



**Schriftenreihe
des Fachgebietes Abfalltechnik**

**Recycelfähige Dämmstoffe
aus Altpapier für Syrien**

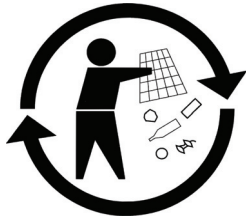
Zakia Dahi

Band 17

kassel
university



press



***Schriftenreihe
des Fachgebietes Abfalltechnik***

Dissertationen

Band 17

Herausgeber: Prof. Dr.-Ing. Arnd I. Urban, Kassel

Recycelfähige Dämmstoffe aus Altpapier für Syrien

Zakia Dahi

Die vorliegende Arbeit wurde vom Fachbereich Bauingenieur- und Umwelt-ingenieurwesen der Universität Kassel als Dissertation zur Erlangung des akademischen Grades eines Doktors der Ingenieurwissenschaften (Dr.-Ing.) angenommen.

Erster Gutachter: Prof. Dr.-Ing. Arnd I. Urban

Zweiter Gutachter: Prof. Dr.-Ing. Anton Maas

Weitere Mitglieder der Prüfungskommission:

Prof. Dr.-Ing. Volkhard Franz

Prof. Dr.-Ing. Stephan Theobald

Tag der mündlichen Prüfung:

22. November 2012

Bibliografische Information Der Deutschen Bibliothek

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

Zugl.: Kassel, Univ., Diss. 2012

ISBN 978-3-86219-606-7 (print)

ISBN 978-3-86219-607-4 (e-book)

URN: <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0002-36077>

2013, kassel university press GmbH, Kassel

www.upress.uni-kassel.de

Druck und Verarbeitung: Grunewald GmbH, Kassel
Printed in Germany

Vorwort

Die vorliegende Arbeit, deren Idee auf den Anregungen und der belebten Diskussion um die Entsorgung der Dämmstoffe in Deutschland beruht, entstand im Fachgebiet Abfalltechnik der Universität Kassel in der Zeit vom Mai 2009 bis März 2012.

Danken möchte ich Prof. Dr.-Ing Urban, der mir die Möglichkeit gegeben hat, diese Arbeit im Fachgebiet Abfalltechnik anzufertigen. Er hat die Entstehung dieser Arbeit durch zahlreiche Gespräche und Anregungen maßgeblich begleitet.

Herrn Prof. Dr.-Ing. Anton Maas danke ich für seine Bereitschaft, meine Dissertationsschrift zu begutachten, und für die gute Zusammenarbeit im Rahmen dieses Forschungsprojektes.

Prof. Dr.-Ing. Volkhard Franz und Prof. Dr.-Ing. Stephan Theobald danke ich für die Prüfung meiner Arbeit.

Ein großes Dankschön möchte ich an Dipl.-Ing. Gregor Dürl (Fachgebiet Abfalltechnik) richten, der in vielen nutzbringenden Diskussionen und durch seine Unterstützung meine Arbeit entscheidend gefördert hat.

Bei der Firma isofloc Zellulosewärmedämmung und besonders bei Herrn Jürgen Küllmer bedanke ich mich für die Zusammenarbeit, bei der ich die Gelegenheit gehabt habe, sowohl die Versuche durchzuführen, die wichtigen Informationen zu bekommen als auch die benötigten Materialien für die Analyse zu erhalten.

Abschließend danke ich meinen Eltern und meinen Geschwistern, die an mich geglaubt haben und mich jahrelang unterstützt haben. Mein besonderer Dank gilt meinem Mann für sein Verständnis und den Rückhalt, mit dem ich diese Arbeit erledigen konnte.

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	I
Abbildungsverzeichnis	III
Tabellenverzeichnis	VI
Abkürzungsverzeichnis	VIII
1 Einführung	1
1.1 Problemstellung	3
1.2 Zielsetzung	5
1.3 Vorgehensweise und Aufbau der Arbeit	6
2 Stand des Wissens	8
2.1 Abfallwirtschaft in Syrien	8
2.2 Dämmstoffe in Syrien	8
2.3 Altpapierdämmstoff	9
2.4 Entsorgungsmöglichkeiten von Altpapierdämmstoff	11
2.5 Borsalze	12
3 Daten und Rahmenbedingungen	14
3.1 Syrien	14
3.2 Deutschland	22
3.3 Altpapierdämmstoff	25
4 Altpapiersammelsystem	29
4.1 Altpapiermenge in Homs	29
4.2 Sammelkonzept für Homs	36
4.3 Übertragung auf Syrien	41
4.4 Wirtschaftliche Betrachtung des Altpapiersammelsystems	44
5 Altpapierdämmstoffeinsatz in syrischen Wohngebäuden	47
5.1 Einsatzmöglichkeiten	47
5.2 Auswahl eines Gebäudetyps	51
5.3 Szenarien für ein Rechenmodell	53
5.4 Beschreibung des Rechenmodells	54
5.5 Ergebnisse des Rechenmodells	65
5.6 Bedarf an Altpapierdämmstoff	72

6	Kombination eines Altpapierdämmstoffs mit vorhandener Mineralwolle	76
6.1	Recycelfähigkeit des Altpapierdämmstoffs durch das Trennen von gesundheitsgefährdender Mineralwolle	76
6.2	Effektivität der unterschiedlichen Kombinationsverfahren	85
6.3	Wirtschaftliche Betrachtung der Kombinationsverfahren	90
7	Kompostierbarkeit des Altpapierdämmstoffs	91
7.1	Bor als Spurennährstoff	91
7.2	Vorbehandlung durch Auswaschen	92
7.3	Vorbehandlung durch Mischen mit Biomüll.....	96
7.4	Ergebnisse des Kompostierungsversuchs	102
8	Ökologische Bewertung des Altpapierdämmstoffs	108
8.1	Datenquellen.....	108
8.2	Lebensabschnitte der Dämmstoffe	109
8.3	Deponierung der Dämmstoffe.....	112
8.4	Szenarien für die ökologische Bewertung.....	115
8.5	Ergebnisse der ökologische Betrachtung	116
8.6	Qualitative Betrachtung	123
9	Ökonomische Bewertung.....	126
9.1	Verarbeitungskosten.....	126
9.2	Energiekosten während der Gebäudenutzung	128
9.3	Entsorgungskosten	128
9.4	Ergebnisse der ökonomischen Betrachtung	129
10	Fazit und Ausblick	132
11	Zusammenfassung	134
12	Literatur	135
13	Anhang	144

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Zweischaliges Mauerwerk gedämmt mit Polystyrol-Platten.....	9
Abbildung 2: Herstellung des Altpapierdämmstoffs.....	10
Abbildung 3: Syriens Landkarte	14
Abbildung 4: Große Container.....	16
Abbildung 5: Sammelfahrzeug	16
Abbildung 6: Neubau in Syrien.....	17
Abbildung 7: Papierstrom in Syrien	20
Abbildung 8: Papierstrom in Deutschland	24
Abbildung 9: Altpapierdämmstoff	25
Abbildung 10: Links AP-Einblasen, Rechts AP-Aufblasen,	27
Abbildung 11: Altpapiermenge in Homs	35
Abbildung 12: Berechnung für das Sammelsystem in der Stadt Homs	42
Abbildung 13: Drehdüsen für dünnere Dämmschichten und für Kern-Dämmung.....	48
Abbildung 14: Dämmung mit AP-Dämmstoff in bestehender syrischer Bebauung.....	49
Abbildung 15: Dämmung mit AP-Dämmstoff in neuer syrischer Bebauung	50
Abbildung 16: Grundriss für eine typische syrische Wohnung in Homs.....	52
Abbildung 17: Rechenmodell für Wärmemengen- und Kühllastberechnung, Kosten der Dämmstoffe.....	64
Abbildung 18: Rechenmodell für die Berechnung von Heizölverbrauch, Stromverbrauch, Kosten.....	66
Abbildung 19: Rechenmodell für die Berechnung der Amortisationszeit in den gedämmten Gebäuden.....	67
Abbildung 20: Dämmeffizient im syrischen Neuwohngebäude.....	68
Abbildung 21: Dämmkosten im syrischen Neubau	70
Abbildung 22: Dämmkosten im syrischen bestehenden Bau (Alt, Neu)	70
Abbildung 23: Links Glaswolle mit Tiefgrund besprüht, Rechts Glaswolle mit Hawetol besprüht	78
Abbildung 24: Versuchsaufbau	79
Abbildung 25: Aufblasen des Altpapierdämmstoffs im Versuchsmodell	79
Abbildung 26: Einblasen des Altpapierdämmstoffs im Versuchsmodell	79
Abbildung 27: Probenahme im Versuchskörper	80

Abbildung 28: Probenahme in der Kontaktschicht mit Ausstechrohr.....	81
Abbildung 29: Entnehmen der Saugprobe mit Staubsauger	81
Abbildung 30: Ergebnisse der Analysereihe zur Bestimmung der Verfahrens- genauigkeit.....	84
Abbildung 31: Genauigkeit der Kalibrierkurve bei unterschiedlichen Mineralfas-erkonzentrationen	85
Abbildung 32: Kontamination in der Oberschicht beim Auf-(links) und Einblasen (rechts)	88
Abbildung 33: Kontamination in der Kontaktschicht beim Auf-(links) und Ein- blasen (rechts).....	88
Abbildung 34: Kontamination in der Saugprobe beim Auf-(links) und Einblasen (rechts)	89
Abbildung 35: Abschätzung der Bor-Menge im Kompost.....	97
Abbildung 36: Pumpe +Schwebe-körperdurchflussmesser	99
Abbildung 37: Sieb im Behälter	99
Abbildung 38: Kompostreaktoren	99
Abbildung 39: Reakturaufbau im Kompostierungsversuch.....	99
Abbildung 40: Mischung des Materials zur Kompostierung.....	100
Abbildung 41: Biomüll	103
Abbildung 42: Ausgewaschener AP- Dämmstoff.....	103
Abbildung 43: Kompost	103
Abbildung 44: Temperaturverlauf in Kompostreaktor	104
Abbildung 45: Borbilanz beim Kompostierungsversuch mit 0,8 % trockenem AP-Dämmstoff und Biomüll	105
Abbildung 46: Borbilanz beim Kompostierungsversuch mit 10% ausgewasch- enem AP-Dämmstoff und Biomüll	105
Abbildung 47: Kompostieren im Versuch vom Biomüll mit 10% der Biomüll- masse von ausgewaschenem AP-Dämmstoff	107
Abbildung 48: Darstellung des Lebenszyklus AP-Dämmstoffs.....	112
Abbildung 49: Verteilung des Energiebedarfs in Lebensabschnitte der in den gesamten syrischen Gebäuden eingesetzten Dämmstoffe	117

Abbildung 50: Verteilung des emittierten Kohlendioxids in Lebensabschnitte der in den gesamten syrischen Gebäuden eingesetzten Dämmstoffe	118
Abbildung 51: Gesamter Kohlendioxidausstoß über den Lebenszyklus der in den gesamten syrischen Gebäuden eingesetzten Dämmstoffe	119
Abbildung 52: Gesamter Wasserverbrauch über den Lebenszyklus der in einem syrischen Gebäude eingesetzten Dämmstoffe	121
Abbildung 53: Deponieraumbedarf für die unterschiedlichen von einem Ge- bäude ausgebauten Dämmstoffe	122
Abbildung 54: Kosten und Ersparnis durch den Einsatz von Dämmstoffen in den syrischen Modellwohnhäusern	130
Abbildung 55: Einsparung durch den Einsatz von Dämmstoffen in syrischen Modelwohnhäusern	131

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Preise der Dämmstoffe (Syrien, Deutschland).....	21
Tabelle 2: Untersuchte Gruppen	30
Tabelle 3: Studentenzahl und Altpapiermengen der Al Baath Universität	31
Tabelle 4: Die ermittelten anfallenden Altpapiermenge in den unterschiedlichen Anfallorten in Homs	33
Tabelle 5: Zeitungen in Homs	34
Tabelle 6: Mülltonen zur Altpapiersammlung	39
Tabelle 7: Altpapiersammelzeit	41
Tabelle 8: Altpapiersammelkonzept für Syrien	43
Tabelle 9: Kostenabschätzung für Altpapiersammelsystem in Syrien	46
Tabelle 10: Analysierte Szenarien im Rechenmodell	54
Tabelle 11: Angenommene Wärmedurchgangskoeffizient U [$W/(m^2 \cdot K)$]	56
Tabelle 12: Berechnete äquivalente Temperaturdifferenz der Wände	60
Tabelle 13: Heizung-, und Klimaanlagekosten nach der syrischen Wärmedämmverordnung	62
Tabelle 14: Kostenabschätzung für 1 kg Altpapierdämmstoff in Syrien	69
Tabelle 15: Dämmstoffkosten in Syrien	69
Tabelle 16: Energiekosten und –Einsparung im syrischen Gebäude	73
Tabelle 17: Grundkosten, Variable Kosten, Jährliche Einsparung und Amortisationszeit in den unterschiedlichen Szenarien im neu gebauten Gebäude.....	74
Tabelle 18: Jährlich erforderliche Altpapierdämmstoffmenge für Wohngebäude	74
Tabelle 19: Durchgeführte Kombinationsversuche.....	78
Tabelle 20: Mengen und Kosten der Trennschichten.....	90
Tabelle 21: Durchgeführte Versuche für Bor-Auswaschen.....	94
Tabelle 22: Materialien in den Kompostierungsversuchsreaktoren	101
Tabelle 23: CO_2 , Feuchtigkeit, Glühverlust und Abbaugrad im Kompostierungsversuch	102
Tabelle 24: Bor-Konzentration im Kompost und Sickerwasser.....	105
Tabelle 25: Szenarien der ökonomischen Betrachtung.....	116
Tabelle 26: Energiebedarf und Energieersparnis über den Lebenszyklus der in den gesamten syrischen Gebäuden eingesetzten Dämmstoffe.....	120

Tabelle 27: Benötigter Deponieraumbedarf, Sickerwasser der Deponie von den aus einem Gebäude ausgebauten Dämmstoffen	123
Tabelle 28: Wirkung der Dämmstoffe auf Mensch und Umwelt.....	124
Tabelle 29: Personalkosten in der Dämmstoffverarbeitung.....	126
Tabelle 30: Ökonomische Betrachtung des Lebenszyklus der unterschiedlichen Dämmstoffe im typischen syrischen Gebäude.....	129

Abkürzungsverzeichnis

α	Auslastung
α_{AP}	Altpapierdämmstoffaschegehalt in der Probe
α_{MW}	Mineralwollaschegehalt in der Probe
AP	Altpapierdämmstoff
A_B	Umfassungsfläche eines Bauelementes
A_G	Gesamte Glasfläche
A_i	Fläche der Fenster
A_M	Gesamte Fensterfläche
A_P	Asche der Probe
A_L	Besonnte Fläche
b	Durchlassfaktor der Fenster und Sonnenschutzeinrichtungen
bst.Ab.AP.5	Bestehender Altbau gedämmt mit 5 cm Altpapierdämmstoff
bst.Ab.AP.7	Bestehender Altbau gedämmt mit 7 cm Altpapierdämmstoff
bst.Ab.AP.10	Bestehender Altbau gedämmt mit 10 cm Altpapierdämmstoff
bst.Ab.EPS.5	Bestehender Altbau gedämmt mit 5 cm Polystyrol (EPS)
bst.Ab.O	Bestehender Altbau ohne Dämmung
bst.Ab.SW.5	Bestehender Altbau gedämmt mit 5 cm Steinwolle
bst.Ab.PUR.5	Bestehender Altbau gedämmt mit 5 cm Polyurethan (PUR)
bst.Nb.AP.5	Bestehender Neubau gedämmt mit 5 cm Altpapierdämmstoff
bst.Nb.AP.7	Bestehender Neubau gedämmt mit 7 cm Altpapierdämmstoff
bst.Nb.AP.10	Bestehender Neubau gedämmt mit 10 cm Altpapierdämmstoff
bst.Nb.EPS.5	Bestehender Neubau gedämmt mit 5 cm Polystyrol (EPS)
bst.Nb.O	Bestehender Neubau ohne Dämmung
bst.Nb.SW.5	Bestehender Neubau gedämmt mit 5 cm Steinwolle
bst.Nb.PUR.5	Bestehender Neubau gedämmt mit 5 cm Polyurethan (PUR)
B	Biomüll
B-AP.0,8. t.	Biomüll+ 0,8 % trockenem Altpapierdämmstoff
B-AP.10. ½ h.f	Biomüll+ 10 % für 1/2 h. ausgewaschenem. Altpapierdämmstoff

B-AP.10.2 h.f	Biomüll+10 % für 2 h. ausgewaschenem. Altpapierdämmstoff
C	Ladekapazität eines Fahrzeuges
C_{org}	Organischer Kohlenstoff
d	Schichtdicke einer Schicht im Bauelement
D.AP	Deponierung von Altpapierdämmstoff
D.EPS	Deponierung von Polystyrol (EPS)
D.SW	Deponierung von Steinwolle
D.PUR	Deponierung von Polyurethan (PUR)
EK	Einkommen eines Mitarbeiter
EPS	Polystyrol
En_{el}	Elektrische Energie
En_{th}	Thermische Energie
f	Sicherheitsfaktor
f.AP-Ab	MiWo mit 1,5 cm feuchter Altpapierdämmstoff gesprüht, AP aufgeblasen
F-Ab	MiWo mit Folie abgedeckt, AP aufgeblasen
F-Eb	MiWo mit Folie abgedeckt, AP eingeblasen
g_l	Gesamtenergiedurchlassgrad der Verglasung
G	Gewinn
GV_a	Anfängliche Glühverlust
GV_e	Glühverlust zu Kompostierungsende
$H_u_{Heizöl}$	Heizwert des Heizöls
i	Auf die Schicht bezogen bis zu n Schichten im Bauelement
$I_{diff,max}$	Maximalwert für Diffusstrahlung für den Auslegungsmonat
I_{max}	Maximalwert für Gesamtstrahlung für den Auslegungsmonat
I_s	Solare Einstrahlung je nach Orientierung der Fensterflächen
K.AP.f.10	Kompostierung 10% feuchte ausgewaschene AP-Dämmung zum Biomüll
K.AP.t.0,8	Kompostierung 0,8% trockene AP-Dämmung zum Biomüll
K_{Ab}	Abschreibungskosten
$K_{Ab,M}$	Abschreibungskosten der Maschine
K_{Btr}	Betriebskosten für Kraftstoff, Instandhaltung, Versicherung

Abkürzungsverzeichnis

K_{En}	Energiekosten
$K_{E,M}$	Einsatzkosten einer Maschine
K_{Fsg}	Anschaffungskosten eines Sammelfahrzeuges
K_{Ges}	Gesamte Kosten
$K_{Ges,Btr}$	Gesamte Betriebskosten
K_{Gr}	Grundkosten
K_{Inv}	Investitionskosten
$K_{Inv,M}$	Investitionskosten der Maschine
K_{Mt}	Anschaffungskosten einer Mülltonne
K_{Per}	Personalkosten
K_{Ver}	Verwaltungskosten
m	Altpapiermenge
m_{AP}	Altpapierdämmstoffmenge
$m_{AP,S}$	Altpapierdämmstoffmenge im Sack
$m_{AP,P}$	Masse des Altpapierdämmstoffs in der Probe
$m_{Heizöl}$	Jährlicher Heizölverbrauch
$m_{MW,P}$	Masse der Mineralwolle in der Probe
m_P	Masse der Probe [g]
\dot{M}_M	Leistung einer Einblasmaschine
$M_{TS,a}$	Anfängliche Trockenmasse
$M_{TS,e}$	Trockenmasse zu Kompostierungsende
MiWo	Mineralwolle
n	Luftwechselanzahl
n_P	Anzahl der Personen
n_{Fsg}	Anzahl der Sammelfahrzeuge
n_{Gr}	Anzahl der Gruppen
n_{MA}	Anzahl der Mitarbeiter pro Sammelfahrzeug
n_{Mt}	Anzahl der Mülltonnen
$n_{Mt,Gr}$	Anzahl der Mülltonnen in Gruppe
Nb.AP.5	Neubau gedämmt mit 5 cm Altpapierdämmstoff

Nb.AP.7	Neubau gedämmt mit 7 cm Altpapierdämmstoff
Nb.AP.10	Neubau gedämmt mit 10 cm Altpapierdämmstoff
Nb.EPS.5	Neubau gedämmt mit 5 cm Polystyrol (EPS)
Nb.SW.5	Neubau gedämmt mit 5 cm Steinwolle
Nb.PUR.5	Neubau gedämmt mit 5 cm Polyurethan (PUR)
O-Ab	Unbehandelte MiWo, AP aufgeblasen
O-Eb	Unbehandelte MiWo, AP eingeblasen
<i>PUR</i>	Polyurethan
q_p	Wärmeabgabe des menschlichen Körpers
Q	Wärmemenge
Q_{AV}	Äußere Wärmequellen
Q_B	Kühllast durch Beleuchtung
Q_G	Kühllast durch Stoffdurchsatz
Q_I	Innere Wärmequellen
Q_{KTV}	Kühllast
Q_L	Luftungswärmestrom
Q_M	Kühllast durch Maschinen und Geräte
Q_P	Kühllast durch Personen
Q_R	Kühllast infolge unterschiedlicher Nachbarraumtemperatur
Q_S	Solare Gewinne
Q_T	Transmissionswärmestrom
R	Massenreduktion des organischen Anteils
R_e	Wärmeübergangswiderstand der Luftschicht
R_{se}	Wärmeübergangswiderstand, Außen
R_{si}	Wärmeübergangswiderstand, innen
S	Einsparung
S_a	Kühllastfaktor für äußere Strahlungslasten
S_i	Kühllasten für innere Lasten
<i>SW</i>	Steinwolle
t	Gesamte Sammelzeit

t_{Am}	Amortisationszeit
t_E	Entleerungszeit
$t_{E,Mt}$	Entleerungszeit einer Mülltonne
t_F	Fahrzeit zwischen Stellplätzen
T	Sammeltturnus
T_B	Betriebszeit
$T_{B,M}$	Betriebszeit der Maschine
U	Wärmedurchgangskoeffizient
U_f	Wärmedurchgangskoeffizient des Fensters
V	Beheiztes Raumvolumen
V_{CO_2}	Gebildetes Kohlendioxidvolumen
V_{Mt}	Volumen einer Mülltonne
$V_{Mt,b}$	Benötigtes Mülltonnenvolumen
W	Wartung
W_{st}	Stromverbrauch
λ	Wärmeleitfähigkeit einer Schicht im Bauelement
ρ	Altpapierdichte
$\rho_{Heizöl}$	Heizöldichte
η_H	Wirkungsgrad der Heizungsanlage
η_K	Wirkungsgrad der Klimaanlage
ϑ_e	Lufttemperatur Außen
ϑ_i	Lufttemperatur im Raum
$\vartheta_{la,m}$	Mittelwert der Außenlufttemperaturen
ϑ_{La}	Außenlufttemperatur
ϑ_{LR}	Raumlufttemperatur
$\Delta\vartheta$	Temperaturdifferenz
$\Delta\vartheta_{\Delta q}$	Äquivalente Temperaturdifferenz
$\Delta\vartheta_{\Delta q1}$	Korrigierte äquivalente Temperaturdifferenz
1.H-Ab	MiWo mit 1 Mal Hawetol besprüht, AP aufgeblasen
1.H-Eb	MiWo mit 1 Mal Hawetol besprüht, AP eingeblasen

