konzepten Routen, Pfade und Bögen, mit deren Hilfe die Beschreibung der Flugverbindungen zwischen Flughäfen im Netzwerk erfolgt. Abbildung 48 zeigt anhand eines Ausschnitts des 3L-Netzes, wie

das Konzept umgesetzt wird.

- *Bogen* oder *Arkus (*engl.: *Arc)*: Ein Bogen ist eine einzelne Flughafen-zu-Flughafen-Verbindung, auf der ein bestimmter Flugzeugtyp zum Einsatz kommt. Solche Flugrelationen können Verbindungen zwischen zwei Nichthubs (Direktflugvariante) oder zwischen einem Nichthub und einem Hub bzw. umgekehrt sein.
- *Pfad (*engl.: *Path)*: Ein Pfad ist eine Sequenz von Bögen, bestehend aus ein oder mehreren Bögen. Ein Pfad entspricht der Summe aller Flugverbindungen vom ersten Startflughafen bis zum letzten Zielflughafen. Ein Pfad wird von einem oder mehreren Flugzeugen bedient und lässt sich über ein oder zwei Hubs routen. Die Flugzeuge können von unterschiedlichen Flugzeugtypen stammen.
- *Route (*engl.: *Route)*: Eine Route entspricht in der Terminologie von Kuby und Gray dem Weg, den ein einziger Flugzeugtyp auf einer Strecke zurücklegt. Eine Route besteht mindestens aus einem Bogen. Da im Gegensatz zum Fedex-Netz bei Kuby und Gray im 3L-Netz unterstellt wird, dass derselbe Flugzeugtyp auf einer Strecke von A nach C über B nicht beide Strecken AC und BC bedient, entspricht im Modell dieser Arbeit eine Route einem Bogen. Das bedeutet aber, dass grundsätzlich die Belly-Fracht bei jedem Zwischenstopp aus dem eintreffenden Flugzeug ausgeladen, am Stopover-Flughafen sortiert und in das Flugzeug des Anschlusszuges wieder eingeladen werden muss. Um eine bessere Vergleichbarkeit zum Modell von Kuby und Gray zu erlangen, soll auch in dieser Arbeit am Routenkonzept festgehalten werden. Dies führt dazu, dass unter den getroffenen Annahmen eine Route äquivalent zu einem Bogen ist. In einer Nachfolgearbeit könnte untersucht werden, ob auf zwei oder mehreren Streckenabschnitten im 3L-Netz nicht nur derselbe Flugzeugtyp, sondern dasselbe Flugzeug zum Einsatz kommt. Damit ließe sich auf die Modellierung dieser Arbeit zurückgreifen, wobei nur die Routen entsprechend angepasst werden müssten.

Angewandt auf das 3L-Netz ergeben sich folgende Bogen-, Routen- und Pfadkonstellationen.

- *Direktflüge sind Bögen bzw. Routen*
  - *(Spoke-Spoke-Bogen)*: Flugrelation zwischen zwei Flughäfen, die keine Hubs sind;
  - *(Hub-Spoke-Bogen* bzw. *Spoke-Hub-Bogen*): Flugrelation zwischen einem Nichthub-Flughafen und einem Hubflughafen;
  - *(Hub-Hub-Bogen*): Flugrelation zwischen zwei Hubflughafen.
- *Gabelflüge* können in beliebigen Kombinationen zwischen Spoke- und Hub-Bögen auftreten. Im 3L-Flugplan erfolgt der Schwerpunkt der Gabelflüge über Hub-Flughäfen. Gabelflüge können mit einem oder maximal zwei Zwischenstopps versehen sein.
- Direkt- und Gabelflüge sind Pfade.

Im Konzept von Kuby und Gray wird das Netz von Fedex der westlichen USA untersucht, anhand dessen Kuby und Gray exemplarisch das Routen-, Pfad- und Bogenkonzept aufzeigen. In der nachfolgenden Abbildung 48 wird es veranschaulicht.

Die Abbildung betrachtet die folgenden Flugstrecken:

- Vancouver (A) nach Seattle (C),
- Seattle (C) nach Spokane (B),
- Spokane (B) nach Denver(D),
- Seattle (C) nach Denver (D),
- Seattle (C) nach Memphis (M),
- Denver (D) nach Memphis (M).

Hierzu erfolgt der Einsatz von zwei Flugzeugtypen, die mit 1 bzw. 2 gekennzeichnet werden. Auf den Strecken AC und CB kommt ein Flugzeuge der Marke Dassault (= 1) zum Einsatz, auf den übrigen Strecken eine Boeing 727-200 (= 2). Im Netzwerk ergeben sich die in der

Abbildung angegebenen Pfade, Bögen und Routen und die auf den Strecken eingesetzten Flugzeugtypen 1 oder 2.
Im Gegensatz zum Modellansatz von Kuby und Gray erfolgt in dieser Arbeit der Einsatz von mehr als zwei Flugzeugtypen.

Abbildung 47: Routen-, Bogen- und Pfad-Konzepte bei Kuby und Gray
(Quelle: Kuby und Gray, 1993, S. 6)

12.7.1 Pfad-, Bogen- und Routenkonzept am Fallbeispiel des 3L-Netzes

Abbildung 48 zeigt das Routen-, Pfad- und Bogen-Konzept mit möglichen Flugverbindungen von Berlin (TXL) nach Klagenfurt (KLU) im 3L-Netz auf.

Abbildung 48: Routen-, Bogen- und Pfad-Konzepte am Beispiel
(Quelle: eigene Darstellung)

Für die Verbindung Klagenfurt–Berlin existiert keine Direktflugverbindung. Die möglichen Flugstrecken mit Zwischenstopps sind eingezeichnet: die Flüge der Austrian Airlines gestrichelt, die der Lufthansa mit durchgehenden Linien. AUA bietet gemäß dem Flugplan, der für den 7.12.2009 im Internet eingesehen wurde, eine Verbindung von Wien nach Klagenfurt an. Auf dieser Strecke kommt ein bestimmter Flugzeugtyp zum Einsatz. Welche Airline im Auftrag der AUA den Flug durchführt, blieb explizit unbeachtet. Auf der Strecke (VIE, KLU) wird als Flugzeugtyp ein Bombardier DHC-8Q-402 (Dash 8Q400) eingesetzt, auf der Strecke (TXL, VIE) eine Fokker 70. Gemäß der Einteilung stellt der Flug (VIE, KLU) einen Bogen, einen Pfad und eine Route dar. (VIE, KLU) ist eine Flughafen-Flughafen-Verbindung. Die Flugstrecke stellt einen Pfad dar, der aus einem Bogen besteht. Da auf der Strecke (VIE, KLU) ein einziger Flugzeugtyp zum Einsatz kommt, liegt auch eine Route im oben definierten Sinne vor. Für die singuläre Strecke (TXL, VIE) gilt das Gleiche wie auf der Strecke (VIE, KLU). Die Strecke (VIE, KLU) ist dagegen ein Pfad, bestehend aus den beiden Bögen (VIE, KLU) und (TXL, VIE), die auch zwei Routen darstellen, da auf den Strecken zwei unterschiedliche Flugzeugtypen zum Einsatz kommen. Beim Zwischenstopp handelt es sich um einen solchen, der auf einem Hub erfolgt. Es liegt ein Stopover im Flugplan der AUA vor. Im Lufthansa-Flugplan gibt es eine Reihe von zwei Stopover-Flügen. Zunächst gilt auch hier, dass es keinen Direktflug von TXL nach KLU gibt. Es existieren die folgenden Verbindungen, die in der folgenden Tabelle mit den wesentlichen Merkmalen zusammengefasst sind.

Flug von	Flug bis	Flugzeugtyp	Bogen	Route	Airline
MUC	KLU	Aerospatiale/Alenia ATR 72	ja	ja	OS
TXL	MUC	Airbus 320-100/200	ja	ja	OS
NUE	MUC	De Havilland DHC-8 400 Series	ja	ja	LH
TXL	NUE	Canadair Regional Jet 900	ja	ja	LH
STR	MUC	De Havilland DHC-8 400 Series	ja	ja	LH
TXL	STR	Fokker 100	ja	ja	LH
DUS	MUC	Airbus 320-100/200	ja	ja	LH
TXL	DUS	Boeing 737-300	ja	ja	LH
FRA	MUC	Airbus 321	ja	ja	LH
TXL	FRA	Airbus 321	ja	ja	LH

Tabelle 20: Mögliche Bögen und Routen für Flüge von TXL nach KLU

Daraus ergeben sich folgende Pfade:

Pfade					
Ursprung	**Zwischenstopp 1**	**Zwischenstopp 2**	**Ziel**	**Anzahl Stopover**	**Anzahl Flüge**
TXL	VIE		KLU	1	1
TXL	MUC		KLU	1	1
TXL	FRA	MUC	KLU	2	3
TXL	NUE	MUC	KLU	2	3
TXL	STR	MUC	KLU	2	3
TXL	DUS	MUC	KLU	2	3

Tabelle 21: Mögliche Pfade von TXL nach KLU

Für den ausgewählten Flugtag gibt es genau sechs Routen, die so ausgewählt sind, dass die Belly-Fracht an diesem Flugtag in Berlin in das Flugzeug eingeladen und am selben Tag in Klagenfurt ausgeladen wird, d. h., die zeitliche Restriktion wird eingehalten. Aus dem möglichen Flugangebot ergeben sich zwei Routen mit einem und vier Routen mit zwei Stopover.

Im Konzept von Kuby und Gray ist eine Route als Sequenz bestehend aus ein oder mehreren Bögen gekennzeichnet. Die beiden Forscher benötigten in ihrem Modell-Ansatz dieses zusätzliche Konzept, da sich dasselbe Flugzeug bzw. mehrere Bögen durch Zwischenstopps mit demselben Flugzeugtyp fliegen lassen. Das Routen-Konzept ist für diese Arbeit obsolet

bzw. redundant zum Bogen, da in der Regel davon ausgegangen wird, dass im 3L-Netz dasselbe Flugzeug nur einen Bogen, d. h. keine geplanten Routen mit Zwischenstopps fliegt. Wenn ein Flugzeug, auf dem Belly-Fracht transportiert wird, nach einem Zwischenstopp eine weitere Flugstrecke zum geplanten Zielflughafen der Fracht fliegen sollte, wäre das rein zufällig.

12.7.2 Pfadgenerierung und Begrenzungsregeln für Pfade bei Kuby und Gray

Im Modell von Kuby und Gray erfolgt zunächst in einem Submodell die Generierung zulässiger Pfade. Hierfür werden Begrenzungsregeln eingeführt, die in diesem Abschnitt angesprochen werden. In Abbildung 47 sind die Routen AC1, BC1, BD1, CDM2, CM2 und DM2 eingetragen, wobei, wie bereits erwähnt, die Ziffer 1 stellvertretend für den Flugzeugtyp Dassault und die Ziffer 2 für den Flugzeugtyp B 727, mit dem die korrespondierende Route geflogen wird, steht. Falls jeder Pfad im Modell benutzt wird, würden alle Pakete von den Feeder-Flügen auf der Strecke von A und B nach C auf die B-727-Flüge von C nach M über D transferiert werden. Die Bögen- und Pfadmengen sind nicht gegenseitig exklusiv. Ein Beispiel für ein Segment, das auf mehr als einem Weg vorkommt, ist CM2. Dieses Segment stellt sowohl einen Bogen als auch einen Pfad dar. Alle Bögen und Pfade sind direkt gerichtet. Der Verkehrsfluss ist nur unidirektional in Richtung des Hubs nach Memphis möglich. Explizite Rückflüge kommen im Modell nicht vor. Jedoch werden in den Flugplänen zwei Flughäfen immer in beiden Richtungen angeflogen (vgl. Kuby und Gray, 1993, S. 8 f.). Im Modellansatz von Kuby und Gray erfolgt in einem ersten Schritt die Implementierung der Menge der exogen vorgegebenen Pfade. Für den Untersuchungsgegenstand werden die potenziellen Pfade anhand von vier Regeln generiert.

Die erste Regel basiert auf der elementaren Annahme, dass das Frachtgut innerhalb von 24 Stunden am Ziel eintreffen muss. Daraus lässt sich für die Modellberechnungen die Gesamtzeit, die für einen Pfad benötigt wird, ableiten. Es steht nur eine begrenzte Zeit zur Verfügung, in der die Ursprungsfracht von den Ursprungsflughäfen abfliegen muss, um Zwischenstopps für die Feeder-Aufnahme auf der Route einlegen zu können und noch rechtzeitig im Hub in Memphis anzukommen. Der längste Pfad im aufgezeigten Fedex-Netzwerk ist Spokane–Seattle–Denver–Memphis, für dessen Flüge 6,8 Stunden benötigt werden, was als die maximale Transportzeit für die Generierung von Pfaden im Modell gelten soll. Die durchschnittliche Bodenzeit für Zwischenstopps, bei denen mit demselben Flugzeug weitergeflogen wird, beträgt beim Fedex-Netzwerk von Kuby und Gray 32,6 Minuten, während diese sich für Stopps mit einer Änderung des Flugzeugs auf 84,5 Minuten beläuft (vgl. Official Airline Air Cargo Guide, 1989). Die Flugzeit auf den Flugverbindungen zwischen den Städten wird durch die Streckendistanz und die Geschwindigkeit des Flugzeugs beeinflusst (vgl. Fitzpatrick and Modlin, 1986). Für die Berechnung der Flugzeit T haben Kuby und Gray folgende Formel aufgestellt:

$$T = a + bD + \varepsilon$$

T ist die Flugzeit in Minuten, D die Distanz in Meilen, b ein Regressionskoeffizient, der die umgekehrte Geschwindigkeit in Minuten pro Meile ausdrückt, und a eine lineare Regressionskonstante, welche die Zusatzzeit repräsentiert, um das Flugzeug auf Reiseflughöhe zu bringen, es mit der benötigten Reisegeschwindigkeit fliegen zu lassen und die für den Landeanflug zu berücksichtigen ist. ε ist ein Error-Term. Für die beiden Flugzeugtypen stellen Kuby und Gray Regressionsgleichungen auf, sodass T sich für ein bestimmtes D berechnen lässt. Für den Flugzeugtyp DC10 kommt beispielsweise bei Kuby und Gray ein Wert für T wie folgt heraus: $T = 28.96 + .117D$. Darauf, wie sich die konstanten Werte für diesen Flugzeugtyp ergeben, soll hier nicht eingegangen werden. Es existieren im Modell von Kuby weitere Begrenzungsregeln für die Generierung von möglichen Pfaden (vgl. Kuby und Gray, 1993, S. 8 f.). Ein weiterer Faktor, den sie benutzen, um die Menge der möglichen Pfade zu begrenzen, ist die Anzahl der Städte entlang der Pfade. Hierzu wurden die folgenden Regeln eingeführt:

- Die 60°-Regel besagt, dass der Abflugwinkel eines Flugzeugs – von einem Flughafen zu einem Zwischenstopp –vom Anflugwinkel nicht mehr als 60 Grad abweichen darf.
- Die 150-Meilen-Regel beschreibt die Mindestdistanz für einen Pfad.
- Die Zwei-Zwischenstopp-Regel besagt, dass jeder Pfad höchstens zwei Zwischenstopps umfasst und eine Fracht während des Transports höchstens zwei Mal umgeladen werden darf. Die Anzahl von Zwischenstopps ist auch die in dem Fedex-Netzwerk maximal zwei.

Die geometrischen Kriterien von Kuby und Gray sind teilweise unausgegoren, erscheinen aber opportun, um möglichst viele Destinationen mit Paketlieferungen versorgen zu können, während die Modellgröße nicht unendlich ansteigt.

Ein weiteres Kriterium für die Pfadbegrenzung bezieht sich auf die Flugzeuggröße. Da die Paketvolumina im Modell von Kuby und Gray determiniert sind, lässt sich das maximale Volumen auf jeder Route exogen ermitteln.

12.7.3 Pfadgenerierung in dieser Arbeit

Pfadbegrenzung

Begrenzungsregeln für potenzielle Pfade, wie sie bei Kuby und Gray vorkommen, sind in dieser Arbeit nicht erforderlich, da die real existierenden Flugpläne der AUA, Lufthansa und Swiss in das Modell einbezogen werden und somit die Bögen und Pfade exogen vorgegeben sind. Die Zeitrestriktion ist obsolet, da der Flugplan der drei Airlines für jeden denkbaren Flugtag eine Taktung aufweisen muss, sodass die Flugzeuge taggleich noch vor 24 Uhr im Zielflughafen eintreffen. Ebenso ist eine Zeitrestriktion im Zusammenhang mit dem gleichzeitigen Eintreffen einer Vielzahl von Flugzeugen auf einem Hub, wie dies beim Modellansatz von Kuby und Gray gefordert wird, hier nicht notwendig. Auch müssen im Modell keine Restriktionen bzgl. der Zeiten zum Umladen bei Stopover-Flügen berücksichtigt werden, da in den Flugplandaten der Lufthansa Cargo die Anschlussflüge entsprechend abgestimmt sind, sodass sich hier auf die realen Begebenheiten abstellen lässt und dieser Sachverhalt nicht modelliert werden muss.

Angemerkt sei, dass für die Hub-Funktion der beiden Hub-Flughäfen Frankfurt und München die von Kuby und Gray aufgestellten Grad-/Meilen-Begrenzungsregeln für mögliche Pfade positiv sind, da sich diese beiden Hubs aufgrund ihrer geografischen Lage als Drehkreuz mit Sanduhr-Eigenschaft qualifizieren, wonach sie sich für den Umschlag von Fracht in der Richtung Süd-Nord besonders eignen. Dagegen weisen die Hubs Düsseldorf, Zürich und Wien diese Eigenschaft in dem 3L-Netz nicht auf. Lediglich eine Nordrichtung in das deutsche Netz lässt sich bei Wien und Zürich verzeichnen. Innerhalb ihrer eigenen Netze sind die Flughäfen Wien und Zürich Hinterland-Drehkreuze. Der Düsseldorfer Hub weist keine Sanduhreigenschaft auf, da er aufgrund der Grad-Regel zu weit westlich am Rande von Deutschland liegt.

Reale Pfadbildung anhand des Lufthansa-Cargo-Flugplans

Lufthansa Cargo stellt die gesamten Flugplandaten zum Herunterladen im Internet zur Verfügung. Der Flugplan ist tagesaktuell und umfasst die Lufthansa-Flüge und die der Netzwerk-Partner, der Frachter und der Trucks.[127] Der Download des Flugplans erfolgte am 02.01.2010. Die Excel-Datei wurde dann zuerst nach der Spalte PAXULD gefiltert, wonach nur noch solche Frachttransporte eingeblendet sind, bei denen Frachttransportangebote in Passagiermaschinen angezeigt werden. Ausgeblendet wurden auch die RFS-Angebote.

Dieser Flugplan enthält keine Kapazitäts- oder Produktinformationen, d. h. mit welchen Containern, Paletten sich eine konkrete Strecke konfigurieren lässt bzw. ob loses Frachtgut transportiert werden kann oder nicht. Die Kapazitäten müssen je Flugzeugtyp gesondert ermittelt werden. Des Weiteren geben die Flugplandaten der Lufthansa Cargo keine Auskunft über die Frachtkapazitäten der Flugzeuge, die Distanzen der geflogenen Strecken und die

[127] http://www.lufthansa-cargo.de/content.jsp?path=0,2,19194,91263,94123,94127.

Flugdauer. Diese Datenwerte lassen sich über die Flugpläne im Passagiersektor der Lufthansa gewinnen, um im Anschluss damit die Flugplandaten der Lufthansa Cargo anzureichern. Die Flugplandaten stellt die Lufthansa Cargo zum öffentlichen Download in einem universell lesbaren CSV-Format zur Verfügung, wodurch sie sich in einem eigenen Informationssystem weiterverarbeiten lassen. Die mehr als 16.000 Datensätze des Lufthansa-Cargo-Flugplans bilden den weltweiten Flugbetrieb ab und machen Aussagen zu Flugverbindungen in reinen Frachtmaschinen sowie in Belly-Flugzeugen und geben auch die RFS, die Lufthansa Cargo anbietet, wieder. Die Lufthansa Cargo vermarktet die Belly-Frachtkapazitäten der Belly-Flugzeuge des Lufthansa Passagiersektors. Folgendes Vorgehen wird gewählt.

1. Konsolidierung des Flugplans der Lufthansa Cargo
Zuerst sind alle Flugverbindungen zu filtern, die nicht innerhalb von Deutschland, von Deutschland nach Österreich bzw. von Deutschland in die Schweiz und umgekehrt angeboten werden. Die resultierenden Datensätze sind noch ungeeignet zur Modellberechnung.

2. Anreicherung der Cargo-Flugplandaten mit Flugplandaten der Passagiermaschinen
Der Flugplan der Lufthansa für den Passagiersektor enthält je Flugstrecke Angaben zur Distanz sowie zur Flugzeit. Für jedes Flughafen-Tupel im Flugplan lassen sich die Distanz- und Flugzeitwerte ermitteln. Im Gegensatz zum Lufthansa-Cargo-Flugplan ist der Flugplan für den Passagiersektor nicht in maschinenlesbarer Form verfügbar, sodass die daraus erforderlichen Informationen manuell zusammengestellt werden müssen, um damit die Daten des Cargo-Flugplans anzureichern. Die Tabellen für die Organisation der Daten werden in einer relationalen Datenbank gespeichert.

Die Vorgänge 1 und 2 zur Anreicherung der Daten werden mittels einer Web-basierten Anwendung und einer darauf operierenden Datenbank mit SQL-Auswertung bearbeitet bzw. vorbereitet. Aufgrund der weitgehend maschinellen Verarbeitung der Problemdaten lassen sich die Luftverkehrsstatistiken jederzeit aktualisieren und das Modell neu berechnen.

12.7.4 Stopover- und Feeder-Prinzip

Stopover- und Feeder-Prinzip beim Modell von Kuby und Gray
Bei Kuby und Gray ist Ausgangspunkt der Überlegung, dass zu Beginn einer Route und an den Stopover-Flughäfen eine Anlieferung von Fracht durch kleinere Flugzeuge möglich ist (Feeder). Grundsätzlich stellt somit jeder Flughafen einen Sortier- und Umschlagort für Fracht dar. An einem Umschlagort geht es um die Aufnahme von Fracht von angeflogenen Flugzeugen, die Aufnahme von Fracht, die am Umschlagort (Quellgebiet) eingesammelt wurde, und die Abgabe von Fracht für die Destination des Stopps.

Stopover- und Feeder-Prinzip beim Modell in dieser Arbeit
Im Unterschied zu Kuby und Gray dient bei Belly-Fracht ein Stopover-Flughafen nicht primär zur Anlieferung von Fracht durch kleinere Frachtflugzeuge oder Passagierflugzeuge mit Belly-Fracht. Die Zwischenstopp-Strategie basiert auf der Vorstellung, eine möglichst große Verbindungsvielfalt im Netz herzustellen, d. h. Städte über Transferflüge miteinander zu verbinden, für die es keine Direktflüge gibt. Das Umladen von Fracht an einem Stopover-Flughafen dient einzig diesem Zweck. Zwar ist ein Umladen theoretisch auf jedem Flughafen denkbar, jedoch zeigt sich, dass in den Flugplänen zum 3L-Netz ein Umladen primär auf den Hub-Flughäfen erfolgt. Es gibt praktisch keine Pfade, bei denen Hubs nicht beteiligt wären. Es geht also im Hub nicht darum, die Fracht von einer Vielzahl von angeflogenen Flugzeugen zu bündeln, um sie in größeren Flugzeugen weiter zu transportieren, und die damit einhergehenden Größenvorteile zu erzielen, sondern um die effektive Ausnutzung der Verbindungsflüge.

12.7.5 Annahmen zur DLR-Statistik

Gemäß den Luftfrachtstatistiken der DLR wird nicht von jedem deutschen Flughafen Luftfracht nach Österreich oder in die Schweiz transportiert. Umgekehrt gibt es deutsche Flughä-

fen, von denen gemäß DLR-Statistik Luftfracht transportiert wird, auf diesen Strecken werden aber keine Direktflugverbindungen nach Österreich oder in die Schweiz von den drei besagten Fluggesellschaften angeboten. Inwieweit diese Luftfrachttransporte mit reinen Frachtmaschinen erfolgen, wurde nicht verfolgt. Es wird in dieser Arbeit unterstellt, es werde die gesamte Luftfracht von Deutschland nach Österreich und in die Schweiz in Belly-Flugzeugen transportiert. Weiterhin werden in dieser Arbeit keine Annahmen getroffen, wie sich die Luftfracht innerhalb von Österreich bzw. der Schweiz verteilt.

12.7.6 Untersuchungsgegenstände

Gegenstand dieser Arbeit ist die Integration des nach dem Hub-and-Spoke-Prinzip ausgerichteten Flugnetzwerks einer Übernahmefluggesellschaft in das ebenfalls nach dem Hub-and-Spoke-Prinzip aufgebauten Flugnetzwerks der Erwerbsfluggesellschaft. Der Blick ist dabei gerichtet auf Belly-Fracht. Ausgehend von den Luftfrachtdaten von deutschen Flughäfen nach Österreich und in die Schweiz gemäß der offiziellen Luftfrachtstatistik des Bundesamts für Statistik, die im DLR-Bericht veröffentlicht sind, lässt sich die Luftfrachtnachfrage mit dem Luftfrachtangebot für Flugstrecken mit Belly-Flugzeugen von deutschen Flughäfen nach Österreich und in die Schweiz untersuchen.

1. <u>Szenario</u>
Im ersten Szenario wird der Fall untersucht, dass die Lufthansa ohne Einbeziehung ihrer Tochtergesellschaften Austrian Airlines und Swiss mit Belly-Flugzeugen des Lufthansa-Passagiersektors Belly-Frachtkapazitäten von deutschen Flughäfen nach Österreich und in die Schweiz anbietet. In diesem Kontext ist zu analysieren, ob sich durch das Luftfrachtangebot der Lufthansa die Luftnachfrage decken lässt, womit aus Sicht von Belly-Fracht für die Luftfracht von Deutschland nach Österreich und die Schweiz die Frachtkapazitäten der Austrian Airlines und der Swiss nicht mehr erforderlich wären und sich die Übernahme dieser Fluggesellschaften unter dem Aspekt von Belly-Fracht nicht lohnen würde. Auf die Frage, welche der drei benannten Fluggesellschaften welche Marktanteile an den Frachttransporten innehat, wird nicht eingegangen. Es wird lediglich der hypothetische Fall untersucht, welche potenziellen Möglichkeiten durch das Luftfrachtangebot bestehen.

2. <u>Szenario</u>
Im zweiten Szenario wird der Fall untersucht, wie sich die Angebots- und Nachfragesituation nach Luftfracht von Deutschland nach Österreich bzw. in die Schweiz darstellt, wenn das Belly-Fracht-Flugangebot der Austrian Airlines und der Swiss in die Untersuchung mit einbezogen wird. Die Ergebnisse werden unter dem Gesichtspunkt von Belly-Fracht dahingehend bewertet, ob die Übernahmen der Austrian Airlines bzw. der Swiss lohnenswert sind.

12.7.7 Abschließende Würdigung des Forschungsbeitrags von Kuby und Gray

Das in diesem Kapitel vorgestellte 3L-Modellkonzept wird an das von Kuby und Gray (1993) angelehnt, da sich dessen Grundzüge für die Problemstellung dieser Arbeit eignen. Ähnliche Konzepte sind in der Literatur nicht vorzufinden. Dennoch ist der Artikel nun fast zwei Jahrzehnte alt und die damals getroffenen Annahmen sind heute in einigen Punkten nicht mehr aktuell. In diesem Abschnitt soll deshalb abschließend der Ansatz gewürdigt werden, aber auch aufgezeigt werden, dass sich in manchen Bereichen auch nach Jahrzehnten keine neueren Erkenntnisse ergeben haben.

Der Forschungsbeitrag von Kuby und Gray (1993) sollte in einer Selbstdarstellung der Autoren in erster Linie zu einem größeren Verständnis der Themen und Methoden im Zusammenhang mit dem Design hub-orientierter Netzwerke führen, bei denen die Gestaltung der Flugrouten bei gegebener Netzwerkstruktur im Mittelpunkt steht. Die zu modellierende Problemstellung der Routengestaltung ist omnipräsent und insbesondere aufgrund der Übernahmen von Fluggesellschaften im Zuge der Integration von Flugnetzen von großer Bedeutung. Umso bemerkenswerter ist die Tatsache, dass das Operations Research nur wenige Forscher hervorbringt, die sich der Themenstellung in ihren Arbeiten angenommen haben.

Im Unterschied zu dieser Arbeit, in der mit tatsächlich vorkommenden Flugplandaten gerechnet wird, sind die Ergebnisse der Arbeit von Kuby und Gray explorativer Natur, nicht zuletzt weil die Problemdaten (Frachtangebot und -nachfrage) geschätzt wurden und keine realen Daten zugrunde lagen. Trotz des Datenproblems scheint beim Modell von Kuby und Gray (1993, S. 11) aber mit den Design-Kriterien so präzise gearbeitet worden zu sein, dass es FedEx möglicherweise für sein eigentliches Netzwerk-Design verwenden könnte. Allerdings operierte damals Federal Express mit Mini-Hubs, die im ursprünglichen Modell von Kuby und Gray unberücksichtigt blieben. Kuby und Gray schlagen in ihrer Arbeit als Verbesserung vor, nicht von einem fixen Hub wie Memphis auszugehen, sondern im Vorfeld zur Routengestaltung optimale Hubs zu finden und diese unter dem Gesichtspunkt der Kosten zu bewerten. Würde man diese Idee aufgreifen, dann ist der Modelltyp der Routengestaltung ein Teil eines großen und umfangreichen Netzwerkplanungsproblems. Netzwerkplanung ließe sich dann nach Kuby und Gray (1993, S. 11) in drei separate Teile dekomponieren:

1. Entscheidung, welche Städte durch ein Flugzeug bedient werden sollen und welche durch Bodenverkehre,
2. Lokation der Hubs in einem Netzwerk,
3. Design der Flugzeugrouten.

Für eine sequenzielle Lösung dieser drei Blöcke sollte der Input der ersten Stufe die Frachtvolumina von jeder Stadt und die Bodenverkehrskosten umfassen, während der Output eine Menge von Einsammelgebieten am Boden und ein zentraler Flughafen für jedes Gebiet sein kann. Eine mögliche Methode zur Problemformulierung wäre ein Typ modifizierter p-Median-Probleme (vgl. Hakimi, 1965, Revelle und Swain, 1970), der gleichzeitig als Modellrestriktion die maximale Entfernung (vgl. Khumawala, 1975) und das minimale Frachtvolumen (vgl. Kuby 1989) zu berücksichtigen hätte. Die Modell-Lösung der ersten Stufe könnte als Eingangsparameter der zweiten Stufe des Gesamtmodells dienen. Auf der zweiten Stufe ließe sich ein reines Hub-Location-Modell zur Lokalisierung der optimalen Hubs für die Bedienung der Städte in der ersten Stufe benutzen. Drittens wäre das Hub-Network-Design-Problem zu lösen, um die geringsten Kosten für Feeder- und Stopover-Routen für die Verbindungen der Flughäfen in der Menge der Flughäfen (Ergebnis der ersten Stufe) und der gegebenen Hub-Lokationen (zweite Stufe) zu finden. Kuby und Gray (1993, S. 11) argumentieren, dass ein solches globales Modell mit sequenzieller Dekomposition keine globale Optimalität erwarten lässt. Jedoch erscheint das Vorgehen auch plausibel. Eine interessante Erweiterung dieser Idee könnte die Untersuchung darstellen, wie diese drei dekomponierten Probleme interagieren, und es könnte ein Vergleich der optimalen Lösungen zwischen den vollständig dekomponierten Problemen in drei separaten Modellen und dem globalen Optimum in einem Modell sowie verschiedenen Kombinationen der drei Stufen stattfinden.

Die von Kuby und Gray aufgeworfene Idee ist unter Operations-Research-Gesichtspunkten interessant, in der Praxis, insbesondere im Kontext von Übernahmenetzen, gestaltet sie sich jedoch als praxisfremd und ist auch vom Problemgegenstand her äußerst komplex. Zum einen bedeutet die Einbeziehung von Bodenverkehren in Einsammelgebieten die Modellierung von Verkehrsträgern unterschiedlicher Ebenen. Alleine die Taktung dieser Vorgänge in einem Set-Covering-Modell, das demzufolge resultieren würde, gestaltet sich als dekomponiertes Teilproblem sehr komplex. Bei der Integration von Übernahmenetzen geht es bei der Zielsetzung eines abgestimmten Flugbetriebs in der Regel nicht darum, auf der grünen Wiese neue Hub-Flughäfen zu kreieren, sodass die beiden dekomponierten Teilprobleme 1 und 2 von Kuby und Gray in dieser Fragestellung meist nicht zum Tragen kommen. Vielmehr geht es um das optimale Design der Flugrouten, sodass das aufgestellte Modell für die Berechnung optimaler Flugrouten bereits ausreicht. Freilich kann das Modell als Framework genutzt werden, um andere Optimalitätsbedingungen, wie etwa die RFS-Dienste, im Modell zu integrieren.

13 Länderübergreifende Flugrouten im 3L-Netzwerk

Dieses Kapitel widmet sich ausgehend von den im vorhergehenden Kapitel aufgestellten Szenarien zunächst den Flugrouten im 3L-Netzwerk von Deutschland nach Österreich bzw. in die Schweiz, um die möglichen Flüge für Belly-Frachttransporte aufzuzeigen. Es wird zunächst das Szenario 1 untersucht, ob sich nicht bereits durch die Belly-Frachtkapazitäten der Lufthansa das tatsächliche Luftfrachtaufkommen in den drei Ländern abdecken lässt und für diesen Untersuchungsgegenstand eine Modellbetrachtung infrage kommt. Szenario 2 ist nur dann relevant, wenn im Lufthansa-Flugplan nicht ausreichend Belly-Frachtkapazitäten zur Bedienung der Luftfrachtnachfrage vorhanden sind.

13.1 Luftfrachtaufkommen im 3L-Netzwerk

Amtliche Luftverkehrsstatistik

Die Luftfrachtstatistik, die in dieser Arbeit verwendet wird, stammt aus der DLR-Monatsauswertung der deutschen Luftverkehrsstatistik vom 9.09.2009 und umfasst die Monatswerte für August 2009.[128] In der Tabelle 22 sind alle Flughäfen eingetragen, für die in der DLR-Statistik ein Frachtaufkommen nach Österreich bzw. in die Schweiz ausgewiesen ist. Diese Tabelle ist ein Exzerpt der gesamten DLR-Statistik dar, die auch die Frachtaufkommen zwischen deutschen Flughäfen und anderen europäischen Ländern enthält. Auf eine vollständige Abbildung der Luftverkehrsstatistik wird in dieser Arbeit verzichtet. Ob die DLR-Daten für den Monat August repräsentativ sind (z. B. wegen eines Ferienmonats), wurde nicht geprüft. Auch wurden keine Vergleichsanalysen zu demselben Monat in vergangenen Jahren durchgeführt. Die Daten stellen die jüngsten vom Statistischen Bundesamt veröffentlichten Luftfrachtzahlen zum Zeitpunkt der Bearbeitung dar.

Relevanz der Luftverkehrsstatistik

Die DLR argumentiert, dass die amtliche deutsche Luftverkehrsstatistik, die regelmäßig vom Statischen Bundesamt aufgestellt wird, die älteste und bedeutendste Datenbasis für Studien im Luftverkehrssektor darstellt. Sie resultiert aus einer amtlichen Erhebung der Daten. Die Luftverkehrsstatistik wird unter anderem für die Ermittlung der Nachfrage im Luftverkehr in Deutschland gebraucht. Viele Modelle basieren auf diesen Daten. Die erhobenen Luftverkehrsdaten und damit auch die Luftfrachtdaten werden monatlich veröffentlicht. Der Bericht enthält das Aufkommen in den Bereichen Passagier- und Frachtflüge. Weiterhin wird die Anzahl der von deutschen Flügen absolvierten Starts von Flugzeugen nach Zieldestinationen aufgeschlüsselt. Die Statistik gibt auch die Gesamtaufkommen je Land und Flughafen, aber auch die einzelnen Verkehrsströme zwischen den einzelnen deutschen Flughäfen und von den deutschen Abflughäfen zu Zielgebieten, die aggregiert sind, an. Beispielsweise sind diese Zieldestinationen nach europäischen Ländern oder nach interkontinentalen Zielgebieten eingeteilt. Für diese Arbeit von Bedeutung sind die Zielgebiete Österreich und die Schweiz. Eine vorangestellte Übersicht macht die Veränderungen gegenüber dem Vorjahr ersichtlich.

Die Luftverkehrsstatistik wird bisweilen von intramodalen Wettbewerbern ausgewertet. Die Auswertung soll Aufschluss darüber geben, ob der Transport von Fracht mit Flugzeugen auf bestimmten Strecken durch andere Verkehrsträger potenziell substituierbar ist. Die Deutsche Bahn AG ist einer der großen Nutzer dieser Statistikdaten.

Annahmen zum Belly-Frachtaufkommen

Die Statistikdaten geben keinen Aufschluss darüber, wie die Fracht zwischen Belly-Flugzeugen und reinen Frachtmaschinen aufgeteilt ist. Hierzu werden in dieser Arbeit entsprechende Annahmen getroffen. Für Luftfracht, die von deutschen Flughäfen nach Öster-

[128] Quelle: http://www.dlr.de/fw/Portaldata/42/Resources/dokumente/aktuelles/_Luftverkehrsstatistik_0809.pdf.

reich bzw. in die Schweiz geflogen wird, erfolgt ausschließlich der Einsatz von Belly-Flugzeugen. Auf den Flugstrecken innerhalb von Deutschland wird die Luftfracht sowohl in Belly-Flugzeugen als auch in Frachtmaschinen transportiert. Anhand des in der Luftfrachtstatistik ausgewiesenen Passagieranteils auf den einzelnen Strecken ließe sich die Anzahl der eingesetzten Belly-Flugzeuge berechnen, wenn die eingesetzten Flugzeugtypen und ihre Passagierkapazität bekannt sind. Diese Informationen können dem Lufthansa-Flugplan entnommen werden. Ausgehend davon ließe sich dann für jede Strecke ermitteln, ob die Anzahl der Flugverbindungen in Belly-Flugzeugen und die damit verbundene Belly-Frachtkapazität ausreichen, um das in der angegebenen Luftfrachtstatistik geflogene Frachtaufkommen in Belly-Flugzeugen zu befördern. Sollte die Frachtnachfrage auf den einzelnen Strecken höher ausfallen, als sich mit den Belly-Flugzeugen transportieren lässt, könnten die fehlenden Frachtkapazitäten durch reine Frachtmaschinen abgedeckt werden.

In diesem Modellansatz werden zunächst als Transportmittel nur Belly-Flugzeuge betrachtet. Es soll herausgefunden werden, ob diese ausreichend Kapazität bieten, um die innerdeutsche Luftfrachtnachfrage sowie die von Deutschland nach Österreich bzw. in die Schweiz bestreiten zu können, wodurch ein Einsatz reiner Frachtflugzeugen entbehrlich wäre. Das ist vor dem Hintergrund interessant, da der Einsatz der Belly-Flugzeuge wegen des Passagiertransport unabhängig vom Frachttransport erfolgt.

Betrachtung des Belly-Frachtaufkommens zwischen Deutschland und Österreich
Es interessiert im Besonderen, ob mit dem durch die Übernahme der AUA von der Lufthansa bedienten Luftfrachtaufkommen im integrierten Netz des Lufthansakonzerns betriebswirtschaftliche Ziele wie Economies of Scale, Economies of Density oder Economies of Scope einhergehen. Das heißt, ob das zusätzliche Belly-Frachtaufkommen in Österreich, das für Ziele bestimmt ist, die die Lufthansa bzw. eine ihrer Tochtergesellschaften bedienen, zur Verbesserung der angesprochenen Economies führt. Da bekannt ist, dass im deutsch-österreichischen Luftfrachtverkehr vornehmlich Belly-Flugzeuge zum Einsatz kommen, lässt sich wie folgt vorgehen. Zunächst stehen die Frachttransporte von deutschen Flughäfen nach Österreich ohne Einbezug der AUA im Fokus der Untersuchung, d. h., es wird unterstellt, die Lufthansa wickelt den Frachttransport alleine ab. In einem zweiten Schritt wird der Flugplan der AUA und der Swiss in das Auswertungsszenario hinzugenommen. Diese Daten werden wiederum untersucht und die Ergebnisse interpretiert und mit denen des ersten Szenarios verglichen.