1.TG-Ab	MiWo mit 1 Mal Tiefgrund besprüht, AP aufgeblasen
1.TG-Eb	MiWo mit 1 Mal Tiefgrund besprüht, AP eingeblasen
2.H-Ab	MiWo mit 2 Mal Hawetol besprüht, AP aufgeblasen
2.H-Eb	MiWo mit 2 Mal Hawetol besprüht, AP eingeblasen
2.H-drkt.Ab	MiWo mit 2 Mal Hawetol besprüht, direkt AP aufgeblasen
2.TG-Ab	MiWo mit 2 Mal Tiefgrund besprüht, AP aufgeblasen
2.TG-Eb	MiWo mit 2 Mal Tiefgrund besprüht, AP eingeblasen
2.TG-drkt.Ab	MiWo mit 2 Mal Tiefgrund besprüht, direkt AP aufgeblasen
20.AP.FW.30	Auswaschen von 20 g AP /1 1 im Frischwasser für 30 Minuten
20.AP.FW.60	Auswaschen von 20 g AP /1 1 im Frischwasser für 60 Minuten
20.AP.FW.90	Auswaschen von 20 g AP /1 1 im Frischwasser für 90 Minuten
20.AP.FW.120	Auswaschen von 20 g AP /1 1 im Frischwasser für 120 Minuten
20.AP.GW.30	Auswaschen von 20 g AP /1 1 im Gebrauchtes Wasser für 30 Minuten
20.AP.GW.60	Auswaschen von 20 g AP /1 1 im Gebrauchtes Wasser für 60 Minuten
20.AP.GW.90	Auswaschen von 20 g AP /1 1 im Gebrauchtes Wasser für 90 Minuten
20.AP.GW.120	Auswaschen von 20 g AP /1 1 im Gebrauchtes Wasser für 120 Minuten
30D,70R.AP	70% Recycling + 30% Deponierung von Altpapierdämmstoff
30D,70R.EPS	70% Recycling + 30% Deponierung von Polystyrol (EPS)
30D,70R.SW	70% Recycling + 30% Deponierung von Steinwolle
30D,70R.PUR	70% Recycling + 30% Deponierung von Polyurethan (PUR)
60.AP.FW.30	Auswaschen von 60 g AP /1 1 im Frischwasser für 30 Minuten
60.AP.FW.120	Auswaschen von 60 g AP /1 1 im Frischwasser für 120 Minuten
70.R,30K.AP.t	70% Recycling + 30% Kompostierung 0,8% trockene AP-Dämmung zum Biomüll
193.AP.FW.120	Auswaschen von 193 g AP /1 1 im Frischwasser für 120 Minuten

1 Einführung

Weltweit verschärfen sich die verschiedenen Umweltprobleme, die eng miteinander zusammenhängen und sich gegenseitig verstärken. In den vergangenen Jahrzehnten haben Veränderungen der Temperatur- und Niederschlags-Verhältnisse auf der Erde wegen des Treibhauseffekts stattgefunden. Die Zunahme der weltweiten Treibhausgasemissionen lassen sich nahezu vollständig auf menschliche Aktivität zurückführen. Die CO₂-Zunahme liegt primär im starken Anstieg der Verbrennung fossiler Energieträger wie Kohle, Erdöl oder Erdgas und in der Ausweitung der industriellen Produktion begründet. Die atmosphärische Konzentration von Kohlendioxid hat sich seit 1750 um ca. 35% erhöht [Hoerr 2009]. Deswegen müssen Maßnahmen hinsichtlich des Umweltschutzes in allen Bereichen durchgeführt werden, um die Umwelt zu schonen und die Umweltproblematik zu verringern. In den Medien und in zahlreichen wissenschaftlichen Veröffentlichungen wird über die Wärmedämmung und ihren positiven Effekt auf Umwelt und Menschen berichtet.

Im Zeichen des Klimawandels rückt die Wärmedämmung von Gebäuden im Bereich der Energieeinsparung immer stärker in den Fokus. Die Wärmedämmung von Wohn- und Geschäftshäusern sowie Produktionshallen verringert den Energiebedarf für die Heizung und die Klimatisierung und somit auch die damit verbundenen klimarelevanten Emissionen.

Um das CO₂-Einsparungspotential ganzheitlich abschätzen zu können, muss neben der Nutzungsphase, bei der erhebliche Energiemengen eingespart werden können, auch die Herstellungsphase und die Entsorgungsphase der verschiedenen zum Einsatz kommenden Dämmstoffe betrachtet werden.

Untersuchungen zu den in Deutschland verwendeten unterschiedlichen Dämmstoffarten zeigen, dass alte mineralische Dämmstoffe Atemwegerkrankungen verursachen können. Daher wurden in Deutschland zunehmend Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen und aus Recyclingmaterialien als hygienische und nicht gefährliche Dämmstoffe entwickelt. Neben dem gesundheitlichen Vorteil dieser Dämmstoffe zeigt sich, dass die Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen einen Produktionsenergievorteil gegenüber konventionellen Produkten aufweisen. Recycling-

materialien sind nicht nur preiswert, sie haben ein sehr günstiges ökologisches Profil [Bockisch 2000].

Es scheint naheliegend, dass die aus Recyclingmaterial hergestellten Dämmstoffe auch in Schwellenländern wie Syrien eingesetzt werden können.

In Schwellenländern herrschen oft wesentlich ausgeprägtere Umweltprobleme als beispielsweise in westlichen Industriestaaten. Wertvolle Sekundärrohstoffe werden oft achtlos weggeworfen. Mit der Übernahme westlicher Technologien im Bereich des Gebäudebaus wird teilweise begonnen, wobei die Dämmung der Bauwerke noch nicht weit verbreitet ist. Die üblich eingesetzten Dämmstoffe werden teilweise im eigenen Land hergestellt oder sie werden importiert. Dämmstoffe sind in Schwellenländern teuer und das Umweltbewusstsein der Bevölkerung ist nicht besonders ausgeprägt, so dass dort die Vorteile von Dämmstoffen unterschätzt werden.

In diesen Ländern besteht daher ein Bedarf an umweltgerechten und kostengünstigen Verfahren zum einen im Bereich der Abfallwirtschaft und zum anderen im Bauwesen, um Bereiche der lokalen Umweltprobleme zu entschärfen und letztendlich auch auf die globale Problematik einzuwirken.

In dieser Arbeit wird das Altpapier als Dämmstoff in Wohngebäuden unter den in Syrien vorherrschenden Bedingungen untersucht. Der Altpapierdämmstoff wird von der Herstellung bis zur Entsorgung in den unterschiedlichen Lebensabschnitten analysiert. Diese Betrachtung muss vor dem Einsatz eines neuen Produktes erfolgen, damit die zu erwartenden Abfallmengen und ihre Entsorgungsmöglichkeiten im Voraus bekannt sind. Studien dienen zur Entwicklung umweltgerechter Produkte. Diese Produkte sollen über ihren Lebenszyklus keine Abfälle erzeugen und damit ist das erste Hauptziel des Abfallgesetzes, die Abfallvermeidung, erzielt. Bei dieser Betrachtung liegt eine große Bedeutung auf dem besseren Entsorgungsweg des Altpapierdämmstoffs, besonders wenn diese Dämmstoffe bisher erzeugt und verwendet wurden, ohne einen geeigneten Plan für ihre Entsorgung zu erstellen. Dies kann den in der Zukunft benötigten Deponieraumbedarf reduzieren.

1.1 Problemstellung

Syrien als typisches Schwellenland steht vor Entsorgungs- und Energieproblemen wegen seiner unzureichenden und ineffizienten umwelttechnischen Standards. Mit der Lösung der Abfallproblematik beginnt man gerade in Syrien. Die Bevölkerung ist wenig sensibilisiert, was Umweltfragen betrifft. Auch in der Politik werden die damit zusammenhängenden negativen Auswirkungen oder Konsequenzen für die Umwelt unterschätzt. Das Wissen über effiziente, kostengünstige, auf das Land angepasste Technologien ist nicht weit verbreitet. Emissionsgrenzwerte werden aus Gesetzen und Richtlinien hochentwickelter Länder übernommen, ohne dass die erforderlichen Technologien verfügbar sind.

1.1.1 Abfallprobleme in Syrien

Die Abfallwirtschaft begrenzt sich in Syrien auf die Abfallsammlung, den Abfalltransport und die anschließende Entsorgung auf einer Müllkippe. Erst seit kurzem wird eine geordnete Deponierung praktiziert. Trotz der von armen, privaten Sammlern durchgeführten willkürlichen Ausleseaktion der Abfälle, die normalerweise aus den Abfallsäcken auf der Straße oder auf der Müllkippe stattfindet, existiert keine gezielte Sortierung der Abfälle. Von einer getrennten Sammlung der Abfälle ist noch keine offizielle Rede. Somit spielt ein Wertstoffrecycling in Syrien keine Rolle.

1.1.2 Energiebedarf und Kohlendioxidausstoß in Wohngebäuden

Neben der schwach organisierten Abfallwirtschaft in Syrien trägt der hohe Energiebedarf einen gravierenden Teil an der Umweltproblematik bei und verursacht einen hohen Kohlendioxidausstoß. Derzeit wird jährlich 3,8 Mg CO₂ pro Person emittiert.

In Syrien herrschen extreme Klimabedingungen. Während es im Sommer sehr heiß ist, gibt es im Winter Tage und Nächte mit ausgeprägten tiefen Temperaturen. Bei der Bevölkerung und bei den Bauherren herrscht nur wenig Energiebewusstsein. Hier entsteht ein Bedarf an Dämmstoffen, um den steigenden Energiebedarf zur Beheizung der Gebäude im Winter und zur Kühlung im Sommer zu vermindern.

Nur wenige Gebäude in Syrien sind mit Steinwolle, Polystyrol oder Polyurethan gedämmt, da Dämmstoffe für syrische Verhältnisse relativ teuer sind und daher aus Kostengründen auf eine Dämmung der Gebäude verzichtet wird. Trotzdem wurde ein

neues Gesetz in Syrien erlassen, welches regelt, dass die Baugenehmigungen für neue Gebäude nur dann erteilt werden, wenn eine ausreichende Wärmedämmung nachgewiesen wird.

Aus diesen Gründen kann man deutlich erkennen, dass die Umweltproblematik in Syrien ein wichtiges Problem ist, aber das Bewusstsein immer noch bescheiden ist.

1.1.3 Altpapierdämmstoff

Altpapierdämmstoff (AP-Dämmstoff) wird in Deutschland hauptsächlich aus ungelesenen Zeitungen hergestellt. Die Zeitungen werden fein zerkleinert und mit Borsalzen als Brandschutzmittel vermischt und in die Hohlräume von Bauelementen ein- oder aufgeblasen. Da die Rohstoffe grundsätzlich aus Altpapier bestehen, wird der Altpapierdämmstoff als ökologisch bezeichnet.

In der Abfallwirtschaft kann das Recycling von Altpapier zu Dämmstoffmaterial die Abfallmenge reduzieren. Im Baubereich hilft der Dämmstoff bei der Reduzierung des Energiebedarfs. Daher hat der Dämmstoff aus Altpapier einen vielfältigen Effekt auf die Umwelt.

Altpapierdämmstoff mit krebserregendem Dämmstoff in Kombination

Viele Gebäude wurden mit krebserzeugender Mineralwolle gedämmt. In den Hohlräumen der Bauelemente besteht aber immer noch Raum für eine zusätzliche Dämmung. Seitdem die bis zum Jahr 1996 in Deutschland als Dämmstoff eingesetzte Mineralwolle als krebserzeugend eingestuft wurde, ist die Nachfrage nach alternativen Dämmstoffen gestiegen. In diesem Fall eignet sich Altpapierdämmstoff (AP-Dämmstoff), der in Hohlräume eingeblasen werden kann. AP-Dämmstoff ist zurzeit einer der bevorzugten Dämmstoffe wegen seiner positiven ökologischen Eigenschaften. Eine Kontamination des AP-Dämmstoffs mit krebserregenden Mineralwollfasern kann dabei entstehen. Diese Kontamination würde das Sonderabfallvolumen erhöhen und wiederum ein Entsorgungsproblem hervorrufen, da eine Wiederverwendung des AP-Dämmstoffes damit ausgeschlossen wäre. Daher müssen die gesundheitlich nicht bedenklichen Altpapierdämmstoffe von den krebserregenden Dämmstoffen sicher getrennt werden.

Sowohl die Bauweise als auch die Klimabedingungen in Deutschland unterscheiden sich von denen in Syrien, daher muss der Einsatz des AP-Dämmstoffes in Syrien der ortsüblichen Bauweise und den herrschenden Klimaverhältnissen angepasst werden. Der Altpapierdämmstoff kann in eventuell bestehende Hohlräume der Bauelemente syrischer Gebäude eingeblasen werden, oder es müssen geeignete Hohlräume im Bauelement hergestellt werden. Für die in Syrien herrschenden Klimabedingungen muss eine geeignete angepasste Schichtdicke ermittelt werden.

Entsorgung des borhaltigen Altpapierdämmstoffs

AP-Dämmstoff wird mit Borsalzen und Borsäuren aus Brandschutzgründen vermischt. Diese Zusatzstoffe können beim Deponieren durch das schnelle Lösen im Sickerwasser das Grundwasser gefährden, wenn das Sickerwasser nicht erfasst und behandelt wird. Wegen des hohen Anteils an Borsäure im AP-Dämmstoff wird die Kompostierung als Entsorgungsweg ausgeschlossen.

1.2 Zielsetzung

Das Ziel der Arbeit ist es, aus dem nicht genutzten Altpapier innerhalb der Abfälle in Syrien ein neues Produkt als Dämmstoff zu konzipieren und die benötigte Dämmstoffmenge zur Verfügung zu stellen, um den Bedarf an günstigen, effektiven Dämmstoffen in Syrien zu decken. Ein weiteres Ziel ist, ein Konzept zur Altpapiererfassung zu entwickeln, um die Altpapiermenge zur Herstellung des AP-Dämmstoffs abschätzen zu können.

Einsatzmöglichkeiten von AP-Dämmstoff in Syrien sind zu ergründen, und die Verarbeitung des AP-Dämmstoffs ist an die Bauweise und die Klimaumstände in Syrien anzupassen, damit das Material für die Wieder- oder Weiterverwendung verfügbar bleibt.

Eine Bewertung der Umweltauswirkung und der Energieeinsparung durch die Verwendung der AP-Dämmstoffe in syrischen Gebäuden ist ein wichtiges Ziel. Ein Vergleich zu konventionellen Dämmstoffen ist zu ziehen.

Um das Sonderabfallvolumen nicht zu erhöhen, ist zu erzielen, den AP-Dämmstoff von krebserregenden Faserdämmstoffen durch ein geeignetes Trennverfahren sicher zu trennen.

Auf die Recycelfähigkeit des AP-Dämmstoffs wird ein besonderes Gewicht in dieser Arbeit gelegt. Die Kompostierfähigkeit von Altpapierdämmstoff als alternativer Entsorgungsweg des Altpapierdämmstoffs ist ein wichtiges Ziel dieser Arbeit, so dass der Altpapierdämmstoff in einem geschlossenen Kreislauf geführt wird.

Eine ökologische und ökonomische Bewertung des Lebenszyklus der unterschiedlichen Dämmstoffarten wird durchgeführt. Als Nebeneffekt werden durch die Erfassung des Altpapiers eine Erhöhung der Recyclingquote und damit die Verminderung der zu deponierenden Abfallmenge in Syrien erwartet.

1.3 Vorgehensweise und Aufbau der Arbeit

Um die erwähnten Ziele zu erreichen, wird die Arbeit inhaltlich in mehrere Teile gegliedert:

Zunächst werden die in dieser Arbeit zu lösenden Probleme geschildert und die Zielsetzung und die Vorgehensweise werden dargestellt.

Im zweiten Abschnitt werden die bisher in Syrien üblichen Dämmstoffe, deren Einsatz und Auswirkungen auf Mensch und Umwelt beschrieben. Die Gefahr von zusätzlich anfallendem Sonderabfall, durch die Kombination von krebserregenden Dämmstoffen mit AP-Dämmstoff, wird dargestellt.

Anschließend werden die Daten und Rahmenbedingungen sowohl für die unterschiedlichen Bauweisen als auch für die klimatischen Unterschiede zwischen Deutschland und Syrien als Grundlage für die Arbeit dargestellt. In diesem Abschnitt werden auch die Altpapiermengen und -kosten beider Länder gegenübergestellt. Die Herstellung und der Einsatz des AP-Dämmstoffes in Deutschland werden erläutert.

Im folgenden Abschnitt wird ein Konzept für eine AP-Sammlung exemplarisch für die Stadt Homs erstellt. Dabei wird gezeigt, dass eine hohe Erfassungsquote für hochwertiges Altpapier, in einer für die Dämmstoffherstellung erforderlichen Qualität, realisierbar ist.

Die Eignung des Einsatzes eines AP-Dämmstoffs für Syrien wird anhand eines Rechenmodells bewertet. Vorschläge für den Einsatz des AP-Dämmstoffs werden in diesem Teil erläutert. Die aus diesen Modellberechnungen gewonnenen Daten dienen als Basis für eine ökologische Studie über die Nutzungsphase der Dämmstoffe.

Im nächsten Abschnitt wird die Problematik der Kombination von AP-Dämmstoff mit krebserregendem Faserdämmstoff dargestellt.

Die Machbarkeit der Kompostierung von AP-Dämmstoffen nach der Nutzungsphase wird in einem weiteren Abschnitt dargestellt.

Im abschließenden Teil wird eine ökologische und ökonomische Bewertung des Lebenszyklus der in Syrien eingesetzten Dämmstoffe und des AP-Dämmstoffes durchgeführt.

2 Stand des Wissens

2.1 Abfallwirtschaft in Syrien

Die Abfallentsorgung in Syrien beschränkt sich im Normalfall auf die Sammlung und den anschließenden Transport der Abfälle zu den Ablagerungsplätzen. Obwohl eine Abfallvorbehandlung nicht üblich ist, erfolgt in einigen Städten, wie beispielsweise seit 1991 in Damaskus, eine mechanisch - biologische Behandlung. In der mechanisch- biologischen Behandlungsanlage werden die Abfälle aufbereitet und anschließend kompostiert. Das ungeordnete Verkippen der eingesammelten Abfälle war bis vor kurzer Zeit die Hauptform der Abfallbeseitigung. In den letzten Jahren wurden die Abfälle in geordneten Deponien abgelagert. Eine thermische Abfallbehandlung ist finanziell und technisch in Syrien kurz- und mittelfristig nicht realisierbar. [Nassour 2005, Mohamad 2002]

Wertstoffe im syrischen Abfall werden offiziell nicht recycelt, mit Ausnahme von wenigen freiwilligen Aktivitäten, bei denen Scavenger die Wertstoffe aus den Abfällen ziehen und illegal verkaufen. Große Mengen der im Abfall enthaltenen Wertstoffe, z.B. Altpapier, werden jedoch mit den restlichen Abfällen deponiert.

Da die Wertstoffe im Abfall nutzlos auf die Deponie geworfen werden, ist die abgelagerte Abfallmenge sehr groß. Für die Deponierung dieser großen Abfallmengen werden beträchtliche Flächen beansprucht.

2.2 Dämmstoffe in Syrien

Der Einsatz von Dämmstoffen findet bei der Bebauung in Syrien nur selten Anwendung. In Syrien herrschen extreme Klimabedingungen. Im Sommer ist es sehr heiß, im Winter hingegen herrschen oft sehr niedrige Temperaturen. Heizungs- und Klimaanlage sind in nahezu allen Gebäuden installiert, um eine Wohnbehaglichkeit zu gewährleisten. Diese Installationen und ein fehlendes Energiebewusstsein bei Bauherren und Bewohnern führen zu einem immer größer werdenden Energieverbrauch [Hantouch 2009].

Nach eigener Befragung einiger Bauunternehmer in der Stadt Homs, sind nicht mehr als 5 % der syrischen Gebäude gedämmt, da die Kosten der äußeren Gestaltung der

Gebäude sehr hoch sind. Meistens werden Wohngebäude heutzutage mit den günstigen Polystyrol-Platten gedämmt. Die Dämmstoffplatten werden dabei in den Zwischenraum der zweischaligen Mauer eingebracht. In Abbildung 1 ist die Dämmung im syrischen Gebäude gezeigt. Auf eine Dampfsperre wird immer verzichtet. Auch andere Dämmstoffe wie Steinwolle und Polyurethan werden trotz ihrer hohen Kosten eingesetzt.



Abbildung 1: Zweischaliges Mauerwerk gedämmt mit Polystyrol-Platten

In Syrien ist nur wenig bekannt, dass die Fasern der Mineralwolle Haut und Augen reizen, in die Lunge gelangen und Krebskrankheiten verursachen können. Die Gefahr von FCKW-haltigen Treibmitteln für die Herstellung von Polyurethanschaum ist der Mehrheit der syrischen Bevölkerung nicht bewusst. Trotzdem gibt es bisher in Syrien kein Gesetz, das das Anwenden von Steinwolle oder den Einsatz FCKW-haltiger Treibmittel verbietet.

Dadurch wird deutlich, dass in Syrien ein enormer Nachholbedarf besteht, was zum einen die Kenntnisse über Dämmstoffe und deren Wirkung auf Mensch und Umwelt und zum anderen die Techniken und den richtigen Einsatz der Dämmstoffe im Bauwerk betrifft.

2.3 Altpapierdämmstoff

Die sogenannte Zellulose-Dämmung oder AP-Dämmstoff besteht im Allgemeinen je nach Hersteller zu 80 - 90 Gew. % aus zerkleinertem und vermahlenem Tageszeitungspapier, das in der Regel mit 10 - 20 Gew. % Borverbindungen als Brand- und

Insektenschutzmittel vermischt wird [bmvit 2001]. In Abbildung 2 ist das Herstellverfahren des AP-Dämmstoffs dargestellt.

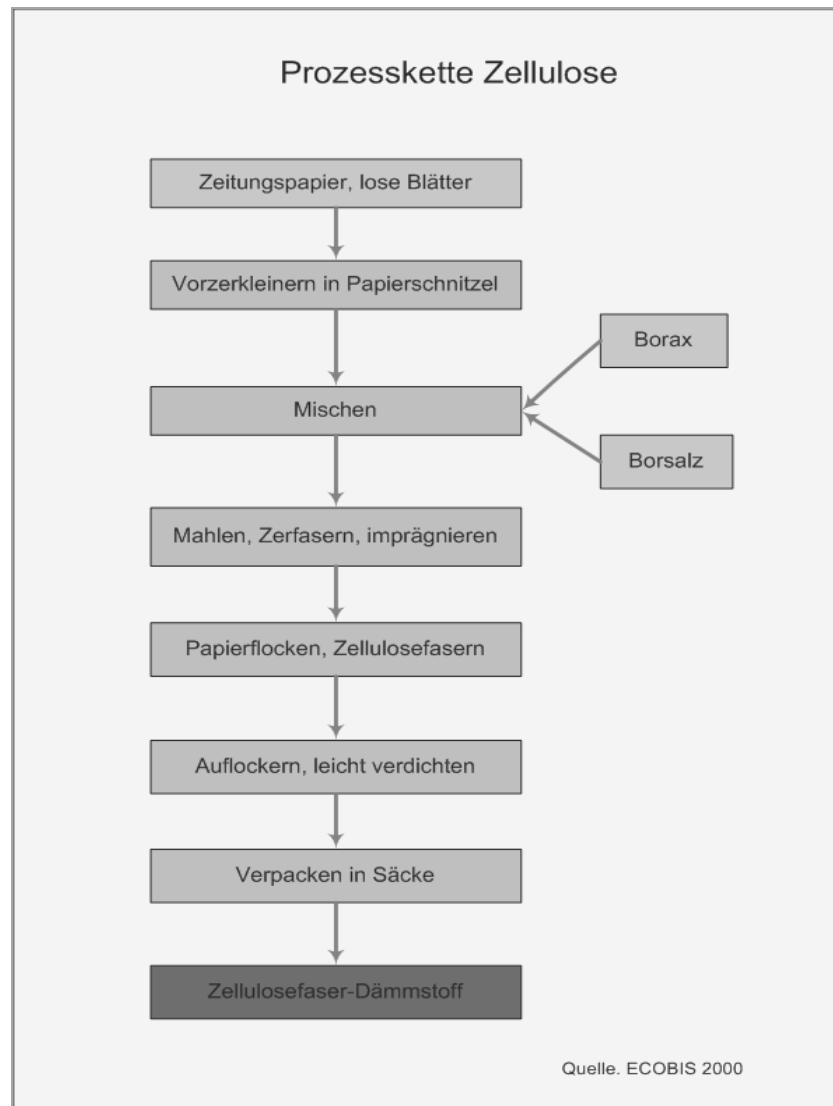


Abbildung 2: Herstellung des Altpapierdämmstoffs

Der AP-Dämmstoff wird entweder als lose Schüttung eingebracht, auf obersten Geschossdecken offen aufgeblasen oder in Hohlräume von Dach und Deckenkonstruktion eingeblasen. Beim Sprühverfahren wird der AP-Dämmstoff unter Wasserzugabe vorwiegend an Außenwänden und Platten oder als Zwischensparrendämmung aufgesprüht.

Richtig verarbeiteter AP-Dämmstoff ist umweltschonend und wärmetechnisch gut geeignet. Die Verwertung des Altstoffs Altpapier durch ein Recyclingverfahren ist aus ökologischer Sicht sinnvoll. Bei der Herstellung von AP-Dämmstoff sind Rohstoffbe-

darf und Energieeinsatz sehr gering und mit minimaler Umweltbelastung verbunden. [Danner 2008, Laimer 2007]

In Syrien sind vergleichbare Verfahren, bei denen Dämmstoffe aus Recyclingmaterial hergestellt werden, nicht bekannt. Es gibt keine entsprechenden Untersuchungen über die Eignung von Recyclingdämmstoffen unter den in Syrien vorherrschenden Verhältnissen und für die landesübliche Bauweise.

2.4 Entsorgungsmöglichkeiten von Altpapierdämmstoff

Aufgrund der langen Nutzungsphase gibt es bisher kaum Erfahrung bezüglich des Recyclings oder der Entsorgung von Dämmstoffen im Allgemeinen [Bockisch 2000].

2.4.1 Wiederverwendung

In den vergangenen Jahren wurden Recyclingverfahren für AP-Dämmstoffe entwickelt. Angesichts der in Deutschland gesammelten Erfahrungen mit den Dämmstoffen aus Altzeitungen, werden diese Materialien vor dem Abbruch des Gebäudes ausgesaugt und können in einem anderen Gebäude wieder als Dämmstoff eingesetzt werden. Ist die Qualität der ausgebauten Dämmstoffe ungenügend, werden sie verbrannt [Küllmer 2009].

Auf zahlreichen Dachböden und Dächern sind alte Mineraldämmstoffe, wie Glas- oder Steinwolle verarbeitet. Unter heutigen energetischen Gesichtspunkten [EnEV 2009] bilden diese nur eine Teildämmung, da die Dämmdicke zu gering und Hohlräume nur teilweise verfüllt sind. [Küllmer 2009]

Im Sinne der technischen Regeln für Gefahrstoffe (TRGS) sind alte Mineralwollen, die bis 1996 produziert wurden, biopersistente künstliche Mineralfasern. Nach der TRGS 905 „Verzeichnis krebserzeugender, erbgutverändernder oder fortpflanzungsgefährdender Stoffe“ sind die aus alter Mineralwolle freigesetzten Faserstäube als krebserregend zu bewerten. Für alte Mineralwollen gilt daher in Deutschland seit Juni 2000 das Herstellungs- und Verwendungsverbot. Aus abfallrechtlicher Sicht ist es unbedenklich, einen neuen AP-Dämmstoff auf alte Mineralfaserdämmstoffe, aufzubringen, um eine bessere Dämmwirkung zu erzielen.

2.4.2 Kompostierbarkeit

Nach bisheriger Expertenmeinung ist eine Kompostierung von Zellulosedämmstoffen nicht möglich oder aber bedenklich [Kolb 2004]. AP-Dämmstoff wäre nur gemeinsam mit anderen biologischen abbaubaren Abfällen kompostierbar. Das Gesamtprodukt wäre aufgrund des hohen Borgehaltes nicht zur Verwendung als Bodenverbesserer (verwertbarer Kompost) geeignet [Behrends 1995]. Veröffentlichungen zu systematischen Untersuchungen zur Kompostierbarkeit von Zellulose-Dämmstoffen sind allerdings nicht bekannt.

Zur Rückgewinnung der Borsalze und Borsäure aus den Dämmstoffen wurden bereits in den 90er Jahren des letzten Jahrhunderts Überlegungen angestellt. Da der Papieranteil der Altzeitungsdämmstoffe wegen seines Inhaltes von wasserlöslichen Borsalzen und Borsäuren nicht recycelfähig ist, sollten die Zusatzstoffe (Borsalz, Borsäure) zumindest zurückgewonnen und in den Prozess von Borax- und Borsäure-Herstellung zurückgeführt werden [Dinkel 1993].

Eine Aufbereitung des AP-Dämmstoffes durch Auswaschen von Bor und anschließender Trocknung des AP-Dämmstoffes besteht noch nicht [Cirsium 1991]. Ein Ansatz zum Auswaschen von Bor aus dem AP-Dämmstoff ist nicht bekannt.

Die oben zitierten Überlegungen stammen aus einer Zeit, als der Borsalzgehalt im AP-Dämmstoff noch bei ca. 20 % lag. Mittlerweile wurde der Borsalzgehalt auf ca. 8 % in den AP-Dämmstoffen reduziert [Küllmer 2009]. Einige Hersteller von Dämmstoffen bieten inzwischen auch boratfreie Produkte an mit Ammoniumpolyphosphat als Alternative. Daher sind Aussagen, dass AP-Dämmstoffe wegen ihres hohen Borgehaltes nicht kompostierbar sind, veraltet und nicht mehr treffend. Ein für die Kompostierung zulässiger Borgehalt im AP-Dämmstoff ist nicht bekannt.

2.5 Borsalze

Auf der einen Seite wird Bor als Schadstoff eingestuft, da Borate und Borsalze in die Richtlinie 67/548/EWG als reproduktionstoxisch aufgenommen wurden. Sie können die Fortpflanzungsfähigkeit beeinträchtigen und das Kind im Mutterleib schädigen.

Auf der anderen Seite ist Bor als Düngemittel für einige Bodenarten und für Pflanzen im Obst und Gemüsebau notwendig.

„Bor ist im Boden eigentlich genügend vorhanden, nur nicht in ausreichendem Maße pflanzenverfügbar. Insbesondere bei Trockenheit und auch bei hohen Kalkgaben und in humusarmen, leichten Böden und oder mit hohen pH-Werten ist Bormangel häufiger möglich.“ [Ernert 2011]

Daraus ergibt sich ein entsprechender Forschungsbedarf, wobei die Möglichkeiten einer Kompostierung und gegebenenfalls eine Wiedergewinnung von Bor als Pflanzendünger systematisch untersucht werden sollten.

3 Daten und Rahmenbedingungen

In diesem Abschnitt werden die für diese Forschungsarbeit erforderlichen Daten und Rahmenbedingungen sowie die bedeutenden Unterschiede zwischen Syrien und Deutschland dargestellt.

3.1 Syrien

Syrien ist ein arabisches Land und liegt in Vorderasien. Mit 185.180 km² ist Syrien ungefähr halb so groß wie Deutschland. Im Jahr 2009 lag die Einwohnerzahl bei ca. 23.695.000 Einwohnern, wobei die Bevölkerungsdichte 128 E/km² beträgt [Cbs 2011]. Syrien ist unterteilt in 14 Verwaltungsbezirke. Die Stadt Homs ist die drittgrößte Stadt in Syrien. Sie liegt in der Mitte Syriens, so dass sie sowohl von der Hauptstadt Damaskus als auch von der zweitgrößten Stadt Aleppo ca. 170 km entfernt ist [MAM 2009]. Die Lage vom Verwaltungsbezirk Homs sieht man in Abbildung 3.

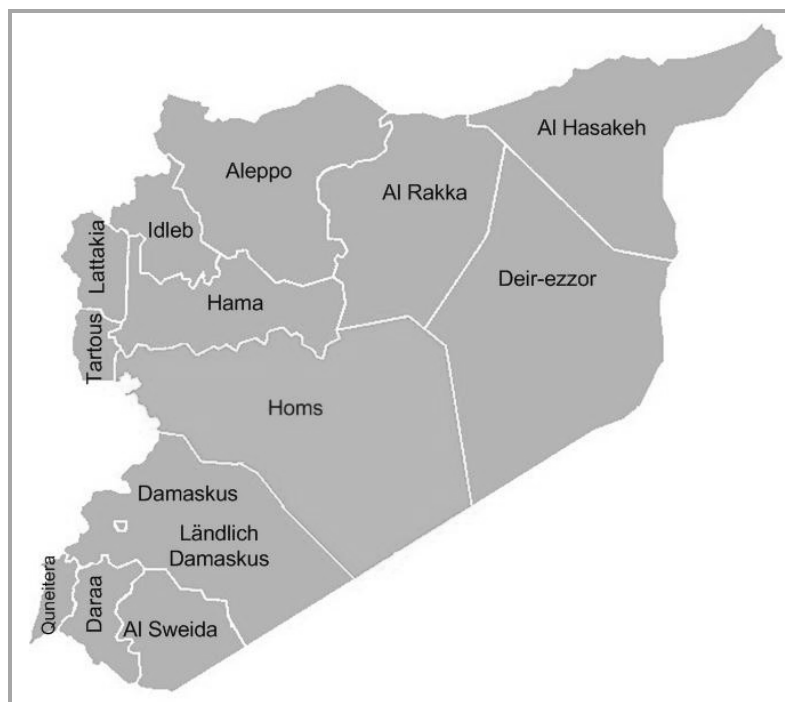


Abbildung 3: Syriens Landkarte

Der Verwaltungsbezirk Homs beinhaltet die Stadt Homs und die Dörfer, die in dieser Arbeit als Land bezeichnet werden, und andere kleinere Städte wie Palmyra, Al Rastan, Talkalach, Quseer und Talbiseh. Die Einwohnerzahl im Verwaltungsbezirk

Homs betrug 2.087.000 Einwohner im Jahr 2010 [Cbs 2011]. Die Einwohnerzahl Homs (Stadt und Land) betrug im Jahr 2010 nach offiziellen Angaben 1.820.000 Einwohner. Ein Drittel der Bevölkerung lebt auf dem Land, zwei Drittel leben in der Stadt. Die Stadt Homs besitzt eine Fläche von rund 78 km². Ausgehend von 1,2 Millionen Einwohnern, die in der Stadt leben, ergibt sich eine Einwohnerdichte von etwa 15.385 E/km². [MAM 2009, Cbs 2011]

Nach Klimaverhältnissen kann Syrien in vier Gebiete aufgeteilt werden. Die Küstenebenen liegen im Westen. Der Osten und Südosten ist durch Wüste geprägt. Weitere Klimazonen bilden die Bergkette Jebel AN-Nusariyah und die Landesmitte. Der entscheidende Faktor in dieser Einteilung ist die Niederschlagsmenge in den Wintermonaten. Als weiteres entscheidendes Kriterium für die Gebietseinteilung, werden die Temperaturunterschiede herangezogen. Im gesamten Land schwankt die Temperatur von -5°C bis 4°C im Winter und von 33°C bis 44°C im Sommer. In der Stadt Homs liegt die durchschnittliche Temperatur bei -3°C im Winter und bei 38°C im Sommer. [syrische Wärmedämmverordnung 2007]

Im Vergleich zu den maximalen und minimalen Temperaturen in Deutschland ist es sowohl im Sommer als auch im Winter in Syrien wärmer als in Deutschland.

3.1.1 Abfallsammlung in Syrien

Die Abfallsammlung wird in Syrien hauptsächlich durch die Kommunen organisiert und durchgeführt. Nur ein kleiner Teil der Sammlung erfolgt, wie beispielsweise in großen Städten wie Damaskus, durch private Entsorger.

Der Abfall wird in verschiedenen Containern und Fässern eingesammelt.

- große Container: das Volumen variiert zwischen 0,8 und 2 m³, die meisten Container haben durchschnittlich 1,2 bis zu 1,5 m³ Volumen
- kleine Container mit 0,57 m³ Volumen
- Metallfässer mit einem Volumen von 100 l bis 200 l

Plastiksäcke, die meistens in der Altstadt, im Geschäftsviertel und in den engen Straßen, zum Abfallsammeln benutzt werden. [Trivalor 2004]

Wie in Abbildung 4 gezeigt ist, stehen die Container am Rand der Hauptstraßen oder auf dem Gehweg. Meistens stellen die Container eine Gefahr, sowohl für den Ver-

kehr als auch für die Passanten, dar. Das Volumen, die Anzahl und die Verteilung der Container sind für die anfallende Abfallmenge nicht ausreichend, daher sind die Container am Abend überfüllt, und es bilden sich zusätzliche Abfallhaufen rund um den Containerstellplatz. [Nassour 2005]

Durch fehlende Abdeckungen werden Ratten, Vögel oder Katzen angezogen, die den Abfall zusätzlich verteilen. Ungeziefer wie Insekten und das Eindringen von Regenwasser führen zu zusätzlichen hygienischen Problemen. [Nassour 2005]

Durchschnittlich werden in Syrien 4 Pressmüllfahrzeuge mit 8 Mg Sammelleistung für 100.000 Einwohner eingesetzt, während in Europa ca. 15 Pressmüllfahrzeuge für 100.000 Einwohner im Betrieb sind [Trivalor 2004]. In Abbildung 5 sieht man ein in Syrien übliches Müllsammelfahrzeug.



Abbildung 4: Große Container
Quelle: Trivalor 2004



Abbildung 5: Sammelfahrzeug
Quelle: Trivalor 2004

Die Transportkapazitäten der Sammelfahrzeuge reichen für die anfallenden Abfallmengen bei weitem nicht aus. Bei einer stark angestiegenen Einwohnerzahl ist die absolute Anzahl der Sammelfahrzeuge in den letzten Jahren nur wenig angestiegen, was die Problematik der Abfallentsorgung weiter verschärft.

Sammelsystem

Innerhalb der Städte ist vorgesehen, dass der Abfall täglich zwischen 20:00 Uhr und 23:00 Uhr in schwarzen Müllbeuteln vor den Türen der Haushalte und Geschäfte bereitgestellt wird. Als weitere Möglichkeit können die Bewohner ihren Müll tagsüber zu einem Container bringen.

In die schmalen Straßen der Stadt, die die großen Müllfahrzeuge nicht befahren können, kommen Straßenkehrer oder Müllwerker und bringen die Abfälle zum Müllfahrzeug. Im Geschäftsviertel der Innenstadt sind Fässer auf den Gehwegen bereitgestellt, um den Müll der Passanten aufzunehmen. Die Geschäftsbetreiber entsorgen ihre Abfälle direkt in die vorbeifahrenden Sammelfahrzeuge.

Die Abfallsammlung erfolgt, je nach der anfallenden Abfallmenge ein- oder zweimal täglich, hauptsächlich in der Zeit zwischen 23:00 und 04:00 Uhr [Nassour 2005].

3.1.2 Bauweise in Syrien

Die Bauweise syrischer Wohngebäude unterscheidet sich bezüglich der Konstruktion und der verwendeten Baustoffe von der in Deutschland üblichen Bauweise. „Architekturformen in Syrien können unterteilt werden in: uralt (4000 v.Chr. - 900), traditionell (900-1925), kolonial (1925-1948) und neu.“ [Hantouch 2009]

Die neuen Wohnungen sind unterschiedlich aufgebaut. Die vor ca. 30 Jahren erstellten Wohnungen wurden nur mit einschaligem Mauerwerk aus Zementhohlblöcken und einem Dach aus Stahlbeton gebaut. Seit ca. 30 Jahren werden die Wohngebäude aus zweischaligem Mauerwerk und einem Dach aus Zementhohlblöcken und Stahlbeton aufgebaut. Ziegelgedeckte Steildächer sind im Normalfall in Einfamilienhäusern zu finden. Solche Häuser werden nur vom wohlhabenden Teil der Bevölkerung bewohnt. Üblicherweise bestehen sowohl Einfamilienhäuser als auch Mehrfamilienhäuser aus Mauerwerk und Flachdach [Issa 1996]. Abbildung 6 zeigt zwei Neubauten in Homs, die als Mehrfamilienhäuser aus Stahlbeton und zweischaligem Mauerwerk ausgeführt werden.



Abbildung 6: Neubau in Syrien

Die üblich verwendeten Baumaterialien sind Beton, Zement und Tonblöcke. Im Neubau wird eine dünne Oberfläche aus weißem Stein zum Bedecken der Fassade angebracht [Hantouch 2009].

Die Wohnungen in Syrien werden in Wohnbereich und Schlafbereich eingeteilt. Der Wohnbereich besteht aus Wohnzimmer, Gastzimmer, Küche und Toilette, während der Schlafbereich aus Schlafzimmern und einer Toilette besteht. Die beiden Bereiche sind miteinander durch einen Flur oder eine Tür verbunden.

Ein- bis zweigeschossige Einfamilienhäuser befinden sich meistens auf dem Land. Im Allgemeinen verbreiten sich die vier- und mehrgeschossigen Mehrfamilienhäuser in den Städten.

3.1.3 Papierimport in Syrien

In Syrien finden keine regelmäßigen statistischen Erhebungen statt. Im Jahr 2005 wurden ungefähr 150.000 Mg/a Papier aus Finnland, Schweden, Norwegen, Tschechien, Rumänien und Kanada importiert. Die Papierimportkosten lagen zwischen 425 und 540 €/Mg. [Alkhalij 2005]

Der Importpreis des Papiers erhöhte sich mit der Zeit, so dass die Importkosten der Pappe aus Deutschland, Finnland oder Österreich bis zu 780 €/Mg [Farsan 2009] betragen. Pappe aus China, Indonesien und Korea kann um 15 bis 30 €/Mg günstiger eingeführt werden [Farsan 2009].

3.1.4 Altpapiermengen und –kosten in Syrien

In Syrien werden ca. 5 Mio. Mg/a Hausmüll und Gewerbeabfälle erzeugt. Jeder Einwohner erzeugt täglich ca. 0,6 kg Abfall, das sind jährlich ca. 219 kg/E [Alkhalij 2005]. Die Altpapiermenge hat einen Anteil von 13 % an der Gesamtmenge des Haushaltabfalls im Stadtbereich und 5 Prozent im ländlichen Bereich, da sich die Universitäten, Verwaltungen und Schulen nur in den großen Städten befinden [Alkhalij 2005]. Die Abfälle der Universität sind meistens Papiere und Kartons, die täglich außer an Feiertagen und Wochenenden gesammelt werden [Trivalor 2004]. Der im Geschäftsviertel anfallende Abfall besteht zu großen Teilen aus Verpackungsmaterial wie Kunststoff und Papier. Der Anteil an Papier und Kunststoffen wird

auf ca. 90 % geschätzt. Daher sind diese Abfälle besonders gut zur Gewinnung von recyclebaren Materialien geeignet.

Die französische Firma Trivalor hat die Altpapiermenge in der Stadt Homs mit einem Anteil von 7,4 % an den Siedlungsabfällen abgeschätzt. Je Einwohner fallen täglich ca. 0,8 kg Abfall an [Trivalor 2004]. Laut dieser Studie erzeugt jeder Einwohner von Homs durchschnittlich 0,06 kg Altpapier täglich und damit ca. 22 kg im Jahr. Ausgehend von diesen Werten kann man die jährliche Altpapiermenge für die Stadt Homs mit den derzeitigen 1,2 Millionen Einwohnern auf 25.930 Mg/a abschätzen. Die bezüglich der Papiermenge für Syrien erhobenen Angaben im Jahr 2004 und für Homs im Jahr 2005 erscheinen zu hoch gegriffen, da der Papierverbrauch in Syrien nach diesen Angaben zwischen 518.920 und 674.597 Mg/a für 23.695.000 Einwohner lag und der abgeschätzte Papierverbrauch (siehe Abbildung 7) 208.900 Mg/a beträgt. Offizielle Daten über die anfallende Papiermenge und Papiersorten in Syrien gibt es bisher nicht.

Verbrauchtes Papier und alte Pappe werden derzeit in Papierfabriken zur Herstellung von Pappe und Eierkartons eingesetzt. In der Vergangenheit musste gebrauchtes Papier importiert werden [Nassour 2005].