Die nachfolgende Tabelle stellt das Luftfrachtaufkommen von deutschen Städten nach Österreich bzw. in die Schweiz dar.

	BER	HAM	HAJ	DUS	CGN	FRA	STR	NUE	MUC	LEJ
A	11	12	3	15	204	143	3	0	52	206
CH	15	14	11	7	277	176	1	2	8	563
A = Österreich, CH = Schweiz										

Tabelle 22: Luftfrachtaufkommen dt. Flughäfen nach Österreich und in die Schweiz[129]

Die Luftfrachtzahlen der vorstehenden Tabelle sind in der Einheit Tonnen erfasst worden und repräsentieren die Werte aller startenden Flugzeuge für den Monat August 2009, die Fracht transportiert haben. Die Werte werden durch 30 geteilt, um das durchschnittliche tägliche Luftfrachtaufkommen zu ermitteln.

[129] Exzerpt aus der Luftverkehrsstatistik der DLR für August 2009.

Luftverkehrsstatistik

Luftfracht an Bord (bei sämtlichen Starts; in Tonnen)

Flughafenwesen und Luftverkehr

August 2009

Nach Angaben des Stat. Bundesamtes

Startflughafen

Landehafen	BER	HAM	BRE	HAJ	FMO	DUS	CGN	FRA	STR	NUE	MUC	LEJ	DRS	LBC	PAD	DTM	NRN	HHN	SCN	FDH	FKB	ERF	RLG	FMM	ZQW	Summe
BER	0	0	0	0	0	0	15	107	134	0	0	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	93	0	0	0	360
HAM	1	0	0	0	0	0	15	1	154	1	0	40	169	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	381
BRE	0	0	0	0	0	0	0	0	35	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	35
HAJ	0	0	0	0	0	0	0	0	12	0	0	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	23
FMO	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
DUS	8	0	0	0	0	1	0	0	54	0	0	80	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	143
CGN	99	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	536	302	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	937
FRA	63	121	14	4	0	18	0	0	0	0	0	543	551	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.388
STR	24	6	0	0	0	4	0	4	0	0	0	0	319	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	363
NUE	2	2	0	0	0	8	0	19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	23
MUC	22	25	3	1	0	80	639	192	31	0	0	0	261	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.214
LEJ	0	233	0	0	0	3	411	722	478	0	0	269	0	1	0	0	0	362	0	0	0	0	0	0	0	2.479
DRS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7
LBC	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PAD	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
DTM	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
NRN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
HHN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SCN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FDH	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FKB	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15	0	0	16
ERF	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
RLG	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FMM	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ZQW	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
Finnland	5	11	0	0	0	14	0	89	0	0	26	443	0	0	0	0	0	225	0	0	0	0	0	0	0	813
Schweden	4	0	0	0	0	3	1.732	1.048	0	0	12	519	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.318
Norwegen/Island	4	79	0	0	0	2	92	80	0	0	14	350	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	621
Dänemark	3	2	0	3	0	8	0	88	2	0	8	617	0	0	0	0	0	0	0	0	69	0	0	0	0	770
Brit_Insel_London	3	39	1	4	0	17	718	695	4	0	47	869	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.404
Brit_Insel_Rest	1	3	0	1	0	9	2.422	1.149	0	0	7	1.244	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4.836
Niederlande	3	2	0	0	0	1	0	633	1	0	7	315	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	962
Belgien/Luxemburg	103	1	0	0	0	0	0	56	0	324	130	1.053	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	1.672
Frankreich_Paris	10	50	0	19	0	6	1.459	1.650	72	0	80	693	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4.039
Frankreich_Rest	0	0	0	0	0	1	976	53	0	0	40	680	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.750
Spanien_Kontinent	6	7	0	0	0	44	1.381	1.102	0	0	114	1.386	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4.020
Spanien_Balearen	8	11	1	1	0	97	2	76	2	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	158
Spanien_Kanaren	4	6	0	0	0	75	0	39	4	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	130
Portugal	0	13	0	0	0	6	525	359	1	0	32	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	936
Schweiz	15	44	0	11	0	7	377	176	1	2	8	563	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.104
Österreich	11	12	0	3	0	15	704	148	1	0	62	206	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.154
Italien/Malta	13	3	0	0	0	51	1.217	1.394	0	0	48	1.331	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	4.067
Griechenland/Zypern	3	6	0	10	0	39	0	809	6	0	557	481	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.911
Türkei	17	111	0	22	0	89	995	1.213	39	13	140	774	0	0	0	0	0	2043	0	0	0	0	0	0	0	5.456
Baltikum_Lett_Lit_Esti	2	7	0	0	0	4	0	37	0	0	1	95	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	146
GUS_West	1	0	0	0	0	1	473	653	0	0	15	557	0	0	0	0	0	44	0	0	0	0	0	0	86	1.830
GUS_Rußland_West	22	39	0	13	0	47	0	3.679	0	85	32	333	0	0	0	0	0	2127	0	0	0	0	0	0	0	6.377
Polen	58	2	0	0	0	0	948	66	0	0	3	305	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1.383
Tschech/Slowak/Sloven	1	5	0	1	0	6	159	129	2	0	37	436	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	776
Ungarn	0	1	0	1	0	0	0	85	1	98	15	288	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	489
Kroatien	0	0	0	0	0	0	72	29	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	102
Rumänien/Bulgarien	0	0	0	0	0	2	48	72	2	12	58	0	0	0	0	0	0	9	0	0	0	2	0	0	0	245
Balkan_Rest	0	0	0	0	0	1	0	38	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	41
Nordafrika_Marokko	0	0	0	0	0	7	0	42	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	49
Nordafrika_Tunesien	0	5	0	0	0	10	0	35	0	0	5	0	0	0	0	0	0	16	0	0	0	0	0	0	0	55
Nordafrika_Ägypten	1	0	0	0	0	9	0	778	0	0	3	0	0	0	0	0	0	385	0	0	0	0	0	0	0	1.176
Nordafrika_Libyen/Algerien	0	0	0	0	0	15	0	60	0	0	40	55	0	0	0	0	0	16	0	0	0	0	0	0	0	186
West/Zentralafrika	0	0	0	0	0	1	0	3.281	0	0	0	98	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.380
Ostafrika	0	0	0	0	0	0	0	7.651	0	0	44	0	0	0	0	0	0	192	0	0	0	0	0	0	0	7.879
Südafrika	0	0	0	0	0	0	0	1.011	0	0	307	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.318
Nordamerika_Kana/Alaska	0	0	0	0	0	180	0	2.646	0	0	269	177	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.262
Nordamerika_Mitte/Ostküste	56	0	0	0	0	1.105	4.625	12.484	100	0	1.986	541	0	0	0	0	0	449	0	0	0	0	0	0	0	21.346
Nordamerika_Westküste	0	0	0	0	0	43	0	1.799	0	0	363	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.205
Nordamerika_Mexiko	0	0	0	0	0	15	0	331	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	347
Südamerika_Karibik	0	0	0	0	0	20	0	141	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	164
Südamerika_Festland	0	0	0	0	0	9	0	2.283	0	0	302	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.604
GUS_Ost	0	0	0	1	0	5	0	1.583	95	0	1	424	0	0	0	0	0	691	0	0	0	0	0	0	22	2.822
GUS_Rußland_Ost	0	0	0	0	0	0	0	1.914	0	0	3	0	0	0	0	0	0	426	0	0	0	0	0	0	0	2.343
Asien_Nahost	11	560	0	44	0	659	1.350	11.227	0	58	2.125	2.533	0	0	0	0	0	2125	0	0	0	0	0	0	0	20.692
Asien_Indischer_Subkont	0	0	0	0	0	15	233	5.225	0	0	202	619	0	0	0	0	0	1659	0	0	0	0	0	0	99	8.052
Asien_Japan/Korea	0	0	0	0	0	0	0	8.054	0	0	625	263	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8.942
Asien_China	265	0	0	0	0	0	0	7.028	0	0	799	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8.092
Asien_ubr._Fernost	45	0	0	0	0	124	949	4.097	0	0	527	1.140	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7.282
Australien/Ozeanien	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Summe Deutschland	220	389	17	5	0	145	1.158	1.284	510	0	1.464	1.702	5	0	0	0	0	368	0	0	0	108	0	0	0	7.375
Summe EU (27)	238	181	2	43	0	398	12.291	9.697	100	434	1.326	10.941	7	0	0	0	0	235	0	0	79	7	0	0	86	35.979
Summe Europa	297	454	2	89	0	545	14.200	15.565	140	534	1.538	13.518	7	0	0	0	0	4.449	0	0	79	7	0	0	86	51.510
Summe Interkont	378	565	0	45	0	2.227	7.157	65.571	195	58	7.973	5.850	0	0	0	0	0	5.943	0	0	0	0	0	0	121	96.083
Gesamt	886	1.408	19	139	0	2.917	22.516	82.420	845	692	10.975	21.070	12	0	0	0	0	10.760	0	0	79	116	0	0	207	154.968

Tabelle 23: Luftfrachtwerte von D nach D und von D nach A bzw. CH (08/2009)

Verteilung der Luftfracht innerhalb Österreichs bzw. der Schweiz
In der DLR-Statistik erfolgt keine Aufteilung der Luftfracht innerhalb Österreichs bzw. der Schweiz. In dieser Arbeit werden hierzu auch keine Annahmen getroffen, d. h., es wird pauschal angenommen, dass die Luftfracht aus Deutschland in Österreich bzw. der Schweiz ankommt, ungeachtet der tatsächlichen Ziele. Die nachfolgende Tabelle zeigt die originale Statistik-Auswertung der DLR für Deutschland, Europa und den Interkontinentalverkehr auf.[130] Auf die Statistik wird nicht näher eingegangen.

Passagierflüge
Betrachtet man nur die von der Lufthansa angebotenen Flüge von deutschen Flughäfen nach Österreich bzw. in die Schweiz[131], dann werden gemäß der DLR-Statistik auf diesen Flugrouten für August 2009 die in der nachfolgenden Tabelle angegebenen Flughäufigkeiten ausgewiesen.

	BER	HAM	HAJ	DUS	CGN	FRA	STR	NUE	MUC	LEJ
A	318	240	170	386	262	837	248	54	555	73
CH	364	303	174	428	82	650	175	118	577	47

Tabelle 24: Passagierflüge von deutschen Flughäfen nach Österreich/in die Schweiz[132]

13.2 Belly-Frachtkapazitäten

In Abschnitt 2.15 erfolgt die Ermittlung der Frachtkapazitäten der Belly-Flugzeuge für jeden im 3L-Netz zum Einsatz kommenden Flugzeugtyp aus öffentlichen Quellen. Gemäß den Angaben werden Durchschnittswerte angenommen, d. h., bei jedem Flugzeugtyp wird bei einem angegebenen Durchschnittsbereich (z. B. 1 bis 1,5 Tonnen) der Mittelwert (z. B. 0,75 Tonnen) angesetzt.

Flugzeugtyp	Durchschnittliches Ladegewicht in t
Airbus 319-100	1,5
Airbus 320-200	1,75
Airbus 321-100	1,75
Airbus 330-300	24,0
Airbus 340-200	20,0
Airbus 340-300	23,0
Airbus 340-600	22,0
Boeing 737-300/500	1,75
Boeing 757-200/300	4,0
Boeing 777-200	22,6
Avro RJ 85	0,1
Canadair CRJ 200	0,1

Tabelle 25: Durchschnittliches Ladegewicht auf Belly-Flugzeugen

Für die nachfolgenden Flugzeugtypen ließen sich die Belly-Frachtkapazitäten nicht ermitteln. Da der Flugzeugtyp dem der Avro RJ 85 bzw. Canadair CRJ 200 ähnelt, wurde als durchschnittliches Ladegewicht für diese Flugzeugtypen 0,1 Tonnen angesetzt:

- DeHavillandCanadaDHC-8Dash8-400,
- AvroRJ85Avroliner,
- EmbraerERJ195,
- Canadair CRJ 700, 900,
- Aerospatiale/AleniaATR72.

[130] Quelle: (DLR, 2009), http://www.dlr.de/fw/Portaldata/42/Resources/dokumente/aktuelles/_Luftverkehrsstatistik_0809.pdf.
[131] Gemäß dem Winterflugplan 2009/2010.
[132] Exzerpt aus der Luftverkehrsstatistik der DLR für August 2009.

Mithilfe dieser Ladegewichte der Belly-Flugzeuge erfolgt die Analyse der Flugrouten hinsichtlich der Belly-Frachtkapazität.

13.3 Flugverbindungen der Lufthansa im 3L-Netzwerk

Szenario 1:
Im Szenario 1 werden in einem ersten Schritt sämtliche Direktflüge von den deutschen Flughäfen nach Österreich bzw. in die Schweiz ermittelt, für die es gemäß Tabelle 22 Luftfrachtaufkommen gibt.

1. Direktflüge von deutschen Flughäfen zu Flughäfen in Österreich/der Schweiz
Eine Auswertung des Flugplans der Lufthansa Cargo, die die Belly-Frachtkapazitäten der Belly-Flugzeuge der Lufthansa vermarktet, ergibt folgende Direktflugverbindungen.

Abflug-land	Ziel-land	Flugge-sellschaft	Flug-nummer	Abflug-hafen	Ziel-flug-hafen	Flugzeugtyp	Mei-len	Belly-Kapazität in t
DE	AT	LH	LH3570	DUS	VIE	Boeing737-500pax	488	1,75
DE	AT	LH	LH3574	DUS	VIE	CanadairRegionalJet200	488	0,1
DE	AT	LH	LH3576	DUS	VIE	CanadairRegionalJet700	488	0,1
DE	AT	LH	LH3578	DUS	VIE	Boeing737-500pax	488	1,75
DE	CH	LH	LH3700	DUS	GVA	CanadairRegionalJet700	351	0,1
DE	CH	LH	LH3704	DUS	GVA	CanadairRegionalJet200	351	0,1
DE	CH	LH	LH3706	DUS	GVA	CanadairRegionalJet700	351	0,1
DE	CH	LH	LH3760	DUS	ZRH	Boeing737-500pax	277	1,75
DE	CH	LH	LH3766	DUS	ZRH	CanadairRegionalJet700	277	0,1
DE	CH	LH	LH3768	DUS	ZRH	CanadairRegionalJet200	277	0,1
DE	CH	LH	LH3770	DUS	ZRH	Boeing737-500pax	277	1,75
DE	CH	LH	LH3832	DUS	BSL	CanadairRegionalJet900	247	0,1
DE	CH	LH	LH3834	DUS	BSL	CanadairRegionalJet900	247	0,1
DE	AT	LH	LH3524	FRA	LNZ	AvroRJ85Avroliner	282	0,1
DE	AT	LH	LH3526	FRA	LNZ	CanadairRegionalJet700	282	0,1
DE	AT	LH	LH3528	FRA	LNZ	AvroRJ85Avroliner	282	0,1
DE	AT	LH	LH3530	FRA	VIE	AirbusA320-100/200	385	1,75
DE	AT	LH	LH3534	FRA	VIE	AirbusA321-100/200	385	1,75
DE	AT	LH	LH3536	FRA	VIE	Boeing737-300pax	385	1,75
DE	AT	LH	LH3538	FRA	VIE	Boeing737-300pax	385	1,75
DE	AT	LH	LH3542	FRA	VIE	AirbusA320-100/200	385	1,75
DE	AT	LH	LH3630	FRA	GRZ	AvroRJ85Avroliner	378	0,1
DE	AT	LH	LH3632	FRA	GRZ	AvroRJ85Avroliner	378	0,1
DE	AT	LH	LH3634	FRA	GRZ	AvroRJ85Avroliner	378	0,1
DE	AT	LH	LH3636	FRA	GRZ	AvroRJ85Avroliner	378	0,1
DE	CH	LH	LH3660	FRA	GVA	Boeing737-300pax	287	1,75
DE	CH	LH	LH3662	FRA	GVA	Boeing737-300pax	287	1,75
DE	CH	LH	LH3664	FRA	GVA	Boeing737-500pax	287	1,75
DE	CH	LH	LH3666	FRA	GVA	Boeing737-500pax	287	1,75
DE	CH	LH	LH3668	FRA	GVA	Boeing737-300pax	287	1,75
DE	CH	LH	LH3670	FRA	GVA	AvroRJ85Avroliner	287	0,1
DE	CH	LH	LH3672	FRA	GVA	Boeing737-500pax	287	1,75
DE	CH	LH	LH3674	FRA	GVA	Boeing737-300pax	287	1,75
DE	CH	LH	LH3720	FRA	ZRH	Boeing737-300pax	477	1,75
DE	CH	LH	LH3722	FRA	ZRH	Boeing737-500pax	477	1,75
DE	CH	LH	LH3726	FRA	ZRH	Boeing737-300pax	477	1,75
DE	CH	LH	LH3728	FRA	ZRH	Boeing737-500pax	477	1,75

Abflug-land	Ziel-land	Flugge-sellschaft	Flug-nummer	Abflug-hafen	Ziel-flug-hafen	Flugzeugtyp	Mei-len	Belly-Kapazität in t
DE	CH	LH	LH3732	FRA	ZRH	Boeing737-300pax	477	1,75
DE	CH	LH	LH3734	FRA	ZRH	Boeing737-300pax	477	1,75
DE	CH	LH	LH3810	FRA	BSL	CanadairRegionalJet700	175	0,1
DE	CH	LH	LH3812	FRA	BSL	CanadairRegionalJet700	175	0,1
DE	CH	LH	LH3814	FRA	BSL	CanadairRegionalJet200	175	0,1
DE	CH	LH	LH3816	FRA	BSL	CanadairRegionalJet700	175	0,1
DE	AT	LH	LH3590	HAM	VIE	CanadairRegionalJet700	478	0,1
DE	AT	LH	LH3590	HAM	VIE	Boeing737-500pax	478	1,75
DE	AT	LH	LH3592	HAM	VIE	CanadairRegionalJet700	478	0,1
DE	AT	LH	LH3594	HAM	VIE	CanadairRegionalJet700	478	0,1
DE	CH	LH	LH3712	HAM	GVA	CanadairRegionalJet200	539	0,1
DE	CH	LH	LH3714	HAM	GVA	CanadairRegionalJet200	539	0,1
DE	CH	LH	LH3790	HAM	ZRH	Boeing737-500pax	432	1,75
DE	CH	LH	LH3794	HAM	ZRH	Boeing737-500pax	432	1,75
DE	CH	LH	LH3796	HAM	ZRH	Boeing737-500pax	432	1,75
DE	AT	LH	LH3546	MUC	LNZ	Aerospatiale/AleniaATR72	195	0,1
DE	AT	LH	LH3548	MUC	LNZ	DeHavillandCanadaDHC-8Dash8-400	195	0,1
DE	AT	LH	LH3550	MUC	VIE	EmbraerERJ195	220	0,1
DE	AT	LH	LH3552	MUC	VIE	CanadairRegionalJet700	220	0,1
DE	AT	LH	LH3554	MUC	VIE	AirbusA319	220	1,5
DE	AT	LH	LH3558	MUC	VIE	EmbraerERJ195	220	0,1
DE	AT	LH	LH3560	MUC	VIE	EmbraerERJ195	220	0,1
DE	AT	LH	LH3562	MUC	KLU	Aerospatiale/AleniaATR72	168	0,1
DE	AT	LH	LH3564	MUC	KLU	Aerospatiale/AleniaATR72	168	0,1
DE	AT	LH	LH3566	MUC	KLU	Aerospatiale/AleniaATR72	168	0,1
DE	AT	LH	LH3640	MUC	GRZ	DeHavillandCanadaDHC-Dash8-400	193	0,1
DE	AT	LH	LH3642	MUC	GRZ	CanadairRegionalJet900	193	0,1
DE	AT	LH	LH3644	MUC	GRZ	CanadairRegionalJet700	193	0,1
DE	AT	LH	LH3646	MUC	GRZ	CanadairRegionalJet700	193	0,1
DE	AT	LH	LH3646	MUC	GRZ	CanadairRegionalJet700	193	0,1
DE	CH	LH	LH3650	MUC	BRN	DeHavillandCanadaDHC-8Dash8-400	222	0,1
DE	CH	LH	LH3654	MUC	BRN	DeHavillandCanadaDHC-8Dash8-400	222	0,1
DE	CH	LH	LH3680	MUC	GVA	AvroRJ85Avroliner	305	0,1
DE	CH	LH	LH3684	MUC	GVA	EmbraerERJ195	305	0,1
DE	CH	LH	LH3688	MUC	GVA	CanadairRegionalJet900	305	0,1
DE	CH	LH	LH3690	MUC	GVA	AirbusA319	305	1,5
DE	CH	LH	LH3692	MUC	GVA	CanadairRegionalJet900	305	0,1
DE	CH	LH	LH3694	MUC	GVA	CanadairRegionalJet900	305	0,1
DE	CH	LH	LH3738	MUC	ZRH	EmbraerERJ195	163	0,1
DE	CH	LH	LH3740	MUC	ZRH	EmbraerERJ195	163	0,1
DE	CH	LH	LH3742	MUC	ZRH	AvroRJ85Avroliner	163	0,1
DE	CH	LH	LH3744	MUC	ZRH	CanadairRegionalJet900	163	0,1
DE	CH	LH	LH3750	MUC	ZRH	CanadairRegionalJet900	163	0,1
DE	CH	LH	LH3820	MUC	BSL	CanadairRegionalJet700	205	0,1
DE	CH	LH	LH3822	MUC	BSL	DeHavillandCanadaDHC-8Dash8-400	205	0,1
DE	CH	LH	LH3824	MUC	BSL	DeHavillandCanadaDHC-8Dash8-400	205	0,1
DE	CH	LH	LH3828	MUC	BSL	CanadairRegionalJet700	205	0,1
DE	CH	LH	LH3830	MUC	BSL	DeHavillandCanadaDHC-8Dash8-400	205	0,1
DE	AT	LH	LH3600	STR	VIE	CanadairRegionalJet700	338	0,1
DE	AT	LH	LH3604	STR	VIE	CanadairRegionalJet200	338	0,1
DE	AT	LH	LH3606	STR	VIE	CanadairRegionalJet700	338	0,1

Abflug-land	Ziel-land	Flugge-sellschaft	Flug-nummer	Abflug-hafen	Ziel-flug-hafen	Flugzeugtyp	Mei-len	Belly-Kapazität in t
DE	AT	LH	LH3610	TXL	VIE	CanadairRegionalJet900	332	0,1
DE	AT	LH	LH3614	TXL	VIE	CanadairRegionalJet700	332	0,1
DE	AT	LH	LH3616	TXL	VIE	CanadairRegionalJet700	332	0,1
DE 0 Deutschland, AT = Österreich, CH = Schweiz, LH = Lufthansa								

Tabelle 26: Direktflugverbindungen der Lufthansa von D nach A und CH

Die Tabelle enthält das Abflugland und das Zielland. Die Flugnummern sind diejenigen, die die Lufthansa auf den jeweiligen Flügen verwendet. Ziel- und Abflughafen werden mit dem IATA-Flughafenkürzel angegeben. In der Spalte Flugzeugtyp wird der für die betreffende Strecke eingesetzte Flugzeugtyp aufgeführt. Die Spalte Meilen enthält die Flugstreckendistanz und die Spalte Belly-Kapazität listet die durchschnittliche Luftfrachtkapazität in Abhängigkeit vom Flugzeugtyp, der auf der Flugstrecke eingesetzt wird, in der Einheit Tonnen auf. Hierbei ist der Gepäckanteil bereits abgezogen.

Anhand der Tabelle lässt sich aufzeigen, dass es einerseits gemäß der DLR-Statistik von bestimmten deutschen Städten nach Österreich oder in die Schweiz Frachtaufkommen gibt, aber bei der Lufthansa Cargo von diesen deutschen Standorten keine Flugverbindungen in diese Länder angeboten werden. Andererseits gibt es Flugverbindungen von deutschen Städten nach Österreich bzw. in die Schweiz, bei denen gemäß DLR-Statistik keine Luftfrachtaufkommen bestehen. Die Daten wurden aus der eigens für diese Arbeit aufgebauten Datenbank gewonnen, welche die relevanten Flugplandaten der Lufthansa enthält. Die Datenbank enthält auch die Roadfeeder-Services der Lufthansa.

Die Daten der vorstehenden Tabelle sind dem Winterflugplan 2009/2010 der Lufthansa Cargo für die Passagierverbindungen, auf denen Belly-Fracht von der Cargo-Gesellschaft angeboten wird, entnommen worden. Die Tabelle enthält die relevanten Flugplandaten für den Flugtag Dienstag. Der Flugplan ist für die Lufthansa Cargo maßgeblich für die Möglichkeit der Vermarktung von Belly-Frachtkapazitäten. Er enthält keine Anschlussflüge und macht keine Angaben, welche Container und Paletten sich in den Belly-Flugzeugen transportieren lassen. Es wird deshalb dahingehend keine Differenzierung vorgenommen, sondern die durchschnittliche Belly-Frachtkapazität der Flugzeugtypen betrachtet.

Strecken von Österreich nach Deutschland bzw. von der Schweiz nach Deutschland bleiben unberücksichtigt, da Frachtdaten auf diesen Flugverbindungen in der DLR-Statistik nicht ausgewertet werden und deshalb für diese Luftfrachtrichtungen kein offizielles Zahlenmaterial verfügbar ist.

In der nachfolgenden Tabelle sind sämtliche Flugverbindungen von den deutschen Flughäfen nach Österreich und in die Schweiz aufgeführt, die die Lufthansa Cargo in ihrem Flugplan anbietet. Es handelt sich dabei um die Flugverbindungen der Schwestergesellschaft des Lufthansa-Passagierbereichs. Anhand der täglichen Frequenzen je Flugstrecke sowie der eingesetzten Flugzeugtypen lässt sich für einen dedizierten Tag die tägliche Belly-Frachtkapazität für jede Flugstrecke berechnen.

Konsolidierung des Flugplans der Lufthansa

Die nachfolgende Tabelle listet die nach Abflugort in Deutschland konsolidierten Flugverbindungen der Lufthansa in Belly-Flugzeugen nach Österreich bzw. in die Schweiz auf. Die Flugplandaten enthalten die Flugverbindungen des Winterflugplans für den Flugtag Dienstag, für den die maximalen Flugfrequenzen je Flugstrecke und die gesamte Belly-Kapazität in der Einheit Tonnen angegeben sind. Die Nachfragewerte nach Luftfracht gemäß der DLR-Statistik beziehen sich auf einen Tageswert des betreffenden Auswertungsmonats je Zielland A bzw. CH. Zur besseren Veranschaulichung ist auch die Distanz der einzelnen Flugstrecken in der Tabelle aufgenommen worden.

Flugrelation	Flugge-sellschaft	Tägliche Flugfre-quenz	Belly-Kapazität in Tonnen[133]	Nachfrage gemäß DLR	Distanz in Meilen
Hamburg (HAM)					
(HAM, ZRH)	LH	3	5,25	0,466	432
(HAM, GVA)	LH	2	0,2		539
(HAM, VIE)	LH	4	2,05	0,4	478
Berlin (TXL)					
(TXL, VIE)	LH	6	0,6	0,366	332
München (MUC)					
(MUC, ZRH)	LH	5	0,5	0,266	163
(MUC, GVA)	LH	2	6		305
(MUC, BRN)	LH	2	0,2		222
(MUC, BSL)	LH	5	0,5		205
(MUC, LNZ)	LH	2	0,2	1,733	195
(MUC, GRZ)	LH	5	0,5		193
(MUC, VIE)	LH	4	1,8		220
(MUC, KLU)	LH	3	0,3		168
Stuttgart (STR					
(STR, VIE)	LH	3	0,3	0,1	338
Frankfurt (FRA)					
(FRA, BSL)	LH	4	0,4	5,866	175
(FRA, GVA)	LH	8	12,35		287
(FRA, ZRH)	LH	6	10,5		385
(FRA, GRZ)	LH	4	0,4	4,766	378
(FRA, VIE)	LH	5	8,75		385
(FRA, LNZ)	LH	3	0,3		282
Düsseldorf (DUS)					
(DUS, VIE)	LH	4	3,7	0,5	488
(DUS, ZRH)	LH	4	3,7	0,233	277
(DUS, GVA)	LH	3	0,3		351
(DUS, BSL)	LH	2	0,2		247

Tabelle 27: Flugangebot, Frequenzen, Flugzeugtyp, Kapazität und Nachfrage bei LH

Obgleich in der DLR-Statistik für die folgenden Abflughäfen in Deutschland Luftfracht wie folgt ausgewiesen ist, sieht der Lufthansa-Flugplan von diesen Städten aus keine Direktverbindungen nach Österreich bzw. in die Schweiz vor.

Deutscher Flughafen	Direktflugverbindung nach	
	Österreich	Schweiz
HAJ	Nein	Nein
TXL	Ja	Nein
LEJ	Nein	Nein
NUE	Nein	Nein
STR	Ja	Nein
CGN	Nein	Nein

Tabelle 28: Keine Direktflugverbindungen im Lufthansa-Flugplan

Schlussfolgerungen bezogen auf den Flugplan

Anhand des Streckennetzes lässt sich erkennen, dass die Hub-Flughäfen Frankfurt und München die meisten Flugrelationen nach Österreich bzw. in die Schweiz aufweisen, gefolgt von Düsseldorf. Es lässt sich somit eine Routendominanz nach Österreich und in die Schweiz auf den Hub-Flughäfen, so wie dies in Kapitel 8 aufgezeigt wurde, bei der Lufthansa feststellen. Weiterhin wird anhand des Flugplans ersichtlich, dass die Lufthansa von Hannover, Berlin, Leipzig, Nürnberg, Stuttgart und Köln keine Direktflugverbindungen in die

[133] In dieser Spalte ist die tägliche Frachtkapazität auf der Flugrelation angegeben, d. h. Kapazität je Flugzeugtyp x Frequenz

Schweiz anbietet und für Hannover darüber hinaus auch keine Nonstop-Verbindung nach Österreich in ihrem Flugplan vorsieht, obgleich gemäß DLR-Statistik von diesen Flughäfen Luftfrachttransporte nach Österreich bzw. in die Schweiz erfolgen. Insbesondere auf den Flughäfen Leipzig und Köln/Bonn, bei denen die Luftfrachtnachfrage gemäß DLR sehr groß ausfällt, ist dies augenscheinlich. Inwiefern hier Luftfrachttransporte in reinen Frachtmaschinen durchgeführt werden, wurde nicht untersucht.

Vergleich zwischen Luftfrachtangebot und -nachfrage
Im Weiteren wird ein Vergleich vorgenommen, wie sich die Angebots- und Nachfragesituation der Luftfracht verhält, um daraus Schlüsse zu ziehen, wie sich die Situation für die Lufthansa darstellt. Hierzu zeigt die folgende Tabelle konsolidiert die Angebots- und Nachfragesituation von Luftfracht von deutschen Flughäfen nach Österreich bzw. in die Schweiz auf. Das Angebot enthält nur die Belly-Frachtkapazitäten der Lufthansa. Die Nachfrage entspricht der von der DLR-Statistik. Die Angebots-/Nachfragerelation bezieht sich auf einen Dienstag, d. h., es wurde das Flugangebot des Winterflugplans der Lufthansa 2009/2010 herangezogen und für einen Dienstag die Flugdaten ermittelt. Die Nachfragewerte wurden durch dreißig geteilt, um einen durchschnittlichen Tageswert zu erhalten (Annahme, dass der Betrachtungsmonat 30 Tage umfasst).

Deutscher Flughafen	Österreich		Schweiz	
	Angebot (t)	Nachfrage (t)	Angebot (t)	Nachfrage (t)
HAM	2,05	0,4	5,45	0,466
HAJ	0	0,1	0	0,366
TXL	0,6	0,366	0	0,5
LEJ	0	6,866	0	18,766
NUE	0	0	0	0,0066
MUC	2,8	1,733	7,2	0,266
STR	0,3	0,1	0	0,033
FRA	9,45	4,766	23,25	5,866
DUS	3,7	0,5	4,2	0,233
CGN	0	6,8	0	9,233

Tabelle 29: Gegenüberstellung des Frachtangebots und der -nachfrage

Schlussfolgerungen bezogen auf die Luftfrachtangebots- und -nachfragesituation
Anhand der vorstehenden Tabelle lässt sich schlussfolgern, dass die Luftfrachtnachfrage auf den von der Lufthansa angebotenen Direktflugverbindungen ausreichend ist, um die gemäß der DLR-Statistik ausgewiesenen tatsächlichen Luftfrachtraten alleine durch die Lufthansa erbringen zu können. Für diese Flugstrecken bräuchte die Lufthansa auf Strecken der AUA bzw. Swiss nicht zurückzugreifen, da bereits die Lufthansa mit ihrem Belly-Frachtangebot Überkapazitäten aufweist. Bei der Übernahme der AUA bzw. der Swiss muss unter dem Gesichtspunkt von Belly-Fracht die Konsolidierung der Flugbetriebe auf diesen Strecken erfolgen, da sonst weitere Belly-Frachtkapazitäten vorhanden wären, denen keine zusätzliche Luftfrachtnachfrage gegenübersteht. Anders verhält es sich hingegen bei den Strecken, auf denen DLR-Frachtnachfrage vorherrscht, die Lufthansa jedoch keine Direktflüge anbietet. Dieser Sachverhalt soll nachfolgend näher untersucht werden.

2. Auswahl von möglichen Flugrouten (Stopover-Flüge)
Es müssen durch Zwischenstopps geeignete Flugrouten aufgestellt werden. Hierzu sind mögliche Transferflüge aus dem Lufthansa-Flugplan zu selektieren und es gilt zu berücksichtigen, dass bei Einbezug von Direktflügen in die Pfade, auf denen bereits originäre Luftfrachtnachfrage vorherrscht, nur dann eine Umladung möglich ist, wenn nach Abzug des Originär-Aufkommens noch ausreichend Kapazität auf den Flugzeugen der Direktflugverbindung für das Transferaufkommen vorhanden ist. Bei der Bildung von Routen ist zu beachten, dass auf den Flughäfen Frankfurt und München große Kapazitäten für Belly-Fracht bereitgehalten werden, weshalb sich beide Flughäfen für einen Stopover eignen. In einem ersten Schritt sind demnach mögliche Verbindungen von den besagten deutschen Flughäfen nach

Frankfurt bzw. nach München festzulegen und anschließend geeignete Anschlussflüge von den beiden deutschen Hub-Flughäfen zu österreichischen bzw. schweizerischen Flughäfen zu identifizieren. Die nachfolgende Tabelle zeigt für die betroffenen deutschen Flughäfen die Angebots- und Nachfragesituation von Fracht in die Zielländer Österreich und die Schweiz auf.

Deutscher Flughafen	Österreich		Schweiz	
	Angebot (t)	Nachfrage (t)	Angebot (t)	Nachfrage (t)
HAJ	0	0,1	0	0,366
TXL	0	0,366	0	0,5
LEJ	0	6,866	0	18,766
NUE	0	0	0	0,0066
STR	0,3	0,1	0	0,033
CGN	0	6,8	0	9,233

Tabelle 30: Flughäfen, für die Stopover-Flüge nach A bzw. CH notwendig sind

Es werden nun für einen Dienstag im Flugplan mögliche Transferflüge für die Flughäfen gemäß vorstehender Tabelle ermittelt. Bei der Flugroutenbildung wird wie folgt vorgegangen. Da Österreich und die Schweiz südlich von Deutschland liegen und die Hubs Frankfurt und München die Sanduhreigenschaft in diese Richtung aufweisen, muss der Umsteigeflughafen bei der Routenbildung stets in südlicher Richtung positioniert sein, um Umwege zu vermeiden. Demnach würden sich folgende potenzielle Flugstrecken mit einem Zwischenstopp in Frankfurt bzw. München ergeben:

(HAJ, FRA), (TXL, FRA), (LEJ, MUC), (NUE, MUC), (STR, MUC) und (CGN, MUC).

Für diese Verbindungen wird von der Lufthansa folgendes Flugangebot unterbreitet:

Abflug-land	Ziel-land	Fluggesell-schaft	Flug-nummer	Ab-flug-hafen	Ziel-flug-hafen	Flugzeugtyp	Mei-len	Belly-Kapazi-tät in t
DE	DE	LH	LH171	TXL	FRA	AirbusA321-100/200	269	1,75
DE	DE	LH	LH173	TXL	FRA	AirbusA321-100/200	269	1,75
DE	DE	LH	LH177	TXL	FRA	AirbusA320-100/200	269	1,75
DE	DE	LH	LH177	TXL	FRA	AirbusA321-100/200	269	1,75
DE	DE	LH	LH179	TXL	FRA	AirbusA321-100/200	269	1,75
DE	DE	LH	LH181	TXL	FRA	AirbusA321-100/200	269	1,75
DE	DE	LH	LH183	TXL	FRA	AirbusA321-100/200	269	1,75
DE	DE	LH	LH185	TXL	FRA	AirbusA321-100/200	269	1,75
DE	DE	LH	LH187	TXL	FRA	AirbusA321-100/200	269	1,75
DE	DE	LH	LH189	TXL	FRA	AirbusA321-100/200	269	1,75
DE	DE	LH	LH193	TXL	FRA	AirbusA321-100/200	269	1,75
DE	DE	LH	LH195	TXL	FRA	AirbusA321-100/200	269	1,75
DE	DE	LH	LH197	TXL	FRA	AirbusA321-100/200	269	1,75
DE	DE	LH	LH199	TXL	FRA	AirbusA321-100/200	269	1,75
DE	DE	LH	LH203	TXL	FRA	AirbusA320-100/200	269	1,75
DE	DE	LH	LH205	TXL	FRA	AirbusA321-100/200	269	1,75
DE	DE	LH	LH207	TXL	FRA	AirbusA321-100/200	269	1,75
DE	DE	LH	LH1001	HAJ	FRA	AvroRJ85Avroliner	175	0,1
DE	DE	LH	LH1003	HAJ	FRA	Boeing737-300pax	175	1,75
DE	DE	LH	LH1005	HAJ	FRA	Boeing737-300pax	175	1,75
DE	DE	LH	LH1007	HAJ	FRA	AirbusA320-100/200	175	1,75
DE	DE	LH	LH1011	HAJ	FRA	AvroRJ85Avroliner	175	0,1
DE	DE	LH	LH1013	HAJ	FRA	Boeing737-300pax	175	1,75
DE	DE	LH	LH937	NUE	MUC	DeHavillandCanadaD	86	0,1

Abflug-land	Ziel-land	Fluggesell-schaft	Flug-nummer	Ab-flug-hafen	Ziel-flug-hafen	Flugzeugtyp	Mei-len	Belly-Kapazi-tät in t
						HC-8Dash8-400		
DE	DE	LH	LH939	NUE	MUC	DeHavillandCanadaD HC-8Dash8-400	86	0,1
DE	DE	LH	LH943	NUE	MUC	DeHavillandCanadaD HC-8Dash8-400	86	0,1
DE	DE	LH	LH945	NUE	MUC	DeHavillandCanadaD HC-8Dash8-400	86	0,1
DE	DE	LH	LH947	NUE	MUC	DeHavillandCanadaD HC-8Dash8-400	96	0,1
DE	DE	LH	LH1365	STR	MUC	DeHavillandCanadaD HC-8Dash8-400	119	0,1
DE	DE	LH	LH1367	STR	MUC	DeHavillandCanadaD HC-8Dash8-400	119	0,1
DE	DE	LH	LH1369	STR	MUC	DeHavillandCanadaD HC-8Dash8-400	119	0,1
DE	DE	LH	LH1371	STR	MUC	DeHavillandCanadaD HC-8Dash8-400	119	0,1
DE	DE	LH	LH1373	STR	MUC	DeHavillandCanadaD HC-8Dash8-400	119	0,1
DE	DE	LH	LH1375	STR	MUC	CanadairRegionalJet 700	119	0,1
DE	DE	LH	LH1263	CGN	MUC	AirbusA319	272	1,5
DE	DE	LH	LH1265	CGN	MUC	AirbusA319	272	1,5
DE	DE	LH	LH1267	CGN	MUC	AirbusA319	272	1,5
DE	DE	LH	LH1269	CGN	MUC	AirbusA320-100/200	272	1,75
DE	DE	LH	LH1271	CGN	MUC	AvroRJ85Avroliner	272	0,1
DE	DE	LH	LH1273	CGN	MUC	AirbusA319	272	1,5
DE	DE	LH	LH1273	CGN	MUC	CanadairRegionalJet 900	272	0,1
DE	DE	LH	LH1275	CGN	MUC	AirbusA319	272	1,5
DE	DE	LH	LH1277	CGN	MUC	EmbraerERJ195	272	0,1
DE	DE	LH	LH1279	CGN	MUC	EmbraerERJ195	272	0,1

Tabelle 31: Ausgewählte innerdeutsche Flugverbindungen nach FRA bzw. MUC

Gemäß den Flugplandaten stehen für die Flüge von Hannover 7,2 Tonnen, von Berlin 29,75 Tonnen, von Leipzig 0,5 Tonnen, von Nürnberg 0,5 Tonnen, von Stuttgart 0,6 Tonnen und von Köln/Bonn 9,65 Tonnen Belly-Frachtkapazitäten zum Stopover nach Frankfurt bzw. nach München zur Verfügung. Es ist nun zu prüfen, ob die Belly-Frachtkapazitäten ausreichen, die kumulierte Luftfrachtnachfrage von den besagten Städten nach Österreich und in die Schweiz abzudecken. Die Kumulation ist deshalb notwendig, weil auf dem ersten Flug zum Zwischenstopp nach Frankfurt bzw. München sowohl das Frachtaufkommen nach Österreich als auch das in die Schweiz befördert und beim Zwischenstopp in entsprechende Belly-Flugzeuge nach Österreich bzw. in die Schweiz umgeladen wird. Die nachfolgende Tabelle gibt über die kumulierte Angebots- und Nachfragesituation von den ausgewählten deutschen Flughäfen nach Österreich bzw. in die Schweiz Aufschluss.