Syrien betreibt zurzeit zwei große Papierfabriken zur Herstellung von Papieren und Verpackungen aus Altpapier bzw. verbrauchtes Papier. In der Stadt Deir ezzor in Syrien liegt die größte Papierfabrik mit einer Jahresleistung von 40.000 Mg Papier. Die zweitgrößte Papierfabrik mit einer Jahresproduktion von 18.900 Mg/a wurde im Jahr 1994 in Aleppo gegründet. Täglich werden 100 Mg Altpapier zur Herstellung von Neupapier gebraucht. Kleine Papierfabriken mit einer Leistung von ca. 800 Mg/a verteilen sich auf weitere Städte. [Farhat 2011]

In Homs befinden sich zurzeit zwei Papierfabriken. Jede Papierfabrik produziert ca. 3 Mg/d neue Kartons und Eierkartons aus Altpapier. Das Altpapier wird von 42 € z.B. in der Stadt Homs bis zu 100 €/Mg in Aleppo an die Papierfabriken verkauft. Für eine Produktion von 1 kg Verpackung werden ca. 1,3 kg Altpapier benötigt. [Farhat 2011]

Basierend auf diesen Informationen über Papierimportmenge und die Papierproduktion aus verbrauchtem Papier wird der Papierverbrauch in Syrien mit 208.900 Mg/a abgeschätzt. Wobei die produzierte Papiermenge aus den kleinen Papierfabriken in dieser Abschätzung nicht betrachtet wurden, da die Anzahl an

Papierfabriken nicht bekannt ist. In Abbildung 7 ist der Papierstrom in Syrien dargestellt.

Im Vergleich zum Papierverbrauch in Deutschland im Jahr 2009 von 19 Mio Mg/a [WWF Deutschland 2011] macht der Papierverbrauch in Syrien 1% des Papierverbrauchs in Deutschland aus. Die Daten über Eigenproduktion in Syrien sind nicht bekannt.

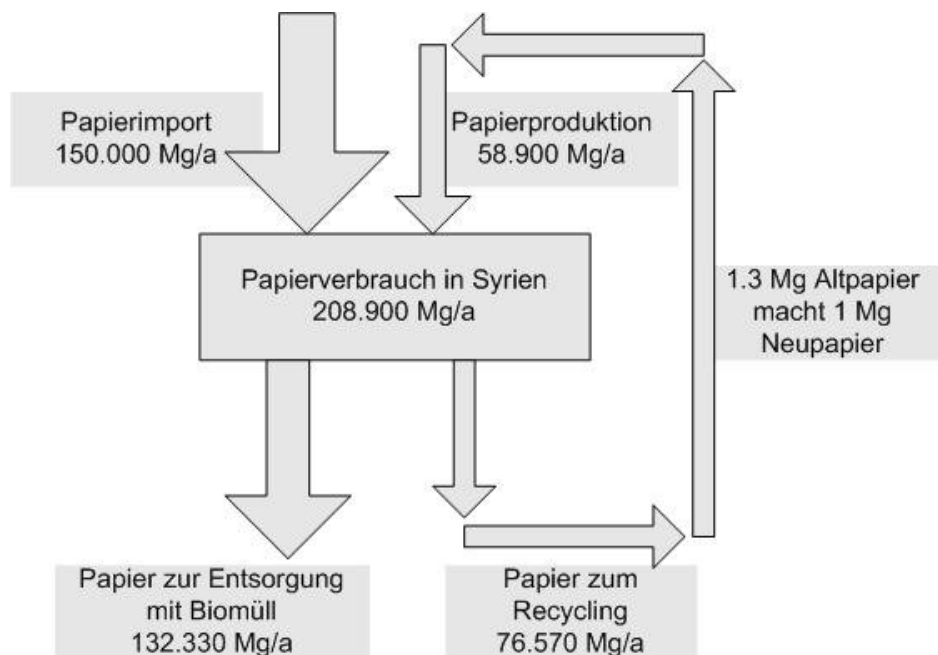


Abbildung 7: Papierstrom in Syrien

3.1.5 Dämmstoffe in Syrien

Die meist verwendeten Wärmedämmstoffe sind Steinwolle, Polyurethan und Polystyrol. Im Jahr 1994 wurde in Damaskus eine Firma zur Herstellung von Polystyrol und Polyurethan gegründet. Die Firma produziert jährlich 28.000 Mg Polystyrolplatten und 86.400 Mg Polyurethanplatten zum Dämmen, exportiert diese Dämmstoffe aber nach Afrika, in die Türkei, den Iran und auch andere Länder. Polyurethan- und Polystyrol-Dämmstoffe werden sowohl in Industriegebäuden als auch in Wohngebäuden eingesetzt. Steinwolle wird von Dänemark und Saudi Arabien importiert. Sie wird zumeist in Kühlhäusern für Obst und Gemüse eingesetzt. [Badawi 2010]

Wärmedämmstoffe sind nur wenig im Wohnungsbaubereich verbreitet, da die Kosten hoch erscheinen und die ökonomischen und ökologischen Vorteile der Bevölkerung

noch nicht bewusst sind. Außerdem sind die gegebenenfalls gesundheitlichen Auswirkungen der verschiedenen Dämmstoffe dem Bürger noch nicht klar. Den Herstellern und den Verkäufern von Polyurethan und Steinwolle sind die gesundheitsgefährdenden Wirkungen der Dämmstoffe bekannt. Trotz dieses Wissens werden diese Dämmstoffe weiter hergestellt und anschließend in den Verkehr gebracht und teilweise exportiert. Es gibt in Syrien bisher kein Gesetz, das die Anwendung von Fluorchlorkohlenwasserstoffen als Treibmittel bei der Herstellung von Polyurethan verbietet. Außerdem gibt es in Syrien keine Untersuchungen über die Gefahren von Mineralwolle. Deswegen gibt es keine Verordnung, die die Verwendung von Mineralwolle in bestimmten Bereichen ausschließt.

Die Preise der unterschiedlichen Dämmstoffe werden staatlich reguliert und in Tabelle 1 dargestellt. Sie hängen ab von der Art, der Dichte und der Dicke des Dämmstoffs. Grundsätzlich ist Polystyrol günstiger als Polyurethan und Steinwolle und einfach in Gebäuden einzusetzen. Allerdings sind die Dämmstoffkosten im Vergleich zu den durchschnittlichen Einkommen von ca. 260 €/Monat sehr hoch.

Es gibt keine Statistik über die Importmenge von Steinwolle oder Glaswolle. Daher ist der Bedarf von Dämmstoffen nicht bekannt. Eine Abschätzung bezüglich des syrischen Dämmstoffbedarfs erfolgt in Kapitel 5.6.

Tabelle 1: Preise der Dämmstoffe (Syrien, Deutschland)

Preise [€/m³]	SW	EPS	PUR	AP
Syrien	195	75	117	---
Deutschland ⁽¹⁾	300	115	375	120

(1): Preise in Deutschland von 2008 [Danner 2008]

SW Steinwolle
 EPS Polystyrol
 PUR Polyurethan
 AP Altpapierdämmstoff

Trotz der für syrische Verhältnisse hohen Dämmstoffkosten, wurde ein neues Gesetz in Syrien erlassen. Es regelt, dass die Baugenehmigungen für neue Gebäude nur dann erteilt werden, wenn eine ausreichende Wärmedämmung nachgewiesen wird. Eine Verordnung für die Wärmedämmung von Gebäuden wurde im Jahr 2008 veröf-

fentlicht. Die Verordnung für die Wärmedämmung von Gebäuden beschreibt die Dämmstoffarten im Allgemeinen und die Berechnung der benötigten Wärmemenge für ein Gebäude [syrische Wärmedämmverordnung 2007]. Beispielhaft wird in der Verordnung eine Musterberechnung für ein typisches syrisches Gebäude durchgeführt. In diesem Beispiel werden die benötigte Wärmemenge des Gebäudes, die Energieeinsparung und die Kosten des Dämmstoffeinsatzes dargestellt [syrische Wärmedämmverordnung 2007].

3.2 Deutschland

Wie bereits geschildert, gibt es markante Unterschiede zwischen Syrien und Deutschland. Dies betrifft zum Einen die Bauweise für Wohngebäude, zum Anderen gibt es Unterschiede beim Papier- und Dämmstoffeinsatz beider Länder. Daher sollen an dieser Stelle die deutschen Rahmenbedingungen dargestellt werden.

3.2.1 Bauweise in Deutschland

Der Baubestand in Deutschland besteht trotz der hohen Gebäudeverluste im Zweiten Weltkrieg aus Gebäuden aller Baualtersklassen. Der Baubestand wird in 10 Baualtersklassen eingeteilt. Auf diese Baualtersklassen wird in dieser Arbeit nicht eingegangen. Vor 1835 wurden hauptsächlich Fachwerkgebäude aus Holz und Lehm gebaut. Danach wurden gebrannte Steine und Stahl beim Gebäudebau eingesetzt. Die industrielle Vorfertigung des Industriebaus wird auch auf den Wohnungsbau angewendet. Dabei kommen sowohl der Baustoff Holz als auch Stahlbeton gleichermaßen zum Einsatz. Daneben werden weiterhin die traditionellen Konstruktionsweisen und Bauformen mit dicken Ziegelwänden, Holzbalkendecken und geneigten Dächern in Holzbauweise mit Schuppendeckung angewendet. Die große Zerstörung der Bausubstanz im Zweiten Weltkrieg führte nach Beseitigung der Materialknappheit der unmittelbaren Nachkriegszeit zu den Wiederaufbauprogrammen. In kurzer Zeit wurden hunderttausende Wohnungen gebaut. Die unter hohem Zeit- und Kostendruck erstellten großen Wohnquartiere im ganzen Bundesgebiet weisen heute große Mängel in Bezug auf Wärmedämmung und Schallschutz auf. Die Stahlbetondecke ersetzt die Holzbalkendecke im städtischen Wohnungsbau vollständig (1951: DIN 18011). Grundsätze des Wärmeschutzes werden für die verschiedenen Klimaregionen Deutschlands festgesetzt (1957: DIN 4108). Neue Baustoffe im mineralischen Be-

reich verdrängen das traditionelle Ziegelmaterial: Betonhohlblock, Kalksandstein, Bimsbeton, Porenbeton.

In der DDR entscheidet man sich zur Linderung der Wohnungsnot für die konsequente Vorfertigung. Es entsteht ab 1965 die sog. Plattenbauweise in Beton. Im Westen führt das Wirtschaftswunder zu einer starken Ausdehnung des Siedlungsgebietes. Die Bauweise im Wohnungsbau ist geprägt von Einfamilienhäusern und Reihenhaussiedlungen. In den Städten entstehen große Mehrfamilienhausquartiere mit Gebäuden über sechs Geschosse.

Ab 1982 soll der Heizwärmebedarf $150 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ nicht überschreiten. Dies führt zu einem verstärkten Einsatz von Dämmstoffen im Bauwesen und zu neuen Konstruktionen. Wärmedämmverbundsysteme und die mehrschalige gedämmte Bauweise sind neue konstruktive Lösungen. [Adomeit 2011]

3.2.2 Papierimport in Deutschland

Die meisten Papier- und Zellstoffimporte nach Deutschland kommen aus europäischen Ländern, Russland und den USA. Geschätzte 21 Mio. Mg Papier wurden 2009 in Deutschland produziert. Rund 10 Mio. Mg Papier wurden importiert und ca. 12 Mio. Mg exportiert. Das bedeutet, dass in Deutschland rund 19 Millionen Tonnen Papier verbraucht wurden. Die Altpapiereinsatzquote betrug 70,61 % im Jahr 2009. [WWF Deutschland 2011]

Obwohl die Einwohnerzahl in Syrien etwa einem Viertel der Einwohner Deutschlands entspricht, werden vergleichsweise nur 1,5 % der deutschen Papierimportmenge in Syrien importiert und nur ca. 0,28 % der deutschen Papierproduktion wird in Syrien produziert. Die Abbildung 8 zeigt den Papierstrom in Deutschland.

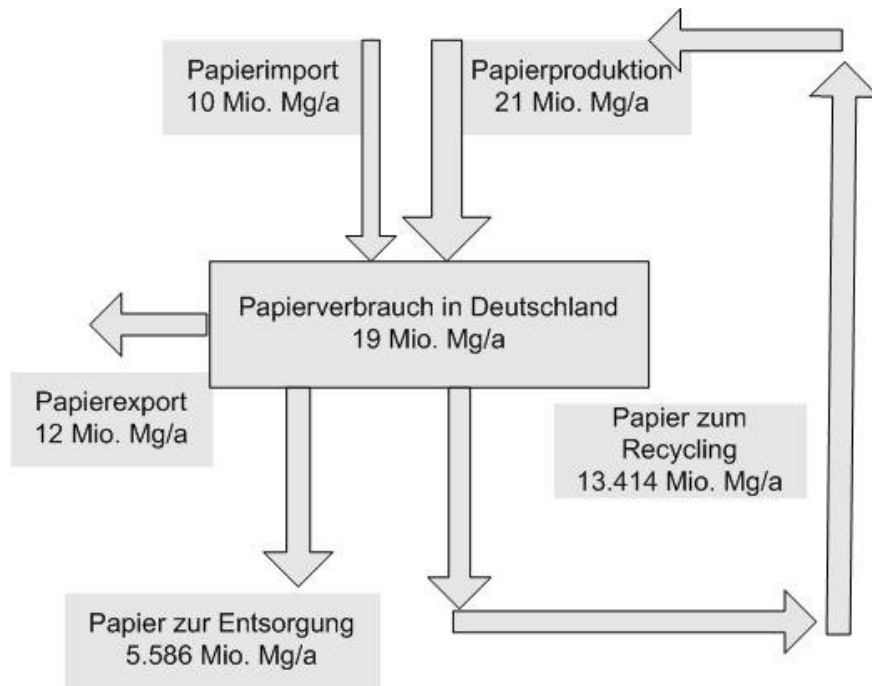


Abbildung 8: Papierstrom in Deutschland

3.2.3 Altpapiermengen und -kosten in Deutschland

Im Jahr 2009 lag der Verbrauch von Papier, Pappe und Karton in Deutschland laut Verband Deutscher Papierfabriken bei 226,1 kg pro Kopf [UBA 2010]. Dadurch zeigt sich, dass ein Deutscher mehr als die 10-fache Altpapiermenge eines Syrers erzeugt.

Die Altpapierkosten unterscheiden sich nach der Papiersorte und ändern sich ständig nach dem Bedarf an Altpapier. Die in dieser Arbeit mit besonderem Interesse betrachtete Altpapiersorte sind Altzeitungen. Der Marktpreis alter Zeitungen unterlag im Jahr 2010 Schwankungen im Bereich von ca. 75 bis zu 115 €/Mg [EUWID 2010].

3.2.4 Dämmstoffe in Deutschland

Die Wärmedämmstoffe sind nach der Rohstoffbasis in organische und anorganische Baustoffe unterteilt. Alle Dämmstoffe werden zwischen genormt oder zugelassenen differenziert. Die Wärmedämmstoffe werden hauptsächlich in Form von Platten, Matten, Filzen oder schüttfähige Lose hergestellt. Die Hauptanwendungsbereiche der Wärmedämmstoffe sind Gebäude, Haustechnik und betriebstechnische Anlagen. [GDI 2006]

Eine Innovation der letzten Jahre liegt in der Nutzung von nachwachsenden Rohstoffen als Wärmedämmstoffmaterialien. Ein wesentlicher Vorteil dieser Materialien liegt in der Schonung der endlichen Ressourcen. Nachteilig wirkt sich die Abbaubarkeit dieser Produkte in feuchtwarmen Bereichen aus. Allerdings weisen solche Materialien wie Hanf, Flachs und Getreide ähnliche oder höhere Wärmeleitfähigkeit wie Mineralwolle auf [Kleinhempel 2005]. Der jährliche Bedarf an Wärmedämmstoffen beträgt zurzeit ca. 25 Mio. m³ [Danner 2008].

Eine Wärmeschutzverordnung trat erstmals am 1. November 1977 in Kraft. Ihre Zielsetzung war vor dem Hintergrund steigender Energiepreise die Reduzierung des Energieverbrauchs durch bauliche Maßnahmen. Die Wärmeschutzverordnung wurde zweimal novelliert. Am 1. Februar 2002 wurde sie von der Energieeinsparverordnung (EnEV) abgelöst, die erstmals die Wärmeschutzverordnung und die Heizungsanlagenverordnung zu einem Vorschriftenwerk vereint. Die Energieeinsparverordnung wurde 2004 und 2007 novelliert. Im Jahr 2009 trat die letzte Fassung in Kraft. Ziel ist es, den Energie-, Heizungs- und Warmwasserbedarf um ca. 30 % zu senken. Ab 2012 sollen in einem weiteren Schritt die energetischen Anforderungen nochmals um bis zu 30 % verschärft werden.

3.3 Altpapierdämmstoff

AP-Dämmstoff ist ein aus Naturfasern bestehender Dämmstoff wie auch Hanf, Flachs und Schafwolle. Die Idee, mit zerkleinertem Altpapier zu dämmen (siehe Abbildung 9), kam aus den USA und Kanada und wurde wegen der günstigen Rohstoffe von den skandinavischen Ländern übernommen.



Abbildung 9: Altpapierdämmstoff,
Quelle: isofloc GmbH, www.isofloc.de

Eigenschaften

Die Dämmeigenschaften sind aufgrund der fugenfreien Verarbeitung sehr gut. Die Wärmeleitfähigkeit liegt bei 0,04-0,045 W/m·K, die Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl μ beträgt 1-2. Zellulosefasern sind dampfdiffusionsfähig, feuchtigkeitsausgleichend und gut schalldämmend. Durch Zugabe von Additiven sind Zellulosefasern schwer entflammbar oder normal brennbar. Im Brandfall entstehen ähnliche Zersetzungsrückstände wie bei der Verbrennung von Holz (CO_2 , CO, Wasser und additivabhängige Stoffe). Aus ökologischer Sicht ist der Zellulosedämmstoff sehr gut, da die Rohmaterialien aus Altpapier sind und der Energieaufwand bei der Herstellung kleiner ist als bei der Herstellung anderer Dämmstoffe. Dadurch ist die Umweltbelastung bei der Anwendung von Zellulosedämmstoff niedrig. Zeitungspapier zeichnet sich durch einen hohen Altpapieranteil sowie einen relativ geringen Einsatz von Papierhilfsstoffen, Füllstoffen und Druckfarben aus. Bei Zeitschriften und Werbebeilagen fallen demgegenüber der niedrige Anteil von Altpapier sowie der hohe Druckfarbeinsatz auf [Ahrens 1993]. Als geeignete Quellen für die erforderliche hohe Altpapierqualität, so dass Altpapier nicht nass oder verschmutzt ist, können von Universitäten, Schulen, öffentlichen Einrichtungen und Druckereien herangezogen werden, wobei die Büropapiere und Bücher, die an den genannten Stellen zu erwarten sind, größere Flächenmaße als Zeitungspapier haben. Zeitungspapier ist sehr leichtgewichtig und die kostengünstigere Papiersorte. Zu den Büropapieren gehören Umschlagpapiere und Druckpapiere [upm 2008]. Die mechanischen Eigenschaften wie Durchreißwiderstand, Festigkeit der unterschiedlichen Papiersorten müssen bei der Herstellung von AP-Dämmstoff berücksichtigt werden. Der Altpapierdämmstoff kann aus Büropapier hergestellt werden [Küllmer 2010]. Da die Rohstoffe von Altzeitungen mit gutem Zustand und zu einem günstigen Preis zur Produktion angeliefert werden und das Zerfasern der Altzeitungen leichter als von Büropapier ist, werden die Altzeitungen für die Produktion vom Altpapierdämmstoff bevorzugt.

Ungelesenes Altpapier liegt in so großer Menge vor, so dass ca. 4/5 des Bedarfs an Wärmedämmstoffen in Deutschland abgedeckt werden können [Danner 2008].

Gegenwärtiger Einsatz von Altpapierdämmstoff

AP-Dämmstoffe sind lose oder mit Bindemittel und Stützfasern wie Jute vermischt und zu Platten gepresst. Loser AP-Dämmstoff kann trocken in Hohlräume von Wän-

den und Dächern im Holzbauwerk eingeblasen oder auf den Dachstuhl frei aufgeschüttet oder aufgeblasen (siehe Abbildung 10) werden.

Die Nassverarbeitung erfolgt durch das Versprühen des Materials unter Wasserzugabe auf Wände oder Dächer [Danner 2008]. Bei der Trockenverarbeitung ist die Staubbelastung groß, dafür ist eine Staubmaske bei der Bearbeitung erforderlich [Laimer 2007].



Abbildung 10: Links AP-Einblasen, Rechts AP-Aufblasen,
Quelle: isofloc GmbH, www.isofloc.de

Bei Nassarbeiten ist die Stauffreisetzung geringer, aber die Austrocknungszeit beträgt bei einer Schichtdicke von 10 cm je nach dem Mischverhältnis mit Wasser und der Belüftung 1 bis zu 3 Wochen [bmvit 2001].

AP-Dämmstoff wird im Neubau und beim Sanieren von bestehenden Bauwerken eingesetzt. Nach der neuen Energieeinsparverordnung von 2009 kann der AP-Dämmstoff als Zusatzdämmung mit anderen Dämmstoffen eingesetzt werden, so dass die Dämmschichtdicke im Gebäude vergrößert und die Wärmeleitfähigkeit kleiner wird [Küllmer 2009].

Beim Aufblasen oder Einblasen von AP-Dämmstoff auf vor 1996 produzierte Mineralwolle kommt es zur Vermischung der beiden Materialien und somit zu einer Erhöhung des als Sondermüll zu entsorgenden Dämmmaterials. Der Massengehalt von künstlichen alten Mineralfasern darf in einer Zubereitung oder einem Erzeugnis nicht mehr als 0,1 % der gesamten Masse betragen. Ist der Massengehalt von künstlichen alten Mineralfasern größer als 0,1 % der gesamten Masse einer Zubereitung, gilt diese Zubereitung als Sonderabfall [GefStoffV 2008].

Dieses Problem wird später beim Abriss des Gebäudes auftreten. Daher müssen geeignete Maßnahmen getroffen werden, um die Kontamination des AP-Dämmstoffs mit den krebserregenden Fasern der Mineralwolle zu verhindern. Durch diese Maßnahmen soll gewährleistet werden, dass der AP-Dämmstoff ohne Kontamination vor dem Abriss des Gebäudes ausgesaugt werden kann.

Dieses Problem kann auch in Syrien auftreten, wenn bisher gesundheitlich bedenkliche Dämmung eingesetzt wurde und durch ein steigendes Umweltbewusstsein eine bessere Dämmung der Gebäude durchgeführt wird oder gar gesetzlich verordnet wird.

4 Altpapiersammelsystem

Ein wichtiges Ziel der vorliegenden Arbeit ist, im ersten Arbeitsschritt nachzuweisen, dass die Altpapiermenge in Syrien zur Herstellung eines AP-Dämmstoffs ausreichend ist. Darauf basierend wird ein Sammelkonzept für die dazu benötigten Altpapiermengen erstellt.

4.1 Altpapiermenge in Homs

Die Stadt Homs repräsentiert aufgrund der Bebauungsstruktur und der Einwohnerzahl eine typische syrische Großstadt. Etwa 5 % der syrischen Bevölkerung lebt dort. Homs besitzt außerdem eine große Universität, in der vergleichsweise große Altpapiermengen anfallen. Deshalb werden die Altpapiermengen, die in syrischen Städten zu erwarten sind, exemplarisch in der Stadt Homs untersucht.

4.1.1 Mengenabschätzung

Um einen Überblick über die anfallende Altpapiermenge zu erhalten, wurde eine Untersuchung zur Trennung und Sammlung von Altpapier in Homs, in Bereichen, in denen Altpapier mit hoher Qualität zu erwarten ist, durchgeführt.

An der Universität und in den Schulen wurde das Altpapier getrennt gesammelt und von den Assistenten und den Lehrern täglich ausgewogen. In Büros mit wenigen Mitarbeitern und in den Haushalten wurde die Altpapiermenge wöchentlich gewogen, da die Altpapiermenge gering war. An der Universität, in Schulen und in öffentlichen Einrichtungen wurde das Altpapier über 5 Tage wöchentlich erfasst. Wobei an den Wochenenden kein Altpapier anfiel. Die Informationen über die durchgeführten Untersuchungen zur Altpapiersammlung in den unterschiedlichen Anfallorten sind im Anhang A, Tabelle A 1 zu entnehmen. In Tabelle 2 sind die betrachteten Gruppen aufgelistet.

Die Untersuchung wurde über einen Zeitraum von zwei Wochen in einer großen Schule, die einen Kindergarten und drei Schulstufen hat, durchgeführt. Insgesamt hat Homs zwei große Schulen mit jeweils ca. 1.900 Schülern. Die Schulgebäude sind dreigeschossig gebaut. Zudem befinden sich zahlreiche kleinere Schulen mit ca.

300-400 Schülern in Homs. Dort sind die Schulgebäude in eingeschossiger Bauweise ausgeführt.

Tabelle 2: untersuchte Gruppen

Universität	Studenten	Schulen	Schüler	Öffentliche Einrichtungen	Mitarbeiter	Haushalte	Einwohner
Architektur Fakultät	30	Große Schule		Architektur Fakultät	3	1	2
		Kindergarten	245	Postverwaltung	4	2	2
		Schulstufe 1	560	Bank	20	3	3
		Schulstufe 2	700			4	4
		Gymnasium	396			5	5
		Grundstufe 2	297				
Summe	30		2.198		27		16

An der Fakultät für Architektur der Al-Baath Universität wurde die Untersuchung im Zeichenraum und in drei Räumen der Verwaltung durchgeführt.

Für den Bereich der öffentlichen Einrichtungen wurden in einer kleinen Privatbank mit 20 Mitarbeitern und in einem Büro der Postverwaltung die Altpapiermengen erfasst.

Für den privaten Bereich wurden fünf Haushalte zur Untersuchung ausgewählt. Um ein möglichst breites Spektrum unterschiedlicher Haushalte zu erfassen, fiel die Wahl auf folgende Haushaltsformen:

- Zwei Haushalte mit je zwei Erwachsenen,
- Ein Haushalt mit zwei Eltern und einem kleinen Kind,
- Ein Haushalt mit zwei Eltern und zwei Studenten,
- Ein Haushalt mit zwei Eltern und drei Schülern.

In den Haushalten, an der Universität, in den Schulen und den Büros fallen Büropapier und Zeitungen an. Da der Rohstoff für den in Deutschland hergestellten AP-Dämmstoff Altzeitungen ist, ist es sinnvoll auch die in Homs anfallende Altzeitungsmenge abzuschätzen.

Universität

Die Untersuchung an der Universität umfasste 30 Studenten. Nach den Ergebnissen erzeugte dabei jeder Student an der Fakultät für Architektur täglich durchschnittlich ca. 20 g Altpapier (siehe Tabelle 4). Das Papier bestand aus Büropapier und Zeichenpapier. Dies entspricht in etwa vier DIN A4 Blättern. Die erfasste Altpapiermenge wird auf die Gesamtzahl der Architekturstudenten hochgerechnet. Für die Studenten der anderen Fakultäten wird die anfallende AP-Dämmstoffmenge annäherungsweise berechnet. In den Geistes- und Literaturwissenschaften wird beispielsweise im Vergleich zur Architektur weniger Altpapier erzeugt. Im Ingenieurwesen und in den naturwissenschaftlichen Fakultäten wird hauptsächlich in Laboren gearbeitet, daher wird auch hier wenig Altpapier anfallen. In den Bereichen Medizin, Pharmazie, Agrarwissenschaft, Sport und Musik fällt aufgrund der praktischen Orientierung kaum Altpapier an. Basierend auf diesen Überlegungen werden die Altpapiermengen für die gesamte Universität abgeschätzt. In Tabelle 3 sind die jeweiligen Studentenzahlen und die erfassten bzw. abgeschätzten Altpapiermengen nach Fakultäten aufgelistet. Anhand dieser Angaben berechnet sich die angefallene Altpapiermenge pro Student durchschnittlich zu etwa 11 g/d. Für die gesamte Universität ist daher mit einer Altpapiermenge an hochwertigen, für die Dämmstoffherstellung geeigneten Papieren von ca. 500 kg/d zu rechnen.

Tabelle 3: Studentenzahl und Altpapiermengen der Al Baath Universität

Fakultät	Studentenanzahl 2010-2011	Altpapieranfall [g/Std·d]
Architektur	921	20
Geistes- und Sozialwissenschaft	20.953	15
Ingenieurwesen, Naturwissenschaft	7.889	10
Medizin, Pharmazie, Agrarwissenschaft, Sport, Musik,...	16.374	5
Summe	46.137	---

Schulen

Offizielle Daten über die Schulen in Homs sind nicht verfügbar. Als Datengrundlage für die weiteren Berechnungen dienen daher eigene Erhebungen. Die Erhebung an zwei Schulen mit insgesamt 2.198 Schülern zeigte, dass in der Grundschule weniger

Altpapier als am Gymnasium anfällt. Trotz der insgesamt geringen pro Schüler erzeugten Altpapiermenge ergibt sich durch die große Schülerzahl insgesamt eine erhebliche Menge an Altpapier. Die durchschnittliche Altpapiermenge beträgt dabei etwa 11 g pro Schüler und Tag (siehe Tabelle 4). So erzeugen 413.616 Schüler [Waari 2005, SANA 2008] in Homs täglich ca. 4.550 kg Altpapier.

Öffentliche Verwaltung

Die Altpapiermengen in den Büros der öffentlichen Einrichtungen unterscheiden sich in den verschiedenen Arbeitsbereichen. An der Universität erzeugt ein Mitarbeiter etwa 86 g Altpapier täglich. In der Postverwaltung fallen im Schnitt täglich ca. 25 g pro Mitarbeiter an. Da die Arbeitsabläufe in den Banken in den letzten Jahren durch Vernetzung der Banken untereinander geändert wurden, sind die dort anfallenden Altpapiermengen weniger geworden und betragen täglich ca. 14 g pro Mitarbeiter. Durchschnittlich erzeugt somit ein Mitarbeiter einer öffentlichen Einrichtung in Homs etwa 42 g Altpapier täglich (siehe Tabelle 4). Basierend darauf wird die gesamte anfallende Altpapiermenge für die öffentlichen Einrichtungen hochgerechnet, da offizielle Daten über die Verwaltungen und ihre Mitarbeiterzahl nicht zur Verfügung stehen. Somit erzeugen 80.264 Mitarbeiter [Cbs 2011] in Homs täglich etwa 3.371 kg Altpapier.

Haushalte

In den Haushalten fällt kaum Altpapier an, besonders in Haushalten, in denen keine Schüler oder Studenten wohnen. Briefe und Werbeprospekte werden nur sehr selten zugestellt. Bekanntmachungen und Werbung werden in der Hauptsache durch das Fernsehen verbreitet. Grundsätzlich fallen als verwertbare Altpapiere Altzeitungen und Büropapier, welches durch Studenten und Schüler entsteht, in den Haushalten an. Jeder Einwohner von Homs erzeugt durchschnittlich ca. 7 g verwertbares Altpapier täglich (siehe Tabelle 4), was zu einer Gesamtmenge von 8,4 Mg/d führt.

Die ermittelten Altpapiermengen an den unterschiedlichen Anfallorten in der Stadt Homs sind in Tabelle 4 dargestellt.

Tabelle 4: Die ermittelten anfallenden Altpapiermengen in den unterschiedlichen Anfallorten in Homs

Universität	Eigenschaften	Anz. Räume	Student. anzahl/Raum	ges. Student .anzahl	Altpapiermenge				
					kg/(Stud. · d)	kg/(Stud. · w)	kg/(Stud. · a) ¹⁾	kg/d	kg/w
Architektur Fakultät		1	30	30	0,019	0,095	3,420	0,570	2,850
Schulen	Eigenschaften	Anz. Räume	Sch. anzahl/Raum	ges. Sch. Anzahl	Altpapiermenge				
					kg/(Sch. · d)	kg/(Schl. · w)	kg/(Schl. · a) ¹⁾	kg/d	kg/w
Evangelische Schule									
Kindergarten		7	35	245	0,005	0,024	0,882	1,200	6,000
Grundschule Stufe 1: Klasse 1-4		16	35	560	0,005	0,023	0,836	2,600	13,000
Grundschule Stufe 2: Klasse 5-9		20	35	700	0,009	0,046	1,671	6,500	32,500
Gymnasium Klasse 10-12		12	33	396	0,011	0,054	1,955	4,300	21,500
Grundschule Stufe 2:									
Klasse 5-9		9	33	297	0,024	0,118	4,242	7,000	35,000
Durchschnittswert					0,011				
öffentliche Einrichtung	Eigenschaften	Anz. Räume	Mitaerb. anzahl/Raum	ges. Mitarb. anzahl	Altpapiermenge				
					kg/(Mitarb. · d)	kg/(Mitarb. · w)	kg/(Mitarb. · a) ²⁾	kg/d	kg/w
Architektur Fakultät		3	1	3	0,086	0,428	21,417	0,257	1,285
Postverwaltung		1		4	0,025	0,125	6,250	0,100	0,500
Bank		4	5	20	0,014	0,070	3,500	0,280	1,400
Durchschnittswert					0,042				
Haushalten	Eigenschaften	Anz. Räume	Einwoh. anzahl/Raum	ges. Einwohn. anzahl	Altpapiermenge				
					kg/(E. · d)	kg/(E. · w)	kg/(E. · a)	kg/d	kg/w
Nr. 1				2	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Nr. 2				2	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Nr. 3				3	0,023	0,163	8,517	0,070	0,490
Nr. 4				4	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Nr. 5				5	0,089	0,625	32,600	0,447	3,126
Durchschnittswert					0,007				
1) Jahr dauert 9 Monate für die Universität und die Schulen (Monat 4 Wochen, 5 Tage/ Woche)									
2) Jahr dauert 50 Wochen (5 Tage/ Woche)									

Um einen Qualitätsverlust in der Trennung von Altpapier zu umgehen, wurde die Sammlung auf einen kurzen Zeitraum von 2 Wochen beschränkt. In den Schulen konnte man in kleinen Mengen Verpackungspapier für das Essen, wie Chipstüten, im Altpapier finden. Die Untersuchungen wurden im Winter durchgeführt, dadurch sind die Besonderheiten von z.B. Schulende, Semesterende nicht berücksichtigt, wann die größte Altpapiermenge in den Schulen und den Universitäten anfallen. Die erfasste Altpapiermenge ist größer als in der vorlesungsfreien Zeit. In den Sommermonaten fallen keine Papiere an der Universität in Studentenklassen und in den Schulen an. Die ermittelte AP-Menge kann als die durchschnittlich anfallende Altpapier-

menge angenommen werden, da die hohen anfallenden Altpapiermengen und die Tage, an denen kein Altpapier anfällt, nicht berücksichtigt wurden.

Altzeitungen

Täglich erscheinen in Homs 5 Tageszeitungen, von denen eine direkt in der Stadt gedruckt wird und die anderen durch ein Unternehmen an die Händler verteilt werden. Durch dieses Unternehmen wurde eine Studie erstellt, in der die Anzahl der verteilten und die der unverkauften Zeitungen monatlich erfasst wurden. Nach dieser Studie wiegen 240 Seiten Zeitungspapier ein Kilogramm. Die durchschnittliche Seitenzahl einer Zeitung beträgt 20 Seiten. In Tabelle 5 sind die daraus entstehenden Zeitungsmengen und -massen dargestellt.

Tabelle 5: Zeitungen in Homs

tägliche Zeitungen	Seitenanzahl	Zeitungsanzahl [Ztg/Monat]		Masse [Mg/Monat]	
		gedruckte Zeitung	unverkaufte Zeitung	gedruckte Zeitung	unverkaufte Zeitung
Al Orouba	8	120.000	36.338	4,00	1,21
Al Baath	20	14.400	2.848	1,20	0,24
Al Thaura	18	71.300	10.061	5,35	0,75
Teschrin	32	69.025	13.771	9,20	1,84
Al Watan	16	30.600	5.484	2,04	0,37
Summe/Woche [Mg]			15.984	5,08	1,03
Summe/Monat [Mg]			68.502	21,79	4,41
Summe/Jahr [Mg]			833.441	265,11	53,655

Etwa 1,03 Mg unverkaufte Zeitungen werden wöchentlich zum Vertriebslager zurückgeschickt. Diese Zeitungen werden gelagert und anschließend an die Papierfabrik verkauft.

Geschäftsviertel

Eine große Menge an Pappe und Karton, die im Geschäftsviertel anfällt, kann zur Herstellung von AP-Dämmstoff nicht genutzt werden. Diese Mengen können aber den Bedarf an Altpapier der Papierfabriken zur Herstellung neuer Kartons und Eier-

waben decken. Über AP-Dämmstoff aus Karton oder Pappe gibt es keine Angabe. Es kann möglich sein, dass Karton und Pappe schwierig zu zerfasern sind, da sie sehr fest und mit Klebstoff geklebt sind. Aus diesem Grund ist die anfallende Kartonmenge in dieser Arbeit nicht relevant. Zusammenfassend sind in Abbildung 11 Gesamtmassen des Altpapiers in Homs dargestellt.

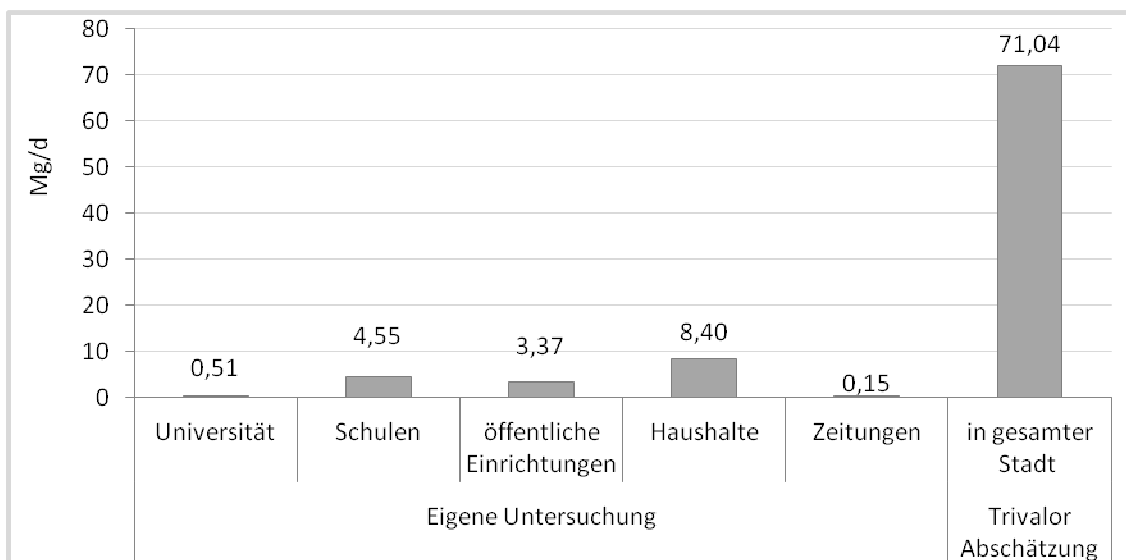


Abbildung 11: Altpapiermenge in Homs

Der Unterschied zwischen den Mengen von der eigenen in Homs durchgeführten Untersuchung und den unter Kapitel 3.1.4 dargestellten Werten, der durch die Firma Trivalor ermittelten Mengen, liegt vermutlich darin begründet, dass die große Menge der im Geschäftsviertel anfallenden Kartons und Pappen bei der eigenen Untersuchung nicht berücksichtigt wurde, da diese Papierqualitäten für die Dämmstoffherstellung nicht relevant sind. Die Menge an grafischen Papieren und Zeitungspapier von ca. 17 Mg/d macht etwa 31 % des Verpackungspapiers aus.

Die erzeugten Mengen von Druckpapier, Pressepapier und Büropapier in Deutschland im Jahr 2011 ist um 25 % größer als die Karton- und Pappemengen für Verpackungszwecke. Der gesamte jährliche Papierverbrauch in Deutschland liegt bei rund 19 Millionen Tonnen. Knapp die Hälfte davon geht in die Bereiche Presse, Druck und Büromaterial. 7,7 Millionen Tonnen werden für Verpackungen benutzt und 1,2 Millionen Tonnen für Hygienepapiere wie Toilettenpapier und Küchenrollen. [BMU 2011]

Nach den Ergebnissen der in Homs durchgeführten Untersuchung verbraucht ein Syrer in der Stadt Homs ca. 5 kg graphisches Papier und Zeitungen im Jahr. Pro Per-

son werden in Deutschland jährlich rund 236 kg Papier verbraucht. Im EU-Durchschnitt liegt der Verbrauch pro Kopf und Jahr bei 187 kg [BMU 2011]. Somit macht der in dieser Arbeit abgeschätzte Papierverbrauch in Syrien ca. 2 % des deutschen Papierverbrauchs und ca. 2,6 % des europäischen Papierverbrauchs aus. Dieses Verhältnis weicht nicht so weit von dem erwähnten Verhältnis des syrischen Papierverbrauchs zu dem in Papierverbrauch Deutschland (siehe Kapitel 3.1.4) aus.

4.2 Sammelkonzept für Homs

Eine getrennte Altpapiersammlung gewährleistet eine sortenreine hohe Qualität von Papieren, die für ein Dämmstoffprodukt maßgebend ist.

Man kann im Bereich der Abfallsammlung grundsätzlich zwischen Hol- und Bring-Systemen unterscheiden. Je nach Abfallaufkommen, Bebauungsstruktur und Abfallart in den verschiedenen Stadtteilen wird ein geeignetes Sammelsystem festgelegt [Cord-Landwehr 2002].

Um ein Altpapiersammelsystem zu konzipieren, müssen Mengen, Schüttdichte und Anfallorte bekannt sein, um den Entleerungsturnus und das Tonnenvolumen festlegen zu können [Halm 2008]. Die anfallende Altpapiermenge verändert sich je nach Anfallort und Personenzahl. Die Personenzahl an einer Universität ist viel größer als beispielsweise an einer Schule. Nach dieser Überlegung wird ein Konzept für ein Altpapiersammelsystem exemplarisch für die Stadt Homs geplant.

4.2.1 Schüttdichte des Altpapiers

Die Schüttdichte des Altpapiers ändert sich je nach Sammlung als Bündel, im Sack oder im Behälter. Bei in Behältern gesammeltem Altpapier beträgt die Schüttdichte 80 bis 120 kg/m³ [Cord-Landwehr 2002]. Bei der Erstellung des Konzepts wurde ein Durchschnittswert von 100 kg/m³ angenommen.

4.2.2 Personengruppen

Die im Untersuchungsgebiet anfallenden Altpapiermengen erfordern keine tägliche Sammlung. Es ist daher sinnvoller, einen Stellplatz für eine oder mehrere Sammelgefäße für eine Personengruppe bereitzustellen, die im zweiwöchigen Turnus geleert werden. Die Größe der festzulegenden Personengruppe ist standortabhängig und

richtet sich nach der Personendichte. Der Stellplatz der Sammelgefäße muss dem Benutzer Komfort bieten, um eine erforderliche Akzeptanz zu schaffen.

Universität

Durch die große Studentenzahl auf dem Gelände der Universität wird die Personengruppe auf 400 Studenten festgelegt, da die Studentenzahl in einer Fakultät ca. 400 Studenten beträgt und eine Sammelstelle für jede Gruppe angenommen wurde. Auf jedem Stellplatz werden 3 Mülltonnen á 240 l zur Altpapierfassung bereitgestellt, so dass eine Mülltonne mit 14,67 kg Altpapier innerhalb von 2 Wochen gefüllt wird, wobei eine Mülltonne bis zu 24 kg Altpapier aufnehmen kann. Bei den großen Fakultäten kann ein Stellplatz innerhalb des Gebäudes eingerichtet werden, für die kleineren Fakultäten können gemeinsame Sammelplätze zwischen den Gebäuden angelegt werden.

Schulen

Ausgehend von unterschiedlich großen Schulen wird jeweils ein Stellplatz für eine Personengruppe von 300 Schülern angelegt. Für 300 Schüler müssen 2 Mülltonnen mit je 240 l Fassungsvermögen aufgestellt werden.

Öffentliche Verwaltung

Die Büros der verschiedenen öffentlichen Einrichtungen befinden sich in unterschiedlichen Gebäuden. Hier ist es sinnvoll, eine Personengruppe mit 100 Mitarbeitern festzulegen. Durchschnittlich arbeiten 4 Personen in einem Büro. Für ein dreigeschossiges Bürogebäude mit insgesamt 20-30 Büros sind somit 3 Mülltonnen mit je 240 l Volumen erforderlich.

Haushalte

Trotz der kleinen anfallenden Altpapiermenge in dem Haushalt kann das Altpapier nach Bedarf gesammelt werden. Altzeitungen können beispielsweise als Bündel gesammelt werden und anschließend an bestimmte Läden abgegeben werden, die als Altpapiersammelstelle gekennzeichnet sind. Die in den Läden so anfallenden größeren Mengen werden dann regelmäßig von Fahrzeugen zur Altpapiersammlung angefahren. Die so gesammelten Mengen fließen nicht in die weiteren Betrachtungen dieser Arbeit ein, da durch einen unterschiedlichen Bildungsgrad der Bevölkerung und

durch sehr unterschiedliche Bebauungsstrukturen eine verlässliche Abschätzung nicht möglich ist.

Altzeitungen

Die Rückläufe unverkaufter Zeitungen können bei den Druckereien und Vertriebslagern eingesammelt werden.