Deutscher Flughafen	Österreich und Schweiz	
	Angebot (t)	Kumulierte Nachfrage (t)
HAJ nach FRA	7,2	0,466
TXL nach FRA	29,75	0,866
LEJ nach FRA	0,5	25,632
NUE nach MUC	0,5	0,0066
STR nach MUC	0,6	0,133
CGN nach MUC	9,65	16,033

Tabelle 32: Kumulierte Frachtwerte

Anhand der Angebots- und Nachfragesituation in der vorstehenden Tabelle lässt sich ableiten, dass bis auf die Fälle für CGN und für LEJ bei allen übrigen Flügen nach Frankfurt bzw. München die Belly-Frachtkapazitäten größer sind als die kumulierte Luftfrachtnachfrage. Hier muss im Weiteren geprüft werden, ob abgehend vom Zwischenstopp in Frankfurt bzw. München auf den Anschlussflügen nach Österreich bzw. in die Schweiz noch ausreichend Belly-Frachtkapazitäten unter Berücksichtigung des Originär-Frachtaufkommens von Frankfurt bzw. München nach Österreich bzw. in die Schweiz vorhanden sind. Bei den Flugangeboten von Leipzig nach Frankfurt/Main fehlen 25,132 Tonnen, wohingegen auf den möglichen Flügen von Köln/Bonn nach München 6,383 Tonnen Belly-Frachtkapazitäten fehlen. Die mangelnden Kapazitäten sind möglicherweise nur mit einem weiteren Stopover-Flug mit Zwischenlandung auf einem Flughafen zu kompensieren, wo sich durch weitere Transferflüge zusätzliche Kapazitäten aufbauen lassen. Doch zunächst ist zu prüfen, ob von Frankfurt bzw. München weg das umzuladende Transportaufkommen neben dem bekannten originären Transportaufkommen in Belly-Flugzeugen noch untergebracht werden kann.

Für die Beförderung der Luftfracht von Leipzig bzw. Köln/Bonn nach Österreich bzw. in die Schweiz macht mangels ausreichender Kapazitäten auf dem Routenflug nach Frankfurt/Main bzw. nach München der Zwischenstopp auf den beiden Hub-Flughäfen keinen Sinn. In Frankfurt ist für den Weitertransport der Transportladung aus HAJ, TXL zu prüfen, ob für Anschlussflüge nach Österreich bzw. in die Schweiz die hierfür erforderlichen Belly-Frachtkapazitäten vorhanden sind. Die nachfolgende Tabelle stellt die Inbound-Kapazität der beiden Flughäfen Frankfurt und München zu den vier Flughäfen Hannover, Berlin, Nürnberg und Stuttgart dar und es wird für die vier Flughäfen die Outbound-Nachfrage nach Österreich bzw. in der Schweiz angezeigt.

Transferflughafen	Inbound-Flughafen	Outbound Österreich	Outbound Schweiz
FRA	HAJ	0,1	0,366
FRA	TXL	0,366	0,5
MUC	NUE	0	0,0066
MUC	STR	-	0,033

Tabelle 33: Belly-Kapazitäten auf den Stopoverflügen nach Frankfurt und München

Die vorstehende Tabelle zeigt das jeweils in Frankfurt bzw. in München hinzukommende Frachtvolumen aus den Inbound-Flughäfen auf. Es ist nun zu prüfen, ob die Belly-Frachtkapazitäten für Flüge von Frankfurt oder München nach Österreich bzw. in die Schweiz ausreichen, das Transferaufkommen zu berücksichtigen. Dies soll in der nachfolgenden Tabelle veranschaulicht werden, indem die Frachtaufkommen mit den Kapazitäten abgeglichen werden. Die Wertangaben beziehen sich auf die Einheit Tonnen.

Transfer-flughafen		Transport-aufkommen Österreich	Transport-aufkommen Schweiz	Belly-Kapazität Österreich	Belly-Kapazität Schweiz
FRA	Originäraufkommen	4,766	5,866	9,45	23,45
FRA	Transferaufkommen	0,466	0,866		
FRA	**Summe**	**5,232**	**6,732**		
MUC	Originäraufkommen	1,733	0,266	2,8	7,2
MUC	Transferaufkommen	0	0,0396		
MUC	**Summe**	**1,733**	**0,3056**		

Tabelle 34: Belly-Kapazitäten auf Transferflügen nach Österreich und in die Schweiz

Die gesamten Belly-Frachtkapazitäten von Frankfurt/Main nach Österreich bzw. in die Schweiz betragen 9,45 Tonnen bzw. 23,45 Tonnen. Mit diesen Kapazitäten ist das Originäraufkommen von Frankfurt/Main nach Österreich bzw. in die Schweiz mit 4,766 Tonnen bzw. 5,866 Tonnen anzusetzen. Hinzu kommen Transferaufkommen nach Ös-

terreich bzw. in die Schweiz aus den Zubringerflügen von Hannover und Berlin von 0,466 Tonnen bzw. 0,866 Tonnen. Anhand dieser Zahlen wird ersichtlich, dass sich die Transferfracht über einen Zwischenstopp in Frankfurt/Main vollständig transportieren lässt, da für den Weitertransport nach Österreich bzw. in die Schweiz ausreichend Belly-Frachtkapazitäten zur Verfügung stehen.

Die gesamten Belly-Frachtkapazitäten von München nach Österreich bzw. in die Schweiz betragen 2,8 Tonnen bzw. 7,2 Tonnen. Mit diesen Kapazitäten ist das Originäraufkommen von München nach Österreich bzw. in die Schweiz mit 1,733 Tonnen bzw. 0,266 Tonnen anzusetzen. Hinzu kommt das Transferaufkommen in die Schweiz aus den Zubringerflügen von Nürnberg und Stuttgart von 0,0396 Tonnen. Anhand dieser Zahlen lässt sich ableiten, dass die Transferfracht über einen Zwischenstopp in München vollständig in die Schweiz befördert werden kann, da für den Weitertransport in die Schweiz von München ausgehend im LH-Flugplan ausreichende Belly-Frachtkapazitäten in Belly-Flugzeugen zur Verfügung stehen.

Lässt man hingegen die beiden Transferaufkommen von Leipzig und Köln/Bonn außen vor, dann reichen die Belly-Frachtkapazitäten aus, um die Umladung der Fracht für die Flüge von Hannover, Berlin, Nürnberg und Stuttgart in Frankfurt/Main bzw. München zu ermöglichen.

Für LEJ bzw. CGN müssten dann alternative Flugrouten von Frankfurt bzw. München weggehend gesucht werden. Eine Zwei- oder Mehrstopp-Strategie für die Fälle Leipzig bzw. Köln/Bonn stellt mit dem Flugangebot der Lufthansa keine Alternative dar. Es sind in Belly-Flugzeugen nicht ausreichend Kapazitäten vorhanden, die Fracht aus Leipzig bzw. Köln/Bonn durch Gabelflüge nach Österreich bzw. in die Schweiz zu bringen. Für die Lufthansa bedeutet dies, dass das Frachtaufkommen in den beiden Städten nicht in Belly-Flugzeugen der Lufthansa befördert werden könnte. Angesichts der großen Frachtraten gingen der Lufthansa wichtige Marktanteile verloren, wenn sie die Luftfrachtnachfrage nicht bedient. Die Alternative, die hier nicht weiter untersucht wird und die in der Realität als die wahrscheinlichste gilt, ist der Einsatz von reinen Frachtmaschinen durch Lufthansa Cargo. Es ist hinlänglich bekannt, dass die Flughäfen Köln/Bonn und Leipzig als Hub-Flughäfen für Cargo in Deutschland gelten. Auf beiden Flughäfen ist keine nennenswerte Menge an Passagiermaschinen vorhanden, sodass generell dort Belly-Fracht nahezu unbedeutend ist. Es ließe sich auch nicht mit einem Modell, wie es in den nachfolgenden Kapiteln zur Routengestaltung eines Netzwerks vorgestellt wird, der Sachverhalt mit Leipzig und Köln/Bonn berechnen, indem das gesamte Netzwerk nach möglichen Routen mit Zwischenstopps durchforstet wird, da es nicht ausreichend Kapazitäten auf den länderübergreifenden Flügen gibt. Auf diesen Routen besteht ein länderübergreifender Kapazitätsengpass für Belly-Frachttransporte. Damit lässt sich aber festhalten, dass unter Auslassung von Leipzig und Köln/Bonn im Lufthansa-Flugplan größere Belly-Kapazitäten für Luftfrachttransporte nach Österreich bzw. in die Schweiz vorherrschen, als die Nachfrage ist. Nach diesen Ergebnissen ist die Übernahme der Austrian Airlines bzw. der Swiss im Kontext von Belly-Fracht uninteressant.

Anhand des Vergleichs des Passagieraufkommens von deutschen Flughäfen nach Österreich und in die Schweiz in derselben Statistik werden auch im europäischen Vergleich hohe Werte deutlich. So werden im Auswertungszeitraum August 2009 von deutschen Flughäfen 3.284 Passagierflüge nach Österreich und 3.012 in die Schweiz durchgeführt. Damit rangiert Österreich unter den in der Statistik ausgewiesenen europäischen Zielländern auf Platz 4 und die Schweiz muss mit Österreich 6 europäische Länder bzw. Hubs vor sich lassen. Anzumerken ist jedoch, dass in der Statistik die großen Hubs in Frankreich (Paris), Spanien (Madrid) und Großbritannien (London) separat ausgewiesen werden. Damit lassen sich die Überkapazitäten im Belly-Frachtbereich erklären, d. h., die Anzahl der angebotenen Flugverbindungen von Deutschland nach Österreich bzw. in die Schweiz richtet sich primär am Fluggastaufkommen aus. Aufgrund dieses Sachverhalts lässt sich als weiteres Indiz konstatieren, dass Belly-Fracht in der Funktion eines Beiprodukts zum Passagiersektor behandelt wird, sprich subsidiär dazu ist. Es wird dabei von den Fluggesellschaften das Ziel verfolgt,

auf bestimmten Destinationen von Deutschland nach Österreich bzw. in die Schweiz eine möglichst hohe Verbindungsvielfalt und zahlreiche Flugmöglichkeiten aufzuweisen, weshalb auf Flügen zwischen Deutschland und Österreich bzw. zwischen Deutschland und der Schweiz vorwiegend kleineres Fluggerät zum Einsatz kommt, was sich auf diesen Strecken anhand der in den Flugplänen ausgewiesenen Flugzeugtypen nachvollziehen lässt. Ohnehin kommt den kleinen Flugzeugtypen im Belly-Frachtbereich keine große Bedeutung zu, da sich die durchschnittliche Transportkapazität von 0,1 Tonnen pro Flugzeug nur für die Sparte Expressfracht eignet, jedoch sperrige Transporte in diesen Transportmitteln nicht durchgeführt werden können. Ob sich im Passagiersektor die erhofften betriebswirtschaftlichen Vorteile – Economies of Density/Scope – herleiten lassen, wird in dieser Arbeit nicht untersucht. Aufgrund der vorgelegten Zahlen bestehen jedoch Indizien dafür, denen zufolge sich die Übernahme der beiden alpenländischen Fluggesellschaften nach diesen Kriterien bzgl. des Passagierbereichs erklären ließe. Hinsichtlich des starken Frachtaufkommens von Leipzig bzw. Köln/Bonn nach Österreich bzw. in die Schweiz weist die DLR-Statistik kein hohes Passagieraufkommen bzw. eine hohe Anzahl von Passagierflügen aus. Damit lässt sich konkludieren, dass die Frachtnachfrage niemals in Belly-Flugzeugen transportiert wird. Es müssen folglich reine Frachtmaschinen zum Einsatz kommen. Die Ausklammerung der beiden Flughäfen im Zusammenhang mit der Belly-Fracht-Untersuchung in dieser Arbeit ist somit plausibel.

Anhand des Flugplans wird ersichtlich, dass zwischen Hub-Flughäfen in Deutschland und den Hubs in Österreich und der Schweiz das Flugangebot besonders intensiv ist und auf diesen Strecken größere Flugzeugtypen eingesetzt werden, die auch deutlich höhere Belly-Frachtkapazitäten aufweisen. Dagegen ist das Flugangebot von deutschen Sekundärflughäfen zu österreichischen und schweizerischen Destinationen primär auf kleineres Fluggerät ausgerichtet und die Belly-Frachtkapazitäten auf diesen Strecken sind sehr gering. Anhand der Fluggastzahlen von deutschen Flughäfen nach Österreich bzw. in die Schweiz lässt sich diese Aussage manifestieren. Während die Anzahl der Passagierflüge in die beiden Alpenländer im europäischen Vergleich hoch ausfällt, wird beim Passagieraufkommen im europäischen Vergleich nur Platz 6 für die Schweiz bzw. Platz 7 für Österreich erreicht. Während Österreich im europäischen Vergleich bei der Anzahl der durchgeführten Passagierflüge Platz 4 erreicht und die Schweiz Platz 5 einnimmt, beträgt das Passagieraufkommen in die Schweiz 226.034 bzw. 223.028 nach Österreich.

13.4 Flugverbindungen der Austrian Airlines und der Swiss im 3L-Netzwerk

Szenario 2:

Im Szenario 2 werden die Flugverbindungen der AUA bzw. Swiss berücksichtigt. Die nachfolgenden beiden Tabellen führen das Flugangebot von Deutschland nach Österreich bzw. in die Schweiz der Airlines Austrian Airlines bzw. Swiss auf.

Die nachfolgende Tabelle enthält die Direktflüge der Austrian Airlines von deutschen Flughäfen nach Österreich gemäß dem Winterflugplan 2009/2010 für einen Dienstag. In der Tabelle ist das Abflugland mit „DE“ je Flug angegeben, d. h., das Abflugland ist stets Deutschland. Das Zielland ist „AT“ für Österreich. Die Spalte Fluggesellschaft gibt an, dass die Flüge von der AUA durchgeführt werden. Ihr Kürzel lautet „OS“. In der nächsten Spalte ist die Flugnummer eingetragen. Es folgen die Spalten, in denen der Abflughafen und der Zielflughafen mit dem jeweiligen Flughafenkürzel eingetragen sind. Zielflughafen ist stets ein österreichischer Flughafen. Es werden schließlich je Flugstrecke der eingesetzte Flugzeugtyp, die Streckendistanz in Meilen und die Belly-Frachtkapazität des verwendeten Flugzeugs angegeben.

Abflugland	Zielland	Fluggesellschaft	Flugnummer	Abflughafen	Zielflughafen	Flugzeugtyp	Meilen	Belly-Kapazität in t
DE	AT	OS	OS7212	FRA	LNZ	Avro RJ85 Avroliner	283	0,1
DE	AT	OS	OS7214	FRA	LNZ	CanadairRegionalJet700	283	0,1

Ab-flug-land	Ziel-land	Flug-gesell-schaft	Flug-nummer	Abflug-hafen	Ziel-flug-hafen	Flugzeugtyp	Mei-len	Belly-Kapazität in t
DE	AT	OS	OS7216	FRA	LNZ	Avro RJ85 Avroliner	283	0,1
DE	AT	OS	OS7218	FRA	LNZ	CanadairRegionalJet700	283	0,1
DE	AT	OS	OS7228	MUC	LNZ	ATR 72 Aerospitale/Aluna	121	0,1
DE	AT	OS	OS7230	MUC	LNZ	DeHavillandCanadaDHC-8Dash8-400	121	0,1
DE	AT	OS	OS206	DUS	LNZ	DeHavillandCanadaDHC-8Dash8-400	395	0,1
DE	AT	OS	OS222	DUS	LNZ	DeHavillandCanadaDHC-8Dash8-400	395	0,1
DE	AT	OS	OS212	DUS	LNZ	DeHavillandCanadaDHC-8Dash8-400	395	0,1
DE	AT	OS	OS7300	MUC	GRZ	DeHavillandCanadaDHC-8Dash8-400	199	0,1
DE	AT	OS	OS7282	MUC	GRZ	CanadairRegionalJet900	199	0,1
DE	AT	OS	OS7284	MUC	GRZ	CanadairRegionalJet900	199	0,1
DE	AT	OS	OS7286	MUC	GRZ	CanadairRegionalJet700	199	0,1
DE	AT	OS	OS7292	FRA	GRZ	Avro RJ85 Avroliner	379	0,1
DE	AT	OS	OS7294	FRA	GRZ	Avro RJ85 Avroliner	379	0,1
DE	AT	OS	OS7296	FRA	GRZ	Avro RJ85 Avroliner	379	0,1
DE	AT	OS	OS7298	FRA	GRZ	Avro RJ85 Avroliner	379	0,1
DE	AT	OS	OS242	STR	GRZ	DeHavillandCanadaDHC-8Dash8-400	363	0,1
DE	AT	OS	OS246	STR	GRZ	DeHavillandCanadaDHC-8Dash8-400	363	0,1
DE	AT	OS	OS202	DUS	GRZ	DeHavillandCanadaDHC-8Dash8-400	493	0,1
DE	AT	OS	OS204	DUS	GRZ	DeHavillandCanadaDHC-8Dash8-400	493	0,1
DE	AT	OS	OS222	DUS	GRZ	DeHavillandCanadaDHC-8Dash8-400	493	0,1
DE	AT	OS	OS7220	MUC	KLU	ATR 72 Aerospitale/Aluna	168	0,1
DE	AT	OS	OS7222	MUC	KLU	ATR 72 Aerospitale/Aluna	168	0,1
DE	AT	OS	OS7224	MUC	KLU	ATR 72 Aerospitale/Aluna	168	0,1
DE	AT	OS	OS206	DUS	SZG	DeHavillandCanadaDHC-8Dash8-400	379	0,1
DE	AT	OS	OS206	DUS	SZG	DeHavillandCanadaDHC-8Dash8-400	379	0,1
DE	AT	OS	OS262	FRA	SZG	DeHavillandCanadaDHC-8Dash8-400	262	0,1
DE	AT	OS	OS264	FRA	SZG	DeHavillandCanadaDHC-8Dash8-400	262	0,1
DE	AT	OS	OS266	FRA	SZG	DeHavillandCanadaDHC-8Dash8-400	262	0,1
DE	AT	OS	OS270	FRA	SZG	DeHavillandCanadaDHC-8Dash8-400	262	0,1
DE	AT	OS	OS278	FRA	INN	DeHavillandCanadaDHC-8Dash8-400	230	0,1
DE	AT	OS	OS286	FRA	INN	DeHavillandCanadaDHC-8Dash8-400	230	0,1
DE	AT	OS	OS288	FRA	INN	DeHavillandCanadaDHC-8Dash8-400	230	0,1
DE	AT	OS	OS152	DUS	VIE	Fokker 100	490	0,1
DE	AT	OS	OS7244	DUS	VIE	CanadairRegionalJet200	490	0,1
DE	AT	OS	OS156	DUS	VIE	Fokker 100	490	0,1
DE	AT	OS	OS194	CGN	VIE	CanadairRegionalJet	465	0,1
DE	AT	OS	OS192	CGN	VIE	CanadairRegionalJet	465	0,1
DE	AT	OS	OS196	CGN	VIE	CanadairRegionalJet	465	0,1
DE	AT	OS	OS128	FRA	VIE	Airbus A319	385	1,5
DE	AT	OS	OS122	FRA	VIE	Airbus A319	385	1,5
DE	AT	OS	OS124	FRA	VIE	Fokker 70	385	0,1
DE	AT	OS	OS124	FRA	VIE	Fokker 100	385	0,1
DE	AT	OS	OS122	FRA	VIE	Airbus A319	385	1,5
DE	AT	OS	OS216	LEJ	VIE	DeHavillandCanadaDHC-8Dash8-400	295	0,1
DE	AT	OS	OS216	HAM	VIE	Fokker 100	478	0,1
DE	AT	OS	OS218	DRS	VIE	CanadairRegionalJet700	246	0,1
DE	AT	OS	OS272	TXL	VIE	Fokker 70	336	0,1
DE	AT	OS	OS7266	TXL	VIE	CanadairRegionalJet700	336	0,1
DE	AT	OS	OS276	TXL	VIE	Fokker 70	336	0,1
DE	AT	OS	OS178	STR	VIE	Fokker 70	221	0,1
DE	AT	OS	OS188	STR	VIE	Fokker 70	338	0,1

Ab-flug-land	Ziel-land	Flug-gesell-schaft	Flug-nummer	Abflug-hafen	Ziel-flug-hafen	Flugzeugtyp	Mei-len	Belly-Kapazität in t
DE	AT	OS	OS112	STR	VIE	Fokker 70	338	0,1
DE	AT	OS	OS114	MUC	VIE	Airbus A319	221	1,5
DE	AT	OS	OS116	MUC	VIE	CanadairRegionalJet	221	0,1
DE	AT	OS	OS118	MUC	VIE	Airbus A319	221	1,5

Tabelle 35: AUA-Direktflüge von deutschen Flughäfen nach Österreich

Die nachfolgende Tabelle zeigt die Direktflüge der Swiss von deutschen Flughäfen in die Schweiz gemäß dem Winterflugplan 2009/2010 für einen Dienstag auf. Das Zielland ist „CH“. Das Kürzel der Fluggesellschaft lautet „LX“. Die Zielflughäfen liegen alle in der Schweiz.

Abflug-land	Ziel-land	Flugge-sellschaft	Flug-nummer	Abflug-hafen	Ziel-flug-hafen	Flugzeugtyp	Mei-len	Belly-Kapazität in t
DE	CH	LX	LX4281	DRS	ZRH	Fairchild Dornier 328	346	0,1
DE	CH	LX	LX4285	DRS	ZRH	Fairchild Dornier 328	346	0,1
DE	CH	LX	LX4283	DRS	ZRH	Fairchild Dornier 328	346	0,1
DE	CH	LX	LX1029	DUS	ZRH	Airbus A319	276	1,5
DE	CH	LX	LX1017	DUS	ZRH	Airbus A320	276	1,75
DE	CH	LX	LX1019	DUS	ZRH	Airbus A320	276	1,75
DE	CH	LX	LX1027	DUS	ZRH	Airbus A321	276	1,75
DE	CH	LX	LX1069	FRA	ZRH	Airbus A320	178	1,75
DE	CH	LX	LX1071	FRA	ZRH	Airbus A320	178	1,75
DE	CH	LX	LX1073	FRA	ZRH	Airbus A320	178	1,75
DE	CH	LX	LX1075	FRA	ZRH	Airbus A320	178	1,75
DE	CH	LX	LX1077	FRA	ZRH	Airbus A320	178	1,75
DE	CH	LX	LX1051	HAM	ZRH	Airbus A321	431	1,75
DE	CH	LX	LX1057	HAM	ZRH	Airbus A320	431	1,75
DE	CH	LX	LX1055	HAM	ZRH	Airbus A320	431	1,75
DE	CH	LX	LX819	HAJ	ZRH	Avro RJ85 Avroliner	349	0,1
DE	CH	LX	LX818	HAJ	ZRH	Airbus A319	349	1,5
DE	CH	LX	LX817	HAJ	ZRH	Airbus A319	349	1,5
DE	CH	LX	LX829	HAJ	ZRH	Airbus A319	349	1,5
DE	CH	LX	LX1101	MUC	ZRH	Airbus A319	162	1,5
DE	CH	LX	LX1105	MUC	ZRH	Airbus A319	162	1,5
DE	CH	LX	LX1109	MUC	ZRH	Airbus A319	162	1,5
DE	CH	LX	LX1111	MUC	ZRH	Airbus A319	162	1,5
DE	CH	LX	LX1197	NUE	ZRH	Avro RJ85 Avroliner	182	0,1
DE	CH	LX	LX1189	NUE	ZRH	Airbus A320	182	1,5
DE	CH	LX	LX1191	NUE	ZRH	Avro RJ85 Avroliner	182	0,1
DE	CH	LX	LX1193	NUE	ZRH	Avro RJ85 Avroliner	182	0,1
DE	CH	LX	LX1179	STR	ZRH	Fokker 100	90	0,1
DE	CH	LX	LX1165	STR	ZRH	Avro RJ85 Avroliner	90	0,1
DE	CH	LX	LX1177	STR	ZRH	Avro RJ85 Avroliner	90	0,1
DE	CH	LX	LX1169	STR	ZRH	Avro RJ85 Avroliner	90	0,1
DE	CH	LX	LX1175	STR	ZRH	Avro RJ85 Avroliner	90	0,1
DE	CH	LX	LX1171	STR	ZRH	Avro RJ85 Avroliner	90	0,1
DE	CH	LX	LX3707	HAM	GVA	CanadairRegionalJet200	539	0,1
DE	CH	LX	LX3699	HAM	GVA	CanadairRegionalJet200	539	0,1
DE	CH	LX	LX3693	DUS	GVA	CanadairRegionalJet700	351	0,1
DE	CH	LX	LX3697	DUS	GVA	CanadairRegionalJet200	351	0,1
DE	CH	LX	LX3695	DUS	GVA	CanadairRegionalJet200	351	0,1
DE	CH	LX	LX3679	MUC	GVA	EmbraerERJ195	304	0,1

Abflug-land	Ziel-land	Flugge-sellschaft	Flug-nummer	Abflug-hafen	Ziel-flug-hafen	Flugzeugtyp	Mei-len	Belly-Kapazität in t
DE	CH	LX	LX3613	MUC	GVA	EmbraerERJ195	304	0,1
DE	CH	LX	LX3685	MUC	GVA	EmbraerERJ195	304	0,1
DE	CH	LX	LX3687	MUC	GVA	Airbus A319	304	1,5
DE	CH	LX	LX3689	MUC	GVA	CanadairRegionalJet900	304	0,1
DE	CH	LX	LX391	MUC	GVA	CanadairRegionalJet900	304	0,1
DE	CH	LX	LX4061	FRA	BSL	CanadairRegionalJet700	176	0,1
DE	CH	LX	LX4063	FRA	BSL	CanadairRegionalJet700	176	0,1
DE	CH	LX	LX4065	FRA	BSL	CanadairRegionalJet200	176	0,1
DE	CH	LX	LX4067	FRA	BSL	CanadairRegionalJet700	176	0,1
DE	CH	LX	LX4051	DUS	BSL	CanadairRegionalJet900	259	0,1
DE	CH	LX	LX4053	DUS	BSL	CanadairRegionalJet900	259	0,1
DE	CH	LX	LX4073	MUC	BSL	CanadairRegionalJet900	204	0,1
DE	CH	LX	LX4075	MUC	BSL	DeHavillandCanadaDHC-8Dash8-400	204	0,1
DE	CH	LX	LX4077	MUC	BSL	DeHavillandCanadaDHC-8Dash8-400	204	0,1
DE	CH	LX	LX4079	MUC	BSL	CanadairRegionalJet900	204	0,1
DE	CH	LX	LX4071	MUC	BSL	DeHavillandCanadaDHC-8Dash8-400	204	0,1

Tabelle 36: Swiss-Direktflüge von deutschen Flughäfen in die Schweiz

Betrachtet man das Flugangebot der Austrian Airlines und der Swiss von Deutschland nach Österreich bzw. in die Schweiz, dann fällt auf, dass die Strecken, auf denen die Lufthansa in ihrem Flugplan bereits eine hohe Verkehrsdichte aufweist, selbst stark vertreten sind. Anzumerken ist, dass in den beiden Tabellen nur AUA- bzw. Swiss-Direktflüge aufgeführt sind, die nicht im Code Sharing mit Lufthansa stehen. Demnach stehen diese Flugverbindungen ergänzend zur Verfügung. Es lässt sich konstatieren, dass das Flugangebot zwischen den Hubs München bzw. Frankfurt nach Wien bzw. Zürich besonders stark ausgeprägt ist. Unter dem Aspekt von Belly-Fracht ist das zusätzliche Aufkommen an Flugverbindungen bedingt durch die Übernahmen der AUA bzw. Swiss nicht erklärbar. An sich wurde der Anteil an Belly-Frachtkapazitäten erweitert, ohne dass diesem Frachtangebot zusätzliche Frachtnachfrage gegenüberstehen würde.

Als Fazit lässt sich ziehen, dass die Übernahme der AUA und der Swiss aus dem Blickwinkel von Belly-Fracht keine betriebswirtschaftlichen Vorteile bringt, wie sie in Kapitel 8 im Kontext von Belly-Fracht diskutiert wurden. Die Übernahmegründe für die beiden alpenländischen Fluggesellschaften sind deshalb primär im Passagierbereich zu suchen, womit offensichtlich Belly-Fracht nicht im Kalkül der Übernahmeentscheidung einer Fluggesellschaft vorzufinden ist. Letztendlich erscheint dies plausibel, da Belly-Fracht nur ein Beiprodukt des Passagiersektors ist. In dieser Arbeit wurde die Übernahme der AUA und der Swiss nicht unter der Maßgabe des Passagiertransports beleuchtet. In der DLR-Statistik werden auch die Passagierzahlen von deutschen Flughäfen nach Österreich bzw. in die Schweiz ausgewiesen, sodass sich die Untersuchung dahingehend erweitern ließe. Sofern im Rahmen der Netzintegration zum Transport der Belly-Fracht optimale Flugrouten aus den Netzen der AUA, Swiss bzw. Lufthansa ermittelt werden sollen, mit dem Ziel, kostenminimale Transporte zu ermöglichen, könnten mithilfe eines Modells optimale Flugrouten gestaltet werden. Die modellhafte Betrachtung ist jedoch nur von theoretischer Natur, da die optimale Routengestaltung dazu führen würde, dass möglicherweise Strecken nicht mehr benötigt würden, womit bestimmte Slots überflüssig würden. Es zeigt sich jedoch bei Übernahmen von Fluggesellschaften, dass meist auch unrentable Slots gehortet werden, um konkurrierende Fluggesellschaften vom Marktzutritt auf diesen Strecken abzuhalten. Außerdem würde die Modellbetrachtung bei Belly-Fracht den Passagiersektor außer Acht lassen, d. h., zuerst müssten für den Passagierbereich optimale Routen gestaltet werden, und Belly-Fracht schließt sich dieser optimalen Routen subsidiär an.

14 Modell zur Optimierung der Routen in einem Luftfrachtnetzwerk

In diesem Kapitel wird ein Modell aufgestellt, mit dem sich generell in einem Netzwerk optimale Flugrouten gestalten lassen und das als Instrument für eine Post-Merger-Integration von Netzen benutzt werden kann. Der Untersuchungsgegenstand des Modells ist Belly-Fracht. Durch leichte Abänderungen würde sich das Modell auch für den Passagierbereich eignen. Nachfolgend wird vorgestellt, wie sich für die Problemstellung des 3L-Netzwerks mithilfe des Modells optimale Routen berechnen lassen. Da im vorangegangenen Kapitel lediglich im 3L-Netzwerk die länderübergreifenden Routen dargestellt wurden, muss nach Eingrenzung des Netzwerkgebiets zur Routenbildung hierfür kein Modell benutzt werden. Erweitert man jedoch den Problemgegenstand und betrachtet auch die länderinternen Routen bzw. weitere Länder, wird der Problemgegenstand deutlich größer, sodass für eine optimale Routenermittlung eine modellorientierte Lösung unabdingbar ist. Dieses Kapitel zeigt eine für den Problemgegenstand geeignete Datenrepräsentation und -strukturierung auf Basis des 3L-Netzwerks auf. Eine Berechnung des Modells erfolgt nicht.

14.1 Dekomposition der Problemstellung

Zunächst erfolgt die Unterteilung der Problemstellung in mehrere Schwerpunkte, die sich eigenständig lösen lassen. Dabei soll ein Problem in seiner Komplexität reduziert werden. Im Operations Research nennt man dieses Vorgehen Dekomposition. Als Dekomposition wird in der Mathematik eine Strategie zur Lösung komplexer Optimierungsprobleme bezeichnet, mit der die Problemdimension reduziert wird. Dabei wird das Problem von komplexeren in eine Menge einfacherer Strukturen aufgeteilt. Die in dieser Arbeit gegenständliche Problemstellung wird wie folgt zerlegt:

Problemschwerpunkt 1: *Multihub-Network-Design-Modellierung*: Zuerst erfolgt die Modellaufstellung in Anlehnung an das Modell von Kuby und Gray, wobei die im vorhergehenden Kapitel genannten Rahmenbedingungen und Restriktionen Berücksichtigung finden. Dieser Aufgabenblock wird in diesem Kapitel behandelt. Zunächst wird jedoch aufgezeigt, wie sich die Problemdaten des Netzwerks in Datenstrukturen repräsentieren lassen.

Problemschwerpunkt 2: *Datenmodellierung des Realweltausschnitts*: Es geht darum, die Daten der Flugpläne der AUA, Lufthansa und Swiss sowie die modellbezogenen Daten in einer geeigneten Datenrepräsentation und Speicherungsform abzubilden und in einem hierfür geeigneten Datenhaltungssystem dauerhaft zu speichern, damit die zur Lösung des Modells aufgestellten Algorithmen auf die zur Optimalitätsberechnung relevanten Modelldaten effizient zugreifen können. Die große Menge an Modelldaten erfordert diese Vorgehensweise. Diese Aufgabe wurde vorgeschaltet zu dieser Arbeit abgehandelt und wird hier nicht weiter aufgegriffen bzw. als vorausgesetzt betrachtet.

Problemschwerpunkt 3: *Ermitteln der Kapazitäten auf den Flugstrecken und Aufstellen der möglichen Flugstrecken-Pfade bei Kapazitätsengpässen auf Direktflügen*: In einem ersten Schritt ist zu ermitteln, ob die Direktflugverbindungen ausreichen, die Frachtnachfrage von deutschen Flughäfen nach Österreich bzw. in die Schweiz abzubilden. Die Menge dieser möglichen Flugverbindungen stellen im Modell die Routen dar. Bei Kapazitätsüberschreitungen auf einzelnen Strecken sind alternative Transportwege mit Zwischenstopps aus dem Lufthansa-Flugplan zu generieren. Solche kombinierten Routen werden im Modell als Pfade aufgefasst. Der Problemschwerpunkt 3 wird in diesem Kapitel behandelt.

Im Folgenden wird auf die Lösung des ersten Problemschwerpunkts eingegangen, d. h. untersucht, wie sich die Problemdaten des Netzwerks in Datenstrukturen abbilden lassen.

14.2 Repräsentation von Netzwerken in Datenstrukturen

Zusammenhang zwischen Komplexität von Algorithmen und Speicherform von Daten
Einen wesentlichen Einfluss auf die zur Lösung eines Optimierungsproblems notwendigen Rechenschritte hat die vorliegende Speicherform der Daten, weshalb für die Netzwerkdaten eine Repräsentation festzulegen ist (vgl. Vahrenkamp und Mattfeld, 2007, S. 45).

Abbildung von Netzwerken in Datenstrukturen
Nachfolgend wird in Anlehnung an die Ausführungen von Vahrenkamp und Mattfeld (2007, S. 45 f.) aufgezeigt, welcher Kontext zwischen den Datenstrukturen zur Abbildung von Netzwerken und dem Rechenaufwand von Algorithmen besteht. Es geht also darum, Netzwerkdaten in einer Weise zu organisieren, dass sich in Computerprogrammen effizient darauf zugreifen lässt. Es wird aufgezeigt, dass durch eine geeignete Wahl bei der Datenstrukturierung die Komplexität von Rechenalgorithmen reduziert werden kann. Demnach gestalten sich Algorithmen umso aufwändiger, je unstrukturierter die Daten zur Rechenzeit vorliegen. Im Operations Research wurde in der Vergangenheit vielfach Wert auf die Einfachheit von Datenstrukturen gelegt, um möglichst wenig Speicherplatz zu beanspruchen. Heutzutage verfügen die Personal Computer über umfangreichen Speicherplatz, sodass das traditionell geprägte Argument der Speicherplatzeinsparung nicht mehr greift. Aufwändige Algorithmen bei gleichzeitig unstrukturierten Daten führen neben langen Rechenzeiten aber auch zu Problemen bei der Fehlersuche oder beim Tracing der Algorithmen zur Laufzeit. Insbesondere wenn die Datenzustände bei einzelnen Rechenschritten von Bedeutung sind, verschafft die Strukturiertheit von Daten klare Vorteile. Je komplexer die Daten strukturierbar sind, desto schlanker lassen sich die Algorithmen formulieren. Solche Algorithmen weisen kurze Rechenzeiten auf und sind weniger fehleranfällig (vgl. Vahrenkamp und Mattfeld, 2007, S. 54 f.).

Vor diesem Schritt gilt es jedoch, die Flugplandaten der Lufthansa Cargo so aufzubereiten und zu strukturieren, dass sie von der externen Datenquelle auf die für die Arbeit relevanten Datensätze reduziert und so strukturiert und angereichert werden, dass alle notwendigen Informationen für die Aufgabenstellung vorliegen. Ohne im Weiteren dediziert darauf einzugehen, wird unterstellt, dass sich diese Daten so bereitstellen lassen (siehe Problemschwerpunkt 2).

Statische Datenstrukturen
Für die Datenstrukturierung in flüchtigen Speichern in Computern bietet der Befehlscode in den Programmiersprachen verschiedene Konzepte. Ein elementares Konzept ist das so genannte Array (dt.: Feld). Arrays lassen sich ein- oder mehrdimensional deklarieren. Mit der Deklaration von Arrays wird eine bestimmte Anzahl von Speicherplätzen im Hauptspeicher des Computers reserviert. In dieser Arbeit kommen sowohl ein- als auch mehrdimensionale Felder vor. Arrays werden im Hauptspeicher so allokiert, dass sich auf sie indexbasiert, d. h. effizient zugreifen lässt (vgl. Vahrenkamp und Mattfeld, 2007, S. 55). Der Beschreibung der Daten soll das Ziel zugrunde liegen, die Rechenzeit der Algorithmen zu verkürzen und die komplexen Datenstrukturen so darzustellen, dass sie auch in der Datenrepräsentationsform noch vom Benutzer interpretierbar sind. Verkehrs-Netzwerkdaten lassen sich am besten mit der Knotenmenge V und den bewerteten Kantenmengen E abbilden. In temporäreren Speichern eignen sich hierfür Knoten-Kanten-Inzidenzmatrizen. In solchen Matrizen werden in den Zeilen die Knoten und in den Spalten die Kanten des Netzwerks gegeneinander abgebildet. Mithilfe boolescher Werte wird angegeben, ob ein Knoten in einer Kante vorkommt, d. h., die Matrix enthält in der Zeile i und der Spalte j den Wert 1, wenn die in Spalte j angegebene Kante zum Knoten i inzident ist, andernfalls wird der Wert 0 eingetragen. Diese einfache Form der Darstellung von Kanten-Knoten-Zuordnungen erlaubt es, dass die Algorithmen bei der Linearen Programmierung effizient auf die Daten zugreifen können (vgl. Vahrenkamp und Mattfeld, 2007, S. 59). Nachfolgend ist ein Beispiel für eine Knoten-Kanten-Inzidenzmatrix aufgeführt.