4.2.3 Sammelstellen

Die Stellplatzanzahl entspricht der Anzahl der ermittelten Personengruppen. Bei der Berechnung der Stellplätze fließt ein Sicherheitsfaktor f von 25 % des Volumens pro Sammelstelle ein [Halm 2008]. Mehrere Mülltonnen pro Stellplatz ermöglichen kürzere Tourenzeiten, da die Fahrzeit zwischen verschiedenen Ladepunkten eingespart wird. Das benötigte Mülltonnenvolumen pro Gruppe an einer Sammelstelle ergibt sich nach der Gleichung (4.1) [Halm 2008].

$$V_{MT,b} = \frac{n_p \cdot m \cdot 1000}{T \cdot \rho} \cdot (1 + f) \quad (4.1)$$

$V_{MT,b}$	benötigtes Mülltonnenvolumen [l/Grp]
n_p	Personenanzahl in einer Gruppe [P/Grp]
m	wöchentliches Altpapieraufkommen pro Person [kg/P.w]
T	Sammelturnus [1/w]
ρ	Altpapierdichte [kg/m ³]
f	Sicherheitsfaktor [-]

4.2.4 Mülltonnen

Die Mülltonnen müssen mit Deckeln ausgestattet sein, um das gesammelte Altpapier vor Ungeziefer und Witterung zu schützen.

Die Festlegung auf ein einheitliches Behältervolumen von 240 l ermöglicht in der Einführungsphase den Einsatz eines festen Sammelfahrzeugtyps und wird nach den AP-Mengen in den Gruppen gewählt. Nach einer erfolgreichen Einführungsphase besteht hier noch die Möglichkeit zur Optimierung der standortabhängigen Behältergröße. Die Anzahl der Behälter ist vom Altpapieraufkommen und der Personengruppenanzahl abhängig. Nach der Gleichung (4.2) wird die Mülltonnenanzahl berechnet.

$$n_{Mt,Gr} = \frac{V_{Mt,b}}{V_{Mt}} \quad (4.2)$$

$n_{Mt,Gr}$ Anzahl der Mülltonnen in Gruppe [-]
 V_{Mt} Volumen einer Mülltonne [l]

Die gesamte Mülltonnenanzahl ergibt sich nach der Gleichung (4.3)

$$n_{Mt} = n_{Mt,Gr} \cdot n_{Gr} \quad (4.3)$$

n_{Mt} Anzahl der Mülltonnen [-]
 n_{Gr} Anzahl der Gruppen [-]

Tabelle 6 zeigt die Stellplatzanzahl und Mülltonnenanzahl in Abhängigkeit der Personenanzahl und der daraus resultierenden Personen-Gruppengrößen.

Tabelle 6: Mülltonnen zur Altpapiersammlung

	Universität	Schulen	Büros
Personenanzahl	46.137	413.616	80.264
Personen/Gruppe	400	300	100
Stellplatzanzahl	115	1379	803
Mülltonnen/Stellplatz	3	2	3
Mülltonnenanzahl	345	2.758	2.409

4.2.5 Müllfahrzeuge

Die Anzahl der für die Altpapiersammlung erforderlichen Müllfahrzeuge berechnet sich nach Gleichung (4.4) [Halm 2008].

$$n_{Fzg} = \frac{m}{\alpha \cdot C} \quad (4.4)$$

n_{Fzg} Anzahl der Sammelfahrzeuge
 m Altpapiermenge [Mg/d]
 α Auslastung [%]
 C Ladekapazität eines Fahrzeuges [Mg/Tagestour]

Eine Tagestour wird mit 7 Stunden angesetzt. Für die in der Stadt Homs berechnete Altpapiermenge von 8,6 Mg/d (siehe Kapitel 4.1.1) sind bei einer täglichen Sammlung zwei Sammelfahrzeuge mit einer Ladekapazität von je 6 Mg/Tagestour, bei einer Auslastung von 80 %, ausreichend. In der Druckerei und im Vertriebslager der

Zeitungen fallen 2,06 Mg Altzeitungen alle 2 Wochen an, die ebenfalls von den Sammelfahrzeugen eingesammelt werden können.

4.2.6 Sammelturnus

Die Ladezeit des Müllfahrzeuges ist von der Gebindeart abhängig. Für eine Mülltonne mit 110 l Volumen wird eine Ladezeit von ca. 17 Sekunden kalkuliert [Antonio 2005]. Für eine Mülltonne mit 240 l Volumen wird die Ladezeit mit 35 Sekunden eingesetzt. Als Fahrzeit zwischen zwei 1 km voneinander entfernten Ladepunkten fließen 120 s in die Berechnung ein. [Antonio 2005]. Die Anzahl der Fahrten ergeben sich aus der Sammelstellanzahl -1, da die Fahrt zwischen zwei Sammelplätzen erfolgt.

An der Universität liegen die Sammelstellen nicht mehr als 200 m voneinander entfernt. Für die Schulen wird für die Altpapiersammlung der ungünstigste Fall angenommen, dass die Schulen jeweils 2 km voneinander entfernt sind. Die Büros der öffentlichen Einrichtungen befinden sich in einem Stadtteil, so dass die Entfernung zwischen den Sammelbehältern nicht größer als 500 m ist.

Entleerungszeit und gesamte Sammelzeit werden nach den Formeln (4.5) (4.6) berechnet.

$$t_E = t_{E,Mt} \cdot n_{Mt} \quad (4.5)$$

t_E Gesamte Entleerungszeit [s]
 $t_{E,Mt}$ Entleerungszeit einer Mülltonne [s]

$$t = t_E + t_F \quad (4.6)$$

t Gesamte Sammelzeit [s]
 t_F Fahrzeit zwischen Stellplätzen [s]

Mit diesem Berechnungsansatz und den bereits geschilderten Rahmenbedingungen für die Universität, die Schulen und die öffentlichen Einrichtungen ergeben sich die in Tabelle 7 dargestellten Sammelzeiten. Die insgesamt erforderliche Sammelzeit beträgt somit rund 160 h oder bei zwei Sammelfahrzeugen und 7-stündiger Sammel-schicht 11,4 Tage. Ein 14-tägiger Sammelturnus ist daher gut geeignet. Wenn der Sammelvorgang von 2 Sammelfahrzeugen, die 7 h täglich sammeln, erfolgt, wird die

ganze Altpapiermenge in 11,4 d entsorgt. Dies passt aber sehr gut zu der Annahme von 2 Mal Entleerung im Monat. Da die Verkehrssituation in großen Städten tagsüber problematisch ist, ist eine Sammlung zwischen 22:00 und 05:00 Uhr ratsam. Abbildung 12 zeigt die Berechnung für das Sammelsystem in der Stadt Homs.

Tabelle 7: Altpapiersammelzeit

	Universität (Fahrzeit 24 s für 200m)	Schulen (Fahrzeit: 240 s für 2 km)	Büros (Fahrzeit: 60 s für 500 m)
Mülltonne/Stellplatz	3	2	3
Stellplatz	115	1379	803
Fahrzeit [s]	2.736	330.720	48.120
Entleerungszeit [s]	12.075	96.530	84.315
Sammelzeit [h]	4,11	118,68	36,79
gesamte Sammelzeit [h]	159,6		

4.3 Übertragung auf Syrien

Syrien hat 5 staatliche Universitäten, in Damaskus, Aleppo, Latakia und Homs. In den östlichen Städten Syriens liegen verschiedene Fakultäten, die zu einer fünften Universität zusammengefasst sind. Eine große private Universität liegt in Rif-Damaskus.

In der Stadt Homs machen die Studenten ca. 4 %, die Schüler 35 % und die Büroangestellten 7 % der Einwohnerzahl aus. Bei der Berechnung für die Stadt Homs wurde die Einwohnerzahl des ländlichen Teils und der anderen kleinen Städte, die im Verwaltungsbezirk Homs wie die Stadt Palmyra liegen, nicht betrachtet. Bei der Berechnung für Syrien wurde die Einwohnerzahl des gesamten Verwaltungsbezirks Homs betrachtet. Das Altpapiersammelsystem für die Stadt Homs kann auf den ganzen Staat Syrien übertragen werden, insbesondere auf die Universitätsstädte, da sich die Bevölkerungs- und Bebauungsstruktur der Verwaltungsbezirke ähneln (Studenten-,

Universität												
Studentenzahl	46137											
Personenanzahl / Gruppe	Gruppenanzahl	Altpapieraufkommen			Entleerungs- turnus [1/w]	Scüttdichte des Altpapiers [kg/m³]	Sicherheits- faktor	benötigte Volumen [l/Grp.]	Mülltonne Anz / Grp. (240 l)	Mülltonne Anz (240 l)	verfügbares Volumen [m³/2.w]	verfügbares Gewicht [Mg/2.w]
		[kg/(P*d)]	[kg/d]	kg/(P*w)								
400,00	115,343	0,011	507,507	0,055	5,075	0,50	100,00	0,25	550,00	2,29	345	8,280
Schulen												
Schülerzahl	413616											
Personenanzahl / Gruppe	Gruppenanzahl	Altpapieraufkommen			Entleerungs- turnus [1/w]	Scüttdichte des Altpapiers [kg/m³]	Sicherheits- faktor	benötigte Volumen [l/Grp.]	Mülltonne Anz / Grp. (240 l)	Mülltonne Anz (240 l)	verfügbares Volumen [m³/2.w]	verfügbares Gewicht [Mg/2.w]
		[kg/(P*d)]	[kg/d]	kg/(P*w)								
300,00	1378,720	0,011	4549,776	0,055	45,498	0,50	100,00	0,25	412,50	1,72	2758	66,192
Büros												
Mitarbeiterzahl	80264											
Personenanzahl / Gruppe	Gruppenanzahl	Altpapieraufkommen			Entleerungs- turnus [1/w]	Scüttdichte des Altpapiers [kg/m³]	Sicherheits- faktor	benötigte Volumen [l/Grp.]	Mülltonne Anz / Grp. (240 l)	Mülltonne Anz (240 l)	verfügbares Volumen [m³/2.w]	verfügbares Gewicht [Mg/2.w]
		[kg/(P*d)]	[kg/d]	kg/(P*w)								
100,00	802,640	0,042	3371,09	0,210	33,711	0,50	100,00	0,25	525,00	2,19	2409	57,816
In der Stadt Homs		Altpapieraufkommen			Sammel- leistung des Fahrzeugs	Fahrzeug- anzahl	Stellplatz- anzahl	benötigte Volumen	Mülltonne Anz	verfügbares Volumen	verfügbares Gewicht	
		[Mg/d]			[Mg/d]		[-]	[-]	[m³/2w]	[m³/2w]	[Mg/2.w]	
		8,578			6,00	1,43	2296,70	1053,55	5512	1322,88	132,288	

Abbildung 12: Berechnung für das Sammelsystem in der Stadt Homs

Schüler-, Büroangestellte-Verhältnis zur Einwohnerzahl) [Cbs 2011]. Ausgehend davon, dass die Verhältnisse von Schülern und Büroangestellten zur Einwohnerzahl auf dem Land ähnlich den Verhältnissen in der Stadt sind, kann das Altpapiersammelsystem auf Syrien übertragen werden.

Für das AP-Sammelsystem wurde angenommen, dass die Abholung des Altpapiers alle 2 Wochen erfolgt. In einigen Städten ist das benötigte Volumen für Altpapier höher als das berechnete Volumen. Da das Mülltonnenvolumen und die Mülltonnenanzahl nach der Gruppenanzahl und der Personenanzahl der jeweiligen Gruppe festgelegt wurden, kann der Sammelturnus in diesen Bereichen auf ein Mal pro Woche verändert werden, um das benötigte Volumen zu gewährleisten.

Basierend auf der Einwohnerzahl in den syrischen Städten im Jahr 2010 [Cbs 2010] werden das Altpapiersammelsystem für Syrien berechnet und die Ergebnisse in Tabelle 8 dargestellt.

Tabelle 8: Altpapiersammelkonzept für Syrien

Verwaltungsbezirk	Einwohnerzahl E*1000	Altpapier Aufkommen [Mg/d]	Mülltonnen	Fahrzeuge	Sammelturnus [1/w]
1-Damaskus	1.749	15	9.858	3	0,5
2-Ländlich Damaskus	1.820	14	3.763	3	1,0
3-Aleppo	5.680	34	9.419	7	1,0
4-Homs	2.087	15	4.186	3	1,0
5-Hama	2.052	12	3.428	3	1,0
6-Latakia	1.207	10	2.643	2	1,0
7-Deir-ezzor	1.623	8	2.408	2	1,0
8-Idleb	1.997	10	2.865	2	1,0
9-Al-Hasakeh	1.540	8	2.347	2	1,0
10-Al Rakka	966	5	1.419	1	1,0
11-Al Sweida	476	3	2.036	1	0,5
12-Daraa	1.085	6	1.782	1	1,0
13-Tartous	938	8	2.097	2	1,0
14-Quneitera	475	2	1.294	1	0,5
Summe	23.695	150	49.571	33	

Nach eigener Berechnung (siehe Beispiele in Anhang A, Tabellen A3, A2, A4) liegt das Altpapieraufkommen in Syrien bei 150 Mg/d. Insgesamt sind für Syrien damit ca. 49.571 Mülltonnen und 33 Müllfahrzeuge für die Sammlung erforderlich. Sammeltour und Arbeitszeit ändern sich von Stadt zu Stadt und sind jeweils von der Einwohnerzahl, der Lage, Anzahl und Größe der Fakultäten, Schulen und Öffentliche Verwaltung und der damit verbundenen benötigten Sammelfahrzeit abhängig.

Diese Abschätzung gilt für die Einführungsphase. Bei einer Optimierungsphase müssen sowohl die Behältergröße als auch Sammeltouren nach präziseren Daten für jede Stadt angepasst werden.

4.4 Wirtschaftliche Betrachtung des Altpapiersammelsystems

Die Investitionskosten für ein Sammelsystem setzen sich in diesen Berechnungen (4.7) aus den Anschaffungskosten der Fahrzeuge und der Mülltonnen zusammen.

In Syrien werden Sammelfahrzeuge üblicherweise vom Staat direkt aus dem Ausland gekauft. Die Mülltonnen werden in Syrien für ein bestimmtes Projekt hergestellt. Da hier keine Kredite in Anspruch genommen werden, entfallen Kapitalkosten im Gegensatz zu der in Deutschland üblichen Praxis. Die Herstellungskosten der unterschiedlichen Containertypen variieren je nach verwendeten Materialien und können bis 120 € pro Container in Syrien betragen [Nassour 2005]. Für ein Sammelfahrzeug werden 220.000 € und für eine 240 l Mülltonne 22 € in Deutschland angesetzt [Halm 2008]. Diese Werte werden für die Berechnungen angesetzt, unter der Annahme, dass die Fahrzeuge und die Mülltonnen in Deutschland gekauft werden.

$$K_{Inv} = K_{Fsg} \cdot n_{Fsg} + K_{Mt} \cdot n_{Mt} \quad (4.7)$$

K_{Inv}	Investitionskosten [€]
K_{Fsg}	Anschaffungskosten eines Sammelfahrzeuges [€]
K_{Mt}	Anschaffungskosten einer Mülltonne [€]

Unter der Annahme einer Lebensdauer von 10 Jahren betragen die jährlichen Investitionskosten ca. 835.056 €.

Betriebskosten für 33 Fahrzeuge für Syrien enthalten Personal-, Kraftstoff- und Wartungskosten und Versicherung. Abhängig vom Alter des Mitarbeiters beträgt das monatliche Einkommen zwischen 60 bis 160 €, aufgrund der geringen sozialen Akzep-

tanz wird hierzu ein Bonus von 80 bis 100 % gezahlt [Nassour 2005]. In den Berechnungen der Personalkosten nach Formel (4.8) wird mit 160 €/Monat pro Person und mit drei Mitarbeitern (2 Lader + 1 Fahrer) pro Sammelfahrzeug gerechnet.

$$K_{Per} = n_{MA} \cdot n_{Fzg} \cdot EK \cdot 12 \quad (4.8)$$

K_{Per} Personalkosten [€/a]
 n_{MA} Anzahl der Mitarbeiter pro Sammelfahrzeug
 EK Einkommen eines Mitarbeiter [€/Monat]

Betriebskosten für Kraftstoff werden laut Internetrecherche unter der Annahme, dass die jährliche Fahrleistung eines Müllfahrzeugs ca. 10.000 km beträgt und der Dieselverbrauch bei 30 l/100 km liegt, berechnet. Wobei die Kosten eines Liters von Diesel im Jahr 2012 in Syrien bei ca. 20 syrische Lira bzw. 0,333 € betrugen [wikinews 2012]. Die Betriebskosten für Kraftstoff betragen ca. 32.967 €/a. Wartungskosten betragen ca. 5 % des Fahrzeugwertes (363.000 €/a). Die Versicherung wird mit ca. 7.000 €/Fzg.a angenommen [Halm 2008]. Die Versicherung beträgt 231.000 €/a für 33 Fahrzeuge. Die Betriebskosten für Kraftstoff, Wartungskosten und Versicherung liegen bei insgesamt 626.967 €/a.

Gesamte Betriebskosten werden nach Formel (4.9) berechnet.

$$K_{ges.Btr} = K_{Per} + K_{Btr} \quad (4.9)$$

$K_{ges.Btr}$ Gesamte Betriebskosten [€/a]
 K_{Btr} Betriebskosten für Kraftstoff, Wartungskosten, Versicherung [€/a]

Verwaltungskosten werden mit 20 % und Gewinn mit 10 % der Summe aus Investitionskosten und Betriebskosten nach den Formeln (4.10) (4.11) berechnet [Halm 2008].

$$K_{Ver} = 20\% \cdot (K_{Inv} + K_{ges.Btr}) \quad (4.10)$$

$$G = 10\% \cdot (K_{Inv} + K_{ges.Btr}) \quad (4.11)$$

Die jährlichen Gesamtkosten werden nach der Gleichung (4.12) berechnet. Die Gesamtkosten für die Sammlung und Transport ergeben sich in Höhe von ca. 2 Mio. €/a. Bezogen auf die Masse ergeben sich für die jährliche Sammlung und Transportkosten von Altpapier ca. 40 €/Mg.

$$K_{ges} = K_{Inv} + K_{ges.Bcr} + K_{Ver} + G \quad (4.12)$$

K_{ges} Gesamte Kosten [€/a]
 K_{Ver} Verwaltungskosten [€/a]
 G Gewinn [€/a]

Tabelle 9 zeigt die Kostenabschätzung des Altpapiersammelsystems in Syrien.

Die anfallenden Altpapiermengen in Homs wurden basierend auf der in Homs durchgeführten eigenen Untersuchung berechnet. Präzisere Daten können während einer Pilotphase, in der ein Sammelsystem für die jeweilige Stadt eingeführt wird, erhoben werden.

Tabelle 9: Kostenabschätzung für Altpapiersammelsystem in Syrien

Altpapiersammelsystem			
Altpapiermenge	150 [Mg/d]		
	[€]	[€/a]	[€/Mg]
Investitionskosten	8.350.562		
Jährliche Investitionskosten		835.056	
Jährliche Investitionskosten bezogen auf die Masse			15,25
Personalkosten		190.080	
Betriebskosten für Kraftstoff, Wartungskosten, Versicherung		626.967	
Gesamte Betriebskosten		817.047	
Gesamte Betriebskosten bezogen auf die Masse			14,92
Verwaltungskosten		330.421	
Gewinn		165.210	
Verwaltungskosten + Gewinn		495.631	
Jährliche Verwaltungskosten + Gewinn bezogen auf die Masse			9,05
Gesamte Kosten		2.147.734	
Gesamte Kosten bezogen auf die Masse			39,23

Sonderfälle wie Feiertage oder beispielsweise das Semesterende der Universitäten und Schulen können bezüglich der anfallenden Altpapiermengen berücksichtigt werden. Örtliche Besonderheiten und Einwohnerstrukturen müssen für jede Stadt beachtet werden, um ein geeignetes Altpapiersammelsystem zu etablieren.

5 Altpapierdämmstoffeinsatz in syrischen Wohngebäuden

AP-Dämmstoffe werden entweder trocken in Hohlräume eingeblasen, auf eine gerade Ebene aufgeblasen oder mit Wasser vermischt und auf Wände und Bögen nass aufgesprüht. Bisher ist der Einsatz von AP-Dämmstoffen in syrischen Gebäuden nicht bekannt, deswegen müssen geeignete Einsatzmöglichkeiten eruiert werden.

In diesem Arbeitsteil werden die Einsatzmöglichkeiten der AP-Dämmung im bestehenden Bau und im Neubau dargestellt. Für unterschiedliche Szenarien (verschiedene Bautypen und unterschiedliche Dämmstoffe mit unterschiedlichen Dämmschichtdicken) werden die folgenden Werte in einem Rechenmodell für ein typisches syrisches Gebäude berechnet:

1. Wärmedurchgangskoeffizient für Bauelemente
2. Wärmemenge
3. Kühllast
4. Dämmstoffmengen
5. Dämmstoffkosten
6. Heizenergie und Heizkosten ausgehend von der berechneten Wärmemenge
7. Energieverbrauch für die Kühlung und die Energiekosten ausgehend von der berechneten Kühllast
8. Amortisationszeit der unterschiedlichen Szenarien, wobei ein ungedämmtes Gebäude als Referenzgebäude eingesetzt wurde.

5.1 Einsatzmöglichkeiten

Da in syrischen Gebäuden üblicherweise keine Hohlräume in Wänden und Dächern bestehen, müsste der AP-Dämmstoff nass aufgesprüht werden. Die langsame Austrocknung des nass eingesetzten AP-Dämmstoffs ist jedoch ein Nachteil dieses Verfahrens. Außerdem lässt sich der AP-Dämmstoff nach der Nutzungsphase nur schwierig vom Bauelement trennen, da er nach der Trocknungszeit sehr fest am Bauelement klebt. Dies führt zu Problemen bei der Entsorgung, da die Bauelemente nicht getrennt und gezielt entsorgt und gegebenenfalls aufbereitet werden können.

Auf die AP-Dämmstoffentsorgung wird ein besonderes Gewicht in dieser Arbeit gelegt. Daher wird nur das trockene Einblasen des Dämmstoffs beleuchtet, um eine

bessere Entsorgung oder ein hochwertiges Recycling des AP-Dämmstoffs nach der Nutzung zu gewährleisten. Das Aufsprühverfahren findet in dieser Arbeit deshalb keine weitere Beachtung.

Um AP-Dämmstoffe in syrischen Gebäuden einsetzen zu können, müssen Hohlräume in den Bauelementen geschaffen werden. Beispielsweise kann eine Gipsplatte mit einem entsprechenden Abstand zur Wand oder zum Dach angebracht werden. Der AP-Dämmstoff kann dann durch einen Schlauch oder eine Drehdüse mit einem kleinen Durchmesser von ca. 5 cm in den Hohlraum eingeblasen werden. Abbildung 13 zeigt eine Drehdüse für dünnere Dämmschichten.

Eine wasserabweisende Putzschicht muss von außen auf die Bauelemente aufgebracht werden, die sowohl das Bauelement als auch den AP-Dämmstoff vor Feuchte und Niederschlag schützt. Von der Raumseite muss eine Dampfbremse eingebaut werden [Maas 2010]. In Abbildung 14 und Abbildung 15 sieht man die 2 cm dicke Putzschicht und die Dampfbremse in den Bauelementen.