Knoten/Kanten	**(1,2)**	**(1,3)**	**(2,3)**
1	1	1	0
2	1	0	1
3	0	1	1

Tabelle 37: Beispiel für eine Knoten-Kanten-Inzidenzmatrix
(Quelle: Vahrenkamp und Mattfeld, 2007, S. 59)

Beispielhaft lässt sich aufzeigen, dass der Knoten 1 in der Knoten-Kanten-Beziehung (1,2) und (1,3) enthalten ist, d. h., in den jeweiligen Matrix-Elementen ist der Wert 1 eingetragen.

14.3 Modellierung des Multihub-Network-Design-Problems

Zielfunktion

Die für das gegenständliche Problem aufzustellende Funktion für das MNDP minimiert die Gesamttransportkosten der Belly-Luftfrachttransporte von den Ausgangsflughäfen zu den Zielflughäfen. Das hier beschriebene MNDP gleicht wie beim Modellansatz von Kuby und Gray einer Kreuzung zwischen dem Transportproblem, dem Rucksackproblem und dem Hub-Location-Problem. Kuby und Gray betiteln die Problemstellung nicht umsonst als eine Art „fliegendes Rucksackproblem“ (vgl. Kuby und Gray, 1993, S. 5). Durch die Einführung entsprechender Modellrestriktionen wird gewährleistet, dass sämtliche Belly-Luftfracht geliefert, die Flugzeugkapazitäten nicht überschritten und die Kosten für den Luftfrachttransport korrekt berechnet werden. Die Lieferzeit-Restriktion, d. h. der späteste mögliche Zeitpunkt, an dem das Frachtgut am Zielort eintreffen muss, ist keine explizite Bedingung im Modell. Vielmehr wurden die potenziellen Pfade im Vorfeld manuell bestimmt, sodass die Pfadgenerierung nicht Gegenstand der Modellierung des MNDP ist (vgl. Abschnitt 12.7.3). Bei der Generierung der Pfade wurde auch anhand von Begrenzungsregeln festgelegt, welche Pfade für die Routenbildung statthaft sind. Solche Pfade, die dazu führen, dass Belly-Fracht über Zwischenstopps nicht taggleich am Zielflughafen eintrifft, werden nicht zugelassen. Die folgenden zwei Entscheidungsvariablen werden im Multihub-Network-Design-Modell benutzt.

Entscheidungsvariablen des Modells

- H_p ist das Volumen, das auf dem Pfad, notiert mit p, transportiert wird und jeden beliebigen nicht negativen Wert aufweisen kann.
- Y_r gibt an, ob die Route, notiert als r, benutzt wird oder nicht: Ein Wert von 1 bedeutet, dass die Route verwendet wird, der Wert 0 besagt das Gegenteil.

Restriktion bei der Pfadgenerierung

Weil bei binärwertigen Variablen die Rechenzeit stark ansteigen kann, muss die Anzahl der Pfade, die im Modell erlaubt sind, limitiert werden. Im Fedex-Fall bei Kuby und Gray wurde deshalb nur der westliche Bereich der USA untersucht. Im 3L-Modell wird die Anzahl der Pfade im Netz der AUA, Swiss und Lufthansa auf die gemäß den Flugplänen ausgewiesenen Stopover-Flüge limitiert. Es werden den Modelldaten keine Daten zu Gabelflügen hinzugefügt, die nicht in den offiziellen Flugplänen ausgewiesen sind.

Behandlung der Modelldaten

Im Modell erfolgt während der Rechenlaufzeit die Abbildung der Daten und -strukturen auf Inzidenzmatrizen eines flüchtigen Speichers. Für die Speicherung der materialisierten Modell- und Schemadaten wird eine relationale Datenbank verwendet. Die folgenden geografischen Sachverhalte des Netzwerks müssen mit solchen Matrizen abgebildet werden.

Geografische Relationen zwischen Originalflughäfen, Bögen und Pfaden, d. h. im Einzelnen

- Abbildung, ob Routen benutzt werden,
- Abbildung, ob Routen einen bestimmten Bogen benutzen (Inzidenz des Bogens zur Route),
- Abbildung, ob ein Pfad einen bestimmten Flughafenort enthält (Inzidenz des Orts zum

Pfad),
- Abbildung, ob ein Pfad einen bestimmten Bogen benutzt (Inzidenz des Bogens zum Pfad).

Abbildung der Daten in Inzidenzmatrizen
Diese Vorgehensweise der Daten- und Datenstrukturdarstellung entspricht der Abbildung von Inzidenzmatrizen gemäß den Ausführungen in Abschnitt 14.2.

Mit dieser Technik der Datenabbildung soll die Komplexität der Daten reduziert werden. Die Daten müssen so strukturiert werden, dass die Algorithmen das Modell effizient berechnen. Mittels einer Pfad-Bogen-Inzidenz-Matrix I_{pa} erfolgt die Identifizierung aller Pfade p, die in einem bestimmten Bogen a benutzt werden. Dabei wird berücksichtigt, dass der Bogen einer Kapazitätsbeschränkung unterliegt, indem alle Transportflüsse des Pfads auf einem Bogen zu beachten sind. Die Bogen-Routen-Inzidenz-Matrix J_{ar} stellt die Beziehung von jeder Route r zu allen Bögen a her, die in der Route vorkommen. Bei der Bogen-Routen-Inzidenz-Matrix wird auch die Bogenkapazitätsbegrenzung abgebildet, bei der die logische Verbindung zwischen der [0,1]-Routen-Entscheidung getroffen und der Transportfluss des Bogens abgebildet wird. Bei der Bogen-Pfad-Inzidenz-Matrix K_{wp} findet die Nachfragebeschränkung Berücksichtigung. In dieser Matrix werden alle Pfade p angegeben, die in jedem Bogen a enthalten sind. In der nachfolgenden Tabelle werden die Indizes, die Variablen für Mengen, die Variablen zur Abbildung von Inzidenzmatrizen und die Modellvariablen angegeben und erläutert. Es handelt sich dabei um alle Parameter, die im Modell bei Kuby und Gray vorkommen. Hinzugekommen sind die Variable E_a für die Distanz auf einem Bogen und die Variable t für den Index der Flugzeugtypen, die bei Kuby und Gray nicht modelliert werden. Die Mengen und Inzidenz-Variablen werden in den Algorithmen in Arrays abgebildet.

Indizes	
w	Index der Ursprungsstädte
p	Index der möglichen Pfade
a	Index der Bögen (Arkus)
r	Index der Routen
t	Index der Flugzeugtypen
Mengen	
A	Menge der Flughäfen (Airport); exogen
B	Menge der Bögen (Arkus); exogen
R	Menge der Routen; exogen
P	Menge der Pfade; exogen
Inzidenz-Variablen (Binärvariablen im Modell)	
Y_r	1, falls die Route r genutzt wird, andernfalls 0
J_{ar}	1, falls die Route r den Arkus a nutzt, andernfalls 0
K_{wp}	1, falls Flughafen w im Pfad p vorkommt, andernfalls 0
I_{pa}	1, falls der Pfad p den Bogen a nutzt, andernfalls 0
Modellvariablen	
H_p	Fracht-Volumen (Einheit Tonnen), das auf Pfad p befördert wird
C_a	Flugstreckenverkehrskosten (Einheit €), um den Bogen a zu nutzen
T_w	Frachtnachfrage (Einheit Tonnen) auf Flughafen w gemäß DLR-Zahlen
M	Marge (Einheit €) der Kapazitätsreserven des Flugzeugs
D_r	Fixkosten (Einheit €), um die Route r zu nutzen
B_a	Kapazität (Einheit Tonnen) auf dem Bogen a
E_a	Distanz (Entfernung) (Einheit Kilometer) für den Bogen a

Tabelle 38: Indizes und Modellvariablen

14.3.1 Modellaufstellung

In diesem Abschnitt erfolgt auf Basis der bereits definierten und erläuterten Modellvariablen die Modellaufstellung. Die Handhabung von Routen, Bögen und Pfaden entspricht dem Konzept, das in Abschnitt 12.7 vorgestellt wird. Zur Modellierung werden verschiedene Daten und Variablen sowie eine Zielfunktion benötigt.

Das Modell besteht aus den Modellgleichungen (14-1) bis (14-3) und den Restriktionen (14-4-1) bis (14-4-7).

(14-1) Minimiere

$$Min \sum_r \sum_a J_{ar} C_a Y_r + \sum_r D_r Y_r$$

unter den folgenden Nebenbedingungen:

(14-2)

$$\sum_p K_{wp} H_p = T_w \forall w$$

(14-3)

$$\sum_p I_{pa} H_p - \sum_r J_{ar} (1 - M) B_a Y_r \leq 0 \ \forall a$$

(14-4-1) $H_p \geq 0$
(14-4-2) $Y_r \in \{0,1\} \ \forall r \in R$
(14-4-3) $J_{ar} \in \{0,1\} \ \forall a \in B, \ \forall r \in R$
(14-4-4) $K_{wp} \in \{0,1\} \forall w \in T, \forall p \in P$
(14-4-5) $I_{pa} \in \{0,1\}; \ \forall p \in P, \forall a \in B,$
(14-4-6) $D_r \in \mathbb{Z}, \ \forall r \in R$
(14-4-7) $E_a \in \mathbb{Z}, \ \forall a \in B$

Die Gleichungen (14-1) bis (14-3) entsprechen den Gleichungen (1) bis (3) im Modell von Kuby und Gray (1993, S. 6 und 9). Die Nebenbedingungen (14-4-1) bis (14-4-2) sind bei Kuby und Gray unter (4) zusammengefasst, wobei die Bedingungen (14-4-3) bis (14-4-7) bei ihnen nicht gegenständlich sind.

14.3.2 Matrizen, Variablen und Befehlssatz der Algorithmen

Dieses Modell enthält alle notwendigen Variablen für die Problemstellung dieser Arbeit. Y_r, J_{ar}, K_{wp} und I_{pa} stellen Binärvariablen für die Steuerung der Integer-Programmierung dar. Die Erläuterung der Modellgleichungen sind angelehnt an Kuby und Gray (1993, S. 7).

Zur Abbildung der Inzidenzvariablen Y_r, J_{ar}, K_{wp} und I_{pa} in Arrays werden folgende ein- bzw. zweidimensionalen Matrizen eingeführt:

Matrizen für Binärvariablen mit den Werten {0,1}
Y[n]; {n $\in \mathbb{Z}$ I 1≤ n ≤ p I Y[n] = {0,1}}
J[z,m]; {(z $\in \mathbb{Z}$ I 1≤ z ≤ a), (m $\in \mathbb{Z}$ I 1≤ m ≤ r) I J[z,m] = {0,1}}
K[i,j]; {(i $\in \mathbb{Z}$ I 1≤ i ≤ w), (j $\in \mathbb{Z}$ I 1≤ j ≤ p) I K[j,i] = {0,1}}
I[o,z]; {(o $\in \mathbb{Z}$ I 1≤ o ≤ a), (z $\in \mathbb{Z}$ I 1≤ z ≤ r) I I[o,z] = {0,1}}

Die Modellparameter R_r, H_p, D_r, T_w, C_a und B_a werden ebenfalls als Matrizen in den Algorithmen abgebildet: Die tief gestellten Indizes geben die maximale Anzahl der Elemente in den jeweiligen Matrizen an. Sie entsprechen den Indizes der Tabelle 38.

Matrizen für Werteparameter
H[j]; {j$\in \mathbb{Z}$ I 1≤ j ≤ p} /* Frachtaufkommen auf Pfad j */

D[l]; {l $\in \mathbb{Z}$ l 1≤ l ≤ r} /* Fixkosten auf Routen l */
T[j]; {j $\in \mathbb{Z}$ l 1≤ j ≤ w} /* Frachtnachfrage auf Flughafen j */
C[n]; {n$\in \mathbb{Z}$ l 1≤ n ≤ a} /* Flugstreckenverkehrskosten auf Bogen a */
B[m]; {m $\in \mathbb{Z}$ l 1≤ m ≤a} /* Frachtkapazität auf Bogen a */

Benutzte Matrizen in den Algorithmen in Abschnitt 14.4.3, 14.4.5 und 14.4.6

FT[j]; {j $\in \mathbb{Z}$ l 1≤ j ≤ t} /* Menge aller Flugzeugtypen */
FTK[j]; {j $\in \mathbb{Z}$ l 1≤ j ≤ t} /* Belly-Kapazitäten zu den einzelnen Flugzeugtypen */
FQ[j,i]; {(j $\in \mathbb{Z}$ l 1≤ j ≤ t),
(i $\in \mathbb{Z}$ l 1≤ i ≤ a)} /* Frequenz des Flugzeugtypen j auf Bogen i */
BK[i]; {j $\in \mathbb{Z}$ l 1≤ j ≤ a} /* Betriebskosten auf dem Bogen i */
E[i]; {i $\in \mathbb{Z}$ l 1≤ i ≤ a} /* Distanz in Einheit km auf dem Bogen i */
K[i]; {i $\in \mathbb{Z}$ l 1≤ i ≤ a} /* Flugstreckenverkehrskosten je km auf dem Bogen i */

Matrizen zur Abbildung der Daten für Flughäfen, Bögen, Pfade und Routen

P[o]; {o $\in \mathbb{Z}$ l 1≤ o ≤p} /* Menge der Pfade mit o Elementen */
A[i]; {i $\in \mathbb{Z}$ l 1≤ i ≤w} /* Menge der Flughäfen mit j Elementen */
BO[l]; {l $\in \mathbb{Z}$ l 1≤ l ≤p} /* Menge der Bögen mit l Elementen */
R[k]; {k $\in \mathbb{Z}$ l 1≤ k ≤p} /* Menge der Routen mit k Elementen */

Hilfsvariablen für die Summenbildung

$(\psi, \delta, \chi, \tau, \theta, \zeta, \mu, \delta, \pi, \rho) \in \mathbb{R}$

Befehlssatz zu den Algorithmen

Eine Erläuterung des Befehlssatzes für die nachfolgenden Algorithmen erfolgt im Abschnitt „Begriffliche Definitionen“. Eine Schleife in den Algorithmen dient dazu, die Matrizenelemente mithilfe eines Laufindex zu iterieren, d. h. die Elemente der Matrix in ihrer Ordnungsreihenfolge einzeln und hintereinander anzusprechen.

14.3.3 Erläuterung der Modellgleichungen und geeignete Lösungsalgorithmen

In diesem Abschnitt werden die Modellgleichungen (14-1) bis (14-3) erläutert und zur Lösung geeignete Algorithmen im Pseudocode beschrieben und aufgestellt.

Anmerkungen

Um die Gesamtfrachtkapazität B_a für den Bogen a zu erhalten, muss in Gleichung (14-3a) die Entscheidungsvariable Y_r den Wert 1 aufweisen, ansonsten wird die Belly-Frachtkapazität für den Bogen a auf den Wert 0 gesetzt. Falls Y_r den Wert 1 aufweist, werden die für diese Route anfallenden Fixkosten der Route in die Berechnung in der Gleichung (14-1) berücksichtigt. Die Restriktion für Y_r in (14-4-2) ist essenziell, um die Kosten in der gegenständlichen Funktion korrekt zu berechnen und die Kapazität in der Transportfluss-Bedingung des Bogens richtig zu ermitteln. E_a gibt die Entfernung des Bogens an. Diese Variable taucht in den Modellgleichungen nicht auf, sondern ist ein impliziter Term im Parameter C_a (vergleiche hierzu die Ausführungen in Abschnitt 14.4.6).

Nachfolgend werden Algorithmen zur Berechnung der Modellgleichungen (14-1), (14-2) und (14-3) vorgestellt und beschrieben.

Modellgleichung (14-1)

Funktion (14-1) minimiert die gesamten Flugstreckenverkehrskosten C_a aller Bögen und bezieht bei der Optimierung die anfallenden Fixkosten der in den Bögen benutzten Routen D_r mit ein. Die Flugstreckenverkehrskosten C_a inkludieren Kerosin- und Wartungskosten und C_a entspricht einer Funktion, die abhängig ist von der Länge des Bogens a und den auf dem Bogen a eingesetzten Flugzeugtypen. D_r enthält die Betriebskosten, die mehr oder weniger für jeden genutzten Tag des eingesetzten Flugzeugs konstant bleiben sollen, und die Flugzeugabschreibungskosten werden als Funktion der geflogenen Flugzeit einkalkuliert, mit der

Begründung, dass die Abschreibung von der Betriebszeit des Flugzeugs abhängt. Investitionskosten von Flugzeugen werden indirekt in der Funktion D_r abgebildet, die bestehende Flugzeugflotte ist keine Nebenbedingung im Modell. Die Betriebskosten D_r und die Flugstreckenverkehrskosten C_a werden in den Abschnitten 14.4.5 bzw. 14.4.6 zu diesen Ausführungen ergänzend erläutert.

Die Werte der Inzidenzvariable Y_r lassen sich dekomponiert dem Algorithmus für (14-1) im Vorfeld der Matrix Y[r] zuweisen, sodass innerhalb der Iteration im Algorithmus von (14-1) die Inzidenzvariable Y_r nicht explizit zu versorgen ist und Y_r sich zur Steuerung des Algorithmus dergestalt verwenden lässt, ob eine dedizierte Route im Modell vorkommt oder nicht. Y_r gibt an, ob eine Route benutzt wird, sprich, ob sie in einem Pfad vorkommt. Nur wenn dies der Fall ist, finden die Frachtwerte, die auf der Route transportiert werden, im Modell Berücksichtigung. Andernfalls wird die Route nicht weiter betrachtet.

Iteriert man im nachfolgenden Algorithmus über alle Routen r und bildet wiederum für jede Route über alle Pfade p eine Schleife, die in der Pfad-Matrix P[o] eingetragen sind, und fragt in jedem Iterationsschritt ab, ob die Route in dem Pfad vorkommt, dann wird die Inzidenzvariable Y_r auf 1 gesetzt. Mit dem vorstehenden Algorithmus lässt sich überprüfen, ob eine Route R[n] mit n = {1,..,r} in einem Pfad P[o] mit o = {1,..,p} vorkommt. Hierzu wird eine äußere Schleife mit n = {1,..,r} gebildet und innerhalb dieser Schleife eine weitere Schleife über alle Pfade mit o = {1,..,p} durchlaufen.

Algorithmus zur Vorbelegung der Inzidenzvariablen Y_r

```
/* Ermitteln, ob Routen in einem Pfad vorkommen */
/* Iteration über alle Routen */
For n=1 to r
    /* Iteration über alle Pfade */
    For o=1 to p
       If R[n]∈P[o]
          Y[n]=1
    End;
End;
```

Abbildung 49: Algorithmus zur Vorbelegung von Y_r

Die Doppelsumme $\sum_r\sum_a$ und die singuläre Summe $\sum_r$ in (14-1) werden im folgenden Algorithmus wie folgt gesteuert. Die Doppelsumme $\sum_r\sum_a$ wird durch zwei ineinander verschachtelte Schleifen nachgebildet. Innerhalb dieser Doppelschleife erfolgt die Integration einer Schleife für die Summe $\sum_r$. Zunächst werden zur Umsetzung der Doppelschleife alle Routen iteriert, d. h. eine Schleife über die Matrix R[n] mit n = {1,..,r} Iterationen aufgebaut. Innerhalb einer Iteration für eine Route n werden alle Bögen, die in der Matrix BO[m] eingetragen sind, durchlaufen. m entspricht der Laufvariable der Bogen-Matrix BO[m] mit m = {1,..,a} Durchläufen und stellt das m-te Bogenelement dar. Zunächst wird geprüft, ob der m-te Bogen Teil der r-ten Route ist. Falls ja, dann wird das Array J[m,n] für den betreffenden Bogen m und die Route n auf 1 gesetzt, andernfalls auf 0. Mithilfe von J[m,n] erfolgt die Steuerung, ob Routen in Bögen vorkommen, d. h. die Frachtanteile der Route zu berücksichtigen sind. Falls die Routeninstanz im Pfad vorkommt, wird die Inzidenzvariable Y[m] auf 1 gesetzt.

Innerhalb der m-ten Instanz eines Bogens erfolgt die Bildung der Summe $\sum_r$ über alle Routen. Hier erfolgt eine weitere verschachtelte Iteration über alle Routen r mit der Laufvariable l = {1,..,r}. Falls die Route R[l] in einem Pfad vorkommt, indiziert durch Y[l] = 1, wird der Wert des Fixkostenanteils der Route R[l], der im l-ten Element der Matrix D[l] enthalten ist, zur Summe δ hinzuaddiert. Die Addition des Wertes von D[l] erfolgt, wenn das Produkt Y[l]D[l] ungleich 0 ist, d. h., wenn Y[i] den Wert 1 aufweist. Y[l]D[l] bildet im Algorithmus das Produkt in der Summe $\sum_r D_r Y_r$ in (14-1) ab. Mithilfe dieser inneren Schleife über alle Routen (For l = 1 to r) werden sämtliche Fixkostenanteile von Routen kumuliert, die in Pfaden vorkom-

men. Bei der weiteren Summierung innerhalb dieser Schleife werden die Flugstreckenverkehrskosten des n-ten Bogens C[n] gemäß der übergeordneten Schleife hinzuaddiert, wenn J[j,n] und Y[n] simultan den Eintrag 1 bei den Iterationswerten von j und n aufweisen. Bei Y wird das n-te Element gemäß der Iteration der äußeren Schleife betrachtet, d. h., die Routenbetrachtung bezieht sich auf die Routen-Iteration der äußeren Schleife. Die Summenbildung entspricht in (14-1) $\sum_r \sum_a J_{ar} C_a Y_r$. Die Summengleichung $\psi=\psi+\chi$ addiert sämtliche Betriebs- und Flugstreckenverkehrskosten, die in der konkreten Routen-, Bogen- und Pfadkonfiguration anfallen.

Wenn alle Schleifen iteriert sind, steht in der Variablen ψ der Minimalwert für die gesamten Betriebs- und Flugstreckenverkehrskosten unter Berücksichtigung der Nebenbedingungen aus (14-2) bis (14-3a).

Algorithmus für Modellgleichung (14-1)

```
/* Initialisierung der Summen-Variablen */
ψ=0; δ=0;χ=0;
/* Iteration über alle Routen */
For n=1 to r
      ψ=ψ+χ
      /* Iteration über alle Bögen */
      For m=1 to a
            /* falls iterierter Bogen in iterierter Route vorkommt */
            If BO[m]∈R[n]
                  J[m,n]=1
            else
                  J[m,n]=0
            For l=1 to r
                  δ=D[l]·Y[l]
                  χ=J[j,n]·C[n]·Y[n]+δ
            End;
      End;
End;
```

Abbildung 50: Algorithmus für Modellgleichung (14-1)

Modellgleichung (14-2)

Gleichung (14-2) stellt die Modellrestriktion dar, dass die in den Flughäfen nachgefragte Luftfracht über Pfade versorgt wird. Gemäß der Gleichung wird gefordert, dass für jeden Start-Flughafen T_w die Summe des Frachtvolumens über alle Pfade, bei denen der Flughafen als Start- oder Zwischenflughafen vorkommt, der Frachtnachfrage auf dem Flughafen T_w entspricht. In dieser Gleichung kommt beim Modell von Kuby und Gray die Feeder-Funktion der Flughäfen zum Ausdruck, d. h., dass ein Flugzeug auf der Route auf einem Zwischenflughafen landet und die dort anfallende Fracht auf dem Flugzeug zugeladen wird. Im Modell dieser Arbeit hingegen soll weder die Umschlagefunktion noch der Zubringerservice von Fracht dargestellt werden. Ein Zwischenstopp dient einzig zur Abbildung von Gabelfügen im Pfad.

Dieser Sachverhalt lässt sich jedoch modelltechnisch analog modellieren. Gleichung (14-2) gewährleistet, dass die Frachtnachfrage auf dem Flughafen T_w tatsächlich eingesammelt wird. H_p ist die Variable, die als Ergebnis von Frachtangebot und -nachfrage je Pfad die tatsächlich geflogene Frachtmenge je Pfad darstellt.

$\forall w$ in (14-2) bedingt, dass eine äußere Schleife über alle Flughäfen gebildet wird. Die Schleife iteriert mit der Laufvariablen i = {1,..,w}, d. h. über alle Flughäfen A[i]. Für jede Iteration wird eine Summe T[i] berechnet, die für den iterierten Flughafen A[i] das gesamte nachgefragte Frachtaufkommen, das über diesen Flughafen transportiert wird, kumuliert. Dies bedeutet, dass zu prüfen ist, in welchen Pfaden der dedizierte Flughafen vorkommt. Durch die

Anweisung τ = τ+T[i] bekommt man nach Verlassen der äußeren Schleife den Wert für das gesamte Frachtaufkommen über alle Flughäfen, d. h., für alle T[i] mit i = {1,..,w}, enthält die Variable τ das Gesamtfrachtaufkommen.

Die Verifizierung, ob ein Flughafen i in einem Pfad vorhanden ist, wird mithilfe einer inneren Schleife je iteriertem Flughafen erzwungen. Hierzu wird für jeden iterierten Flughafen eine innere Schleife p-mal, d. h. mit der Indexvariable j = {1,..,p}, durchlaufen. Die innere Schleife bildet die Summe ($\sum_p K_{wp} H_p$) aus (14-2) ab. Bei jeder Iteration j erfolgt für den betrachteten Pfad P[j] die Überprüfung, ob der instanziierte Flughafen i im Pfad j enthalten ist. Falls ja, wird die Inzidenzvariable K[i,j] auf 1 gesetzt, d. h., K gibt an, ob der i-te Flughafen im j-ten Pfad vorhanden ist. K[i,j] steuert dann, ob der Frachtwert H[j] dem Matrixelement T[i] zugewiesen wird. H[j] gibt das Frachtvolumen an, dass auf dem Pfad j transportiert wird. Falls K[i,j] den Wert 0 aufweist, d. h. der Flughafen kein Teil des betrachteten Pfads ist, wird auch kein Frachtwert des Pfades P[j] T[i] zugewiesen. (14-2) ist eine Nebenbedingung, die besagt, dass das Frachtaufkommen für jeden Flughafen durch Pfade abgedeckt wird.

Algorithmus für Modellgleichung (14-2)

```
/* Initialisierung der Summen-Variable */
τ=0;
/* Iteration über alle Flughäfen */
For i=1 to w do
     τ=τ+T[i]
     /* Iteration über alle Pfade */
     For j=1 to p do
         /* falls iterierter Flughafen in iteriertem Pfad ist */
         If A[j] ∈ P[j]
             K[i,j]=1
         else
             K[i,j]=0
         T[i]=K[i,j]·H[j]
     End;
End;
```

Abbildung 51: Algorithmus für Modellgleichung (14-2)

Modellgleichung (14-3)

Beim Modell von Kuby und Gray (1993, S. 7) entspricht die Gleichung (3) der Restriktion des Frachtangebots, die das Frachtaufkommen auf allen Pfaden, die einen bestimmten Bogen benutzen, auf die Frachtkapazität des Flugzeugs, das auf den Pfaden eingesetzt wird, notiert mit B_a abzüglich eines Frachtladereservefaktors M, limitiert. Der Frachtladereservefaktor M wird in Abänderung zum Modell von Kuby und Gray in (14-3) außer Acht gelassen, da bei den Belly-Kapazitäten der Flugzeuge ohnehin nur von Durchschnittswerten für die Belly-Frachtkapazitäten ausgegangen wird, um bei einer Vollauslastung der Maschine mit Passagieren eine entsprechende Flexibilität bei der Gepäckverladung zu haben. Insbesondere bei den kleineren Flugzeugtypen, die von vornherein eine geringe Belly-Frachtkapazität aufweisen, spielt dieser Umstand eine bedeutende Rolle. (14-3) vereinfacht sich demnach zu

$$(14-3a) \sum_p I_{pa} H_p - \sum_r J_{ar} B_a Y_r \leq 0 \ \forall \mathrm{a}$$

Die Berücksichtigung einer Reservekapazität würde möglicherweise dazu führen, dass im Flugzeug keine Belly-Frachtkapazitäten mehr bestehen würden.

Weiterhin unterscheidet sich der vorliegende Modellansatz von Kuby und Gray hinsichtlich der Verwendung des Modellparameters B_a. Während bei Kuby und Gray im Modell ein Flug-

zeug einen dedizierten Bogen nur einmal fliegt und somit die Kapazität B_a aus dem geflogenen Flugzeug resultiert, können im 3L-Netzwerk auf einem Bogen ein oder mehrere Flugzeuge zum Einsatz kommen. B_a wird im Modell als die Summe der Belly-Frachtkapazitäten aller geflogenen Flugzeuge für einen Flugtag betrachtet. Abschnitt 14.4.3 legt dar, wie die Berechnung der Summe der Belly-Frachtkapazitäten je Bogen erfolgt.

$\forall a$ in (14-3a) bedingt, dass eine äußere Schleife über alle Bögen mit z = {1,..,a} Iterationen abzubilden ist. Über alle Bögen wird die Summe ($\sum_p$) berechnet. Die äußere Schleife dient zur Steuerung des Summenterms $\sum_p I_{pa} H_p$ in (14-3a). Demnach ist für alle Bögen BO[z], die in Pfaden P[o] vorkommen, das gesamte auf diesen Bögen transportierte Frachtaufkommen zu berechnen. Hierfür ist die Summen-Anweisung $\mu=\mu+\theta$ im Algorithmus vorgesehen. Um für eine Bogen-Instanz zu ermitteln, ob sie in einem Pfad vorkommt, wird jeder Pfad iteriert, d. h., innerhalb der Bogen-Schleife wird eine weitere Schleife über alle Pfade, d. h. mit o = {1,..,p} Iterationen durchlaufen.

In jeder Iteration o wird abgefragt, ob der Bogen BO[z] ein Element des Pfades P[o] ist. Falls dies bejaht wird, wird die Inzidenzvariable I[o,z] auf 1 gesetzt, ansonsten erhält sie den Wert 0. I[o,z] gibt an, ob der Bogen BO[z] im Pfad P[o] enthalten ist oder nicht. Falls I[o,z] den Wert 1 aufweist, wird der Summenvariable θ der Wert von H[o] zugewiesen. H[o] gibt den anteiligen Frachtwert des Bogens auf dem Pfad an, der im Pfad noch transportiert werden soll. Damit die gesamte Pfad-Frachtkapazität nicht überschritten wird, müssen die auf dem Bogen BO[z] bereits durch Routen in Anspruch genommenen Frachtwerte aus Transporten in Abzug gebracht werden. Dies wird mithilfe des rechten Summenterms in (14-3a) $\sum_r J_{ar} B_a Y_r$ bewerkstelligt.

Die ≤-Restriktion in (14-3a) $\sum_p I_{pa} H_p - \sum_r J_{ar} B_a Y_r \leq 0 \; \forall a$ bedingt, dass für die zu transportierenden Frachtraten auf den Pfaden die Kapazitäten auf den in den Bögen enthaltenen Routen nicht überschritten werden. Die anteiligen Frachtwerte auf Routen im aktuellen Bogen BO[z] werden in der Anweisung `θ=I[o,z]·H[o]-ζ` durch den Variablenwert von ζ in Abzug gebracht. ζ enthält die bereits auf dem Pfad durch andere Routen in Anspruch genommenen Frachtkapazitäten, woraus sich in θ die Restfrachtkapazität auf dem aktuellen Pfad ermitteln lässt. Zur Berechnung von ζ wird innerhalb des iterierten Pfads eine Schleife über alle Routen benötigt und jede einzelne Route wird iteriert, was durch die For-Anweisung mit der Laufvariablen m = {1,..,r} erreicht wird.

Falls die iterierte Route m im aktuellen Bogen z enthalten ist, was durch die If-Abfrage überprüft wird, werden einerseits die Inzidenzmatrix J[z,m] und andererseits die Inzidenzvariable Y[m] jeweils auf 1 gesetzt, andernfalls bekommen beide Variablen den Wert 0 zugewiesen. Y gibt dabei an, ob die Route benutzt wird oder nicht. ζ ist die Summenvariable innerhalb der Schleife. Sie enthält je Bogen BO[z] die kumulierten Werte für alle Routen, die im aktuellen Bogen vorkommen. ζ berechnet sich gemäß der Anweisung `ζ=J[z,m]·B[z]·Y[m]+ζ`. Demnach werden die Frachtkapazitäten auf den Bögen B[z] aufsummiert, falls die Route m im Bogen verwendet wird (indiziert durch Y[m] = 1) und im Bogen enthalten ist (indiziert durch J[z,m] = 1). Sollte J oder Y den Wert 0 aufweisen, dann würde die Frachtkapazität des Bogens nicht in die Summe ζ einfließen.

Algorithmus für Modellgleichung (14-3a)

```
/* Initialisierung der Summen-Variable */
θ=0;ζ=0;μ=0;
/* Iteration über alle Bögen */
For z=1 to a do
      μ=μ+θ
      /* Iteration über alle Pfade */
      For o=1 to p do
```

```
            If BO[z]∈ P[o]
                I[o,z]=1
            else
                I[o,z]=0
            θ=I[o,z]·H[o]-ζ
            /* Iteration über alle Routen */
            ζ=0
            For m = 1 to r do
                 If R[m] ∈ BO[z]
                    J[z,m]=1
                    Y[m] = 1
                else
                    J[z,m]=0
                    Y[m]=0
                 ζ=J[z,m]·B[z]·Y[m]+ζ
        End ;
    End;
End;
```

Abbildung 52: Algorithmus für Modellgleichung (14-3a)

14.4 Festlegung von modellspezifischen Parametern

Im Folgenden werden geeignete Annahmen für die vorgenannten Modellparameter getroffen, um diese mit den Daten des 3L-Netzwerks zu versorgen. Um die Daten für das Modell einfach strukturiert und vollständig bereitzustellen, müssen die Netzwerkdaten aus den Flugplandaten extrahiert und falls erforderlich, angereichert werden. Im Einzelnen sind dies:

- Distanz zwischen den Flughäfen (Streckenentfernung) anhand der offiziellen Entfernungsangaben in den Flugplänen,
- Annahmen zu den Kosten des Umschlags, des Transports und des Be- und Entladens von Fracht,
- Festlegung der Kapazitätsrestriktionen der Flugzeuge,
- Diskussion über die Notwendigkeit von Zeitrestriktionen im Modell,
- Überprüfung, ob die durchschnittliche Verweilzeit am Flughafen bei einem Zwischenstopp in der Modellierung berücksichtigt werden muss, bzw. Treffen einer Annahme zur durchschnittlichen Verweilzeit am Flughafen bei einem Zwischenstopp
- Ermittlung der Flugzeit auf jedem Bogen a bzw. Pfad p bei Anschlussflügen aus den in den Flugplänen offiziell ausgewiesenen Flugzeiten der Airlines,
- Determinierung der minimalen und maximalen Dauer für Pfade aus den Flugplandaten bzw. Festlegung von Annahmen auf Basis der Flugplandaten,
- Festlegung des Flugstreckennetzes, der eingesetzten Belly-Flugzeug-Typen und von deren Frachtkapazitäten anhand publizierter Informationen.

Die einzelnen Punkte sind dahingehend zu überprüfen, ob sie zur Lösung der vorliegenden Problemstellung erforderlich sind.

14.4.1 Pfadgenerierung

Die Pfade werden gemäß den Ausführungen in Abschnitt 12.7.3 generiert. In der nachfolgenden Tabelle erfolgt die Skizzierung der Routen, Bögen und Pfade von Berlin (TXL) nach Klagenfurt (KLU) gemäß dem Beispiel in Abschnitt 12.7.1 in der Inzidenzmatrix. Die Inzidenzmatrix gibt an, welche Bögen in welchen Pfaden enthalten sind.

	Pfade (p)				
Bögen (a)	TXL_MUC_KLU	TXL_FRA_MUC_KLU	TXL_NUE_MUC_KLU	TXL_STR_MUC_KLU	TXL_DUS_MUC_KLU

	Pfade (p)				
MUC_KLU	1	1	1	1	1
TXL_MUC	1	0	0	0	0
NUE_MUC	0	0	1	0	0
TXL_NUE	0	0	1	0	0
STR_MUC	0	0	0	1	0
TXL_STR	0	0	0	1	0
DUS_MUC	0	0	0	0	1
TXL_DUS	0	0	0	0	1
FRA_MUC	0	1	0	0	0
TXL_FRA	0	1	0	0	0
1 = Pfad p benutzt Bogen a, 0 = ansonsten					

Tabelle 39: Inzidenzmatrix (Pfad/Bogen)

Die Inzidenzmatrix zur Abbildung der Routen und Bögen ist obsolet, da im Modellansatz ein Bogen einer Route entspricht. Die nachfolgende Inzidenzmatrix gibt an, welche Flughäfen in welchen Pfaden vorkommen. Im Gegensatz zu Kuby und Gray, bei denen nur die Ursprungs-Flughäfen dargestellt werden, bei denen ein Pfad beginnt, werden hier alle Flughäfen abgebildet, die in einem Pfad vorkommen.

	Pfade (p)				
Ursprungs-Flughafen (w)	TXL_MUC_KLU	TXL_FRA_MUC_KLU	TXL_NUE_MUC_KLU	TXL_STR_MUC_KLU	TXL_DUS_MUC_KLU
MUC	1	1	1	1	1
TXL	1	1	1	0	0
NUE	0	0	1	0	0
STR	0	0	0	0	0
DUS	0	0	0	1	0
FRA	0	1	0	1	0
1 = Pfad p enthält Flughafen w, 0 = ansonsten					

Tabelle 40: Inzidenzmatrix (Pfad/Ursprungsflughafen)

14.4.2 Bewertung der Bogen-Distanzen, E_a

Distanzen aus den Flugplandaten

In Kapitel 13 sind die relevanten Flugplandaten der AUA, der Lufthansa und der Swiss zusammengestellt worden.[134] In diesem Zusammenhang wurden auch aus den Flugplänen für jede Flugstrecke die Meilenangaben der Fluggesellschaften übernommen. Diese Angaben lassen sich im Modell zunutze machen, indem für jeden Bogen B_i mit $i = \{1,\ldots,a\}$ die korrespondierende Flugstreckendistanz E_i übernommen wird.

Alternative Ermittlung der Distanzen

In dieser Arbeit wird die Ermittlung der Distanzen zwischen den Flughäfen einfach gehalten, da die Fluggesellschaften AUA, Lufthansa und Swiss zu jeder Strecke, die sie fliegen, auch die Entfernung in ihren Flugplänen ausweisen. Es bietet sich deshalb an, diese Daten zu übernehmen. Alternativ lässt sich die Distanz auch berechnen, indem die Distanz aus den Geodaten der zwei in einer Flugstrecke enthaltenen Flughäfen bestimmt wird. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die Erdoberfläche gekrümmt ist. Jedoch gibt es des Weiteren noch die Möglichkeit, die Streckenentfernungen selbst zu berechnen. Nachfolgend wird kurz auf die Problemstellung eingegangen und ein Literaturverweis gegeben, wo sich das Thema vertiefen lässt. Üblicherweise müssten für die Flughäfen die geografischen Lagedaten in einem

[134] Vgl. Lufthansa Magazin, 11/2009, Bereich Meilenangaben.

Geo-Koordinatensystem ermittelt werden, da die Flughafenorte auf der Erdkugel positioniert sind und diese mit einer geografischen Breite und Länge im Format GGG.MM angegeben werden, wobei GGG die Gradangabe und MM die Minutenangabe repräsentieren. Ist die Länge positiv, wird O für Ost angegeben, bei einer negativen Länge wird W für West angeführt. Eine positive Breite wird mit N für Nord und eine negative Länge mit S für Süd notiert (vgl. Vahrenkamp und Mattfeld, 2007, S. 20). Für Berlin bspw. lauten die Geo-Koordinaten 52°35' N, 13° 17' O. Für die Berechnung der Kanten in einem Netzwerk auf der Basis vorliegender Geo-Koordinaten wird eine Kante, die zwei Knoten i und j verbindet, als Kreissegment auf der Erdkugel behandelt. Die Distanz d_{ij} zwischen den beiden Knoten stellt die Länge der Kante (i,j) dar. Um die Entfernung von zwei Flughäfen auf der Erdoberfläche zu ermitteln, müssen die Geo-Koordinaten in die so genannte Radianschreibweise umgerechnet werden. Hierzu gibt es eine spezielle Formel, die für zwei Knoten i und j, die mit den Geo-Koordinaten versehen sind, die Länge der Kante (i,j) repräsentiert. Die Erdkugel wird als idealisierte Kugel mit einem Durchmesser von 6.738,388 km betrachtet.

Vahrenkamp und Mattfeld (2007, S. 20) haben die Distanzberechnungsvorschrift für ein Geo-Koordinatensystem aufgestellt und zur Berechnung eine Formel entwickelt. Die Autoren weisen im Weiteren darauf hin, dass Verkehrsnetz-Daten generell dadurch charakterisiert sind, dass die Knoten Geo-Koordinaten aufweisen und die Distanzen auf den Kanten im Netzwerk als km-Entfernungen im Verkehrsnetz aufzufassen sind und diese Distanzen regelmäßig größer sind als die direkten Luftliniendistanzen (vgl. Vahrenkamp und Mattfeld, 2007, S. 21).

Kuby und Gray (1993, S. 8) berücksichtigen bei der Distanzermittlung im betrachteten Netzwerk in ihrem Modellansatz auch die Flugzeit, indem sie die zusätzliche Zeit, die benötigt wird, um das Flugzeug auf Reisehöhe zu bringen und es von dieser wieder auf den Boden zu bringen, in der Modellgleichung für T einbeziehen.

14.4.3 Bewertung der Fracht-Kapazitäten der Belly-Flugzeuge

Die Informationen zu den Frachtkapazitäten der Belly-Flugzeuge wurden in Abschnitt 2.15 für jeden im 3L-Netz gebrauchten Flugzeugtyp aus öffentlichen Quellen gesammelt. Gemäß den Angaben werden Durchschnittswerte angenommen, d. h., für jeden Flugzeugtyp wird bei einem angegebenen Durchschnittsbereich (z. B. 1 bis 1,5 Tonnen) der Mittelwert (z. B. 0,75 Tonnen) angesetzt.

Flugzeugtyp	Durchschnittliches Ladegewicht in t
Airbus 319-100	1,5
Airbus 320-200	1,75
Airbus 321-100	1,75
Airbus 330-300	24,0
Airbus 340-200	20,0
Airbus 340-300	23,0
Airbus 340-600	22,0
Boeing 737-300/500	1,75
Boeing 757-200/300	4,0
Boeing 777-200	22,6
Avro RJ 85	0,1
Canadair CRJ 200	0,1

Tabelle 41: Durchschnittliches Ladegewicht auf Belly-Flugzeugen

Für die nachfolgenden Flugzeugtypen lassen sich die Belly-Frachtkapazitäten nicht ermitteln. Da der Flugzeugtyp dem der Avroliner RJ 85 bzw. Canadair CRJ 200 ähnelt, wurde für die folgenden Flugzeugtypen als durchschnittliches Ladegewicht 0,1 Tonnen angesetzt:

- DeHavillandCanadaDHC-8Dash8-400,
- AvroRJ85Avroliner,

- EmbraerERJ195,
- Canadair CRJ 700, 900,
- Aerospatiale/AleniaATR72.

Diese Ladegewichte der Belly-Flugzeuge finden bei der Analyse des 3L-Netzwerks im Zusammenhang mit den Belly-Kapazitäten Beachtung. Allerdings entsprechen die Fracht-Kapazitäten der Belly-Flugzeuge nicht den Frachtkapazitäten der einzelnen Bögen. Während im Modellansatz bei Kuby und Gray unterstellt wurde, dass eine Route/ein Bogen nur einmal geflogen wird und sich die Bogenkapazität aus der Kapazität des eingesetzten Flugzeugs auf dem Bogen ergibt, wird hier angenommen, dass ein relevanter Bogen im Flugplan ein oder mehrmals täglich geflogen wird. Da im Modell der Flugplan eines repräsentativen Flugtags gegenständlich ist, sind für den gewählten Tag die Kapazitäten aller Flugzeuge zusammenzurechnen, die auf einem dedizierten Bogen eingesetzt werden. Es kommt dabei vor, dass ein dedizierter Bogen an dem gewählten Flugtag mehrfach geflogen wird und dabei unterschiedliche Flugzeugtypen zum Einsatz kommen können. Sei FT[j] der j-te Flugzeugtyp in der Flugzeugflotte und FTK[j] die durchschnittliche Belly-Frachtkapazität auf dem Flugzeugtyp j, mit $j \in FT$ (FT ist die Menge aller Flugzeugtypen in der Flugzeugflotte), und sei weiterhin FQ[j,i] die Frequenz des Flugzeugtyps j im Bogen i und sei t die maximale Anzahl zugelassener Flugzeugtypen, dann lässt sich die Belly-Frachtkapazität je Bogen BO[i] aus den Flugplandaten mithilfe des nachfolgenden Algorithmus berechnen:

Algorithmus zur Bewertung der Belly-Frachtkapazitäten je Bogen

```
/* Iteration über alle Bögen */
For i= 1 to a
    φ=0;
    /* Iteration über alle Flugzeugtypen (t=maximale Anzahl)*/
    For j= 1 to t
        B[i] = B[i] + φ
        /* Falls Flugzeugtyp im Bogen vorkommt */
        If FT[j]∈BO[i]
           φ=FQ[i,j]·FTK[j]
    End;
End;
```

Abbildung 53: Algorithmus zur Ermittlung der Belly-Frachtkapazitäten

Das Durchlaufen der äußeren Schleife mit i = {1,..,a} erfolgt für jeden Bogen BO[i]. Für jeden Bogen wird mithilfe der inneren Schleife mit j = {1,..,t} Iterationen, wo jeder Datensatz mit den Informationen zu den Flugzeugtypen durchlaufen wird, festgestellt, ob der Flugzeugtyp im Bogen benutzt wird und wenn ja, dann wird die Belly-Frachtkapazität für den Bogen i aus dem Produkt der Frequenz FQ[j,i] und der Belly-Frachtkapazität FTK[j] berechnet. FQ enthält die Flugfrequenz des Flugzeugtyps j auf dem Bogen i. FTK[j] umfasst die Belly-Frachtkapazität des j-ten Flugzeugtypen. B[i] schließt die Summe der Belly-Frachtkapazitäten auf dem Bogen i ein. FQ[j,i] und FTK[j] werden aus den Daten der relationalen Datenbank mittels SQL-Zugriff ermittelt.

Mit diesem Algorithmus erfolgt iterativ für jeden Bogen (für jede Strecke gemäß dem Lufthansa-Cargo-Flugplan) die Ermittlung der Belly-Frachtkapazität für den gewählten Flugtag. In Kapitel 13 sind die berechneten Belly-Frachtkapazitäten auf den relevanten Flugstrecken bereits ermittelt und in Tabellen veranschaulicht worden.

14.4.4 Bewertung der Flugzeiten der Flugzeuge auf den Bögen, T

Der Einfachheit halber werden die Flugzeiten aus den Flugplänen entnommen, sodass sich auch bei diesem Parameter von der komplizierten Berechnungsvorschrift für die Flugzeiten bei Kuby und Gray absehen lässt. Es wird weiterhin unterstellt, dass die täglichen Flugfre-

quenzen in den Flugplänen so ausgelegt sind, dass auch bei bis zu zwei Zwischenstopps die Luftfracht stets am Tag der Frachtversandaufgabe im Zielflughafen eintrifft. Bei Flugzeiten im Streckennetz von maximal 1,5 Stunden können selbst bei Flügen in den Abendstunden die Zieldestinationen noch taggleich erreicht werden (vergleiche hierzu auch die Ausführungen in Abschnitt 14.4.1). Die Formel $T = a + bD + \varepsilon$ von Kuby und Gray ist in diesem Modellansatz obsolet, sodass der Flugzeit-Parameter T und der Distanz-Parameter D in diesem Kontext nicht benötigt werden. Die Distanz ist aber im nächsten Abschnitt bei der Ermittlung der Flugstreckenverkehrskosten C_a vonnöten.

14.4.5 Bewertung der Betriebskosten auf Flugrouten, D_r

Im Modell von Kuby und Gray wird der Parameter D_r benutzt, um die Fixkosten auszudrücken, falls die Route r benutzt wird. Betriebskosten fallen bei einem Flugzeug an, wenn es auf einer Flugstrecke verwendet wird.

In Abschnitt 7.5 wird erwähnt, aus welchen Kostenarten sich die Fixkosten für die Benutzung einer Flugroute zusammensetzen. Es ist noch zu klären, wie sich diese Kostenarten für jede Flugroute, die dem Modell gegenständlich sind, bewerten lassen. Bei Kuby und Gray wurde die Annahme getroffen, dass die Betriebskosten bei dem im Fedex-Netz eingesetzten Flugzeugen für jeden genutzten Tag des eingesetzten Flugzeugs konstant bleiben.

Die Betriebskosten für die einzelnen Flugzeugtypen auf den Routen im 3L-Netzwerk ließen sich im Kontext von Belly-Fracht nicht bestimmen. Hierzu sind in der Literatur bzw. auch im Bereich der öffentlich zugänglichen Informationen bei den relevanten Fluggesellschaften keine Hinweise zu erhalten. In der Arbeit von Kuby und Gray (1993, S. 9) werden die Fixkosten D_r auf einer Route aus den Kosten für die Crew und den Abschreibungskosten des Flugzeugtyps, das diese Route fliegt, berechnet. Dabei gehen beide Autoren von der simplen Annahme aus, dass die Flughafenbesatzung den Flugzeugtyp nicht wechselt, auch wenn die Fracht in unterschiedlichen Flugzeugtypen befördert wird. Es wird dabei argumentiert, dass für den Flugzeugwechsel unterschiedliche Piloten erforderlich wären. Die Fixkosten umfassen auch die Abschreibungskosten, die mit der Entfernung, die das Flugzeug fliegt, variieren können. Hintergrund ist, dass die Abnutzung des Flugzeugs stärker ist, je weiter und je häufiger es geflogen wird (vgl. Gray, 1990). Hinsichtlich der Kostenbestandteile klingt die Aufschlüsselung bei Kuby und Gray durchweg plausibel. Allerdings bleiben die beiden Forscher schuldig, wie die einzelnen Kostenarten sich im Detail zusammensetzen.

Für die flugstreckenbezogenen Betriebskosten werden die Kostenbestandteile gemäß Abschnitt 7.5.2.2 zugrunde gelegt. Auf eine Detaillierung wird hier verzichtet.

Es müssen deshalb Annahmen getroffen werden, wie die Bestimmung der flugstreckenbezogenen Betriebskosten eines Flugzeugtyps erfolgt. Zur Vereinfachung wird wie folgt vorgegangen. Es wird unterstellt, dass die Betriebskosten BK[m] für den Flugzeugtyp FT[m] bekannt sind. Seien FT[j] der m-te Flugzeugtyp in der Flugzeugflotte und BK[i] die Betriebskosten, wenn der Flugzeugtyp auf dem Bogen eingesetzt wird, und $m \in FT$ und FQ[i,m] die Frequenz des Flugzeugtyps m, Bogen i und BK[m] die Betriebskosten des Flugzeugtyps m und t die maximale Anzahl zugelassener Flugzeugtypen, dann lassen sich die Betriebskosten je Route R_r des Flugplans gemäß nachfolgendem Algorithmus berechnen:

Algorithmus zur Bewertung der Betriebskosten je Bogen

```
/* Iteration über alle Bögen */
For i= 1 to a
    π=0;
    /* Iteration über alle Flugzeugtypen */
    For m= 1 to t
        D[i]=D[i]+π
        /* Falls Flugzeugtyp im Bogen vorkommt */
```

```
        If FT[m]∈BO[i]
           π=FQ[i,m]·BK[m]
    End;
End;
```

Abbildung 54: Algorithmus zur Ermittlung der Betriebskosten

Die äußere Schleife mit i = {1,..,a} iteriert über alle Bögen BO[i]. Da im 3L-Netzwerk ein Bogen einer Route entspricht, lassen sich die Routenbezogenen Betriebskosten auf der Ebene der Bögen ermitteln. Für jeden Bogen wird mithilfe der inneren Schleife mit m = {1,..,t} Iterationen, wo jeder Datensatz mit den Informationen zu den Flugzeugtypen durchlaufen wird, festgestellt, ob der Flugzeugtyp im Bogen benutzt wird und wenn ja, dann werden die Betriebskosten für den Bogen i aus dem Produkt der Frequenz FQ[i,m] und den Betriebskosten BK[m] des Flugzeugtyps m berechnet. FQ enthält die Flugfrequenz des Flugzeugtyps m auf dem Bogen i. BK umfasst die Betriebskosten des m-ten Flugzeugtyps. D[i] schließt die Summe der Betriebskosten auf dem Bogen i ein. FQ[i,m] und FTK[i] werden aus den Daten der relationalen Datenbank mittels SQL-Zugriff bereitgestellt.

14.4.6 Bewertung der Flugstreckenverkehrskosten, C_a

Die Flugstreckenverkehrskosten eines Bogens C_a ermitteln Kuby und Gray, indem sie die Kosten des Flugzeugtyps mit dem Ertrag pro Meile multiplizieren (vgl. Gray, 1990, Kuby und Gray, 1993). Diese Flugstreckenverkehrskosten enthalten Wartung und die mit der Durchführung des Flugs verbundenen Kosten, außer Crew-Kosten (Air Transport World, 1988). Es wird bei Kuby und Gray angenommen, dass die Flugdurchführungskosten nicht inkrementell anwachsen, wenn das geflogene Frachtvolumen im Flugzeug ansteigt. Es lässt sich dabei so argumentieren, dass die Kosten pro meilenbezogenen Ertrag auf Basis von durchschnittlichen Ladefaktoren berechnet werden.

Bei der Bewertung der Flugstreckenverkehrskosten C_a (für jeden geflogenen Bogen) kann analog vorgegangen werden wie bei den Betriebskosten. Der Einfachheit halber wird hier eine Konstante K[m] als Kostengröße für einen geflogenen Kilometer für jeden Flugzeugtypen m angesetzt, und die gesamten Flugstreckenverkehrskosten ergeben sich aus dem Produkt dieser Konstanten und den geflogenen Kilometern E[i] auf dem Bogen BO[i]. Die Flugstreckenverkehrskosten je Bogen C_a berechnen sich gemäß den Flugplandaten wie folgt:

Algorithmus zur Bewertung der Flugstreckenverkehrskosten je Bogen

```
/* Iteration über alle Bögen */
For i= 1 to a
    ρ=0;
    /* Iteration über alle Flugzeugtypen */
    For m= 1 to t
        C[i]=C[i]+ρ
        /* Falls Flugzeugtyp im Bogen vorkommt */
        If FT[m]∈BO[i]
           ρ=FQ[i,m]·E[i]·K[m]
    End;
End;
```

Abbildung 55: Algorithmus zur Ermittlung der Flugstreckenverkehrskosten

Die äußere Schleife mit dem Laufindex i = {1,..,a} wird für jeden Bogen BO[i] iteriert. Für jeden Bogen wird mithilfe der inneren Schleife mit m = {1,..,t} Iterationen, wo jeder Datensatz mit den Informationen zu den Flugzeugtypen durchlaufen wird, festgestellt, ob der Flugzeugtyp im Bogen benutzt wird und wenn ja, dann werden die Flugstreckenverkehrskosten C[i] für den Bogen i aus dem Produkt der Frequenz FQ[i,m], der Distanz E[i] des Bogens i und dem Kilometersatz für den Flugzeugtypen m mit K[m] ermittelt. FQ enthält die Flugfrequenz des

Flugzeugtyps m auf dem Bogen i. K[m] umfasst den Kilometersatz des m-ten Flugzeugtyps. C[i] schließt die Summe der Flugstreckenverkehrskosten auf dem Bogen i ein. C[i] FQ[i,m], E[i] und K[m] werden aus den Daten der relationalen Datenbank mittels SQL-Zugriff bereitgestellt.

14.4.7 Bestimmung des Transportaufkommens T_w

D Transportaufkommen T_w in der Einheit Tonnen, das auf dem Flughafen w nachgefragt wird, wird aus der von der DLR veröffentlichten Luftverkehrsstatistik bestimmt. Die Transportaufkommen, die im Modell in der Modellvariable T_w gespeichert werden, stammen aus der DLR-Monatsauswertung der deutschen Luftverkehrsstatistik vom 9.09.2009 und umfassen die Monatswerte für August 2009.[135] T_w repräsentiert das Frachtaufkommen auf dem Flughafen w (vgl. 12.7.3 und 13.1).

[135] Quelle: http://www.dlr.de/fw/Portaldata/42/Resources/dokumente/aktuelles/_Luftverkehrsstatistik_0809.pdf.

15 Zusammenfassung und Würdigung der Ergebnisse

15.1 Vorgehensweise

Vorab wurden in dieser Arbeit grundlegende Informationen zum Luftverkehrs- und zum Luftfrachtmarkt gesammelt und präsentiert. Da Belly-Fracht in der Literatur unter dem Aspekt der Übernahme von Fluggesellschaften und bezogen auf das Dreiländereck Deutschland, Österreich und die Schweiz bislang nicht aufgegriffen wurde, galt es, eine umfangreiche Untersuchung zu den Eigenschaften und Merkmalen dieses speziellen Luftfrachtsegments einerseits und zu den Übernahmebedingungen aus Wettbewerbs- und Netzsicht andererseits vorzunehmen und die Ergebnisse zu veranschaulichen. Hierbei wurde wie folgt vorgegangen.

Zunächst wurden in Kapitel 2 der Begriff und die Charakteristika von Luftfracht herauskristallisiert und speziell der Luftfrachtmarkt, das Luftfrachtgut, die Flugzeuge, Lademittel und Ladebehälter für Fracht unter dem Aspekt von Unterflurfracht beleuchtet. Weiterhin fanden die typische Netzstruktur für Belly-Fracht bei Belly-Fluggesellschaften und das Belly-Frachtaufkommen Beachtung. Ergänzend wurden die Vor- und Nachteile von Luftfracht zum einen und von Belly-Fracht zum anderen sowie die typischen Merkmale bzw. Eigenschaften von Belly-Fracht aufgezeigt.

Dem schloss sich im Kapitel 3 die Veranschaulichung der Kennzeichen des europäischen Luftverkehrsmarktes an. Hierzu erfolgten zuerst die Skizzierung der heutigen Struktur des europäischen Luftverkehrsmarktes und deren Vergleich mit dem US-amerikanischen Luftverkehrsmarkt. Es wurde dann ein Blick auf die gegenwärtigen intra-europäischen Luftverkehrsströme gerichtet und die Bedeutung der Luftfracht für die global vernetze Weltwirtschaft herausgearbeitet. Weiterhin wurden die weltweiten, die europäischen und die für Deutschland, Österreich und die Schweiz relevanten Luftfrachtkennzahlen und -merkmale erörtert.

Anknüpfend an diese Ergebnisse stand im Kapitel 4 die Frage im Fokus, ob bei der Übernahme einer Fluggesellschaft kartellrechtliche Auflagen insbesondere im Bereich der Netzintegration bestehen. Hierzu wurde zunächst in die Institutionen und in den rechtlichen Rahmen für Zusammenschlüsse von Fluggesellschaften auf europäischer, deutscher, österreichischer und schweizerischer Ebene eingeführt.

Kapitel 5 behandelte im Weiteren speziell die Wettbewerbssituation auf der Netzebene im Kontext einer Übernahme einer Fluggesellschaft. Hierzu galt es zuerst die wettbewerbstheoretischen Grundlagen für Netzsektoren, zu denen der Luftverkehrssektor zählt, herauszukristallisieren. In einem ersten Schritt erfolgte die Analyse der Wettbewerbssituation bei der Lokation von Flughäfen in einem integrierten Netz. Hierbei ging es um die Fragestellung, ob sich bei der Integration des Flugnetzes einer übernommenen Fluggesellschaft jeder Flughafenstandort aus dem Blickwinkel möglicher Wettbewerbsbeschränkungen im integrierten Netz weiterhin anfliegen lässt. In einem zweiten Schritt wurde die Wettbewerbssituation nach dem Kriterium der Bedienung von Flugstrecken (so genannte Allokation) untersucht, d. h., ob sich bei der Netzintegration die ursprünglichen Slots weiterhin beanspruchen lassen. Sowohl bei der Lokations- als auch bei der Allokations-Thematik wurde einerseits analysiert, ob sich durch das Wettbewerbsverhalten von Flughafenbetreibern oder anderen Fluggesellschaften der Aufbau eines integrierten Netzes erschweren oder gar verhindern ließe. Zum anderen wurde der Frage nachgegangen, ob sich die Eigenschaften des integrierten Netzes nicht als Wettbewerbsinstrument zunutze machen lassen, um andere Fluggesellschaften vom Markteintritt im integrierten Netz abzuhalten bzw. zu verdrängen. Schließlich standen sowohl das Wettbewerbsverhalten vom Hub-Flughafenbetreiber und der Netzwerkfluggesellschaft auf dem Hub unter dem Gesichtspunkt der Abhängigkeit von demselben Stückgutversorger als auch die spieltheoretische Modellierung des Marktmacht ausübenden Strategieverhaltens

beider Akteure hinsichtlich der Verhandlungsmacht der Hub-Prämie im Fokus.

Kapitel 6 richtete den Blick auf die Situation des intra- und intermodalen Wettbewerbs von Belly-Fluggesellschaften. Hier wurden die Wettbewerber der Belly-Fluggesellschaften genannt sowie die Wettbewerbssituation der Belly-Fluggesellschaften zu anderen Fluggesellschaften und zu bodengebundenen Verkehrsträgern erörtert.

Im Folgenden ging es im Kapitel 7 um die Strategien von Netzwerkfluggesellschaften im Zusammenhang mit der Übernahme von Fluggesellschaften und aus dem Blickwinkel von Belly-Fracht. Hierzu wurde zunächst in die Rahmenbedingungen zur Strategieformulierung von Belly-Fluggesellschaften eingeführt, um anschließend näher zu beleuchten, wie sich potenzielle Strategien für Belly-Fracht bei großen Netzwerkfluggesellschaften formulieren lassen. Hierzu wurden mögliche Produkt-/Markt-Portfolios für Belly-Fracht erarbeitet und veranschaulicht sowie ein mögliches Business-Modell für Produkt-/Markt-Portfolios für Belly-Fracht dargestellt. Ergänzend wurden Wettbewerbsstrategien für Belly-Fracht und Strategien bei der Netz-Logistik aufgezeigt sowie eine Kostenfunktion zur Abbildung der Streckenverkehrs- und Transportkosten für Belly-Frachttransporte aufgestellt.

Ziel von Kapitel 8 war eine vertiefende Untersuchung der Netzintegration als nachgelagerte Aufgabe bei der Akquisition einer Fluggesellschaft. Zuerst erfolgte diesbezüglich die Beschreibung der netzspezifischen Merkmale vor und nach der Integration aus der Sicht von Belly-Fracht. Essenzielle Vorteile verspricht man sich im Zuge der Netzintegration vom Hub-and-Spoke-Prinzip des Netzwerks, weshalb der Vorteilhaftigkeit von Hub-Konfigurationen speziell im Zusammenhang mit Belly-Fracht besondere Aufmerksamkeit gewidmet wurde. In dieser Hinsicht war vor allem interessant, ob sich die Multiplikator- und Konzentrationswirkung bei mehreren Hubs und Subnetzen nachweisen lässt. Ergänzend hierzu fanden die Vor- und Nachteile von Subnetzen und weitere Vorteile des Hub-and-Spoke-Prinzips sowie die luftfrachtbedingten Anforderungen an die Hub-Struktur Berücksichtigung. Die Vorteilhaftigkeit der Konzentrationswirkung in Hub-and-Spoke-Netzwerken wurde anschließend ausdrücklich bei Interkontinental-, Inlands- und Europaflügen unter dem Kontext von Belly-Fracht beleuchtet.

Kapitel 9 erklärte die Netzwerkgestaltung als Teil der strategischen Planung und identifizierte die Interdependenz zwischen wettbewerbsorientierten Strategieoptionen und Netzwerklayouts. Des Weiteren wurde das Netzwerkgestaltungsproblem erläutert und die Netzwerkgestaltung unter modelltheoretischen Annahmen erklärt. Anschließend erfolgte die Vorstellung und Beschreibung von exakten und heuristischen Verfahren, die sich im Allgemeinen zur Lösung von Hub-and Spoke-Modellen eignen. Insbesondere wurde bei den Heuristiken auf die Möglichkeit der Dekomposition der Problemstellung sowie den Einsatz von Metaheuristiken zur Nachbarschaftssuche in der Theorie eingegangen.

Kapitel 10 präsentierte die Lösungsmöglichkeiten für Netzwerkgestaltungsprobleme im Zusammenhang mit Netzwerken, die nach dem Hub-and-Spoke-Prinzip aufgebaut sind. Hierzu wurde auf die verschiedenen Varianten von Netzwerkgestaltungsproblemen eingegangen und Modelltypen zur Gestaltung von Netzwerkproblemen eingeführt. Es folgte eine Gegenüberstellung der Kriterien zur Gestaltung von hub-orientierten und linearen Netzwerken sowie eine Vertiefung der konkreten p-Hub- und p-Hub-Median-Modelle für Problemstellungen mit Luftverkehrsnetzen. Schließlich wurde der Blick in Richtung Hub-and-Spoke-Modell mit Zwischenstopps und Feeder-Verkehr gerichtet und im Besonderen die Vorteilhaftigkeit einer Zwischenstopp- und Feeder-Strategie bei der Netzwerkgestaltung dargestellt.

Kapitel 11 stellte konkrete Hub-and-Spoke-Modelle der Literatur vor, die sich zur Lösung von Problemstellungen zur Optimierung von Luftverkehrsnetzen eignen. So standen das Ein-, Zwei- und p-Hub-System, das p-Hub-Median-Modell sowie das p-Hub-Modell mit Kapazitätsbeschränkung und zugelassenen Direktflügen im Fokus.

Kapitel 12 beschäftigte sich mit dem Gestaltungsproblem eines Multihub-Netzwerks mit Feeder-Subnetzen, das der Problemstellung dieser Arbeit zugrunde liegt. Zunächst erfolgte hierfür die Auswahl eines geeigneten Modells für die Problemstellung in Anlehnung an einen Literaturbeitrag. Es folgte die Beschreibung des gegenständlichen Netzwerks und des Flugbetriebs dieser Arbeit und es wurde die Menge der Flughäfen im Netzwerk festgehalten. Das sich so ergebende Netzwerk, das als 3L-Netzwerk bezeichnet wird, wurde dann mit dem reinen Hub-and-Spoke-Netzwerksystem und dem Netzwerk des herangezogenen Literaturbeitrags verglichen. Aus Vereinfachungsgründen wurden Annahmen bei der Aufstellung des Modells getroffen, die die Konzepte des Modells beschreiben sowie die Modellparameter definieren.

Kapitel 13 befasste sich mit den im 3L-Netzwerk länderübergreifenden Flugverbindungen, d. h. Flugverbindungen von Deutschland nach Österreich und in die Schweiz. Es ging dabei ausgehend von den öffentlichen Luftfrachtdaten der DLR um die Frage, ob das Flugangebot der Lufthansa nach Österreich bzw. in die Schweiz ausreicht, die Luftfrachtnachfrage von deutschen Flughäfen in die beiden Länder gemäß der DLR-Statistik durch Bereitstellung entsprechender Belly-Frachtkapazitäten abzubilden, bzw. ob durch das übernahmebedingte zusätzliche Flugangebot der AUA und der Swiss von Deutschland in die beiden Alpenländer nicht Überkapazitäten in den Belly-Flugzeugen bestehen.

Kapitel 14 widmete sich dem Modell zur Optimierung der Routen im 3L-Netzwerk. Als erstes erfolgte zur Reduzierung der Komplexität des Modells die Dekomposition der Problemstellung in Teilprobleme. Es wurde des Weiteren überlegt, wie sich Netzwerke mittels Datenstrukturen repräsentieren lassen. Es folgte ein Abschnitt, in dem das Modell für das Multihub-Network-Design-Problem im 3L-Netzwerk aufgestellt, die Modellgleichungen erläutert und Lösungsalgorithmen formuliert wurden. Schließlich standen die Festlegung und Erörterung der modellspezifischen Parameter im Mittelpunkt.

15.2 Erkenntnisse und Würdigung der Ergebnisse

In diesem Abschnitt werden kapitelweise die wesentlichen Erkenntnisse und die erzielten Ergebnisse dargelegt und eine abschließende Würdigung der Arbeit vorgenommen.

In Kapitel 2 erfolgte zunächst im Kontext von Belly-Fracht die Einteilung der Luftverkehrsgesellschaften. Dabei ließ sich aufzeigen, dass sich der Transport von Belly-Fracht für Low-Cost-Fluggesellschaften regelmäßig nicht eignet und Belly-Fracht-Beförderungen vornehmlich von den Netzwerkfluggesellschaften, d. h. ehemaligen nationalen Carriern, angeboten werden, die generell die Cargo-Kapazitäten vermarkten. Weiterhin wurde deutlich gemacht, dass sich für Belly-Frachttransporte aufgrund der Größe und Dimension der Lademittel nur bestimmtes Frachtgut eignet. Insbesondere bei Gewicht, Sperrigkeit und Höhe gibt es im Vergleich zur reinen Luftfracht erhebliche Restriktionen. Schwierig gestaltete sich die Ermittlung der Belly-Frachtkapazitäten auf Flugzeugen, da sich wegen der vielfältigen Kombinationsmöglichkeiten von Containern und Paletten keine maximalen Frachtkapazitätswerte ableiten lassen. Das liegt u. a. daran, dass die Passagierauslastung, die Routenbildung, die Wetterbedingungen etc. dazu führen, dass sich die Frachtkapazitäten erst sehr kurzfristig vor dem durchzuführenden Flug berechnen lassen. So sind in dieser Arbeit auf der Basis der von der Lufthansa veröffentlichten durchschnittlichen Belly-Frachtkapazitäten auf ausgewählten Flugzeugtypen vereinfachte Annahmen für die Kapazitätsgröße der Lademittel für Belly-Fracht getroffen worden. Weiterhin wurde deutlich, dass Belly-Flugzeuggesellschaften ihre Netzstruktur vornehmlich nach dem Hub-and-Spoke-Prinzip ausrichten, wohingegen Belly-Fracht auf reinen Direktflugverbindungen insbesondere bei den Billigfluggesellschaften sehr selten befördert wird. Für das Füttern von großen Flugzeugen mit Fracht spielt Belly-Fracht beim intra-europäischen und interkontinentalen Luftfrachttransport eine große Rolle und trägt somit zur Verbesserung der Economies of Density und Economies of Scope bei der Fluggesellschaft bei. Als wesentlicher Vorteil ließ sich die hohe Wettbewerbsfähigkeit gegenüber intermodalen Wettbewerbern ab Streckendistanzen von 1.000 km herausarbeiten. Die Kup-

pelprodukteigenschaft erlaubt es, Belly-Fracht in einem Teilkostenansatz zu kalkulieren. Als wesentlicher Nachteil ist das eingeschränkte Angebotsportfolio zu nennen. Anhand von verschiedenen veröffentlichten Statistiken ließ sich zeigen, dass das Belly-Frachtaufkommen 50 Prozent des Gesamtluftfrachtaufkommens ausmacht, jedoch im betrachteten 3L-Netzwerk in Österreich und der Schweiz das Aufkommen von Belly-Fracht bei nahezu 100 Prozent des Gesamtluftfrachtaufkommens liegt. Anhand der Ergebnisse von Kapitel 2 resultieren die Rahmenbedingungen für Belly-Fluggesellschaften, Belly-Flugzeuge und Belly-Fracht, auf die in dieser Arbeit in weiteren Kapiteln Bezug genommen wurde.

In Kapitel 3 konnten folgende wesentlichen Erkenntnisse gewonnen werden. Der europäische Luftverkehrsmarkt im Allgemeinen und im Speziellen ist trotz des durch die Finanzmarktkrise bedingten Einbruchs weiterhin ein Wachstumsmarkt und geprägt von den Veränderungswirkungen durch die Liberalisierung des Luftverkehrssektors. Im Vergleich zu den USA ist die Struktur des europäischen Luftverkehrsnetzes heterogen, weil es nach wie vor sehr landesspezifisch ausgerichtet ist. Die Hub-and-Spoke-Systeme verfügen über Hubs, die nach dem Prinzip eines Hinterland-Drehkreuzes funktionieren, weshalb die Zu- und Abbringerflüge nicht zwingend nach geografischen Verkehrsrichtungen ausgelegt sind. 80 Prozent des Luftverkehrs in Europa konzentrieren sich auf einen abzusteckenden Kernraum auf dem europäischen Festland. Weiterhin ist festzuhalten, dass die Luftfracht für die global vernetzte Wirtschaft elementar ist und zwischen Luftfrachtsektor und globaler Wirtschaft ein Abhängigkeitsverhältnis besteht. Insbesondere im Bereich der schnelllebigen, zeitkritischen oder besonders wertvollen Wirtschaftsgüter stellt die Luftfracht die einzige Möglichkeit dar, Güter interkontinental zu befördern. In der Folge ist die Logistik der Belly-Frachtnetzwerke stets dem Wandel der sich ändernden Anforderungen der weltweiten Wirtschaftsmärkte ausgesetzt. Bei den Luftfrachtkennzahlen der Schweiz und von Österreich lässt sich als Ergebnis der durchgeführten Untersuchung der Luftverkehrsaufkommen dieser Länder konstatieren, dass das Luftfrachtaufkommen primär über Belly-Frachttransporte abgewickelt wird.

Die Ergebnisse in Kapitel 4 beleuchten im Wesentlichen, was aus rechtlicher Sicht bei der Übernahme einer Fluggesellschaft zu beachten ist und welche Auswirkungen etwaige übernahmebedingte Auflagen auf die Netzintegration nach sich ziehen. Zunächst konnte herausgearbeitet werden, dass bei der Übernahme von Fluggesellschaften sowohl europäisches als auch nationales Kartellrecht gilt und selbst für die Schweiz aufgrund bilateraler Vereinbarungen mit der EU das europäische Kartellrecht Anwendung findet. Es wurde dargelegt, dass bei der Übernahme einer Fluggesellschaft durch die europäische bzw. nationale Kartellbehörde bei der Konsolidierung der Netzwerke und des Flugbetriebs Auflagen beim Luftfahrtangebot sowohl bei der Erwerbsfluggesellschaft als auch auf bei der Übernahme-Fluggesellschaft erteilt werden. Das führt dazu, dass sich die Netzintegration nicht nur nach ökonomischen und logistischen Kriterien ausrichten lässt, sondern bei der Netzzusammenführung die rechtlichen Auflagen zu berücksichtigen sind. In der Modellierung ist dieser Sachverhalt jedoch von untergeordneter Bedeutung, da nach einer Übernahme regelmäßig die bestehenden Hub-Strukturen und das Design des Hub-and-Spoke-Netzwerks nach der Integration gleich bleiben können und lediglich bei der Slot-Zuteilung Anpassungen vorzunehmen sind.

In Bezug auf die Frage der Wettbewerbssituation im europäischen Luftverkehrsmarkt ließ sich in Kapitel 5 anhand der Erkenntnisse aus der Theorie der Bestreitbarkeit der Märkte und der Theorie der monopolistischen Bottlenecks aufzeigen, dass in Europa sowohl durch die Marktmacht von Flughafenbetreibern als auch durch netzbedingte Marktmacht von marktetablierten Fluggesellschaften keine Marktzugangsbeschränkung besteht und auch die Bedienung von Flugstrecken aus Wettbewerbssicht gegeben ist. Der innereuropäische Luftverkehrsmarkt gilt als bestreitbar. Im Ergebnis lässt sich konstatieren, dass bei der Integration eines Übernahmenetzes keine Wettbewerbshemmnisse vorherrschen. Tatsächlich zeigt sich anhand konkreter Übernahmen in Europa (z. B. die Übernahmen der AUA, BMI und Swiss durch die Lufthansa), dass diese Annahme zutrifft, d. h., bei der Konsolidierung keine nen-

nenswerten Wettbewerbsbehinderungen feststellbar sind. Weiterhin konnte ausgemacht werden, dass das Übernahmenetz zum Wettbewerbsverhalten instrumentalisierbar ist. Durch die Inanspruchnahme der Slots und der Hub-Fazilitäten des Übernahmenetzes lässt sich eine Mitbewerber-Fluggesellschaft vom Markteintritt auf die betroffenen Flughäfen oder Flugstrecken abhalten, wenn durch die Übernahme für die Übernehmer-Fluggesellschaft die Hub- bzw. Routen-Dominanz auf den Drehscheiben bzw. Flugrouten des Übernahmenetzes vorausgesetzt werden kann. Auch ließ sich anhand der spieltheoretischen Analyse des wettbewerblichen Strategieverhaltens zwischen Flughafenbetreiber eines Drehscheibenflughafens, einer auf diesem Flughafen dominierenden Netzwerkfluggesellschaft sowie den Kunden aufzeigen, dass sowohl ein kooperatives als auch ein wettbewerbliches Umfeld besteht und keiner der Akteure die Entscheidungen ohne die Handlungsoptionen des anderen als Stückgutversorger für die Kunden des Passagier- und Frachtbereichs treffen könnte. Vor allem zeigt sich, dass bei der Übernahme einer Fluggesellschaft die erwerbende Fluggesellschaft über kein Marktmachtpotenzial verfügt, die Hub-Prämie auf dem Hub-Flughafen der Übernahmegesellschaft gesenkt zu bekommen, und umgekehrt hat die Betreiber-Gesellschaft des Hub-Airports kein Marktmachtpotenzial, die Hub-Prämien zu erhöhen. Insoweit sind die aufgezeigten Marktmachtpotenziale nach den theoretischen Wettbewerbsmodellen kritisch zu beleuchten. Trotz der Tatsache, dass sich das Wettbewerbsmodell zwischen Flughafenbetreiber, Fluggesellschaft und Kunden im Passage- und Frachtbereich spieltheoretisch nach dem Cournot-Modell untersuchen lässt, ist das Cournot-Theorem in der spieltheoretischen Wettbewerbsbetrachtung nicht auf das Luftfrachtgut anwendbar. Bei dem spieltheoretischen Ansatz kann das ins Spiel gebrachte Luftfahrtangebot fingiert werden, d. h. angenommen werden, bei dem Flughafenbetreiber und der Fluggesellschaft liegt dasselbe homogene Gut vor, das sich mengenmäßig anpassen lässt. Anhand der optimalen Preisfindung für Belly-Fracht in den zu jener Zeit regulierten Luftverkehrsmärkten konnte aufgezeigt werden, dass der Transport von Belly-Fracht in Belly-Flugzeugen dann kostengünstiger ist, wenn bei freien Kapazitäten auf den Belly-Flugzeugen die Grenzkosten für den Transport im Belly-Flugzeug niedriger sind als die Durchschnittskosten auf reinen Frachtmaschinen. In dieser Fallkonstellation lässt sich Belly-Fracht als kostenneutrales Beiprodukt für den Passagiertransport kalkulieren.