Abbildung 13: Drehdüsen für dünnere Dämmschichten und für Kern-Dämmung,
Quelle: X-Floc Einblastechnik, www.x-floc.com/de/zubehör

Altpapierdämmung im bestehenden Bau

In alten Gebäuden besteht das Flachdach grundsätzlich aus Stahlbeton. Die Wände bilden einschalige Mauerwerke, die aus Zementhohlblocksteinen bestehen [Abuschami 2012].

In den bestehenden neueren Gebäuden sind die Flachdächer hauptsächlich (ca. 95 %) aus Stahlbeton mit Zementhohlblocksteinen ausgeführt. Die Wände werden als zweischaliges Mauerwerk mit einer 2 bis 5 cm dicken Luftschicht aufgebaut

[Abuschami 2012] [Issa 1996]. Bei 5 % der Neubauten werden die Flachdächer aus Stahlbeton mit Zementhohlblocksteinen und einer Dämmschicht ausgeführt. Ein zweischaliges Mauerwerk kann eine 5 bis 10 cm dicke Dämmschicht aufweisen [Khalil 2009]. Das Einblasen des AP-Dämmstoffs in die 2 cm breiten Luftschichten ist nicht relevant, da der Hohlraum zu klein ist und mit dem AP-Dämmstoffmaterial schnell verstopfen würde. In der syrischen Wärmedämmverordnung findet man Beispiele für gedämmte Konstruktionen in Syrien (siehe Anhang B, Abbildung B1, B2). Aufgrund der in Syrien üblichen Konstruktionen und der in der syrischen Wärmedämmverordnung eingefügten Konstruktionen wurden Vorschläge für mit Altpapierdämmstoff gedämmte Konstruktionen erstellt.

In Abbildung 14 sind die Vorschläge des jeweiligen Aufbaus des gedämmten Dachs und der gedämmten Wand im bestehenden Bau zu sehen.

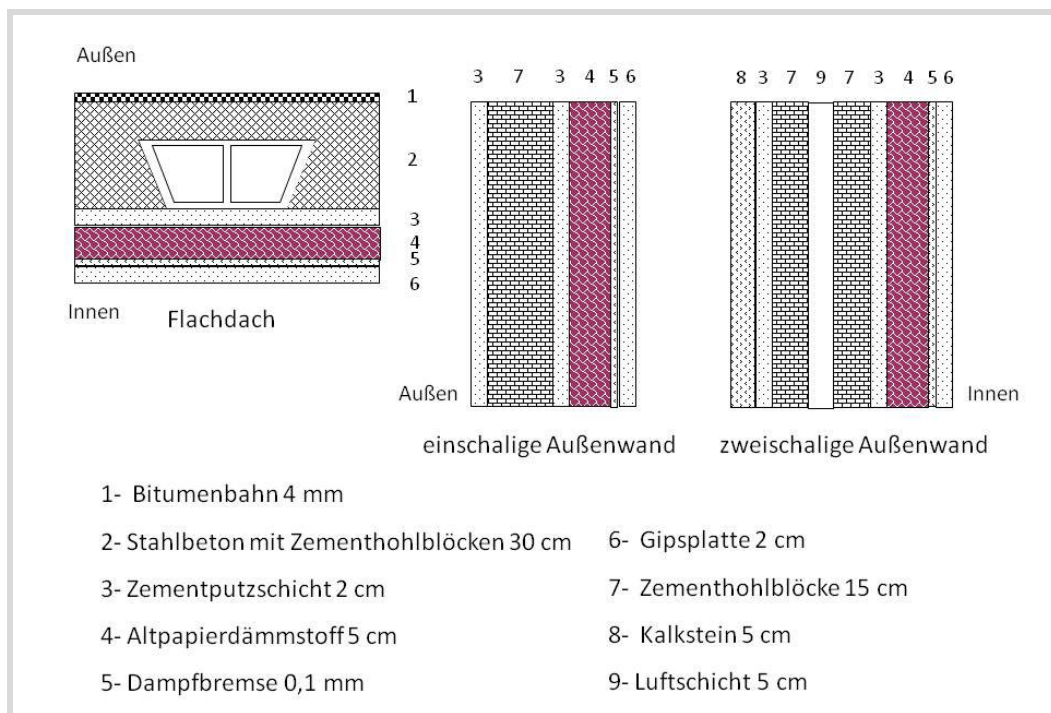


Abbildung 14: Dämmung mit Altpapierdämmstoff in bestehender syrischer Bebauung

In bestehenden Bauten können die Außenwände und Flachdächer gedämmt werden, indem auf die Außenwände und die Dächer Gipsplatten mit einem entsprechenden Abstand von der Innenschale des Mauerwerks bzw. vom Dach als Innendämmung angebracht werden. Der Hohlraum kann mit AP-Dämmstoff gefüllt werden.

Im Mauerwerk kann der AP-Dämmstoff in den Hohlraum eingeblasen werden. Dieser Fall ist für den Neubau (siehe Abbildung 15) berücksichtigt.

Altpapierdämmung im Neubau

Da das zweischalige Mauerwerk einen Hohlraum zwischen der Außenschale und der Innenschale hat, kann dieser Hohlraum mit Dämmmaterial gefüllt werden. Eine Dampfbremse muss von der Raumseite eingebaut werden [Maas 2010]. Die Abbildung 15 zeigt einen Vorschlag für die Dämmung mit AP-Dämmstoff für ein syrisches Gebäude.

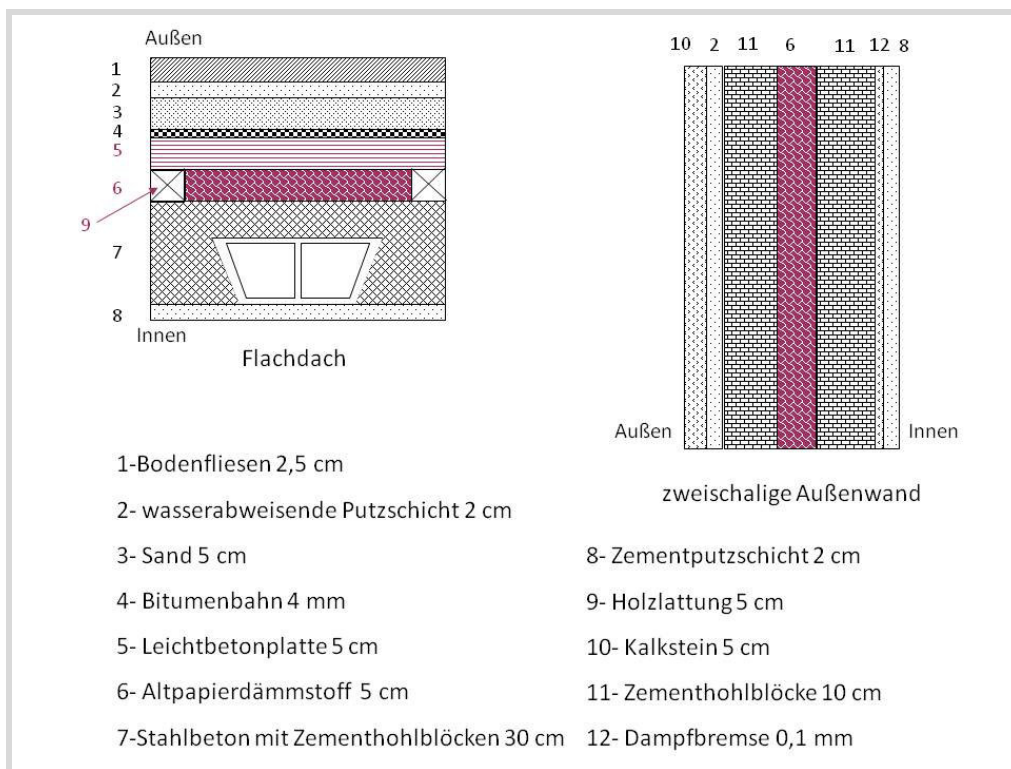


Abbildung 15: Dämmung mit Altpapierdämmstoff in neuer syrischer Bebauung

Flachdächer sind in Syrien üblicherweise begehbare, daher muss die Baukonstruktion sehr stabil und druckfest sein. Beim Einsetzen von herkömmlichen Dämmstoffen im Flachdach wird das Dämmmaterial auf dem Stahlbeton verlegt. Eine Betonschicht wird auf die Wärmedämmung aufgebracht [syrische Wärmedämmverordnung 2007]. Um einen Hohlraum im Flachdach herzustellen, damit ein AP-Dämmstoff eingeblasen werden kann, kann eine Leichtbetonplatte mit einem Abstand zum Flachdach befestigt vorgeschlagen werden, da die Leichtbetonplatte stabil ist, so dass das Flachdach begehbare bleibt. Die zusätzlichen Schichten (Leichtbetonplatte, Dämmschicht)

führen zu einer größeren Höhe des Flachdachaufbaus um 10 cm, da die anderen Schichten üblicherweise vorhanden sind oder im Neubau entsprechend ausgeführt werden (siehe Anhang B, Abbildung B 1). In Abbildung 15 sind die Vorschläge des Aufbaus der gedämmten Wand und des Daches dargestellt. Auch hier ist jeweils auf eine Dampfbremse zu achten.

5.2 Auswahl eines Gebäudetyps

In dieser Arbeit wird das Augenmerk auf die Wohnbebauung gelegt, da die Wohnhäuser im Gegensatz zu öffentlichen und geschäftlich genutzten Gebäuden Tag und Nacht genutzt werden und dort daher mit einem relativ hohen Energieverbrauch zu rechnen ist.

Die Wärmedämmung der Wohngebäude fällt nicht in die Verantwortlichkeit der syrischen Regierung. Die Regierung verlangt aber, dass alle Wohngebäude gedämmt werden müssen. Die finanzielle Belastung für die Gebäudedämmung liegt beim Hauseigentümer, deswegen wird es ein wichtiges Ziel sein, die Bevölkerung von der Wärmedämmung zu überzeugen und ihnen die Wirtschaftlichkeit der Verwendung von Dämmstoffen bezüglich der Energieeinsparung zu zeigen.

Der gesamte Energieverbrauch von Wohnhäusern im ländlichen Raum ist durch die geringere Wohndichte niedriger als in der Stadt, besonders im Winter durch den Umzug vieler Jugendlicher in die Stadt zum Studieren und Arbeiten. Der bescheidene Lebensstil auf dem Land bewirkt einen niedrigeren Energiebedarf im Vergleich zu dem in der Stadt. Des Weiteren gibt es auf dem Land wenig Bedarf an Wärmedämmung, da durch die eingesetzten Baumaterialien bei den alten Gebäuden z.B. Lehmziegel, die Dämmeffekte erfüllt werden können [Hantouch 2009]. Die neuen Gebäude auf dem Land werden von wohlhabenden Bürgern als Sommerwohnung gebaut, für die eine Dämmung der Gebäude wirtschaftlich keine nennenswerte zusätzliche Belastung darstellt. Aus diesen Gründen liegt der Focus bei der weiteren Betrachtung auf der städtischen Wohngebäudedämmung, die in einem Rechenmodell näher untersucht werden soll.

Referenzgebäude in der Stadt Homs:

Nach der syrischen Statistik [Cbs 2011] ergibt sich, dass die durchschnittliche syrische Familie aus 6 Personen besteht.

Nach einer Studie besteht eine Wohnung für 6 Personen aus Gastzimmer, Wohnzimmer, 3 Schlafzimmern und Küche. Die Wohnfläche für einen Bewohner mit mittleren Einkommen beträgt ca. 25 m². Daraus ergibt sich eine Wohnfläche für 6 Personen mit ca. 145 bis 150 m² [MAM 2009]. In der Arbeit hat eine Wohnung 145 m² Fläche wie in Abbildung 16 gezeigt ist.

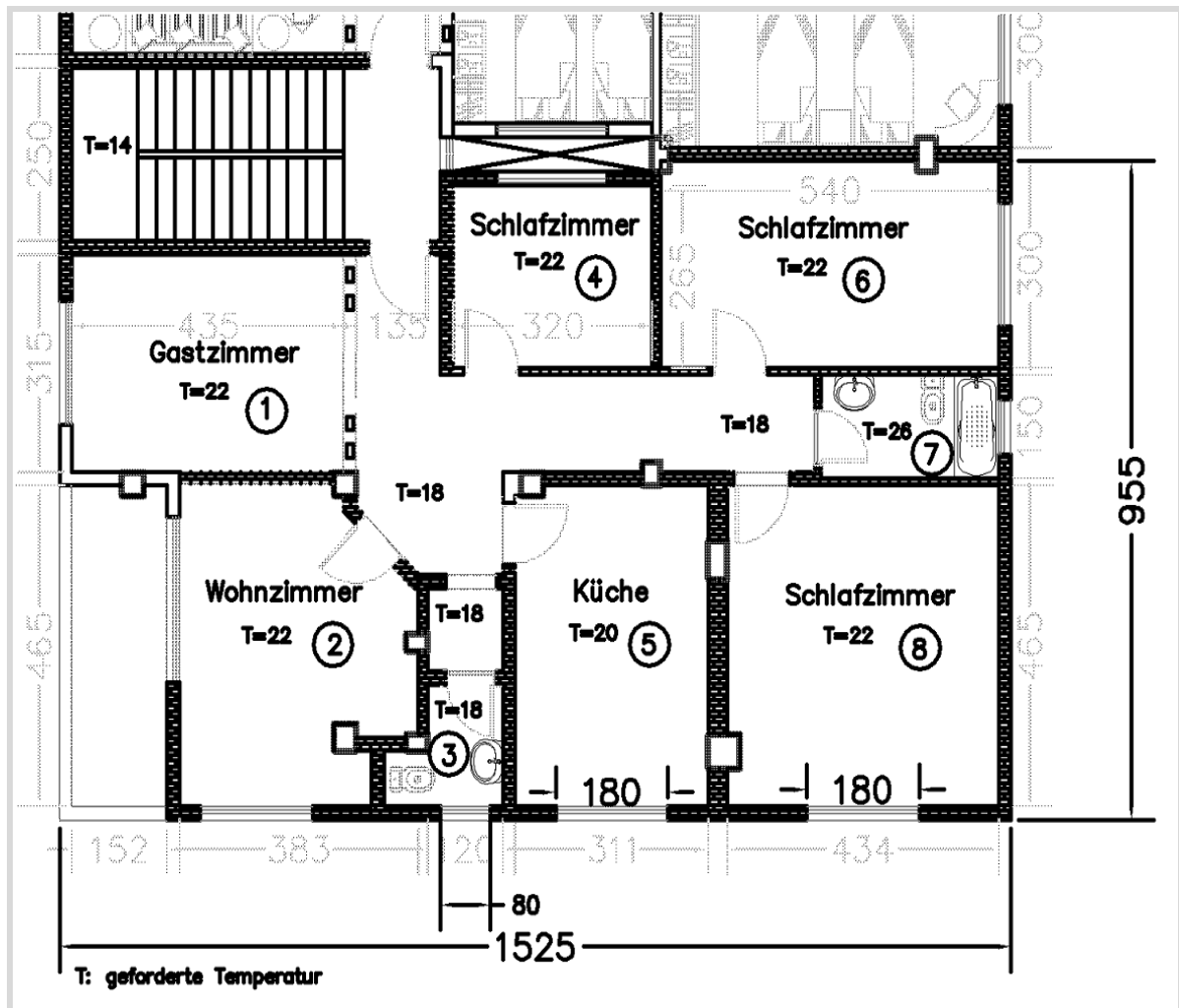


Abbildung 16: Grundriss für eine typische syrische Wohnung in Homs

Die Häuser werden meist mehrstöckig gebaut. Daher und nach der Orientierung an dem in der syrischen Verordnung für Wärmedämmung eingeführten Beispiel von einem typischen Gebäude, wird ein Gebäude mit 4 Stockwerken, mit jeweils 2 Wohnungen pro Etage, als Referenzgebäude für die Stadt Homs ausgewählt. In Abbildung 16 wird der Grundriss einer Wohnung mit der Zimmerverteilung und den Zimmerdimensionen dargestellt.

Die Solltemperaturen für die einzelnen Wohnbereiche ändern sich laut der syrischen Wärmedämmverordnung nach der Nutzungsart der Wohnung. Die zu Grunde gelegten Temperaturen der Räume werden im Grundriss gezeigt. Für ein behagliches Wohnraumklima ist eine Luftfeuchtigkeit zwischen 40 und 50 % in allen Räumen erforderlich. Als durchschnittliche Luftfeuchtigkeit werden 45 % angenommen.

Trotz der Klimaunterschiede in den unterschiedlichen Regionen in Syrien haben die unterschiedlichen Temperaturen nur einen kleinen Einfluss auf die benötigten und zu berechnenden physikalischen Größen, wie z.B. den Wärmedurchgangkoeffizienten. Die Einwohner verteilen sich zum größten Teil auf die Küsten- und Innenregion. In der Wüste befinden sich nur wenige Städte. Die Stadt Homs kann, da sie in der Innenregion liegt, als ein gutes Beispiel für die anderen Städte dienen.

5.3 Szenarien für ein Rechenmodell

Die untersuchten Szenarien sowie die Wärmeleitfähigkeit λ der unterschiedlichen Dämmstoffe, die angenommene Schichtdicke sind wie in Tabelle 10 angegeben gekennzeichnet. Die Szenarien umfassen die syrischen Bautypen, die entweder mit Dämmstoff saniert oder während der Bauausführung gedämmt werden können. Hauptsächlich werden die neuen syrischen Gebäude mit Steinwolle, Polystyrol oder Polyurethan jeweils mit 5 cm Schichtdicken gedämmt. Die Dämmwirkung dieser Dämmstoffarten wird bei den unterschiedlichen Bautypen berechnet. Der Einsatz von Altpapierdämmstoff in den unterschiedlichen Bautypen wird für verschiedene Dämmschichtdicken (5, 7 und 10 cm) berechnet, um die Dämmwirkung im Gegensatz zu der herkömmlichen Dämmung zu vergleichen.

Mit Hilfe eines Rechenmodells sollen unterschiedliche Szenarien für verschiedene Dämmstoffarten im Referenzgebäude analysiert werden. Neben den in Syrien eingebauten üblichen Dämmschichtdicken bei den gebräuchlichen Dämmstoffen, werden für den AP-Dämmstoff unterschiedliche Dämmschichtdicken untersucht.

Weitere Ansätze für Szenarien im Rechenmodell bilden Varianten bei der Dämmung bestehender Neubauten bzw. Altbauten und die Dämmung beim Neubau.

Tabelle 10: analysierte Szenarien im Rechenmodell

Szenario-Kennzeichen	Bauart	Dämmstoffart	λ [W/(m·K)]	Schichtdicke [cm]
bst.Ab.O	bestehender Altbau	_____	_____	_____
bst.Nb.O	bestehender Neubau	_____	_____	_____
bst.Ab.SW.5	bestehender Altbau	Steinwolle	0,040	5
bst.Ab.EPS.5	bestehender Altbau	Polystyrol (EPS)	0,039	5
bst.Ab.PUR.5	bestehender Altbau	Polyurethan (PUR)	0,023	5
bst.Ab.AP.5	bestehender Altbau	Altpapierdämmstoff	0,040	5
bst.Ab.AP.7	bestehender Altbau	Altpapierdämmstoff	0,040	7
bst.Ab.AP.10	bestehender Altbau	Altpapierdämmstoff	0,040	10
bst.Nb.SW.5	bestehender Neubau	Steinwolle	0,040	5
bst.Nb.EPS.5	bestehender Neubau	Polystyrol (EPS)	0,039	5
bst.Nb.PUR.5	bestehender Neubau	Polyurethan (PUR)	0,023	5
bst.Nb.AP.5	bestehender Neubau	Altpapierdämmstoff	0,040	5
bst.Nb.AP.7	bestehender Neubau	Altpapierdämmstoff	0,040	7
bst.Nb.AP.10	bestehender Neubau	Altpapierdämmstoff	0,040	10
Nb.SW.5	Neubau	Steinwolle	0,040	5
Nb.EPS.5	Neubau	Polystyrol (EPS)	0,039	5
Nb.PUR.5	Neubau	Polyurethan (PUR)	0,023	5
Nb.AP.5	Neubau	Altpapierdämmstoff	0,040	5
Nb.AP.7	Neubau	Altpapierdämmstoff	0,040	7
Nb.AP.10	Neubau	Altpapierdämmstoff	0,040	10

Durch das in Microsoft-Excel angelegte Rechenmodell werden Wärmegewinn, Wärmeverlust, Dämmstoffmengen und die Dämmstoffkosten für die unterschiedlichen Szenarien berechnet. Der Energiebedarf für die gedämmten Gebäude wird mit dem Energiebedarf für die ungedämmten Gebäude verglichen. Die Amortisationszeit der Dämmmaterialien wird für alle gedämmten Gebäude berechnet.

Die unter Abschnitt 5.1. beschriebenen Baukonstruktionen werden im Rechenmodell untersucht.

5.4 Beschreibung des Rechenmodells

Nach der Wärmeleitfähigkeit und der Schichtdicke der unterschiedlichen Schichten eines Bauelementes wird der Wärmedurchlasswiderstand berechnet.

Der Wärmedurchgangskoeffizient U eines Bauelements der unterschiedlichen Bauarten (bestehender Altbau, bestehender Neubau oder Neubau) mit unterschiedlichen Dämmstoffarten gedämmt, ergibt sich nach der folgende Gleichung (5.1) mit Berücksichtigung der syrischen Rahmenbedingungen.

$$U = \frac{1}{R_{si} + R_c + R_{se} + \sum_{i=1}^n \frac{d_i}{\lambda_i}} \quad (5.1)$$

U	Wärmedurchgangskoeffizient [W/(m ² ·K)]
R_{si}	Wärmeübergangswiderstand, innen [m ² ·K/W]
R_c	Wärmeübergangswiderstand der Luftschicht [m ² ·K/W]
R_{se}	Wärmeübergangswiderstand, Außen [m ² ·K/W]
d	Schichtdicke einer Schicht im Bauelement [m]
λ	Wärmeleitfähigkeit einer Schicht im Bauelement [W/(m·K)]
i	Auf die Schicht bezogen bis zu n Schichten im Bauelement

Die R_{si} , und R_c Werte werden nach DIN EN ISO 6946 Tabelle 1 und 2 angesetzt. Der R_{se} -Wert wird für eine Windgeschwindigkeit von 6 km/h, wie sie für Homs typisch ist, mit 0,035 [m²·K/W] eingesetzt [DIN EN ISO 6946 Tabelle A2]. Der Wärmeübergangswiderstand der Luftschicht (R_c Wert) in einer Baukonstruktion wird für eine 5 cm dicke Luftschicht in der Außenwand im bestehenden Bau mit 0,11 [m²·K/W] eingesetzt (siehe Beispiel in Anhang B, Tabelle B 1) [syrische Wärmedämmverordnung 2007] [DIN EN ISO 6946 2008]. Die Wärmeleitfähigkeitswerte der unterschiedlichen Schichten werden nach der syrischen Wärmedämmverordnung angesetzt. Für die Fenster wurde angenommen, dass sie aus einer Einfachverglasung im ungedämmten Gebäude und aus einer Doppelverglasung im gedämmten Gebäude bestehen. Die Rahmenfläche beträgt 21% der gesamten Fensterfläche, wenn mit einer Rahmbreite von 7 cm gerechnet wird. Die Fensterkosten mit Doppelverglasung (93,34 €/m²) sind um ca. 40 % höher als die Fensterkosten (66,67 €/m²) mit Einfachverglasung [Jabbour 2012]. Türen werden in Syrien aus Holz hergestellt. Wärmedurchgangskoeffizienten für Fenster und Türen sind in Tabelle 11 angegeben [Zedan 2009].