In Kapitel 6 wurde deutlich gemacht, dass zwischen den Netzwerkfluggesellschaften in Bezug auf Belly-Fracht Wettbewerb auf interkontinentalen, intra-kontinentalen und inländischen Strecken besteht, wohingegen gegenüber den Low-Cost-Carriern kein Wettbewerb feststellbar ist. Eine Netzwerkfluggesellschaft kann im Cargo-Bereich Wettbewerbsvorteile vorweisen, wenn sie über ein möglichst großes Belly-Frachtaufkommen verfügt, womit sich die interkontinentalen Frachtmaschinen mit Frachtaufkommen füttern lassen. Weiterhin ließ sich manifestieren, dass kleine Netzwerkfluggesellschaften im Wettbewerb mangels Größenvorteile und damit wegen fehlender wettbewerbsgerechter Stückkosten bei der Vermarktung von Belly-Fracht Nachteile gegenüber den großen Netzwerkfluggesellschaften aufweisen. Auf der Ebene des intermodalen Wettbewerbs herrscht vor allem Substitutionskonkurrenz mit den bodengebundenen Verkehren vor, wo das Flugzeug erst ab 1.000 km Distanz gegenüber dem LKW punkten kann. Gegenüber dem Seefrachtverkehr lässt sich beim Luftfrachtverkehr kein Wettbewerb ausmachen.

Kapitel 7 brachte zutage, dass die meisten großen Netzwerkfluggesellschaften einen Strategiewechsel vollzogen, sich von den traditionellen Strategiemodellen der 1980er- und 1990er-Jahre verabschiedet und Business-Modelle zur Ausrichtung der Unternehmensarchitektur auf Geschäftsmodelle eingeführt haben, um die gegenwärtigen Wettbewerbsanforderungen im Luftverkehrssektor erfüllen zu können. In den Business-Modellen wird der Zukauf von Luftverkehrsgesellschaften als eigenes Geschäftsfeld geführt. Im Zuge der Konsolidierung des Luftverkehrssektors in Europa kommt bei den großen Netzwerkfluggesellschaften dem M&A-Geschäft eine immer größere Bedeutung zu. Es konnte aufgezeigt werden, dass die Flag-Carrier für Belly-Fracht kein eigenes Geschäftsfeld betreiben, auch nicht dann, wenn sich durch die Übernahme einer anderen Fluggesellschaft weitere Vermarktungspotenziale von Belly-Fracht aus dem Übernahmenetz ergeben bzw. sich aus der Belly-Fracht eine eige-

ne Marke ableiten ließe, wonach ein eigenes Geschäftsfeld bzw. ein Produkt-/Marktportfolio bestreitbar oder sogar eine eigene Ertragsorientierung möglich wäre. Auf der Wettbewerbsebene sind für Belly-Fracht sowohl die Kostenführerschaft als auch die Differenzierung als Wettbewerbsstrategie oder Kombinationen aus den beiden Einzelstrategien feststellbar. Es ließ sich aufschlüsseln, dass bei Übernahmen Belly-Fracht-Vorteile auf der Absatz- und auf der Logistikseite hervorgerufen werden und Kostensenkungspotenziale durch Ausschöpfung der betriebswirtschaftlichen Vorteile auf der Netzebene einhergehen. Dies setzt jedoch voraus, dass das Flugverkehrsnetz eine hierfür geeignete Netzkonfiguration vorweist, d. h. die Wettbewerbsstrategien netzseitig konform umgesetzt werden müssen.

Kapitel 8 beschäftigte sich mit der Netzintegration als typische Post-Merger-Aufgabe nach der Akquisition einer Fluggesellschaft am Beispiel der Übernahme der Austrian Airlines durch die Lufthansa. Auch wurden Aspekte der Übernahme der Swiss durch die Lufthansa mit einbezogen. Zunächst ließ sich feststellen, dass die Übernahmekandidaten selbst ein Hub-and-Spoke-System mit jeweils einem Drehscheibenflughafen betreiben. Die Netzwerke der Tochtergesellschaften der Lufthansa sind geprägt durch ihre Struktur, als die AUA und die Swiss nationale Carrier von Österreich bzw. der Schweiz waren bzw. nach wie vor sind. Charakteristisch nach der Übernahme der beiden alpenländischen Fluggesellschaften ist, dass die beiden Netze in ihrer Struktur beibehalten wurden, d. h. insbesondere die Flughäfen Wien und Zürich ihre Funktion als Hub nicht eingebüßt haben. Somit entstand bei der Lufthansa ein Multihub-and-Spoke-System, ein Netzwerktyp, der in der Operations-Research-Literatur bzgl. der Anwendung auf entsprechende Luftverkehrsnetze wenig Beachtung fand. Übernahmen tragen zu einer Verbesserung der Multiplikator- und Konzentrationswirkung in Bezug auf Belly-Fracht bei, wenn sich aus den einzelnen Subnetzen zusätzliche Belly-Fracht zum Füttern der Frachtflugzeuge generieren lässt. Allerdings konnte aufgezeigt werden, dass in einem Multihub-and-Spoke-System mit Subnetzen, die wiederum nach dem Ein-Hub-and-Spoke-System aufgebaut sind, die zeitliche Abstimmung des Inbound- und Outbound-Verkehrs komplexer wird, womit der aufeinander abgestimmte Flugbetrieb der Lufthansa, Austrian Airlines und Swiss insgesamt störanfälliger wird. Bei der Integration eines Übernahmenetzes ist deshalb die zeitliche Abstimmung des Inbound-Verkehrs bei Hub-and-Spoke-Systemen erforderlich. Neben der Multiplikator- und Konzentrationswirkung bei Multihub-and-Spoke-Systemen mit angeschlossenen Subnetzen als Feeder für Luftfracht ließen sich als weitere Vorteile bei dieser Netzkonfiguration Economies of Scope und Economies of Density ausmachen, wohingegen Economies of Scale nicht feststellbar sind. Es fällt auf, dass bei der Netzintegration Hub-Hub-Verbindungen, mit denen Economies of Scale erzielt werden sollen, nicht häufiger vorkommen als vor der Integration. Stattdessen ist feststellbar, dass entgegen der Forderung nach Economies of Scale auf vielen Strecken kleineres statt größeres Fluggerät eingesetzt und vielmehr die Anzahl der Flugfrequenzen auf den Flugstrecken im Zuge der Netzintegration verändert wird. Es wurde darüber hinaus die Erkenntnis gewonnen, dass Belly-Fracht die Konzentrationswirkung beim Interkontinental-, Europa- und Inlandsverkehr verstärken kann, wenn das Netzwerk so konfiguriert ist, dass von den Subnetzen das zusätzliche Belly-Fracht-Aufkommen im Netzwerk vermarktet werden kann und es dadurch zu besseren Frachtauslastungen der Belly-Flugzeuge kommt. Weiterhin wurde deutlich, dass für die Unterhaltung eines integrierten Netzes, bei dem Belly-Fracht zum Füttern der Frachtmaschinen vorhanden ist, im Mittel- und Langstreckenverkehr Fracht-Hubs erforderlich sind, die mit dem Passagier-Hub verbunden sind, d. h. ein kombinierter Hub vorhanden ist. Reine Fracht-Hubs bzw. reine Passagier-Hubs eignen sich in einem integrierten Netz nicht, wenn Belly-Fracht netzweit zum Zwecke des Weitertransports auf Interkontinentalstrecken eingesammelt werden soll.

Kapitel 9 erklärte die Netzwerkgestaltung als Teil der strategischen Planung und machte die Interdependenz zwischen wettbewerbsorientierten Strategieoptionen und dem Netzwerklayout aus. Daraus resultiert, dass eine Änderung der Wettbewerbssituation Implikationen auf die Netzwerkstruktur von Luftverkehrsgesellschaften nach sich zieht. Es ließ sich für die Problemstellung dieser Arbeit anhand einer Analyse der Modelle, die sich für Netzwerkgestaltung eignen, die Erkenntnis gewinnen, dass aufgrund der Problemgröße zur Lösung der

Modelle auf exakte Lösungsverfahren zurückgegriffen werden kann. Auf die Anwendung heuristischer Verfahren lässt sich verzichten. Es bleibt festzuhalten, dass aufgrund der innereuropäischen kleinen Räume Luftverkehrsnetze mit Nabe-Speiche-Systemen modellierbar sind, die wiederum mit exakten Verfahren berechenbar sind.

Kapitel 10 zeigte auf, dass sich viele Forschungsansätze zu Hub-and-Spoke-Systemen im Luftverkehrssektor mit den US-amerikanischen Luftverkehrsmärkten auseinandersetzen und der europäische Luftverkehrssektor in der Literatur nur vereinzelt behandelt wird. Darüber hinaus basieren viele der US-amerikanischen Forschungsarbeiten auf den CAB-Daten der 1970er-Jahre, die aus heutiger Sicht veraltet sind. Auch ist der Untersuchungsgegenstand der NP-Schwierigkeit in einer Reihe von Arbeiten aufgrund des quadratischen Zuordnungsproblems von theoretischer Natur und es fehlt vielen Forschungsbeiträgen der praktische Bezug. Weiterhin ist zu konstatieren, dass sich nur wenige Ansätze mit dem Problemgegenstand von länderübergreifenden Netzwerken im Kontext der Übernahme von Fluggesellschaften als Folge der Konsolidierung der Luftverkehrsmärkte beschäftigen. Stattdessen liegt der Fokus auf interkontinentalen Luftverkehrsströmen, die unter anderem aufgrund des Eingehens von Flugallianzen die Operations-Research-Forscher zur Untersuchung dieses Sachverhalts veranlasst haben.

Die in Kapitel 11 dargestellten Hub-and-Spoke-Modelle stehen primär im Mittelpunkt der Location Theory. Sie gelten als unrealistisch, da heutige Luftverkehrsnetze und deren Veränderungen geprägt sind durch feste Hub-Standorte. Drehkreuze auf der grünen Wiese entstehen regelmäßig nicht. Auch werden in vielen dieser Modellansätze Modellrestriktionen eingeführt, die als realitätsfern gelten. Beispielsweise ist die strikte Hubbing-Politik praxisuntauglich, da die meisten Fluggesellschaften bei besonders aufkommensstarken Flugstrecken vielfach auf Direktflüge in einem Hub-and-Spoke-System setzen. Auch sind die in den Anfängen der Location-Theory-Literatur bekannten Ein- bzw. Zwei-Hub-Modelle zwischenzeitlich durch Multihub-and-Spoke-Modelle verdrängt worden, wie sich dies speziell auch in dieser Arbeit am Lufthansa-Konzernnetz aufzeigen ließ. Modelle, die sich speziell für die Gestaltung von Flugrouten in einem vorgegebenen Netzwerk mit festen Hub-Flughäfen eignen, finden sich in der Literatur nur vereinzelt. So ließ sich in dieser Arbeit auf die Erkenntnisse des Modells von Kuby und Gray zurückgreifen, die diesen Problemgegenstand in den USA in den 1990er-Jahren im Kontext des FedEx-Netzes untersucht hatten.

Kapitel 12 behandelte das Gestaltungsproblem eines Multihub-Netzwerkes mit Feeder aus Subnetzen. Hier ging es darum, am Beispiel des 3L-Netzwerks aufzuzeigen, wie sich der Problemgegenstand formulieren lässt und welche Annahmen zum Netzwerk getroffen werden müssen. Insbesondere wurden in diesem Kapitel Überlegungen aufgestellt, ob sich das Modell zur Routengestaltung von Kuby und Gray zur Beantwortung der Frage eignet, ob die Übernahme der AUA bzw. der Swiss der Lufthansa betriebswirtschaftliche Vorteile unter dem Aspekt von Belly-Fracht beschert hat. Weiterhin wurden Überlegungen angestellt, wie sich das 3L-Netzwerk auf eine Problemgröße reduzieren lässt, um die aufgeworfene Fragestellung ohne detaillierte Analyse ein komplexes Netzwerk hinreichend beantworten zu können. Es ging im Weiteren darum, welche Grundlage sich zur Beurteilung der Fragestellung bilden lässt. Hierzu wurde auf die DLR-Statistikdaten zurückgegriffen, die die statistischen Daten für das in dieser Arbeit relevante Luftfrachtaufkommen bereitstellt. Schließlich mussten die Parameter des Modells festgelegt werden, d. h., wie das Netzwerk aufgebaut ist und wie sich die Flugrouten bestimmen und modellieren sowie das Feeder-Prinzip von Belly-Fracht im Modell abbilden lassen. In Kapitel 12 wurde das von Kuby und Gray aufgestellte Modell kritisch gewürdigt und auf dessen Praxistauglichkeit und Aktualität hin beleuchtet. Hinsichtlich des ausgewerteten Monats August 2009 ist anzumerken, dass es sich hierbei um einen Urlaubsmonat handelt und die Daten möglicherweise nicht repräsentativ genug sind. Es wurde nicht explizit geprüft, ob bei einem anderen Monat die Frachtzahlen im Verhältnis zum Auswertungsmonat anders ausfallen. Auch kann die Datenprobe möglicherweise unter dem Mangel leiden, dass der Auswertungszeitraum hätte vergrößert werden müssen, um zu einen aussagekräftigeren bzw. repräsentativeren Ergebnis zu gelangen.

In Kapitel 13 galt es, Überlegungen aufzunehmen, wie sich die Flugrouten im 3L-Netzwerk so reduzieren lassen, dass zur Fragestellung der Vorteilhaftigkeit der Akquisition einer Fluggesellschaft aus dem Blickwinkel von Belly-Fracht, entsprechende Aussagen getätigt werden können. Zunächst wurde überlegt, wie die flugplanrelevanten Daten der Lufthansa, AUA und Swiss zu erhalten sind und wie sie sich umfänglich und strukturell reduzieren und speichern lassen. Es wurde zunächst untersucht, ob nicht bereits schon die Direktflugverbindungen von deutschen Flughäfen nach Österreich bzw. in die Schweiz der Lufthansa ausreichen, das Belly-Frachtaufkommen gemäß der DLR-Statistik bedienen zu können. Es ging also darum, ob nicht bereits die Lufthansa im Belly-Frachtbereich ihres Flugangebots Überkapazitäten aufweist. Das ließ sich anhand eines Vergleichs der Belly-Frachtkapazitäten mit der Frachtnachfrage nachweisen. Unter diesem Aspekt wurde deutlich, dass die Übernahme der AUA bzw. der Swiss aus Sicht von Belly-Fracht der Lufthansa keine weitere Frachtnachfrage, sondern eine Erhöhung der Belly-Fracht-Überkapazitäten einbrachte. Betriebswirtschaftliche Vorteile, wie etwa Economies of Density oder Economies of Scope, lassen sich somit in diesem Länderverbund durch die Lufthansa nicht nutzen. Möglicherweise ist es nicht ausreichend, die Untersuchung auf die zwischen den deutschen Flughäfen und den beiden Ländern vorherrschenden Flugrouten zu beschränken, da die analysierten Flugrouten nur einen kleinen Teil des globalen Lufthansa-Netzes darstellen. Somit lässt sich aufgrund der durchgeführten Analyse festhalten, dass im Netz der drei Länder nur lokale Optima zu erzielen sind. Das heißt, globale, netzweite Economies of Scope und Density lassen sich durch die Übernahmen und das zusätzliche Belly-Frachtaufkommen nicht generieren. Dies ist auch insofern schwierig, als aus dem vorliegenden Zahlenmaterial nicht abgeleitet werden konnte, wie viel der Fracht sich aus Österreich bzw. der Schweiz tatsächlich nach München bzw. Frankfurt weiterleiten lässt, um sie von dort in Flugzeuge auf interkontinentale Verbindungen umzuladen und dann tatsächlich zum zusätzlichen Füttern dieser Interkontinental-Maschinen zu nutzen. Eine derartige Untersuchung scheiterte daran, dass das Zahlenmaterial zum Frachtaufkommen von Österreich bzw. der Schweiz nach deutschen Flughäfen nicht verfügbar ist. Nichtsdestotrotz erscheint die dedizierte Untersuchung der Frachtströme von Deutschland nach Österreich bzw. in die Schweiz nicht abwegig, da auf diesen länderübergreifenden Luftfrachtströmen trotz der Übernahme der AUA bzw. der Swiss durch die Lufthansa auf nationaler Ebene nach wie vor bilaterale Luftverkehrsabkommen bestehen, sodass eine globale Optimierung des Lufthansa-Netzes unter Einbezug der Subnetze der AUA bzw. der Swiss unter der Restriktion leidet, nicht durch die Lufthansa gewollte Flugverbindungen zwischen Deutschland, Österreich und der Schweiz aus Netzoptimierungsgründen einfach bereitstellen zu können. Die Sammlung der Flugplandaten gestaltete sich schwierig. Zum einen sind nur die gesamten Flugplandaten der Lufthansa Cargo öffentlich zugänglich, jedoch in einem Datenformat, das die Weiterverarbeitung der Daten erschwert. Vorgelagert zu dieser Arbeit mussten deshalb die ca. 16.000 Datensätze auf das für diese Arbeit relevante Datenuniversum gefiltert und darüber hinaus die Daten angereichert werden, da flugplanrelevante Informationen im Cargo-Flugplan nicht enthalten waren. Bei der Anreicherung der Daten galt es, diese vollständig, konsistent, richtig und redundanzfrei zu modellieren und in einer relationalen Datenbank dauerhaft zu speichern, um mit SQL-Befehlen konsistent und effizient auf die Flugplandaten zugreifen zu können. Die in dieser Arbeit verwendeten Tabellen im Kapitel 13 stellen Exzerpte dieser Datenbank dar.

In Kapitel 14 wurde das von Kuby und Gray in 1993 formulierte Modell zur optimalen Gestaltung von Flugrouten auf den Problemgegenstand des 3L-Netzwerks angepasst. Dabei wurde veranschaulicht, wie sich Netzwerkdaten in Datenstrukturen abbilden lassen. Weiterhin wurden die einzelnen Modellvariablen erläutert und angegeben, wie die Werte für diese Parameter ermittelt werden können. Das Modell wurde hinsichtlich der Annahmen zu den Betriebskosten und den Flugstreckenverkehrskosten stark vereinfacht. Dies vor dem Hintergrund, dass sich keine geeigneten Annahmen zur Kostenfunktion für Belly-Fracht treffen ließen. Weiterhin ist anzumerken, dass auch bei der Pfadgenerierung von der vereinfachten Annahme ausgegangen wurde, dass für das Umladen der Fracht bei einem Stopover keine zeitlichen Restriktionen im Modell Berücksichtigung fanden. Es wurde von der simplen An-

nahme ausgegangen, dass die Flugdaten von den Fluggesellschaften so geplant sind, dass sich die nötigen Zeiten für das Umladen der Fracht von einem zum anderen Flugzeug problemlos einhalten lassen. Auch wurde unterstellt, dass die Anschlussflüge für einen Flugtag stets so vorliegen, dass die aufgegebene Luftfracht am selben Tag im Zielflughafen eintrifft.

Als Gesamtfazit kann gezogen werden, dass Belly-Fracht kein Kalkül in der Übernahmeentscheidung einer Fluggesellschaft darstellt. Hier macht sich bemerkbar, dass Belly-Fracht im Passagiersektor als „Beiprodukt“ gilt. Diese These wird in verschiedenen Forschungsansätzen verfolgt und dieser Sachverhalt lässt sich anhand der Ergebnisse der Untersuchung des Belly-Frachtaufkommens am Beispiel der Übernahmen der AUA und der Swiss durch die Lufthansa nachvollziehen.

Betrachtet man das Passagieraufkommen auf den Flugstrecken von deutschen Flughäfen nach Österreich und in die Schweiz, die für die Belly-Fracht-Untersuchung herangezogen wurden, dann ergibt sich ein anderes Bild. Während auf diesen Strecken Belly-Frachtüberkapazitäten vorherrschen, ist das Passagieraufkommen verhältnismäßig hoch.

Ohne den Sachverhalt näher untersucht zu haben, ließe sich die Übernahme der Austrian Airlines und der Swiss mit dem zusätzlichen Passagieraufkommen zwischen Deutschland, Österreich und der Schweiz erklären, was die AUA bzw. Swiss in den Verbund mit eingebracht hat. Möglicherweise ergeben sich in diesem relevanten Passagiersegment betriebswirtschaftliche Vorteile aus Economies of Density und Economies of Scope, die bei Belly-Fracht versagt blieben.

Auch ließ sich in dieser Arbeit die in der Literatur vielfach aufgeworfene Frage nicht beantworten, ob Luftfrachttransporte in reinen Frachtmaschinen kostengünstiger bestritten werden können als in Belly-Flugzeugen. Die Literatur gibt zu dieser Fragestellung wenig Aufschluss. Im Artikel von Vahrenkamp (2007A, S. 9) wird etwa herauskristallisiert, dass das auf Luftfracht spezialisierte Unternehmen MergeGlobal die Ansicht vertritt, die reinen Frachtmaschinen seien die teureren Transportträger. Vahrenkamp argumentiert etwa, dass dafür spricht, dass in Belly-Flugzeugen Überkapazitäten bestehen und daher weniger lukrative Frachtraten erzielt werden können. In der Tat ließ sich in dieser Arbeit aufzeigen, dass die Belly-Kapazitäten der Flugzeuge der Lufthansa auch ohne Einbezug der Flugrouten der AUA und der Swiss schon höhere Belly-Frachtkapazitäten aufweisen, als tatsächlich Luftfrachtnachfrage vorherrscht. In dieser Untersuchung ist noch gar keine Abgrenzung von Luftfracht auf reinen Frachtmaschinen berücksichtigt worden. Es wurde auch nicht untersucht, ob die Frachtraten in Belly-Flugzeugen geringer sind als in reinen Frachtmaschinen. Ebenso wenig wurde der Frage nachgegangen, ob die Frachtraten in Belly-Flugzeugen gesenkt werden können, weil sich Belly-Fracht als Kuppelprodukt des Passagierbereichs in einem Teilkostenansatz kalkulieren lässt, wo die Fixkosten des Passagierbereichs nicht anteilig auf den Belly-Frachttransport umgelegt werden. Es lässt sich auch empirisch nicht nachweisen, ob niedrige Frachtraten bei Belly-Flugzeugen implizit nicht höhere Frachtraten bei dedizierten Frachtern nach sich ziehen, indem die Feeder-Funktion zu höheren Auslastungen und Deckungsbeiträgen auf den großen Frachtmaschinen führt und somit Originär-Frachtaufkommen auf den reinen Frachtmaschinen teurer angeboten werden kann.

Die Relevanz von Belly-Fracht als kritischer Erfolgsfaktor im Cargo-Geschäftsmodell der Netzwerkfluggesellschaften lässt sich nicht eindeutig belegen. Zum einen erfolgt, wie dies bei den im 3L-Netzwerk aufgezeigten Flugverbindungen der Fall ist, häufig der Einsatz von kleinem Fluggerät, wo die Belly-Frachtkapazitäten nahezu bedeutungslos sind und die Frage aufkommt, ob auf diesen Strecken die Vermarktung von Belly-Fracht von den Netzwerkfluggesellschaften überhaupt opportun ist. Zum anderen lässt sich nicht genau ausmachen, welchen Beitrag Belly-Fracht zum Füttern der großen Frachtmaschinen in einem integrierten, großen Netzwerk tatsächlich leistet. Diese Luftfrachtströme konnten in dieser Arbeit nicht eindeutig manifestiert werden.

Zumindest aufgrund der vorliegenden Ergebnisse ist das Argument von Vahrenkamp (2007A, S. 9) mit dem Einsatz von reinen Frachtern nicht zu erklären, wonach das Kapazitätsangebot in Belly-Flugzeugen auf bestimmten Flugstrecken nicht ausreicht, um die Frachtnachfrage zu befriedigen.

Auch ließ sich nicht abschließend klären, ob durch die Übernahme der AUA bzw. der Swiss auf Strecken zwischen Deutschland und den beiden Alpenländern auf Distanzen, auf denen die Schwelle der Wettbewerbsfähigkeit zu den bodengebundenen Verkehrsträgern von 1000 km überschritten wird, tatsächlich Marktanteile im Belly-Frachtbereich hinzugewonnen werden können.

15.3 Ausblick

Dadurch, dass der Untersuchungsgegenstand Belly-Fracht in der Literatur bislang nicht sehr häufig aufgegriffen wurde, gibt es eine Reihe von weiteren interessanten Forschungsmöglichkeiten in diesem Kontext.

Der spieltheoretische Ansatz auf der Wettbewerbsebene ließe sich in einer weiteren Arbeit vertiefender aufgreifen, indem tatsächlich Strategiemuster der Akteure im wettbewerblichen Spannungsfeld der Flughäfen, Fluggesellschaften und Kunden im Passagier- und Frachtbereich entwickelt, das Spiel modelliert und Spiellösungen gefunden werden. Überdies könnte spieltheoretisch auf die Wechselwirkungen zwischen Netzwerkfluggesellschaften in unterschiedlichen Allianzen oder auf der Ebene anderer Verkehrsträger eingegangen werden. Auch ließe sich untersuchen, ob sich andere Spiele, beispielsweise das Stackelberg-Modell für die aufgeworfene Problemstellung im Luftverkehrssektor zur spieltheoretischen Analyse des Strategieverhaltens der Akteure besser eignen.

Aus modelltechnischer Sicht bietet sich an, im Bereich des Modells und der Daten zu Verbesserungen zu kommen. Einerseits ließen sich bei der Modellierung der Problemdaten die Pfade so umstellen, dass die Restriktionen bei der Umladung von Belly-Fracht bei Zwischenstopps in der Generierung der Flugrouten Berücksichtigung finden. Das Modell könnte auch für größere Netze, beispielsweise für das gesamte globale Netzwerk der Lufthansa oder für die Netze von anderen Netzwerkfluggesellschaften, durchgerechnet werden. Es bietet sich auch an, den Modellgegenstand auf die gesamte Luftfracht zu erweitern, d. h. neben Belly-Fracht auch die Luftfracht in reinen Frachtern zu integrieren. Eine interessante Komplementarität wäre auch, die RFS-Verkehre als Feeder in das Modell mit aufzunehmen. Zu bedenken ist jedoch, dass mit größeren Netzen die Komplexität der Daten und infolgedessen der Datenumfang erheblich zunimmt, womit sich das Modell möglicherweise nicht mehr in vernünftiger Rechenzeit berechnen ließe. Gegebenenfalls empfiehlt sich dann die Umstellung von Branch-and-Bound auf eine geeignete Lösungs-Heuristik.

Zuerst wäre es nützlich, ein Modell zu entwickeln, das keine Pfadvariable einsetzt, da sich nicht alle möglichen Pfade inkludieren lassen. Ein Modell, das Variablen für Bögen nutzt und Ausgleichsrestriktionen zwischen Frachtangebot und -nachfrage gestattet, könnte die Flexibilität in der Routengenerierung erhöhen. Jedoch erscheint die Formulierung eines solchen Modells als problematisch. Eine Möglichkeit ist weiterhin, die Bogenvariablen im Modell auszuschließen. Eine wertvolle Ergänzung zur Pfadvariablen-Methode wäre dann eine bessere Methode zur Generierung einer Menge möglicher Pfade.

Abschließend bleibt festzuhalten, dass Belly-Fracht ein sehr interessantes Forschungsfeld darstellt, je mehr und detaillierter man sich damit beschäftigt, aber noch viele Fragen in diesem Kontext offen sind und die Ergebnisse dieser Arbeit zu weiteren wissenschaftlichen Untersuchungen anregen sollen.

Auch bleiben Themen zur Konsolidierung des Luftverkehrssektors spannend. So konstatiert der Vorstandsvorsitzende der Deutschen Lufthansa AG Mayrhuber in einem Zeitungsartikel

(vgl. Flottau, 2010), dass die Konsolidierung des Luftverkehrssektors trotz der Krise in Europa ein Thema bleibe. Weiterhin gibt er aber auch zu bedenken, dass die Krise auf dem europäischen Luftverkehrssektor noch bestehen bleiben wird und die Frachttochter Lufthansa Cargo im Jahr 2011 sowie die Austrian Airlines frühestens in 2012 Gewinne erwirtschaften werden. Damit lässt sich noch einmal auf die Komplexität der Übernahme von Fluggesellschaften verweisen, wonach die Zurückgewinnung der Profitabilität der akquirierten Fluggesellschaften ein schwieriges Unterfangen darstellt.

Begriffliche Definitionen

In diesem Kapitel erfolgt die Definition wichtiger Begriffe, die in dieser Arbeit gebraucht werden.

Allgemeine Luftfahrt (General Aviation)
Unter allgemeiner Luftfahrt oder im Englischen General Aviation versteht man den zivilen Luftverkehr, ohne den Luftverkehr der Linien- und Ferienfluggesellschaften mitzuzählen.

(Air-)Carrier
Air-Carrier ist die englische Bezeichnung für Luftverkehrsgesellschaft. Manchmal wird auch nur der Begriff Carrier gebraucht. Cargo-Carrier bezeichnet eine Frachtfluggesellschaft.

Ausladung
Unter Ausladung versteht man im Luftfrachtsektor das Ausladen von Luftfracht bzw. von Luftpost aus dem Flugzeug.

Aussteiger
Korrespondierend zur Ausladung gibt es im Passagiersektor den Begriff des Aussteigers, womit im Kontext des Luftverkehrs Passagiere gemeint sind, die am betrachteten Flughafen ihren Hin- bzw. Rückflug beenden oder in ein anderes Flugzeug zur Fortführung ihrer Flugreise umsteigen.

Belly-Fracht/Fluggesellschaft
Fracht, die im Unterflurdeck, also im Bauch (engl. Belly) eines Passagierflugzeugs transportiert wird. Belly-Fracht gilt als Kuppel- bzw. Beiprodukt zum Passagierverkehr. Eine Belly-Fluggesellschaft transportiert neben Belly-Fracht auch Passagiere und unterhält Frachtmaschinen, in denen reine Luftfracht befördert wird.

Codesharing
Bilaterales Abkommen zwischen zwei Fluggesellschaften auf der Ebene des Flugbetriebs, demzufolge eine der beiden Fluggesellschaften berechtigt ist, einen Flug unter der eigenen Flugnummer zu vermarkten. Codesharing-Flüge werden partiell oder vollständig von der anderen Fluggesellschaft durchgeführt. Dafür erhält die vermarktende Fluggesellschaft einen bestimmten Anteil des Ticketpreises von der ausführenden Fluggesellschaft.

Combination-Carrier
Als Combination-Carrier bezeichnet man eine Fluggesellschaft, die sowohl Frachtbeförderung in reinen Frachtmaschinen als auch Belly-Fracht-Transporte in Passagiermaschinen anbietet.

Drehkreuzflughafen
Siehe die Definition zu Hub-Flughafen.

Einladung
Unter Einladung versteht man im Luftfrachtsektor das Einladen von Luftfracht bzw. von Luftpost in das Flugzeug.

Einsteiger
Korrespondierend zur Einladung gibt es im Passagiersektor den Begriff des Einsteigers, womit im Kontext des Luftverkehrs Passagiere gemeint sind, die am betrachteten Flughafen ihren Hin- bzw. Rückflug antreten (Originär-Einsteiger) oder in ein anderes Flugzeug zur Weiterbeförderung einsteigen (Umsteiger).

Einzugsgebiet
Unter Einzugsgebiet im Kontext dieser Arbeit ist das Frachtaufkommen zu verstehen, das in einem bestimmten Umkreis zu einem Flughafen vorkommt. Der Umkreis wird dabei als durch die Distanz zum Flughafen oder als die zum Transport zum Flughafen erforderliche Zeitdauer definiert. Es kann bei den engmaschigen Flughäfen in Deutschland, Österreich und der Schweiz zu Überlappungen von Einzugsgebieten kommen. Das durch das Einzugsgebiet resultierende Frachtaufkommen wird auch als Originär-Frachtaufkommen bezeichnet und ist ein wichtiger Faktor für Feeder-Flüge bei Belly-Frachtangeboten.

Feeder(-Subnetze)
In der Terminologie der Luftfracht werden Zubringerdienste von Flugzeugfracht in einem nach dem Hub-and-Spoke-Prinzip aufgestellten Luftverkehrsnetz benötigt, um an einem zentralen Flughafen, der so genannten Drehscheibe (engl. Hub), größere Flugzeuge mit der Fracht der Zubringerflüge zu „füttern“. Man spricht bei diesen Flügen auch von Feeder-Diensten. Soweit der Feeder-Dienst aus dem Flugangebot eines autonomen Hub-and-Spoke-Netzwerkes zu einem zentralen Hub-Flughafen eines anderen Hub-and-Spoke-Netzwerkes erbracht wird, spricht man im Kontext dieser Arbeit von Feeder-Subnetzen.

Feeder-Flughafen (Spoke-Flughafen)
Die Aufgabe eines Feeder-Flughafens ist es im Kontext dieser Arbeit, aus der Umgebung des Flughafens in kleineren Fluggeräten oder mittels RFS Fracht einzusammeln, um sie auf dem Feeder-Flughafen in andere Flugzeuge für andere Zieldestinationen umzuladen. Feeder-Flughäfen sind keine Hub-Flughäfen. Feeder-Flughäfen werden in dieser Arbeit teilweise auch als Spoke-Flughafen bezeichnet.

Flag-Carrier
Englischsprachige Bezeichnung für die vor der Deregulierung des Luftverkehrssektors ehemals nationalen/staatlichen Fluglinien, z. B. Lufthansa, Austrian Airlines, British Airways, Air France etc.

Flug
Ein Flug im Sinne des Luftverkehrs ist der Vorgang einer Beförderung von Passagieren und/oder Fracht zwischen zwei Flughäfen. Die Entität Flug hat Bedeutung bei der Luftverkehrsstatistik, indem die Flugbewegungen zwischen zwei Flughäfen, d. h. der Start und die Landung, erfasst werden. Im Sinne des Luftverkehrsnetzwerks stellt ein Flug eine Flugbewegung zwischen zwei Flughäfen dar. Ein Flug wird danach differenziert, ob es ein Direktflug (Nonstop-Flug), ein Flug mit ein oder mehreren Zwischenstopps ist.

Fluggast
Im Sinne der Luftverkehrsstatistik sind Fluggäste die Zusammenfassung von Einsteigern, Aussteigern und Transitpassagieren an Flughäfen.

Frachttonnenkilometer
Sichtweise für den Transport von Fracht mit dem Gewicht einer Tonne über einen Kilometer.

Gesamtaufkommen
Darunter versteht man in der Luftverkehrsstatistik das Gesamttaufkommen bestehend aus dem Originär-, dem Umsteiger- und dem Transitaufkommen, je nachdem, ob die statistischen Zahlen für den Passagier- oder den Frachtbereich eines Flughafens erfasst werden.

Hub (Nabe)
Ein Hub oder deutsch Nabe ist ein Umsteige- bzw. Umlade-Flughafen, auf dem durch entsprechend vielen Zubringerverkehr Passagiere bzw. Fracht aus anderen Abflugorten, jedoch mit gleicher Destination, gebündelt und mit größerem Fluggerät weiterbefördert werden. Hubs, auf denen lediglich Fracht umgeschlagen wird, werden auch als Fracht-Hub bezeich-

net. Bei einem Hub, bei dem primär Passagiere und Belly-Fracht gebündelt und weiterbefördert werden, kommen nicht notwendigerweise größeren Flugzeuge zum Einsatz.

Hub-and-Spoke-Systeme (Nabe-Speiche-Systeme)
Hub-and-Spoke-Systeme sind radial oder konzentrisch ausgerichtete Netze, in denen Kanten strahlen- oder sternförmig auf einen oder mehrere zentrale Punkte gerichtet sind (vgl. Janz, 2002, S. 1). Die zentralen Punkte werden Hub (dt.: Nabe) genannt. Die Kanten von und zu den Knoten werden wegen der radialen Ausrichtung auch als Spokes (dt.: Speichen) bezeichnet. Bezogen auf den Luftverkehr ist ein Hub als Drehscheibenflughafen deklariert, die Spokes stellen die Flugstreckendienste von und zu Drehscheibenflughafen dar. In dem Hub wird der Flugverkehr kommend von den Zubringerflughäfen gebündelt und umverteilt. Bei den Hub-and-Spoke-Systemen werden verschiedene Netztypen differenziert. Soweit nur ein Hub im System verwendet wird, spricht man von einem Ein-Hub-System. Bei mehr als einem Hub wird das Hub-and-Spoke-System auch als Multi-Hub-and-Spoke-System oder Multi-Hub-Netzwerk bezeichnet. Von einem integrierten Hub-and-Spoke-System spricht man, wenn mehrere eigenständige, meist Ein-Hub-and-Spoke-Systeme zu einem übergreifenden Mehr-Hub-and-Spoke-System konsolidiert werden.

Inbound
Darunter werden alle auf dem dedizierten Flughafen landenden Flüge zusammengefasst.

Inlandsverkehr
Unter Inlandsverkehr wird der Luftverkehr, d. h. die Beförderung von Passagieren bzw. von Fracht/Post, innerhalb eines bestimmten Landes subsumiert.

Interkontinental-Verkehr
Als Interkontinentalverkehr wird der Luftverkehr je nach Betrachtung eines Landes oder eines Flughafens auf Mittel- und Langstreckenverbindungen bezeichnet, welcher zu anderen Kontinenten durchgeführt wird. Meist erfolgen diese Flüge unter Einsatz großer Fluggeräte. Interkontinental-Verkehr wird noch in den Passagier- bzw. Frachtbereich unterteilt.

Internationaler Verkehr
Unter internationalem Verkehr wird der Luftverkehr, d. h. die Beförderung von Passagieren bzw. von Fracht/Post von bzw. nach Ländern bzw. zwischen den Ländern, subsumiert.

Integriertes Netz (Netzwerkverbund)
Durch eine Post-Merger-Maßnahme bezweckt eine Fluggesellschaft, die eine andere Fluggesellschaft erwirbt, das Übernahmenetz in das bestehende Netz zu integrieren, indem beide unabhängigen Netze auf einen abgestimmten Flugbetrieb ausgerichtet werden. Die konkrete Ausgestaltung dieses Netzes wird als integriertes Netzwerk bezeichnet. In dem Netzwerk ist determiniert, welche Flughäfen in ihm vorkommen, welche davon eine Hub-Funktion übernehmen und wie die Flughäfen miteinander verbunden sind (z. B. Direktflüge, Hub-Hub-Flüge) und wie viel Frequenzen es auf den einzelnen Flugstrecken gibt. Das integrierte Netz wird synonym als Netzwerkverbund in dieser Arbeit bezeichnet.

Intraregionale Flüge
Darunter versteht man Flüge zwischen den Städten einer dedizierten Region, beispielsweise in dem Dreiländer-Bereich Deutschland, Österreich, Schweiz.

KEP-Dienste (-Anbieter)
KEP-Dienste (Kurier, Express und Paketdienste) sind Logistik- und Postunternehmen, die Gütertransportservices anbieten.

Liberalisierung bzw. Deregulierung im Luftverkehr
Globaler Abbau von staatlichen Regulierungen im Luftverkehrsmarkt, der von den USA Ende der 1970er-Jahre eingeläutet wurde und auch nunmehr seit ca. 20 Jahren in Europa greift.

Luftfahrt- bzw. Luftfrachtbegriffe
Aufgrund der internationalen Ausrichtung der Luftfahrt bzw. Luftfracht ist die Terminologie in Englisch.

Abkürzung	Langtext	Erläuterung
AFTK	Available Freight Tonne Kilometers	gibt den Wert der total verfügbaren Frachtkapazität an
ASK	Available Seat Kilometers	gibt den Wert der verfügbaren Passagierkapazität an
FTK	Freight Tonne Kilometers	gibt den tatsächlichen Wert des Frachtverkehrs in Tonnen an
FLF	Freight Load Factor	ist der %-Wert der in Anspruch genommenen AFTK
PLF	Passenger Load Factor	ist der %-Wert der gebrauchten ASK
RPK	Revenue Passenger Kilometers	gibt den tatsächlichen Ertragswert des Passagierverkehrs je Kilometer an (unter Einbeziehung der verkauften Passagierleistung, des Transports eines Passagiers inklusive des Gepäcks)

Tabelle 42: International gebräuchliche Luftfahrt- bzw. Luftfrachtbegriffe

Luftfreiheit
Die Freiheit der Luft stellt von der ICAO aufgestellte Vorschläge für die Vergabe von Luftrechten im kommerziellen Luftverkehr vor, welche bilateral zwischen zwei Ländern ausgehandelt werden. Für Europa gibt es eine europaweite Regelung.

Luftverkehrsgesellschaft
Allgemein versteht man unter einer Luftverkehrsgesellschaft ein Unternehmen, das Dienstleistungen im Bereich der Beförderung von Fracht bzw. Passagieren unter Heranziehung des Flugzeugs als Verkehrsmittel anbietet.

(Luft-)Verkehrsleistung (für Passagiere bzw. Fracht)
Unter (Luft-)Verkehrsleistung wird in der Luftverkehrsstatistik eine Maßzahl für das Produkt aus der Anzahl der beförderten Passagiere bzw. des transportierten Frachtguts und der jeweils hierfür benötigten Streckendistanz verstanden.

M&A
M&A steht für Mergers & Acquisition und ist der Sammelbegriff für Fusionen bzw. Übernahmen von Unternehmen.

Multi-Hub-Strategie
Unter Multi-Hub-Strategie versteht man, dass eine Netzwerkfluggesellschaft in ihrem Hub-and-Spoke-Netzwerk meist im Verbund zu Allianzpartnern oder Tochterfluggesellschaften, die selbst Hub-and-Spoke-Systeme betreiben, mehrere Hubs einrichtet. Die Hubs übernehmen dabei meist unterschiedliche Funktionen (Interkontinental-Hubs, Sekundär-Hubs für den Umschlag von intra-kontinentalem Verkehr).

Netzwerk (Luftverkehrsnetzwerk)
Ein Netzwerk ist allgemein ein grafisches Gebilde, das konstruiert ist aus Knoten und Kanten. Kanten stellen Verbindungen zwischen den Knoten dar. Sie werden auch als Relationen bezeichnet. Ein Netzwerk kommt in der Gestalt eines reinen Liniensystems, eines Rastersystems, eines Hub-and-Spoke-Systems oder als Mischvariante davon vor. In der Luftfahrtbranche haben sich vorwiegend zwei Formen von Netzwerken herauskristallisiert: Punkt-zu-Punkt- oder Hub-and-Spoke-Systeme.

Netzwerkfluggesellschaft
Als Netzwerkfluggesellschaft bezeichnet man eine Fluggesellschaft, die ihren Flugservice auf einem nach dem Hub-and-Spoke-System ausgerichteten Flugbetrieb mit vielen Zu- und Abbringer-Flügen von und zu dem Hub-Flughafen anbietet. Viele der ehemaligen Flag-

Carrier werden als Netzwerkfluggesellschaft eingestuft. Netzwerkfluggesellschaften verfügen über ein dichtes nationales und internationales Streckennetz, sodass Kurz-, Mittel- und Langstrecken in unterschiedlichen Servicestufen bedient werden. Zudem weisen Netzwerkfluggesellschaften strategische Allianzen bzw. bilaterale Kooperationen zu anderen großen Netzwerkfluggesellschaften auf. Darüber hinaus gehen Netzwerkfluggesellschaften Beteiligungen mit anderen Fluggesellschaften ein bzw. übernehmen diese und binden deren Flugnetze in das eigene Netzwerk zum Aufbau eines abgestimmten Flugbetriebs ein.

Netz(-Layout)
Ein Netz(-Layout) ist im Sinne dieser Arbeit eine konkrete Konfiguration eines Hub-and-Spoke-Netzwerks, bei dem die Anzahl der Hubs, deren Lage und Flughäfen, die Nichthubs, deren Lage und Flughäfen und die zugelassenen Flugrouten und Flugfrequenzen je angebotener Flugstrecke in dem Netz vorgegeben ist. Das 3L-Netz dieser Arbeit stellt ein solches Netzlayout dar.

Originäraufkommen
Originäraufkommen meint die Menge der am betrachteten Flughafen einsteigenden und aussteigenden Passagiere bzw. der einzuladenden bzw. auszuladenden Fracht. In das Originäraufkommen wird der Transferverkehr nicht mitgezählt.

Originäreinsteiger
Hierzu zählen alle Passagiere, die am dedizierten Flughafen ihren Hin- oder Rückflug antreten.

Outbound
Darunter werden alle startenden Flüge ab dem dedizierten Flughafen zusammengefasst.

Quelle-Ziel-Verkehr bzw. -Relation
Luftverkehrsverbindung zwischen einer Quelle (Herkunftsflughafen) und einem Ziel (Endzielflughafen). Im Rahmen dieser Arbeit wird eine derartige Relation auch als Pfad, wenn zwischen Quelle und Ziel ein oder maximal zwei Zwischenstopps eingelegt werden, bzw. als Route für eine Direktverbindung zwischen Quelle und Ziel bezeichnet.

Road-Feeder-Services (RFS)
Unter Road-Feeder-Services versteht man die Zulieferung von Fracht für den Luftfrachttransport an einen Flughafen durch Lastkraftwagen.

Single-Hub-Strategie
Unter Single-Hub-Strategie versteht man, dass eine Netzwerkfluggesellschaft in ihrem Hub-and-Spoke-Netzwerk nur einen Hub-Flughafen betreibt.

Slot
Nach der EWG-Verordnung 94/93 Nr. 2 Abs. a versteht man unter einem Slot ein einer Fluggesellschaft zugeordnetes Zeitfenster. Der Slot definiert die planmäßige Start- und Landezeit für die Luftfahrtzeug-Bewegung an einem bestimmten Tag auf einem Flughafen, dessen Slots gemäß der EWG-Verordnung koordiniert werden. Slots werden auf Slot-Konferenzen der IATA jedes halbe Jahr den Ländern im Vorfeld zugeteilt. Zeitnischen müssen am Flugtag bei der Eurocontrol in Brüssel von der Fluggesellschaft beantragt werden, und die Erlaubnis wird angesichts der aktuellen Verkehrsverhältnisse (Wetter, Überlastung des Luftraums etc.) erteilt oder versagt.

Spoke (Speiche)
Siehe Definition zu Spoke-Flughafen.

Target
Im M&A-Jargon wird die zu übernehmende Gesellschaft auch als Target („Ziel“) bezeichnet.

Transitaufkommen
Unter Transitaufkommen versteht man im Passagiersektor Fluggäste bzw. im Luftfrachtsektor Fracht, die bei einem Zwischenstopp an einem Flughafen in ein anderes Flugzeug zur Weiterreise umsteigen/umgeladen und unter derselben Flugnummer bis zur Zieldestination fortgeführt werden/wird.

Umladung (synonym Transitluftfracht, Transitluftpostaufkommen)
Umladung bezeichnet im Luftfrachtsektor bei einem Zwischenstopp den kombinierten Vorgang des Ausladens von Luftfracht bzw. Luftpost aus einem Flugzeug und das Einladen der Fracht in ein anderes Flugzeug in der Regel auf demselben Flughafen.

Umsteiger (synonym Transfluggäste, Transferflugäste)
Unter Umsteiger versteht man im Luftverkehrspassagiersektor bei einem Zwischenstopp den kombinierten Vorgang des Aussteigens von Fluggästen aus einem Flugzeug und deren Einsteigen in ein anderes Flugzeug in der Regel auf demselben Flughafen.

Umsteigeaufkommen
Umsteigeraufkommen bezeichnet die Summe der Umsteiger auf einem dedizierten Flughafen in der Luftverkehrsstatistik.

Befehlssatz der Algorithmen	
Befehl Einheit	Erläuterung
If	Bedingung mit wahr/falsch-Verzweigung
Else	Bedingung zur Steuerung der Falsch-Verzweigung bei einer If-Abfrage
For	Beginn einer Schleife
End	Ende einer Schleife
/* */	Kommentar

Tabelle 43: Befehlssatz für die verwendeten Algorithmen

Literaturverzeichnis

Aberle, G. (2003), Transportwirtschaft. München, Wien.

Abdinnour-Helm, S. (1998), A hybrid heuristic for the uncapacitated hub location problem, in: European Journal of Operational Research 106, S. 489–499.

Ablay, P. (1987), Optimieren mit Evolutionsstrategien, in: Spektrum der Wissenschaft 7, S. 104.

Adler, N., Berechman, J. (2001), Evaluating optimal multi-hub networks in a deregulated aviation market with an application to Western Europe, in: Transportation Research Part A Policy And Practice, Vol. 35, Number 5, S. 373–390.

Ahrens, F. (2003), Entscheidungsfindung, mit Hilfe der Spieltheorie, in Unternehmen, Diplomarbeit Fachhochschule, Nürtingen.

Airports Council International (ACI), o. V. (2003), World Data.

Air Transport World (1988), Aircraft operating data, 25, S. 138.

Air Transport World, ohne Autorenangabe (2000), Trends. In: Air Transport World, Vol. 37, Nr. 7, S. 3.

Althen, W./Graumann, M./Niedermayer, M. (2001), Alternative Wettbewerbsstrategien von Fluggesellschaften in der Luftfrachtbranche, in: Kontaktstudium, zfbf, Jg. 53.

Arnold, D., Isermann, H., Kuhn, A., Furmans, K., Tempelmeier, H. (Hrsg.) (2008), Handbuch Logistik (VDI-Buch). Springer Verlag, Berlin.

Airbus, ohne Autorenangabe (2002), Global Market Forecast 2001–2020, online im Internet http://www.airbus.com/pdf/media/gmf2001.pdf [abgerufen am 25.10.2005].

Airbus, ohne Autor (2003), Global Market Forecast 2003-2022, Blagnac Cedex, online im Internet http://www.aerospace777.com/data/manufacturer/forecast/airbus%202003.pdfhttp//a3 [abgerufen am 04.03.2006].

Arndt, A. (2004), Die Liberalisierung des grenzüberschreitenden Luftverkehrs in der EU, eine quantitative Analyse der Wohlfahrtswirkungen und des Anbieterverhaltens, 1. Auflage.

Areeda, P., Hovenkamp, H. (1988), "Essential Facility Doctrine? Applications", in: P. Areeda. H. Hovenkamp, Antitrust Law, 202.3 (Suppl. 1988), S. 675–701.

Austermann, H. (1985), Die Unternehmenspolitik der nordwest-europäischen Fluggesellschaften nach der Deregulierung des US-amerikanischen Luftverkehrsmarktes, in: Beiträge aus dem Institut für Verkehrswissenschaft an der Universität Münster, (Hrsg.) Seidenfus, H. St., Heft 106, Vandehoeck & Rupprecht Verlag, Göttingen, S. 62.

Aykin, T. (1988), On the location of hub facilities, in: Transportation Science 22, S. 155–157.

Aykin, T. (1990), On "A quadratic integer program for the location of interacting hub facilities", in: European Journal of Operational Research 46, S. 409–411.

Aykin, T. (1991A), Networking policies for Hub-and-Spoke-Systems with application to the air transportation system, in: Technical Report 91-01-Ta, Div. of Mgt. Std., Rutgers, The State University of New Jersey, NJ.

Aykin, T. (1991B), Lagrangian relaxation based approaches to capacitated Hub and Spoke network design, problem, nicht veröffentlicht.

Aykin, T. (1994), Lagrangian relaxation based approaches to capacitated Hub and Spoke network design problem, in: European Journal of Operational Research 79, S. 501–523.

Aykin, T. (1995A), Networking Policies for Hub-and-Spoke-Systems with Application to the Air Transportation Systems, in: Transportation Science, 29/3, S. 201–221.

Aykin, T. (1995B), The hub location and routing problem, in: European Journal of Operational Research 83, S. 200–219.

Aykin, T., Brown, G. F. (1992), Interacting New Facilities and Location-Allocation Problems, in: Transportation Science Vol. 26, No. 3, S. 212–222.

Bailey, E., Graham, D., Kaplan, D. (1983), Deregulating the Airlines, An Economic Analysis, Civil Aeronautics Board, Washington D.C.

Bain, J. S. (1956), Barriers to New Competition, Cambridge, Mass.

Balakrishnan, A., Graves, S. C. (1989), A composite algorithm for a concave-cost network flow-problem, in: Networks 19, S. 175–202.

Barrett, S. D. (2000), Airport competition in the deregulated European aviation market, Journal of Air Transport Management, 6(1), S. 13–27.

Barnhart, C., Schneur, R. R. (1996), Air Network Design for Express Shipment Service, in: Operations Research, Vol. 44, No. 6, S. 852–863.

Baumol, W. (1977), On the Proper Cost Test for Natural Monopoly in a Multiproduct Industry, American Economic Review 67, 5, S. 809–822.

Baumol, W. J., Panzar, J. C., Willig, R. D. (1982), Contestable Markets and the Theory of Industry Structure, Harcourt Brace Jovanovich, San Diego.

Baumol, W. J., Panzar, J. C., Willig, R. D. (1988), Contestable Markets and the Theory of Industry Structure – Revised Edition, Harcourt Brace Jovanovich, San Diego u. a.

Bea, F. X., Haas, J. (2005), Strategisches Management, 4. Auflage, Lucius & Lucius Verlagsgesellschaft Stuttgart, S. 50 ff.

Beasly, J. E. (1993), Langrangean heuristics for location problems, in: European Journal of Operational Research 65, S. 383–399.

Beckers, T., Hirschhausen, Chr. Von, Tegner, H. (2002), PPI in Germany – The Gradual Awakening; Infrastructure Journal, June 2002, S. 48–55.

Beckers, T., Fritz, J. S., von Hirschhausen, C., Müller, S. (2004), Privatisierung und Re-Regulierung der deutschen Flughäfen unter Berücksichtigung internationaler Erfahrungen, Technische Universität Berlin, Fachgebiet Wirtschafts- und Infrastrukturpolitik, Berlin.

Beder, H. (1994), Der Luftfrachtverkehr, in: Isermann, H. (Hrsg.), Logistik: Beschaffung, Produktion und Distribution, Verlag Moderne Industrie, Landsberg/Lech, S. 105–118.

Beeser, S. (1996), Strategische Allianzen im EU-Wettbewerbsrecht, Verlag C.H. Beck, München.

Belobaba, P., Wilson, J. (1997), Impacts of yield management in competitive airline markets, in: Airline Buisness, No. 1, S. 3.

Benders, J. F. (1962), Partitioning Procedures for Solving Mixed Variables Programming Problems, Numerische Mathematik 4, S. 238–252.

Benson, H. P. (1996), Deterministic algorithms for constrained concave minimalization: A unified critical survey, Naval Research Logistics 43, S. 64–66.

Bertrand, J. (1883), Commentaire de Walras: Théorie Mathématique de la Richesse Sociale et de Cournot: Recherche sur les Principes Mathématiques de la Théorie des Richesses, Journal des Savants, Sept. 1883.

Bittlingmeyer, G. (1985), The Economics of a Simple Airline Network, Manuskript, Wissenschaftszentrum Berlin.

Blattmann, R. (1977), Entwicklungspakete des Luftfrachtverkehrs unter besonderer Berücksichtigung des Luftfrachtpotentials im Bundesgebiet, Wahl, Karlsruhe.

BMVBW Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen (1998), Luftverkehrsstandort Deutschland hat Zukunft, in: Verkehrsnachrichten, Heft 5/6, Bonn, S. 1–6.

Boeing (2000), Current Market Outlook 2000 – Demand for air travel, online im Internet http://www.boeing.com/commercial/cmo/3at01.html_bis_Seiten_3at11.html [abgerufen am 15.10.2005].

Boeing (2003), Current Market Outlook 2003, online im Internet http://www.boeing.com/commercial/cmo/pdf/CMO2003.pdf [abgerufen am 14.10.2005].

Boeing (2005), Current Market Outlook 2005, online im Internet http://www.boeing.com/commercial/cmo/pdf/CMO2005.pdf [abgerufen am 15.02.2006].

Boeing (2006), World Air Cargo Forecast, online im Internet http://www.boeing.com/commercial/cargo/01_06.html [abgerufen am 30.11.2009].

Bongartz, U. (1998), Unternehmensspezifische Ressourcen und strategische Gruppen im Luftverkehrsmarkt, in Zeitschrift für Betriebswirtschaft, 4, S. 381–407.

Borndörfer, R. Grötschel, M., Löbel, A. (1998), Optimization of Transportation Systems, Report SC 98-09, Konrad-Zuse-Zentrum Berlin, online im Internet http://www://zib.de [abgerufen am 20.07.2005].

Bouleimen, K., Lecocq, H. (2003), A new efficient simulated annealing algorithm for the resource-constrained project scheduling problem and its multiple mode version, in: European Journal of Operational Research 149, S. 268–281.

Brock, W.A. (1983), Contestable Markets and the Theory of Industry Structure: A Review Article, Journal of Political Economy, Vol. 91, No. 6, S. 1063.

Bunse (2003), Deutsche Lufthansa AG, Luftverkehrsstandort Berlin – Strategische und regulatorische Aspekte, Vortrag am 24 Juni 2003, Berlin.

Burkard, R. (1995), Operations Research, Ganzzahlige Optimierung, Lehrbrief 0853, Fachbereich Wirtschaftswissenschaften, FernUniversität Hagen.

Burckhardt, W. (1969), Zur Optimierung von räumlichen Zuordnungen, in: Ablauf- und Planungsforschung 10, H. 1, S. 233–248.

Campbell, J. F. (1990), Freight Consolidation and Routing with Transportation Economies of Scale, in: Transportation Research, Vol. 24B, S. 345–361.

Campbell, J.F. (1991), Hub location problems and the p-hub median problem, Working Paper 91-06-19, Center for Business and Industrial Studies, University of Missouri – St. Louis991.

Campbell, J. F. (1992), Location-allocation for distribution systems with transhipments and transportation economies of scale, in: Annals of Operations Research 40, S. 77–99.

Campbell, J. F. (1994), Integer programming formulations of discrete hub location problems, in: European Journal of Operational Research 72, S. 387–405.

Campbell, J. F. (1996), Hub location and the p-hub median problem, in: Operations Research Vol. 44, No. 6, Juli–December 1996, S. 923–935.

Chan, Y., Ponder, R., J. (1979), The Small Package Air Freight Industry in the United States: A Review of the Federal Express Experience, in: Trans. Res. A, 13a, S. 221–229.

Chestler, L. (1985), Overnight air express: Spatial pattern competition and the future of small package delivery services, in: Transportation Q., 39, S. 59–71.

Cheung, R. K., Muralidharan, B. (1999), Impact of dynamic decision making on Hub and Spoke freight transportation networks, in: Annals of Operations Research, 87, S. 49–71.

Chhajed, D., Lowe, T. (1992), m-median and m-center problems with mutual communications: Solvable special cases", Operations Research 40, S. 56–66.

Christofides, N. (1975), Graph Theory, An Algorithmic Approach, Academic Press, New York, S. 400.

Church, R. I. (1990), The regionally constrained p-median problem, in: the North American Meeting of Regional Sciences, 1987, erschienen in Geographical Analysis.

Clancy, B., Hoppin, D. (2001), The Mergeglobal 2001 World Air Freight Forecast, in: Air Cargo World Online 2001 (im Web unter: www.Aircargoworld.Com/Archive).

Clancy, B., Hoppin, D. (2004), World Air Cargo Forecast, in: Air Cargo World, May 2004.

Clancy, B., Hoppin, D. (2005), Merge Global Air Freight Forecast**,** online im Internet unter http://www.aircargoworld.com/features/0505_1.htm [abgerufen am 30.11.2006].

Coners, A. (2003), Von der Prozesskostenrechnung über Zeitstudien zum Time-Driven-Activity-Based Costing, erschienen in: FB/IE – Zeitschrift für Unternehmensentwicklung und Industrial Engineering REFA Bundesverband e.V., Juni 2003.

Cooper, L. (1963), Location-allocation problems, Operations Research 11, S. 331–343.

Cooper, L. (1964), Heuristic methods for location-allocation problems, in: SIAM Review 6, S. 37–52.

Cooper, R., Kaplan, R. (1988), Measure costs right, in: Harvard Business Review, September/Oktober 1988.

Crainic, T. G., Dejax, P. J., Delorme, L. (1989), Models for multimode multicommodity location problems with interdepot balancing requirements, in: Annals of Operations Research 18, S. 279–302.

Crainic, T. G., Dejax, P. J., Delorme, L. (1993), A branch-and-bound method for multicommodity location with balancing requirements, in: European Journal of Operational Research 65, S. 368–382.

Crainic, T. G., Delorme, L. (1993), Dual-ascent procedures for multicommodity location-allocation problems with balancing requirements, in: Transportation Science 27/2, S. 90–101.

Crainic, T. G., Gendreau, M., Soriano, P., Toulouse, M. (1993A), A tabu search procedure for multicommodity location/allocation with balancing requirements, in: Annals of Operations Research 41, S. 359–383.

Crainic, T. G., Laporte, G. (1997), Planning models for freight transportation, European Journal of Operational Research 97, S. 113–123.

Crainic, T. G., Toulouse, M., Gendreau, M. (1995), Synchronous tabu search parallelization strategies for multicommodity location-allocation with balancing requirements, in: OR Spektrum 17, S. 113–123.

Daganzo, F.C. (1987), The Break-Bulk Role of Terminals in Many-to-Many Logistic Networks, in: Operations Research, Vol. 35/4, S. 543–555.

Dakin, R. J. (1965), A tree-search algorithm for mixed integer programming problems. In: The Computer Journal, Volume 8, S. 250–255.

Dantzig, G., B., Wolfe, P. (1960), Decomposition Principle for Linear Programs, in: Operations Research 8, H. 1, S. 30–38.

Daskin, M. S., Panayotopoulos, N., D. (1989), A Lagrangian Relaxation Approach to Assigning Aircraft Routes in Hub and Spoke Networks, in: Transportation Science, Vol. 23, No. 2, Mai 1989, S. 91–99.

Dearing, P. M. (1985), Location Problems in: Operations Research Letters, Vol. 4, S. 95–98.

Demsetz, H. (1968), Why Regulate Utilities, Journal of Law and Economics 11, S. 55–66.

Dennis, Nigel (1998), Competition between Hub Airports in Europe and a Methodology for Forecasting Connecting Traffic, 8th WCTR Proceedings, Volume 1, S. 239–252.

Desel, U. (1988), Zehn Jahre Deregulierung: Oligopol im US-Luftverkehr, in: Lufthansa Jahrbuch 1988.

Desrochers, M., Desrosiers, J., Solomon, M. M. (2001), Accelerating strategies in column generation methods for vehicle routing and crew scheduling problems, in: Ribeiro, C. C., Hansen, P. (Hrsg.), Essays and Surveys in Metaheuristics, Boston, Kluwer, S. 309–324.

Deutsche Bank Research (2004), Überfällige Konsolidierung im Luftverkehr ante portes?, Artikelnummer 291, 10. März 2004, online im Internet http://www.dbresearch.de/PROD/DBR_INTERNET_DE-PROD/PROD0000000000074755.pdf [abgerufen am 20.09.2004].

De Neufville, R., Gordon, S. (1972), Design of air transportation networks, in: Transpn. Res. A., 7, S. 207–222.

De Werra, D., Hertz, A. (1989), Tabu search techniques: A tutorial and an application to neural networks, in: OR Spektrum 11, S. 131–141.

Dieckmann, A. (2009), *Spieltheorie: Einführung, Beispiele, Experimente.* Rowohlts Enzyklopädie, Reinbek bei Hamburg.

DLR – Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V., in der Helmoltz Gemeinschaft (2005), Die Freiheiten des Luftverkehrs, online im Internet http://www.dlr.de/fw/home/pdf/Nichtverfuegbarkeit.pdf [abgerufen am 29.10.2005].

DLR – Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (2009), Flughafenwesen und Luftverkehr, DLR-Monatsauswertung der deutschen Luftverkehrsstatistik, ausgewählte Merkmale, basierend auf den Angaben des Statistischen Bundesamtes, der deutsche Luftverkehr im August 2009, Köln.

Dienel, H.-L. (1998), Flying the flag : European commercial air transport since 1945, London [u. a.] : Palgrave Macmillan.

Dionne, R., Florian, M. (1979), Exacte and Approximate Algorithms for Optimal Network Design, in: Networks 9, S. 39–59.

Doganis, R. (1995), The Impact of the Liberalisation on European Airline Strategies and Operations, in: Journal of Air Transport Management, Vol. 1, S. 15.

Doganis, R. (2001), The airline business in the 21st century, London.

Doganis, R. (2002), Flying Off Course. The Economics of International Airlines, 3rd Edition, London, New York.

Doganis, R. S., Graham & Lobbenber, A. (1995), The Economic Performance of European Airports, Research Report 3, Department of Air Transport, Cranfield University, Bedford, England.

Domschke, W. (1990), Logistik (Bd. 2), Rundreisen und Touren, 3. Auflage, Oldenbourg Verlag, München/Wien.

Domschke W., Drexl, A. (1991), Einführung in Operations Research, Springer Verlag Berlin, Heidelberg, New York, Tokyo.

Domschke, W., Krispin, G. (1997), Location and layout planning, in: OR Spektrum 19, S. 181–194.

Domschke, W., Krispin, G. (1999), Zur wirtschaftlichen Effizienz von Hub-and-Spoke-Netzen, in: Logistikforschung: Entwicklungszüge und Gestaltungsansätze, Hrsg.: H.-C. Pfohl, Berlin: E. Schmidt, S. 279–304.

Dreyfus, S. E., Wagner, R. A. (1972), The Steiner Problem in Graphs, in: Networks 1, S. 195–207.

Drezner, Z. (Hrsg.) (1995), Facility location: A Survey of Application and Methods, Springer Verlag, Berlin.

Drezner, Z., Drezner T. (2001), A Note On Applying The Gravity Rule To The Airline Hub Problem, in: Journal of Regional Science, Vol. 41, No.1, S. 67–73.

Dueck, G. (1989), Treshold Accepting Algorithms for multi-constrained 0-1 Knapsack problems, in: Technical Report 89.10.016, IBM Deutschland, Heidelberg Scientific Center.

Dueck, G. (1993), New Optimization heuristics: The Great Deluge algorithm and the Record-to-Record travel, in: Journal of Computational Physics 104, S. 86–92.

Dueck, G., Scheuer, T. (1990), Treshold Accepting: A general purpose Optimization algorithm appearing superior to Simulated Annealing, in: Journal of computational Physics 90, S. 161–175.

Dueck, G., Scheuer, T., Wallmeier, H. M. (1993), Toleranzschwelle und Sintflut: Neue Ideen zur Optimierung, in: Spektrum der Wissenschaft, März 1993, S. 42–511.

Dutta, A., Kawatra, R. (1994), Topological design of centralized communication network with unreliable links and noed outage costs, in: European Journal of Operational Research 77, S. 344–356.

Ebery, J. (2001), Solving large single allocation p-hub problems with two or three hubs, in: European Journal of Operational Research, Vol. 128, Number 2, S. 447–458.

Ebery, J, Ernst, A., Krishnamoorthy, M., Boland, N. (2000), The capacitated multiple allocation hub location problem: Formulations and algorithms, in: European Journal of Operational Research 120, S. 614–631.

Ebner, G. (1997), Controlling komplexer Logistiknetzwerke.

ECAC European Civil Aviation Conference (1982), Report on Intra-European Air Services, Neuilly-sur-Sein.

ECAC European Civil Aviation Conference (2001), Study on Constraints to Growth – Volume 1. März 2001, online im Internet http://www.ecac-ceac.org/uk/documents/Stakeholder_Vol1e.pdf [abgerufen am 1.10.2005].

Eglesi, R., W. (1990), Simulated Annealing: A tool for Operational Research, in: European Journal of Operational Research 46, S. 271–281.

Ehmer, H. (2002), Globale Allianzen von Fluggesellschaften und ihre Auswirkungen auf die Bundesrepublik Deutschland, erschienen in DVWG, B246, Europäischer Luftverkehr – wem nutzen die strategischen Allianzen?.

Ellison, A. P. (1982), The Structural Change of the Airline Industry Following Deregulation, in: Transportation Journal, S. 58 ff.

Erlenkotter, D. (1978), A dual-based procedure for uncapacitated facility location, in: Operations Research, 26, S. 992–1009.

Ernst, A., Krishnamoorthy, M. (1996), Efficient algorithms for the uncapacitated single allocation p-hub median problem, in: Location Science, Vol. 4, No. 3, S. 139–154.

Ernst, A., Krishnamoorthy, M. (1998), Exact and heuristic algorithms for the uncapacitated multiple allocation p-hub median problem, in: European Journal of Operational Research 104, S. 100–112.

EU-Kommission – Europäische Kommission (2000), Mitteilung der Kommission an das Europäische Parlament und den Rat. Schutz der Fluggäste in der Europäischen Union. KOM(2000)365 endgültig. Brüssel, online im Internet http://www.europa.eu.int/comm/transport/themes/air/french/library/prot_passanger_de.pdf [abgerufen am 23.09.2005].

Eurostat Jahrbuch (2004), Der statistische Wegweiser durch Europa, Daten aus den Jahren 1999–2002, S. 18.

Ewers, H.-J., Tegner, H., Joerss, I., Eckhardt, C., Jakubowski, P., Meyer, C. (2001), Möglichkeiten der besseren Nutzung von Zeitnischen auf Flughäfen [Slots] in Deutschland und der EU – Kurzfassung, online im Internet http://wip.tu-berlin.de [abgerufen am 06.07.2005].

Farrell, D. (2001), Strategic Aircraft Portfolio Management, in Butler, G., Keller, M., Handbook of Airline Strategy, New York 2001, S.407-418.

Farvolden, J. M., Powell, W. B. (1994), Subgradient methods for the service network design problem, in Transportation Science 28/3, S. 256–272.

Federal Express Europe, Inc. (1997), Presseveröffentlichung, Kelsterbach, 2.6.1997.

Feige, D., Klaus, P. (1996), Die Konfiguration von flächigen Speditions- und Paketdienst-Transportnetzen, GVB-Informationen 1/96, S. 18–25.

Finsinger, J. (1996), Kurs Wettbewerb und Regulierung, Fernuniversität Gesamthochschule in Hagen, Fachbereich Wirtschaftswissenschaft.

Fischer, G. (2007), Strategische Analyse des deutschen Marktes für europaweite Flugreisen, Studienarbeit, Grin-Verlag, 1. Auflage.

Fitzpatrick, G. L., Modlin, M. J. (1986), Direcat Line Distances – United States Edition. Scarecrow, Metuchen, NJ.

Fleischmann, B. (1993), Designing distribution systems with transport economies of scale; European Journal of Operational Research 70, S. 31–42.

Fleischmann, B. (1994), Tourenplanung, erscheint in Isermann, H (Hrsg.), Logistik, Beschaffung Produktion Distribution, Verlag Moderne Industrie, Landsberg/Lech.

Fleischmann, B. (1998), Design of Freight Traffic Networks, erscheint in Stähl, P. et al. (Hrsg.), Advances in distribution logistics; Springer Verlag.

Flynn, J. Ratick, S. (1988), A multiobjective hierachical covering model for the essential air services program, in: Transpn. Sci., 22, S. 139–147.

Florian, M. (1986), Nonlinear cost network models in transportation analysis, Mathematical Programming Study 26, S. 167–196.

Flottau, J. (2010), Probleme mit den Töchtern. Lufthansa erwartet weitere Verluste bei den übernommenen Fluglinien BMI und Austrian Airlines, in: Süddeutsche Zeitung, 12.03.2010, Frankfurt a. M.

Forsyth, P. (2001), Airport Price Regulation: Rationales, Issues and Directions for Reform – Submission to the Productivity Commission's Inquiry into Price Regulation of Airport Services, online im Internet http://www.pc.gov.au/inquiry/airports [abgerufen am 12.10.2004].

Fotheringham, A. S., O'Kelly, M. E. (1989), Spatial Interaction Models: Formulations and Applications, Kluwer Academy Publishers, Boston, MA.

Fotheringham, A. S., Williams, P. A. (1983), Further Discussion on the Poisson Interaction Model, Geographical Anal. 15, S. 343–347.

Franca, P. M., Luna, H. P. L. (1982), Solving stochastic transportation-location problems by generalized Benders decomposition, in: Transportation Science 14/2, S. 113–126.

Francis, R. L., Mirchandani, P. B. (Hrsg.) (1990), Discrete Location Theory, Wiley, New York u. a.

Fritz, T. (2000), Konzentration als Alternative zu strategischen Allianzen in einem liberalisierten Luftverkehrsmarkt, Diplomarbeit, Universität Köln, August 2000, S. 11 f.

Gabler (2005): Wirtschaftslexikon, Größenvorteile, 16. Auflage. Gabler Verlag, Wiesbaden, S. 12.

Gallo, G., Sodini, C. (1979), Concave cost minimization on networks, in: European Journal of Operations Research, 3, S. 239–249.

Gallo, G., Sandi, C., Sodini, C. (1980), An algorithm for the min concave cost flow problem, in: European Journal of Operations Research, 4, S. 248–255.

Gans, M. (1998), Internationale strategische Allianzen zwischen Luftverkehrsgesellschaften, Diplomarbeit, Universität Köln.

Garrod, P. V., Miklius, W. (1977), The Optimal Pricing of Freight in Combination Aircraft, in: Journal of Transport Economics and Policy, Vol. 11, No. 3, September 1977, S. 284–287.

Geest, D. (2003), Low-Cost-Airlines im europäischen Luftverkehrsmarkt – Marktfolgen und Erfolgsfaktoren, Diplomarbeit an der Fachhochschule Westküste, im Studiengang Betriebswirtschaft Tourismus.

Geiger, C., Kanzow, Ch. (1999), Numerische Verfahren zur Lösung unrestringierter Optimierungsaufgaben, Springer Verlag.

Gendron, B., Potvin, J. Y., Soriano, P. (1999), TABU Search with Exact Neighbour Evaluation for Multicommodity Location with Balancing Requirements, in: INFOR Volume 37, No. 3, Special Issue: Metaheuristics for Location and Routing Problems, August 1999, Paper Nr. 255.

Gibbons, R. (1998), A primer in game theory, 9. Auflage, Harvester Wheatsheaf, New York.

Gietz, M. (1994), Computergestützte Tourenplanung mit zeitkritischen Restriktionen, Physica Verlag, Heidelberg.

Glover, F., Klingman, D. (1981), The simplex son algorithm for LP/embedded network problems, Mathematical Programming Study 15, S. 148–176.

Glover, F. (1986), Future Paths for integer programming and links to artificial intelligence, in: Computers and Operations Research 13, S. 533–549.

Glover, F. (1990), Tabu Search: A Tutorial. In: Interfaces 20, S. 74–94.

Goldberg, D. E. (1989), Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning, Edison Wesley, New York, S. 212.

Golden, B. (1986), Using Simulated Annealing to Solve Routing and Location Problems, Navals Research Logistic Quarterly, Vol. 33.

Gompf, G. (1995), Linien-Luftverkehrsgesellschaften in Luftfracht-Logistik-Strategien unter besonderer Berücksichtigung der Schnittstellenproblematik der Luftfracht-Logistikketten am Beispiel der Deutschen Lufthansa AG, Dissertation, Universität Gießen.

Gonenc, R., Maher, M., Nicolletti, G. (2000), The implementation and the effects of regulatory reform: Past experience and current issues, Economics Department Working Papers No. 251, OECD Economics Department Working Papers, No. 24, Paris.

Grandjot, H. H. (2002), Leitfaden Luftfracht, 2. Auflage, München.

Grandjot, H. H. (2007), Air Cargo Guide, München.

Gray, R. G. (1990), A Model for Optimizing the Federal Express Overnight Delivery Aircraft Network, M.A. Thesis, Arizona State University.

Großmann, Ch., Kleinmichel, H., Vetters, K. (1976), Minimaxprobleme und nichtlineare Optimierung, in: Zeitschrift für Operations Research, Band 20, Physica-Verlag, Würzburg, S. 23–38.

Grove, P. G., O'Kelly M. E. (1986), Hub networks and simulated schedule delay, in: Pap. Reg. Sci. Assoc., 59, S. 103–119.

Günther, H. O., Tempelmeier, H. (1995), Produktion und Logistik, 2. Auflage, Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York Tokyo.

Guisewite, G. M., Pardalos, P. M. (1990), Minimum concave-cost network flow problems: Applications, complexity and algorithms, Annals of Operations Research 25, S. 75–100.

Hakimi, S. L. (1964), Optimium distribution of switching centers and the absolute centers

and medians of a graph, in: Operations Research 12, S. 450–459.
Hall, R. W. (1989), Configuration of an Overnight Package Air Network, in: Transportation Research, Vol. 23A, No. 2, S. 139–149.
Hanlon, P. (2001), Global Airlines –Competition in a Transnational Industry 2nd ed. Oxford.
Hartwig, K.-H. (2004), Europäische Airline Industrie im Trade Off zwischen Renditeverfall und nationalstaatlicher Überregulierung, in: Marktdynamik und Innovation. Gedächtnisschrift für Hans-Jürgen-Ewers, Hrsg. Fritsch, M., Duncker & Humblot, Berlin.
Heistermann, J. (1994), Genetische Algorithmen – Theorie und Praxis evolutionärer Optimierung, B. G. Teubner Verlagsgesellschaft, Stuttgart, Leipzig.
Held, M., Karp, R. M. (1970), The Travelling Salesman Problem and Minimum Spanning Trees. Operations Research 18, S. 1138–1162.
Hellmann, A. (1984), Theorie und Praxis von Routing-Problemen: Lösungsverfahren zur Tourenplanung im Eindepot- und Mehrdepot-Fall. SNV Studiengesellschaft Nahverkehr, Schwarzenbeck.
Henderson, B. D. (1984), Die Erfahrungskurve in der Unternehmensstrategie, 2. Auflage, Frankfurt a. M./New York.
Herrmann, J. W., Ioannou, G., Minis, I, Proth, J. M. (1996), A Dual Ascent Approach to the Fixed-Charge Capacitated Network Design Problem, in: European Journal of Operational Research, 95, S. 476–498.
Heuser, T., Schöne, S. (1999), Dokumentation der Thesen des Bundesverkehrsministeriums zur Flughafenpolitik; BMVBW Newsletter vom Montag, 8.11.1999; Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen, überarbeitete und gekürzte Version: BUND Presse, Berlin.
Heuskel, D. (1999), Wettbewerb jenseits von Industriegrenzen, Frankfurt/M.
Hill, C. W. L. (1988), Differentiation versus low cost or differentiation and low cost: A contingency framework, in: Academy of Management Review 13.
Holland, J. H. (1967), Nonlinear environment permitting efficient adaption, New York Academic Press.
Holland, J. H. (1992), Genetische Algorithmen, in: Spektrum der Wissenschaft 9, S. 44.
Holmberg, K., Ling, J. (1997), A lagrangean heuristic for the facility location problem with staircase costs, European Journal of Operational Research, 97, S. 63–74.
Hoppmann, E. (1967), Workable Competition als wettbewerbspolitisches Konzept, in: Besters, H. (Hrsg.), Theoretische und institutionelle Grundlagen der Wirtschaftspolitik, Berlin, S. 145 ff.
Horn, M., Knieps, G., Müller, J. (1988), (Hrsg.) Hoppmann, E. und Mestmäcker, E. J.: Deregulierungsmaßnahmen in den USA. Schlussfolgerungen für die Bundesrepublik Nomos Verlag Deutschland, Baden-Baden, Band 94.
Horner, M., O'Kelly, M. E. (2002), Embedding economy of scale concepts for hub network design, Journal of Transport Geography.
Hütschelrath, K. (1998), Liberalisierung im Luftverkehr. Das Beispiel der Vereinigten Staaten von Amerika, Tectum Verlag, S. 221.
Hütschelrath, K. (2005), The Lufthansa-Germania case at a glance, in: Competition versus predation in aviation markets: a survey of experience in North America, Europe and Australia, S. 173–181.
Humphreys, B. (2003), Slot allocation, in: A market in airport slots, S. 94–106.
Hungenberg, J. (2004), Strategisches Management, Ziele – Prozesse – Verfahren, 3. Auflage, Gabler Verlag, Stuttgart.
Hunziker, H.-J., (Hrsg.) Rühli, E. und Krulis-Rand, J. S. (1983), Strategische Planung und Politik im Luftverkehr, Schriftenreihe des Instituts für betriebswirtschaftliche Forschung an der Universität Zürich, B. 43, Verlag Paul Haupt Bern und Stuttgart.
IATA (2000), International Air Transport Association, 2000, World Air Transport Statistics, Edition 45.
IATA (2002) (Hrsg.), World Air Transport Statistics, Montreal.
IATA (2003) (Hrsg.), Wolrd Air Transport Statistics, Montreal.
IATA (2009) (Hrsg.), Wolrd Air Transport Statistics, Montreal.

Ihde, G. B., Kloster, T. (2001): Netzeffekte in Logistiksystemen, in: Logistik Management, 3, 2/3, S. 25–34.
Infraplan Consult GmbH (2004), Luftverkehrsprognose Deutschland.
Jäckel, K. (1993), Die Fluggesellschaften auf dem Weg in den Binnenmarkt, in: Intern. Verkehrswesen, 4, S. 191–194.
Jäckel, K. (1993), Der Prozess der Deregulierung des EG-Luftverkehrs, in: ZfV, 3, S. 163–185.
Jäggi, F. (2000), Gestaltungsempfehlungen für Hub and Spoke-Netzwerke im europäischen Luftverkehr – ein ressourcenbasierter Ansatz, Dissertation, Universität St. Gallen.
Jaillet, Song, Yu (1996), Airline Network Design and Hub Location Problems, in: Location Science, Vol. 4, No. 3, October 1996, S. 195–212.
Janz, W. (2002), Seminararbeit zum Thema: Hub-and-Spoke-Systeme im Güterverkehr, am Lehrstuhl Volkswirtschaftslehre I: Wettbewerbstheorie, Wettbewerbspolitik und Transportwirtschaft an der Universität Gießen.
Jarach, D. (2005), Airport Marketing, Aldershot.
Jindra, M. (2001), Marktmachtregulierung und Knappheitsproblem auf Flughäfen, Diplomarbeit, Institut für Verkehrswissenschaft und Regulierungspolitik, Universität Freiburg im Breisgau.
Johnson, R. (1983), Networking and Market Entry in the Airline Industry: Some Evidence on the Inefficiencies Introduced by Regulation, Diskussionspapier, U.S. Department of Justice, Washington.
Johnson, D. S., Lenstra, J. K., Rinnooy Kan, A. H. G. (1978), The complexity of the network design problem, Networks 8, S. 279–285.
Jones, I, Viehoff, I. (1993), The Economics of Airport Slots, in: NERA Topics, No. 10, online im Internet http://www.nera.com [abgerufen am 10.06.2004].
Jordan, W. A. (1970), Airline Regulation in America: Effects and Imperfections. The Johns Hopkings Press, Baltimore and London.
Jordan, C. (1869), Sur les assembiages des lignes, in: Journal für die Reine und Angewandte Mathematik 70, S. 185–190.
Kafani, A. (1981), Aircraft Technology and Network Structure in Short-Haul Air Transportation, in: Transportation Research, Vol. 15A, S. 305–314.
Kahn, A. (1971), The Economics of Regulations Principles and Institutions, John Wiley & Sons, New York.
Kantzenbach, E. (1967), Die Funktionsfähigkeit des Wettbewerbs, 2. Auflage, Göttingen.
Khumawala, B. M. (1975), An efficient algorithm for the p-median problem with maximum distance constraints, in: Georgl. Anal., 5, S. 309–321.
Kirkpatrick, S., Gelatt, C. D., Vecchi, M. P. (1983), Optimization by Simulated Annealing, Science 220, S. 671–680.
Klaus, P. (1993), US-Deregulierung 13 Jahre danach: Beobachtungen – Lehren?. GVB-Informationen 1/93.
Klincewicz, J. G. (1989), Avoiding local optima in the p-hub locationproblem using tabu search and GRASP, nicht veröffentlicht.
Klincewicz, J. G. (1991), Heuristics for the p-hub location problem, in: European Journal of Operational Research 53, S. 25–37.
Klincewicz, J. G. (1992), Avoiding local optima in the p-hub location problem using tabu search and GRASP, in: Annals of Operations Research, Vol. 40, S. 283–302.
Klincewicz, J. G., Luss, H., Rosenberg, E. (1986), Optimal and heuristic algorithms for multiproduct uncapacitated facility location, European Journal of Operational Research 26, S. 251–258.
Klincewicz, J. G., Luss, H. (1987), A dual-based algorithm for multiproduct uncapacitated facility location, in: Transportation Science 21/3, S. 198–206.
Knieps, G. (1987), Deregulierung im Luftverkehr, in der Reihe: Walter Eucken Institut, J.C.B. Mohr, Tübingen.
Knieps, G. (1996), Wettbewerb in Netzen, Reformpotentiale in den Sektoren Eisenbahn und Luftverkehr, in der Reihe: Walter Eucken Institut, J.C.B. Mohr, Tübingen.
Knieps, G. (1996A), Slothandel als marktwirtschaftliches Instrument bei Knappheitsproble-

men an Flughäfen, in Diskussionsbeiträge des Instituts für Verkehrswissenschaft und Regionalpolitik 27, Februar 1996.

Knieps, G. (1997), Phasing out Sector-Specific Regulation in Competitive Telecommunications, Kyklos, Vol. 50, Fasc. 3, S. 325–339.

Knieps, G. (1999), Zur Regulierung monopolistischer Bottlenecks, Zeitschrift für Wirtschaftspolitik, 48. Jhrg./Heft 3, S. 297–304.

Knieps, G. (2001), Netzsektoren zwischen Regulierung und Wettbewerb: Diskussionsbeiträge des Instituts für Verkehrswissenschaft und Regionalpolitik Nr. 76, Universität Freiburg, April 2001.

Knieps, G. (2001A), Wettbewerbsökonomie – Regulierungstheorie, Industrieökonomie, Wettbewerbspolitik, Springer Verlag Berlin u. a.

Knieps, G. (2002), Der disaggregierte Regulierungsansatz der Netzökonomie, in: G. Knieps, G. Brunekreeft (Hrsg.), Zwischen Regulierung und Wettbewerb, Netzsektoren in Deutschland, 2. Auflage, Heidelberg, S. 9–24.

Knieps, G., Brunekreeft, G. (Hrsg.) (2003), Zwischen Regulierung und Wettbewerb: Netzsektoren in Deutschland, 2. Auflage, Physica-Verlag, Heidelberg.

Knieps, G. (2004), Von der Theorie angreifbarer Märkte zur Theorie monopolistischer Bottlenecks: Diskussionsbeiträge des Instituts für Verkehrswissenschaft und Regionalpolitik Nr. 76, Universität Freiburg, Juli 2004.

Knieps, G. (2005), Aktuelle Vorschläge zur Preisregulierung natürlicher Monopole: Diskussionsbeitrag des Instituts für Verkehrswissenschaft und Regionalpolitik Nr. 105, Universität Freiburg, revidierte Fassung April 2005.

Knieps, G., Vogelsang, I. (1982), Sustainability Concept under Alternative Behavorial Assumptions, in: Bell Journal of Economics, Vol. 13, No. 1, S. 234–241.

Kolen, A. J. W. (1986), „Tree network and planar rectilinear location theory“, Centrum voor Wiskunde en Informatica, Amsterdam, Netherlands.

Kollex, U., Sörensen, L. (2005), HSH Nordbank, Unternehmenskommunikation, Report 5/05, Artikel: Europäische Flughäfen im Wandel, S. 6.

Kotler, P., Karajaya, H. (2000), Repositioning Asia: from bubble to sustainable economy, Singapore.

Krahn, H. (1994), Markteintrittsbarrieren auf dem deregulierten US-amerikanischen Luftverkehrsmarkt – Schlußfolgerungen für die Luftverkehrspolitik der Europäischen Gemeinschaft, Frankfurt/Main.

Kreps, D. M. und Scheinkman, J. A. (1983), Quantity Precommitment and Bertrand Competition Yield Cournot Outcomes, Bell Journal of Economics, Vol. 14, S. 326–337.

Krüger, M. (2004), Hauptseminar: Regulierung und Zugangspreise, Thema: Airport Congestion Pricing, Technische Universität Dresden, Fakultät Wirtschaftswissenschaften, Fakultät Verkehrswissenschaften.

Kuby, M. (1989), A location-allocation model of Losch's central place theory: Testing on a uniform lattice network, Georgl. Anal., 5, S. 309–321.

Kuby, M. J.; Gray, R.G. (1993), The hub network design problem with Stoppovers and feeders: the case of Federal Express, in: Transportation Research, Vol. 27A, S. 1–12.

Kuhn, H. (1992), Heuristische Suchverfahren mit simulierter Abkühlung, in: WiSt, Vol. 87, S. 387–391.

Kuhne, M. (1988), Liberalisierung des europäischen Luftverkehrs – Die Beschlüsse der EG-Minister vom 7. Dezember 1987, in: Internationales Verkehrswesen, Bd. 40, Nr. 2, S. 77–82.

Kummer, S., Schnell, M. (2002), Verkehrswissenschaftliche Bewertung der Allianzbildung im Luftverkehr, Vortrag im Rahmen des Kolloquiums “Europäischer Luftverkehr – wem nützen die strategischen Allianzen?“ am 15.und 16. Juli 2001 in Frankfurt/Main, abgedruckt in: Schriftenreihe der Deutschen Verkehrswissenschaftlichen Gesellschaft: Reihe B, Seminar; 246.

Laarhoven Van, P. J. M., Aarts, E. H. L. (1987), Simulated Annealing: Theory and Applications, Reidel, Dordrecht.

Land, A. H., Doig, A. G. (1960), An automatic method of solving discrete programming problems, in: Econometria 28, S. 497–520.

Landes, W. M., Posner, R. A. (1981), Marketpower in antitrust cases, in Harvard Law Review, Vol. 94, No. 5, S. 937–996.

Landgraf, D., Tulit, A. (2002/2003), Seminararbeit zum Thema: Infrastrukturengpässe im Luftverkehr, Vergabe von Start- und Landerechte auf Flughäfen unter nationalen, europäischen und internationalen Aspekten, Fachhochschule Worms, Fachbereich Wirtschaftswissenschaften, Studiengang Internationale Betriebswirtschaft und Außenwirtschaft.

Larrson, T., Migdalas, A., Rönnqvist, M. (1994), A lagrangean heuristic for the capacitated concave minimum cost network flow problem, European Journal of Operational Research 78, S. 116–129.

Lee, Y., Lim, B. H., Park, J. S. (1996), A Hub Location Problem in Designing Digital Data Service Networks: A Lagrangean Relaxation Approach, in: Location Science, Vol. 4, No. 3, S. 185–194.

Lefer, H., Nelms, D. W. (1994), Cargo: Growing on Two Continents. DHL opens an automated hub in Bahrain and expands in Brussels, in: Air Transport World, Vol 31, Number 2, S. 101.

Lin, C.-C., Liao, C.-H. (2006), The computation of Cournot-Nash equilibria for the time-definite freight delivery industry under an oligopolistic market, in: Computers and Operations Research Volume 33, Issue 2 (February 2006), S. 328–344.

Linz, M. (2008), Airfreight Supply Chain Collaboration – Wettbewerbliche Potenziale und Wirkung auf die logistische Effizienz, Gabler Verlag.

Liu, C. M., Kao, R. L., Wang, A. H. (1994), Solving location-allocation problems with rectilinear distances by Simulated Annealing, in: Journal of the Operational Research Society 45 /11, S. 1304–1315.

Lontke, M. (1994), Graphensuchverfahren und genetische Algorithmen als Problemlösungsmethoden – dargestellt am Beispiel des Standardproblems der Tourenplanung, Dissertation, Universität Bremen.

Love, R. F., Morris, J. G., Wesolowsky, G. O. (1998), Facility location: Models and methods, in: Publications in Operations Research 7.

Lufthansa (2002), Zukunft über Europas Himmel, Mobilität und Infrastruktur, online im Internet http://konzern.lufthansa.com/de/html/ueber_uns/mobilitaet/vernetzt/eu [abgerufen am 20.07.2005].

Lufthansa Cargo AG (2003), Computers moving up; planet – The Global Logistics Journal S. 21.

Lufthansa (2009), Lufthansa: Konsolidierung und Wachstum für Europa, Politikbrief 01/2009, März 2009 der Lufthansa, Hrsg. Klaus Walther, Leiter Konzernkommunikation, Deutsche Lufthansa AG, FRA CI, Lufthansa Aviation Center, Frankfurt, S. 5, Herausgeber: Deutsche Lufthansa AG, Konzernkommunikation, auch online im Internet http://presse.lufthansa.com [abgerufen am 15.10.2009].

Lufthansa (2009a), Lufthansa: Ölpreise: Spekulantentum eindämmen – Realwirtschaft stärken, Politikbrief 04/2009, März 2009 der Lufthansa, Hrsg. Klaus Walther, Leiter Konzernkommunikation, Deutsche Lufthansa AG, FRA CI, Lufthansa Aviation Center, Frankfurt, Herausgeber: Deutsche Lufthansa AG, Konzernkommunikation S. 6, auch online im Internet http://presse.lufthansa.com [abgerufen am 07.11.2009].

Lyle, C. (1999), Maturing industry must continue to cope with challenges of growth in 21st century, in: ICAO Journal, Vol. 54, Nr. 8, S. 20–24 + 30, auch online im Internet http://www.icao.org/icao/en/jr/5408.pdf [abgerufen am 20.07.2005].

Maertens, S. (2001), Wettbewerbliche Analyse des Luftfrachtverkehrs, im Rahmen des Seminars Durchstarten und Abheben – Der Wachstumsmarkt Luftverkehr, Universität Münster, Institut für Verkehrswissenschaft.

Maertens, S. (2002), Die Positionierung kleinerer Flughäfen im Interkontinentalverkehr – eine marktstrategische Analyse, Diplomarbeit, Universität Münster, Institut Verkehrswissenschaften.

Magnanti, T. L. (1984), Network Design and Transportation Planning: Models and Algorithms, in: Transportation Science, Vol. 18, No. 1, S. 1–48.

Magnanti, T. L., Wong, R. T. (1984), Network Design and Transportation Planning: Models

and Algorithms, in: Transportation Science, Vol. 18, No. 1, S. 1–48.
Malkin R. (1982), Small air shipments – Rediscovered bonanza, in: J. Commerce (spec. Air Cargo Supll.) 352, S. 1–27.
Marx, J. (1974), Die regionalpolitische Rolle des regionalen Luftverkehrs, Dissertation, Zürich.
Masterplan (2004), Masterplan zur Entwicklung der Flughafeninfrastruktur – zur Stärkung des Luftverkehrsstandortes Deutschland im internationalen Wettbewerb, Berlin im Oktober 2004, online im Internet http://www.initiative-luftverkehr.de/presse/docs/download/041020-masterplan.pdf [abgerufen am 10.10.2005].
Maurer, P. (2002), Luftverkehrsmanagement, München, Wien, Oldenbourg Verlag.
Maurer, P. (2003), Luftverkehrsmanagement – Basiswissen, 3. Auflage, Wien, München.
Mayer, G. (2001), Strategische Logistikplanung von Hub&Spoke-Systemen, Wiesbaden.
Mayer, G., Wagner, B. (2002), HubLocator: an exact solution method for the multiple allocation hub location problem, in: Computers & Operations Research, Volume 29, Issue 6, May 2002, Elsevier Science Ltd., S. 715–739.
Mayrhuber, W (2002), Luftverkehr Quo Vadis? Herausforderungen durch Wandel von Markt, Service und Technologie, Vortrag Münchener Management Kolloquium 2002, Meisel, Frank: Praxisbezogene Funktionalitätsanforderungen an eine Tourenplanungssoftware und ihre Umsetzung durch einen Verfahrensverbund, in: Lasch und Janker 2005, S. 333–346.
Meier, H., Meier, U. (2000), Yield-Management als Verkehrskonzept, Lucius & Lucius Verlagsgesellschaft, Stuttgart, S. 182–184.
Mesa, J. A., Boffey, T. B. (1996), A review of extensive facility location in networks, in: European Journal of Operational Research 95, S. 593.
Metropolis, N., Rosenbluth A., Rosenbluth R., Teller, A., Teller, E. (1953), Equation of state calculations by fast computing machines, J. Chem. Phys., 21, S. 1087–1092.
Meyer, J. R., Oster, C. V. (Hrsg.) (1981), Airline Deregulation, The Early Experience, Auburn House Publishing Company, Boston, Massachusetts.
Michalewicz, Z. (1992), Genetic Algorithms + Data Structures = Evolution Programs, Springer, New York.
Michel, H. (1964), Grenzkosten und Opportunitätskosten, in: Schmalenbachs Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung: Zfbf, Vol. 16, No. 12, S. 82–93.
Mielentz, H., (o. J.), Luftverkehr V2-08 EF, Lehrunterlagen Fachhochschule Erfurt, online im Internet www.fh-erfurt.de/wlv/fileadmin/VT/.../mielentz/.../F_Luftverkehr_I.pdf [abgerufen am 28.12.2009].
Miller, J. C. (1973), The Optimal Pricing of Freight in Combination Aircraft, in: Journal of Transport Economics and Policy, Vol. VIII No. 3, September 1973.
Minoux, M. (1984), Subgradient optimization and Benders decomposition for large scale programming, in: (Cottle, R. W., Kelmanson, M. L., Korte, B. (Hrsg.) Mathematical Programming, S. 271–288.
Minoux, M. (1987), Network synthesis and dynamic network optimization, in: Annals of Discrete Mathematics 31, S. 283–324.
Minoux, M. (1989), Network Synthesis and Optimum Network Design Problems: Models, Solution Methods and Applications, in: Network, Vol. 19, S. 313–360.
Mirchandani, P, B., Francis, R. L. (Eds.) (1990), Discrete Location Theory, Wiley, New York.
Müller, J. (1983), Air Transport and ist Regulation in West Germany, Zeitschrift für die gesamte Staatswissenschaft, Band 139, S. 506–526.
Müller-Merbach, H. (1988), Operations Research; Methoden und Modelle der Optimalplanung, Vahlen Verlag, München, 9. Nachdruck, S. 173–175.
Müller-Merbach, H. (1966), Drei neue Methoden zur Lösung des Traveling Salesman Problem, in: Ablauf- und Planungsforschung 7, H. 1, S. 32–46 und H. 2, S. 78–91.
Müller-Stewens, G., **Lechner, Ch. (2003),** Strategisches Management, 2. Auflage, Stuttgart.
Molitor, B. (1996), Deregulierung in Europa, in der Reihe: Walter Eucken Institut, J.C.B. Mohr, Tübingen.

Monma, C. L., Sheng, D. D. (1986), Backbone network design and performance analysis: A methodology for packet switching networks, in: IEEE Journal on Selected Areas in Communications 4/6, S. 946–965.

Morrsion, S., Winston, C. (1986), The Economic Effects of Airline Deregulation. Brookings, Washington.

Morrison, S., Winston, C. (2000), The Remaining Role for Government Policy in the Deregulated Airline Industry, in: Deregulation of Network Industries – What's next, (Hrsg.) Peltzman, S., Winston, C, Brookings Institute Press, Washington D. C.

M terminal (2001), Zeitschriftenartikel: Drei plus drei Knoten, in: Zeitung des Flughafen München GmbH, Ausgabe 3.

M terminal (2004), Zeitschriftenartikel: 2003: Mehr Passagiere als je zuvor, in: Zeitung des Flughafen München GmbH, Ausgabe 2.

Nalebuff, B., Brandenburger, A. (1996), Coopetition – kooperativ konkurrieren, 1. Auflage, Frankfurt/Main, New York.

Nagl, P. (2008), Einflüsse des Ladekapazitätswachstums von Transportmitteln auf die Erstellung von Verkehrsleistungen im Verkehrsträgervergleich unter Fokussierung des Straßengüterverkehrs, Dissertation, Wirtschaftsuniversität Wien.

Neumann, J. von, Morgenstern, O. (2004), *Theory of Games and Economic Behavior.* University Press, Princeton NJ 1944.

Niemeier, H.-M., Wolf, H. (2002), Strategische Allianzen zwischen Flughäfen – notwendiges Gegengewicht zur Blockbildung der Fluggesellschaften?, Schriftenreihe der DVWG, B246, S. 187–215.

Noll, R. G., Owen, B. M. (1983), The Political Economy of Deregulation, American Enterprise Institute Washington D. C.

Obermann, S. (1992), Deregulation und dynamischer Wettbewerb – Das Beispiel des US-Luftverkehrsmarktes, in: List Forum, Bd. 18, Heft 1–4, S. 67–84.

O'Kelly, M. E. (1986A), The Location of Interacting Hub Facilities, in: Transportation Science Vol. 20, No. 2, May 1986, S. 92–106.

O'Kelly, M. E. (1986B), Spatial Interaction Based Location-Allocation Models, forthcoming in: Spatial Analysis and Location-Allocation Models, A. Ghosh and G. Rushton (eds.), van Nostrand Reinholt, New York.

O'Kelly, M. E. (1987), A quadratic integer program for the location of interacting hub facilities, in: European Journal of Operational Research 32/3, S. 393–404.

O'Kelly, M. E. (1992), Hub Facility with fixed costs, in: Papers in Regional Science: The Journal of the RSAI 71, S. 293–306.

O'Kelly, M. E., Bryan, D. (1998), Hub location with flow economies of scale, in: Transportation Research B, 32(8), S. 605–616 (auszugsweise).

O'Kelly, M. E., Lao, Y. (1991), Mode choice in a Hub and Spoke network: A zero-one linear programming approach, in: Geographical Analysis 23, S. 283–296.

O'Kelly, M. E., Miller, H. J. (1991A), Solution strategies for the single facility minimax hub location problem, in: Papers in Regional Science: The Journal of the RSAI 70, S. 367–380.

O'Kelly, M. E., Miller, H. J. (1994), The Hub Network Design Problem, in: Journal of Transport Geography, Vol. 2, No. 1, S. 31–40.

O'Kelly, M. E., Skorin-Kapov, D.; Skorin-Kapov, J. (1995), Lower Bounds for the Hub Location Problem, in: Management Science/Vol. 41, No. 4, April 1995, S. 713–721.

Opgenhoff, L. (1997), Kundenbindung von Luftfrachtunternehmen – eine theoretische und empirische Untersuchung, Dissertation, Saarbrücken, Aachen.

Osleeb, J. P. und S. J. Ratick (Eds.) (1986), Location Theory: Methodology and Applications; Baltzer, Basel.

Ostresh, L., M. (1975), An Efficient Algorithm for Solving the Two Center Location-Allocation Problem, in: J. Reg. Sci. 15, S. 209–216.

Otto, T (1994), Reiselust: Travelling Salesman – eine neue Strategie für eine alte Aufgabe, in: c't Magazin für Computer Technik 1, S. 188.

Otto, A. (2005), Reflecting the prospects of an air cargo carrier, in: Strategic Management in the Aviation Industry, Hrsg.; Delfmann, W., Ashgate.

Oum, T.H. (1997), Winning airlines: productivity and cost competitiveness of the world's major airlines, Kluwer Academic Publishers, Boston, USA.

o.V. (2007), Große werden größer, in: DVZ, Nr. 06.

Owen, B., Braeutigam, R. (1978), The Regulation Game, A Strategic Use of the Administration Process, Ballinger Publishing Company, Cambridge Ma.

Pantförder, K. (1969), Die Substitutionskonkurrenz der Produkte in der modernen volkswirtschaftlichen Theorie und ihre Bedeutung für die Marktformlehre, Freiburg Schw., Wirtschafts- und sozialwissenschaftliche Dissertation.

Perfal, von M. (2003), Schnäppchenflieger über den Wolken – die neue Konkurrenz im Luftverkehr und ihre Auswirkungen auf die Strukturen der europäischen Luftverkehrsbranche, Diplomarbeit an der Universität Witten/Herdecke, S. 14 ff.

Pels, E. (2000), Airport Economics and Policy Efficiency, Competition and Interaction with Airlines (Tinbergen Research Series 222, Vrje Universiteit Amsterdam, Niederlande).

Pels, E., Verhoef, E. T. (2003), The Economics of Airport Congestion Pricing, Timergen Institute Discussion Paper.

Pindyck, R., Rubinfeld, D. (2003): Mikroökonomie, München, 6. Auflage, Pearson Studium, S. 324 ff., 330, 343.

Pfohl, H. C. (1997), Strategische Logistikplanung, in: Bloech, J., Ihde, G. (Hrsg.), Vahlens Großes Logistiklexikon, C. H. Beck, München, S. 630–633.

Pfohl, H. C. (2004), Logistiksysteme: Betriebswirtschaftliche Grundlagen, 7. Aufl., Berlin et al.

Ploetzke, M. (2004), Positionspapier: Für einen attraktiven Luftverkehrsstandort Deutschland, Vorschläge des Bundesverband der Deutschen Industrie e.V. für eine zukunftsweisende Luftverkehrspolitik, April/2004.

Pompl, W. (1988), Luftverkehr: Eine ökonomische und politische Einführung, 3. Aufl., Springer Verlag, Berlin.

Pompl, W. (2002), Luftverkehr: Eine ökonomische und politische Einführung, 4. Auflage, Springer Verlag, Berlin.

Pompl, W. **(2007),** Luftverkehr: Eine ökonomische und politische Einführung, 5. Auflage, Springer Verlag, Berlin.

Pompl, W., Schuckert, M., Müller, C. (2003), Zur Differenzierung der Geschäftsmodelle im Personenluftverkehr. Die Full Service Network Carrier in: Tourismus Journal – Zeitschrift für tourismuswissenschaftliche Forschung und Praxis, Heft 4, Stuttgart, Lucius & Lucius, S. 457–467.

Pompl, W., Schuckert, M., Müller, C. (2004), The Future of Small and Medium Sized Airlines in Europe, in: AIEST (Hrsg.), The future of SME's in Tourism, St. Gallen, S. 315–334.

Porter, M. E. (1999), Wettbewerbsstrategie, 10. Aufl., Campus Verlag, Frankfurt.

Porter, M. E. (2004), Competitive Strategy. Techniques for Analyzing Industries and Competitors, 10th Edition, Free Press, New York.

Poss, T. (2002), Wirtschaftlichkeitsanalyse strategischer Allianzen des Luftverkehrs, Diplomarbeit, Fachhochschule Heilbronn.

Powell, M. J. D. (1980), A Hybrid Method for Non-Linear Equations, in: Numerical Methods for Non-Linear Algebraic Equations, Rabinowitz, P. (Hrsg.), Gordon & Breach, London.

Putzger, I. (2006), Freight Expectations, in: Airport World, vol. 10, no. 6.

Prazak, R. (20009), Luftfracht segelt ins Minus – AUA Cargo bleibt aber gelassen, in: Wirtschaftsblatt; 16.04.2009, online im Internet https://www.wirtschaftsblatt.at/home/oesterreich/branchen/logistik/370339/index.do, [abgerufen am 06.11.2009].

Reichmuth, J. (2008), Status Quo – DLR, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. in der Helmholtz-Gemeinschaft Flughafenwesen und Luftverkehr in: Wettbewerbsfähigkeit des Luftverkehrsstandortes Deutschland, im Auftrag der Initiative „Luftverkehr für Deutschland".

Reifenberg, K., Remmert, J. (2004), Escaping the air cargo bazaar: How to enforce price structures, in: Strategic Management in the Aviation Industry, Hrsg.; Delfmann, W., Ashgate.

Reupert, D., Wenisch, S. (2000), Die Balanced Scorecard als Steuerungsinstrument – Einführung einer Balanced Scorecard als Instrument im Rahmen einer wertorientierten Personalarbeit bei der Lufthansa Cargo AG, in: Personalführung 11.

ReVelle, C. (1993), Facility siting and integer-friendly programming, in: European Journal of Operational Research 65, S. 147–158.

ReVelle, C., Swain, R. (1970), Central facilities location, Geographical Analysis 2, S. 30–42.

Richardson, R. (1975), An Optimization Approach to Routing Aircraft, S. 52–71.

Robson, J. E. (1998), Airline Deregulation – Twenty Years of Success and Counting, in Regulation – The CATO Review of Business and Government, Spring 1998, The CATO Institute, Washington, D.C., S. 18–22.

Rödder, W., Reidmacher, H. P. (1995), Operations Research, Optimierung mit intelligenten Strategien, Lehrbrief 00857, Fernuniversität Hagen, Fachbereich Wirtschaftswissenschaften.

Ruigies, A. (1995), Simulated Annealing und verwandte Verfahren für das Traveling Salesman Problem, Diplomarbeit an der Universität Hannover, S. 5.

Ruwantissa, I. (2004), Aviation in Crisis, Aldershot.

Scherer, F. M. (1980), Industrial Market Structure and Economic Performance, 2nd Edition, Chicago.

Schmidt, I., Schmidt, A. (1997), Europäische Wettbewerbspolitik, Verlag Franz Vahlen, München, S. 92.

Schneider, D. (1993), Wettbewerbsvorteile integrierter Systemanbieter im Luftfrachtmarkt, Verlag, Peter Lang, Frankfurt am Main.

Schneider, J. J. (1999), Effiziente parallelisierbare physikalische Optimierungsverfahren, Dissertation an der Universität Regensburg, naturwissenschaftliche Fakultät, S. 23–26.

Schöfer, J., Seeck, S. (2005), Vertikale strategische Partnerschaften als Erfolgsfaktor der Luftfracht, in: Internationales Verkehrswesen, Nr. 5.

Schreyögg, G., Steinmann, H. (1995), Unternehmensführung, Lehrbrief 0507, FernUniversität Hagen, S. 81–167.

Schreyögg, G., Steinmann, H. (2005), Management, Grundlagen der Unternehmensführung, Konzeption – Funktion – Fallstudien, Lehrbuch, Gabler Verlag Wiesbaden, S. 165 ff.

Schwarz, Ch. (2007), Deutsche Zusammenschlusskontrolle, Lehrunterlagen, Frankfurt School of Finance & Management, Kartellrecht im Studiengang LL.M.

Securities and Exchange Commission (1988), Federal Express Corp. Form 10-K for Fiscal Year Ending May 31, 1988, U.S. Government Printing Office, Washington.

Seebohm, E. (1998), Liberalisierung des Luftverkehrs im Spannungsfeld von Kapazitätsengpässen an Flughäfen, in: Open Skies '98 – Konsequenzen und Erfahrungen der Liberalisierung des Europäischen Marktes in Bezug auf die Flughäfen, Schriftenreihe der Deutschen Verkehrswirtschaftlichen Gesellschaft e.V., Reihe B220, Frankfurt am Main.

Seidler, A. (2000), Slotvergabe auf hochbelasteten europäischen Flughäfen, Diplomarbeit, online im Internet http://www.diplomica.com/db/diplomarbeiten4559.html [abgerufen am 20.05.06].

Sened, I., Riker, W.H. (1996), Common Property and Private Property: The Case of Air Slots, in Journal of Theoretical Politics, Vol. 8 (4), S. 427–447.

Sengstacke, P. (1994), Lösung des Standardproblems der Tourenplanung mit einem Tabu Search-Verfahren, FernUniversität Hagen, Fachbereich Wirtschaftswissenschaften, S. 22.

Seristö, H., Vepsäläinen, A. R. J. (1997), Airline Cost drivers: cost implications of fleet, routes and personnel policies, in: Journal of Airline Management 3, Nr. 1, S. 11–22.

Serra, D., ReVelle, C. (1995), Competitive location in discrete space, in: Drezner, Z. (Hrsg.), Facility location, Springer Verlag New York, S. 267–386.

Sierke, B. (1997), Logistikplanung, in: Bloech, J., Ihde, G. (Hrsg.), Vahlens Großes Logistiklexikon, C.H. Beck, München, S. 627–628.

Sharkey, W. (1982), The Theory of Natural Monopoly, Cambridge University Press.

Shetty, B. (1989), (Hrsg.), Network optimization and applications, in: Annals of Operations Research 20.

Skorin-Kapov, D., Skorin-Kapov, J. (1994), On tabu search for the location of interacting hub facilities, in: European Journal of Operational Research 73, S. 502–509.

Skorin-Kapov, D., Skorin-Kapov, J.; O'Kelly, M. (1996), Tight linear programming relaxations of uncapacitated p-hub median problems, in: European Journal of Operational Research 94, S. 582–593.

Sohmen, E. (1992), Allokationstheorie und Wirtschaftspolitik, 2. Auflage, Mohr Verlag, Tübingen, S. 73.

Sohn, J., Park, S. (1997), A linear program for the two-hub location problem, in: European Journal of Operational Research 100, S. 617–622.

Sohn, J., Park, S. (2000), The Single Allocation Problem in the Interacting Three-Hub Network, in: Networks, Heft: Vol. 35, Part 1, New York, S. 17–25.

Sommer, C. (2005), Wirtschaftsmagazin Brand-Eins, 6. Jahrgang, Heft 03, Hamburg, S. 24 ff.

Stanovsky, R. (2003), Deregulierung im europäischen Luftverkehr: Notwendigkeiten, Möglichkeiten und Grenzen; eine empirische und wettbewerbstheoretische Analyse im Hinblick auf die Liberalisierung, PCO Verlag, Bayreuth.

Starkie, D.: (1990), Slot Trading at United States Airports – A Report for the Director General for Transport of the European Communities, Putnam, Hayes & Barlett Ltd., London.

Starkie, D.: (2002), Airport regulation and competition, Journal of Air transport Management, 8(1), S. 63–72.

Statistisches Bundesamt (2008), Luftfrachtverkehr.

Stigler, G. J. (1968), Barriers to Entry, Economics of Scale, and Firm Size, in: G. H. Stigler, The Organization of Industry, Irwin, Homewood, Ill., S. 67–70.

Stigler, G. J. (1971), The Theory of Economic Regulation, Bell Journal of Economics 2, S. 3–21.

Stoetzer, M.-W. (1991), Regulierung und Liberalisierung des Luftverkehrs in Europa, Nomos Verlagsgesellschaft, Baden-Baden.

Suzuki, A., Okabe, A. (1995), Using Voronoi Diagrams. In Z. Drezner, Hrsg., Facility Location: A Survey of Applications and Methods, Springer Series in Operations Research, Kapitel 6, Springer-Verlag, New York.

Tansel, B. C., Francis, R. L., Lowe, T. J. (1983), Location on networks: A survey, Parts I and II, in: Management Science 29/4, S. 482–511.

Teuscher, W. R. (1994), Zur Liberalisierung des Luftverkehrs in Europa, Vandenhoeck und Ruprecht, Göttingen.

Toh, R. S., Higgins, R. G. (1985), The impact of hub-and-spokes network centralization and route monopoly on domestic airline profitability. Transpn. J., 24, S. 16–27.

Trommer, A. (1997): International Air Transport Association (IATA), in: Bloech, J.; Ihde, G. B. (Hrsg): Vahlens großes Logistiklexikon, München, S. 398–399.

Urbatzka, E., Focke, H., Stader, A. und Wilken, D. (1999), „Szenarien des Luftverkehrs Deutschland im Jahr 2010 vor dem Hintergrund kapazitätsbeengter Flughafenstruktur", DLR-Forschungsbericht 1999-43, Köln.

Vanderbeck, F., Wolsey, L. A. (1996), An exact algorithm for IP column generation, in: Operations Research (19), S. 151–159.

Van Laarhoven, P. J. M., Aarts, E. H. L. (1987), Simulated Annealing: Theory and Applications, Reidel, Dordrecht.

Vahrenkamp, R. (1996), Web versus hub structure in the parcel services. A comparison of their respective effiiency, in: Arbeitspapiere zur Logistik 19, Universität-Gesamthochschule Kassel.

Vahrenkamp, R. (1998A), Logistikmanagement, 3. Auflage, München.

Vahrenkamp, R. (1998B), Entwurf und Optimierung von Nabe-Speiche-Transportnetzen (Hubs) für den Lufttransport in der Eurologistik, in: Arbeitspapiere zur Logistik 28/1998, Universität-Gesamthochschule Kassel.

Vahrenkamp, R., Vogt, M. (1998), Planung und Optimierung von Distributionssystemen und

Hubs in der Eurologistik, in: Arbeitspapiere zur Logistik 26/1998, Universität-Gesamthochschule Kassel.

Vahrenkamp, R. (2000), Strategien der Verkehrsverlagerung für den Flughafen Frankfurt, Vortrag auf dem 2. Fach-Symposium zum Ausbau des Frankfurter Flughafens zum Thema: Die Leistungsfähigkeit von Verbundkonzepten, Rhein-Main-Institut Dreieich, 17. Oktober 2000, überarbeitete Fassung vom 27.10.2000.

Vahrenkamp, R. (2007), Die Rolle der Luftfracht in der internationalen Logistik II, in: Logistik. Management und Strategien, 6. Auflage, Oldenbourg, München [u. a.].

Vahrenkamp, R. (2007A), Geschäftsmodelle und Entwicklungsstrategien von Airlines und Airports in der Luftfracht, auszugsweise in: Logistik, Management und Strategien, 6. Auflage, Oldenbourg, München [u. a.].

Vahrenkamp, R., Mattfeld, D. C. (2007), Logistiknetzwerke, Modelle für Standortwahl und Tourenplanung, Gabler Verlag, 1. Auflage, Wiesbaden.

Warnholtz, A. (2005), Allianzen am Himmel, welche Fluggesellschaft ist Partner welcher Airlines. Ein Überblick und Vorteile für Vielflieger, in: Die Welt, 2. Juli 2005, Berlin.

Weber, R. (2008), Referat: Luftfracht im Rahmen eines Praktikums im Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt im Institut für Flughafenwesen und Luftverkehr.

Weckwerth, G. (1993), Zeugende Zahlen: Grundlagen der genetischen Algorithmen, in: MC10 Review, S. 54.

Wegiel, D., Duta, S., Vaaler, P.K. (1999), LOT Polish Airlines (A) – Adapting to a Revolution, INSEAD Knowledge Base, online im Internet http://knowledge.insead.fr [abgerufen am 10.12.2005].

Wei, W., Hansen, M. (2003), Cost Economics of Aircraft Sizes, in: Journal of Transport Economics and Policy, 37, S. 279–296.

Weimann, L. C. (1998), Markteintrittsbarrieren im europäischen Luftverkehr: Konsequenzen für die Anwendbarkeit der Theorie der Contestable Markets, Deutscher Verkehrs-Verlag, Hamburg.

Weinbrecht, K. (2000), Kontinuierliche Standortprobleme in Polygonen, Dissertation, Universität zu Köln, Hundt Druck GmbH, Köln.

Wheeler, J. O., Mitchelson, R. L. (1989), Information flows among major metropolitan areas in the United States, in: Ann. Assoc. Am. Geogr., 79, S. 523–543.

Wlcek, H. (1998), Gestaltung der Güterverkehrsnetze von Sammelgutspeditionen, Dissertation Universität Augsburg, Fachbereich Wirtschafts- und Sozialwissenschaften.

Wilkens, R. (1986), Deregulierung als ordnungs- und prozesspolitische Aufgabe, Duncker & Humblodt Berlin, Beihefte der Konjunkturpolitik, Zeitschrift für angewandte Wirtschaftsforschung, Heft 32, S. 146.

Wirtz, B. (2000), Electronic Business, Wiesbaden.

Wolf, H. (1995), Möglichkeiten und Grenzen marktwirtschaftlicher Verfahren zur Vergabe von Start-/Landrechten auf Flughäfen – Vorschlag für ein „zweitbestes Auktionsverfahren“, Kieler Arbeitspapier Nr. 671, Institut für Weltwirtschaft.

Wolf, H. (1997), Grundsatzfragen einer Flughafenprivatisierung, in Deutschland – Gutachten im Auftrag des Bundesministeriums für Finanzen (Institut für Weltwirtschaft an der Universität Kiel – Abteilung Raumwirtschaft und Infrastruktur, Kiel).

Yaged, B. (1971), Minimum cost routing for static network models, Networks 1, S. 139–172.

Zadeh, N. (1973), On building minimum cost routing communication networks, in: Networks 3, S. 315–331.

Zetsche, F. (2004), The Single European Sky, DFS Deutsche Flugsicherung GmbH, CC/TN, S. 26, online im Internet http://www.desy.de/fortbildung/scripte/zetsche2004.pdf [abgerufen am 21.10.2005].

ISBN 978-3-86219-012-6