Tabelle 11: Angenommene Wärmedurchgangskoeffizienten U [W/(m².K)]

	ungedämmtes Gebäude	gedämmtes Gebäude
Fenster	5,7	3,3
Tür	1,8	1,8
Tür _{innen}	2,8	2,8

Beruhend auf einer durchschnittlichen Außentemperatur im Winter von -3 °C, wie sie in der syrischen Wärmedämmverordnung angegeben ist, und den in der Abbildung 16 zu Grunde gelegten Innentemperaturen, sowie der Bauelementfläche, wird der Transmissionswärmestrom nach der folgenden Formel (5.2) in einer Wohnung und anschließend im gesamten Wohngebäude bestimmt.

$$Q_T = U \cdot A_E \cdot (\vartheta_i - \vartheta_e) \quad (5.2)$$

- Q_T Transmissionswärmestrom [W]
 A_E Umfassungsfläche eines Bauelementes [m²]
 ϑ_i Lufttemperatur im Raum [°C]
 ϑ_e Lufttemperatur Außen [°C]

Der Lüftungswärmestrom durch ein Bauteil hängt vom ausgetauschten Luftvolumen und der Temperaturdifferenz ab und wird nach der folgenden Gleichung (5.3) berechnet, wobei die Luftwechselzahl im Schlafzimmer oder im Gastzimmer n=1, im Badezimmer oder in der Küche n=4 und im Wohnzimmer n=1,5 betragen [syrische Wärmedämmverordnung 2007]. Die spezifische Wärmekapazität der Luft und die Luftdichte werden durch die Zahl 0,34 [Wh/m³.K] angegeben.

$$Q_L = 0,34 \cdot n \cdot V \cdot (\vartheta_i - \vartheta_e) \quad (5.3)$$

- Q_L Lüftungswärmestrom [W]
 n Luftwechselanzahl [h⁻¹]
 V Beheiztes Raumvolumen [m³]

Die solaren Gewinne Q_S werden wie folgend (Gleichung 5.4) berechnet

$$Q_s = \sum (I_s \cdot 0,567 \cdot g_i \cdot A_i) \quad (5.4)$$

- Q_s Solare Gewinne [kWh/a]
 I_s Solare Einstrahlung je nach Orientierung der Fensterflächen [kWh/m²·a]
 g_i Gesamtenergiedurchlassgrad der Verglasung
 A_i Fläche der Fenster [m²]

Hier ist eine Angabe der Fensterflächen, aufgegliedert nach Himmelsrichtungen bzw. Dachneigungen erforderlich. Die solare Einstrahlung der Fensterflächen wird für Südost bis Südwest mit 270 [kWh/m²·a], für Nordwest bis Nordost mit 100 [kWh/m²·a] und für übrige Richtungen mit 155 [kWh/m²·a] angesetzt [EnEV 2001]. Der Gesamtenergiedurchlassgrad der Verglasung g_i beträgt 0,86 für Einfachverglasung und 0,76 für Doppelverglasung nach der Norm [DIN V 4108-6]. Ein Beispiel für die Berechnung von Wärmemenge ist in Anhang 0B, Tabelle B 2 eingefügt.

Die internen Wärmegewinne Q_i werden für Personen und Geräte mit 5 [kWh/m²·a] angenommen. Damit wird die Wärmemenge Q [kWh/a] für das gesamte Gebäude nach der folgenden Formel (5.5) berechnet, wobei die Betriebszeit der Heizungsanlage im Wohngebäude 8 h an 150 Tagen in der kalten Jahreszeit beträgt [syrische Wärmedämmung 2007].

$$Q = Q_T + Q_L - Q_s - Q_i \quad (5.5)$$

Die Kühllast ergibt sich nach VDI 2078 aus der Summe der inneren Kühllast und der äußeren Kühllast nach der Formel (5.6). In Homs liegt die durchschnittliche Temperatur im Sommer bei 38°C und die Luftfeuchtigkeit bei 30 % [syrische Wärmedämmverordnung 2007]. Die erforderliche Raumlufteuchte liegt bei 45 %. Die Berechnungen werden für einen Julitag in der Mittagszeit um 14:00 Uhr durchgeführt, da der Juli der wärmste Monat ist und die höchsten Temperaturen gegen 14:00 Uhr erreicht werden.

$$Q_{Ktr} = Q_i + Q_{AV} \quad (5.6)$$

- Q_{Ktr} Kühllast [W]
 Q_i Innere Wärmequellen [W]
 Q_{AV} Äußere Wärmequellen [W]

Die inneren Wärmequellen bestehen nach der Formel (5.7) aus der Wärmeabgabe der Menschen, der Beleuchtungswärme, der Maschinen- und Gerätewärme, der Kühllast durch Stoffdurchsatz und infolge unterschiedlicher Nachbartemperaturen.

$$Q_I = Q_P + Q_B + Q_M + Q_G + Q_R \quad (5.7)$$

- Q_P Kühllast durch Personen [W]
- Q_B Kühllast durch Beleuchtung [W]
- Q_M Kühllast durch Maschinen und Geräte [W]
- Q_G Kühllast durch Stoffdurchsatz [W]
- Q_R Kühllast infolge unterschiedlicher Nachbarraumtemperatur [W]

Die Personenanzahl wurde mit 1 Person pro Raum angesetzt. Für eine Wohnung mit 6 Räumen werden daher 6 Personen in der Berechnung berücksichtigt. Für die trockene Wärmeabgabe des menschlichen Körpers werden 90 W und für die feuchte Wärmeabgabe 30 W in allen Zimmern mit 22 °C nach den Angaben in Tabelle A1 in der Norm VDI 2078 angesetzt. Da die Temperatur in der Küche bei 20°C liegt und der Temperaturunterschied zu den anderen Räumen nicht sehr groß ist, wird die Wärmegabe des Menschen in der Küche auch mit 90 W angenommen. Der Kühllastfaktor wird in Tabelle A5 in VDI 2078 angegeben und in dieser Arbeit mit 0,83 angesetzt, da von einem Schwerbau und einer Belastung von 8:00 bis 20:00 Uhr mit einer Höchsttemperatur um 14:00 Uhr ausgegangen wird. Nach diesen Angaben und der Formel (5.8) wird die Kühllast durch Personen berechnet.

$$Q_P = n_P \cdot q_P \cdot S_i \quad (5.8)$$

- n_P Anzahl der Personen
- q_P Wärmeabgabe des menschlichen Körpers [W]
- S_i Kühllasten für innere Lasten

Die Kühllast durch Beleuchtung Q_B wird vernachlässigt, da die Beleuchtung in Syrien um 14:00 Uhr nicht benutzt wird.

Die innere Temperatur ist in den Zimmern ungefähr gleich und nur im Bereich des Erdreiches liegt sie bei 10°C, daher wird die Kühllast infolge unterschiedlicher Nachbarraumtemperaturen Q_R für das Erdgeschoss berechnet.

$$Q_R = U \cdot A_B \cdot \Delta\vartheta \quad (5.9)$$

U Wärmedurchgangskoeffizient [W/m².K]

A_B Fläche des Bauelementes [m²]

$\Delta\vartheta$ Temperaturdifferenz

Da in Wohnungen üblicherweise keine Maschinen und Geräte mit großer Wärmeabgabe zum Einsatz kommen, wird die Kühllast durch Maschinen und Geräte Q_M nicht berücksichtigt. Ebenfalls kann auch der Wärmeeintrag durch einen Stoffdurchsatz Q_G vernachlässigt werden.

Die äußeren Wärmequellen Q_{AU} bestehen aus dem Wärmedurchgang durch Außenwände und Dächer Q_W , Transmission Q_T und Strahlungswärme Q_S durch Fenster.

Die Bundesrepublik Deutschland wird für die Zuordnung der Außenlufttemperaturen in charakteristische Kühllastzonen eingeteilt. Da die Außentemperaturen in Syrien den Außentemperaturen der Flusstalklimata in Deutschland ähneln, werden die Temperaturen für weitere Berechnungen für die Klimazone 4 (Flusstalklima) dem Regelwerk VDI 2078 Tabelle A 17 entnommen. Der Wärmedurchgang durch Außenwände und Dächer Q_W [W] wird wie folgt berechnet.

$$Q_W = U \cdot A_B \cdot \Delta\vartheta_{\text{eq1}} \quad (5.10)$$

U Wärmedurchgangskoeffizient [W/m².K]

$\Delta\vartheta_{\text{eq1}}$ Korrigierte äquivalente Temperaturdifferenz

Für die Juli-Korrektur gilt die folgende Formel (5.11):

$$\Delta\vartheta_{\text{eq1}} = \Delta\vartheta_{\text{eq}} + (\vartheta_{\text{la,m}} - 24,5) + (22 - \vartheta_{\text{LR}}) \quad (5.11)$$

$\Delta\vartheta_{\text{eq}}$ Äquivalente Temperaturdifferenz

$\vartheta_{\text{la,m}}$ Wirklicher Mittelwert der Außenlufttemperaturen [°C]

ϑ_{LR} Wirkliche Raumlufthtemperatur [°C]

Der Mittelwert der Außentemperatur ϑ_{la} liegt rechnerisch bei 32,4 °C. Für das Dach liegt die äquivalente Temperaturdifferenz $\Delta\vartheta_{\text{eq}}$ bei 11,2 °C und ändert sich bei den Wänden nach der Wandorientierung wie in Tabelle 12 dargestellt.

Tabelle 12. Berechnete äquivalente Temperaturdifferenz der Wände

Wandorientierung	$\Delta\vartheta_{\text{äq}}$
Ost	6,5
Nord	0,8
West	3,7
Süd	4,4

Die Kühllast infolge von Transmission durch Fenster Q_T [W] wird nach der folgenden Gleichung (5.12) berechnet.

$$Q_T = U_f \cdot A_M \cdot (\vartheta_{L_a} - \vartheta_{L_R}) \quad (5.12)$$

- U_f Wärmedurchgangskoeffizient des Fensters [W/m².K]
 A_M Gesamte Fensterfläche [m²]
 ϑ_{L_a} Außenlufttemperatur [°C]
 ϑ_{L_R} Raumlufttemperatur [°C]

Die 7 cm breiten Fensterrahmen sind aus Metall hergestellt. Davon ausgehend werden die Rahmenflächen und die besonnte Glasfläche A_1 in Bezug auf die Kühllast der Strahlung durch Fenster Q_S berechnet.

$$Q_S = [A_G \cdot I_{\text{max}} + (A - A_1) \cdot I_{\text{diff,max}}] \cdot b \cdot S_a \quad (5.13)$$

- A_G Gesamte Glasfläche [m²]
 A_1 Besonnte Fläche [m²]
 I_{max} Maximalwert für Gesamtstrahlung für den Auslegungsmonat [W/m²]
 $I_{\text{diff,max}}$ Maximalwert für Diffusstrahlung für den Auslegungsmonat [W/m²]
 b Durchlassfaktor der Fenster und Sonnenschutzeinrichtungen
 S_a Kühllastfaktor für äußere Strahlungslasten

Die Maximalwerte für Gesamtstrahlung (Tabelle A 9 bzw. Tabelle 11) und Diffusstrahlung (Tabelle A 10) ergeben sich nach VDI 2078 aus der Himmelsrichtung, Kalendermonat und Ortszeit. Der Durchlassfaktor b wird für Einfachverglasung mit 1,1 und bei Doppelverglasung mit 1,0 angesetzt. Für Raumtyp S (Schwerbau) wird der Kühllastfaktor S_a nach der Himmelsrichtung (Tabelle A 16) bestimmt. Die Berechnung für Kühllast in einer Wohnung wird beispielhaft in Anhang B, Tabelle B 3 eingefügt.

Ausgehend von der Wärmeleistung und dem Wirkungsgrad einer Heizungsanlage sowie den Heizölkosten, werden der Heizölverbrauch und die Heizölkosten im

Wohngebäude für die verschiedenen Dämmstoffe durch die Modellrechnungen bestimmt. Heizungsanlagen werden in Syrien in der Regel zwischen dem 15. November und dem 15. April betrieben. Für eine 8-stündige tägliche Betriebszeit ergeben sich für die Ölheizungen 1.200 Betriebsstunden pro Jahr.

Ein Liter Heizöl kostet in Syrien 7,35 syrische Lira bzw. 0,122 € [syrische Wärmedämmverordnung 2007]. Der Heizwert des Heizöls beträgt 42,7 MJ/kg. Die Dichte des Heizöls beträgt 0,838 kg/l. Der Wirkungsgrad der Heizungsanlage beträgt 90 % [syrische Wärmedämmverordnung 2007]. Der jährliche Heizölverbrauch für die Erwärmung ergibt sich aus der Formel (5.14):

$$m_{\text{Heizöl}} = \frac{Q \cdot T_B \cdot 3,6}{H_{U_{\text{Heizöl}}} \cdot \rho_{\text{Heizöl}} \cdot \eta_H} \quad (5.14)$$

$m_{\text{Heizöl}}$	Jährlicher Heizölverbrauch [l/a]
Q	Wärmemenge [kW]
T_B	Betriebszeit [h/a]
$H_{U_{\text{Heizöl}}}$	Heizwert des Heizöls [MJ/kg]
$\rho_{\text{Heizöl}}$	Heizölldichte [kg/l]
η_H	Wirkungsgrad der Heizungsanlage

Nach dem berechneten Kühllastwert und dem Wirkungsgrad einer Klimaanlage von 300 % sowie Stromkosten von 0,042 €/kWh [syrische Wärmeverordnung 2007], werden Stromverbrauch und Stromkosten für 105 Tage, zwischen dem 1. Juni und dem 13. September, bei täglich 10-stündiger Betriebszeit berechnet.

$$W_{St} = \frac{Q_{Ktr} \cdot T_B}{\eta_K} \quad (5.15)$$

W_{St}	Jährlicher Stromverbrauch [Wh/a]
Q_{Ktr}	Kühllast des Wohngebäude [W]
η_K	Wirkungsgrad der Klimaanlage

Eine Zusammenfassung der angewendeten Formeln ist in (Anhang B, Abbildung B 3) zu finden.

Die spezifischen AP-Dämmstoffkosten werden nach den geschätzten Rohstoffpreisen (siehe Kapitel 5.5.2) und dem berechneten Energiebedarf für die Herstellung der Dämmstoffe abgeschätzt. Mit den spezifischen Dämmstoffkosten und der gedämmten Fläche des Wohngebäudes werden die Dämmkosten für die unterschiedlichen

Dämmstoffe berechnet. Benötigte Dämmstoffmengen werden nach der Dichte des Dämmstoffs und der Dämmfläche berechnet. Dämmstoffreste werden bei der Verarbeitung berücksichtigt, wenn Dämmplatten im Gebäude eingesetzt werden.

Zu den Grundkosten zählt man die Dämmstoffkosten und die Kosten einer Heizungsanlage und einer Klimaanlage, die in Tabelle 13 nach der syrischen Wärmedämmverordnung angegeben sind [syrische Wärmedämmverordnung 2007]. Die Kosten der unterschiedlichen Fensterarten werden in die Grundkosten einberechnet. Jährliche zusätzliche Kosten entstehen durch die Wartung der Heizungs- und Klimaanlage. Mit der jährlichen Abschreibung von 2 % für die Dämmstoffe und jeweils 5 % für Heizungs- und Klimaanlage (Nutzungsdauer Gebäude 50 Jahre; Heizung- und Klimaanlage 20 Jahre) wird die Amortisationszeit nach folgender Formel (5.16) berechnet:

$$t_{Am} = \frac{K_{Gr}}{K_{Ab} + S} \quad (5.16)$$

t_{Am} Amortisationszeit [a]
 K_{Gr} Grundkosten [€]
 K_{Ab} Jährliche Abschreibung [€/a]
 S Jährliche Einsparung [€/a]

Tabelle 13: Heizung-, und Klimaanlagekosten nach der syrischen Wärmedämmverordnung

	ungedämmtes Wohngebäude	gedämmtes Wohngebäude
Investitionskosten Heizungsanlage [€]	22.000	13.000
Investitionskosten Klimaanlage [€]	7.000	6.000
Wartung Heizungsanlage [€/a]	700	700
Wartung Klimaanlage [€/a]	200	200

Die jährliche Einsparung ergibt sich durch die Differenz zwischen den jährlichen variablen Kosten eines gedämmten Gebäudes (Heizölkosten, Stromkosten und Wartung der Anlagen) und den jährlichen variablen Kosten des ungedämmten Gebäudes.

In Anhang B, Abbildung B 4 sind die Berechnungen von Grundkosten, variablen Kosten, die jährliche Einsparung und die Amortisationskosten dargestellt.

Abbildung 17 zeigt den Aufbau des Rechenmodells, so dass, ausgehend von unterschiedlichen Bauarten mit den verschiedenen Bauelementen und von den Standortrahmenbedingungen, der Wärmedurchgangskoeffizient unter der Berücksichtigung der verschiedenen Dämmstoffarten mit unterschiedlichen Dämmstoffschichtdicken berechnet wird.

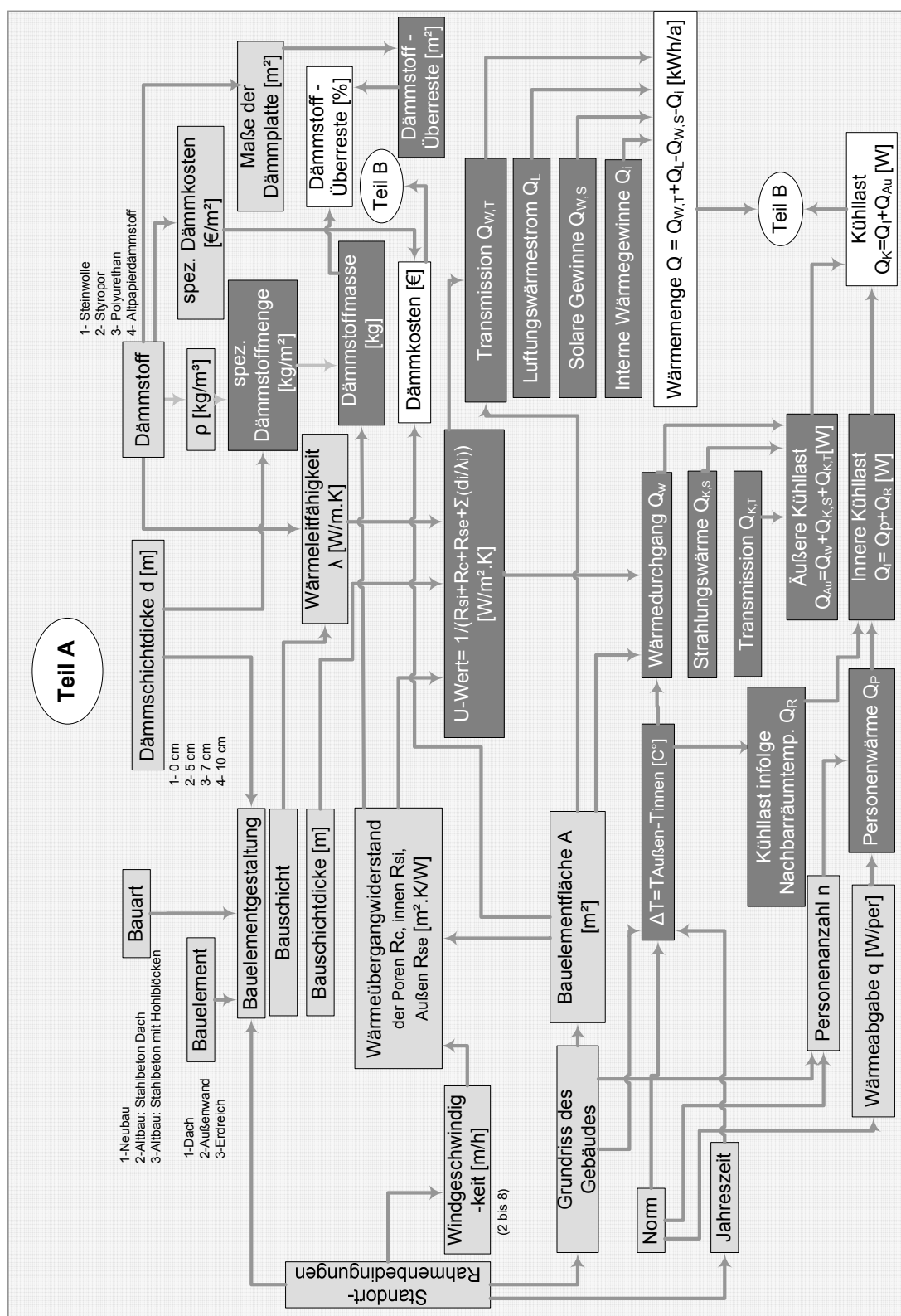


Abbildung 17: Rechenmodell für Wärmemengen- und Kühllastberechnung, Kosten der Dämmstoffe

Basierend auf dem ermittelten Wärmedurchgangskoeffizienten und den Gebäude- und Standortrahmenbedingungen wird die Wärmemenge im Winter und die Kühllast im Sommer des Gebäudes berechnet.

Nach der zu dämmenden Gebäudefläche und den Dämmstoffpreisen werden die Dämmstoffmengen- und -kosten ermittelt.

Wie die Abbildung 18 zeigt, werden der Heizölverbrauch zum Heizen des Gebäudes und die Heizölkosten ausgehend von der ermittelten Wärmemenge, der Heizöleigenschaften und dem Heizölpreis berechnet. Basierend auf der berechneten Kühllast des Gebäudes und dem Strompreis werden der Energieverbrauch zur Kühlung des Gebäudes und die Stromkosten ermittelt. Die Grundkosten (Dämmstoff, Anlagen, Fenster) und die jährlichen zusätzlichen Kosten (Heizöl, Strom, Wartung der Anlagen) werden für alle Szenarien berechnet.

Ein ungedämmtes Gebäude wird als Referenzgebäude herangezogen. Wie die Abbildung 19 zeigt, werden die einzelnen Szenarien gegenüber dem Szenario des ungedämmten Gebäudes gestellt und die jährliche Einsparung und die Amortisationszeit sämtlicher Szenarien berechnet. Dadurch können die unterschiedlichen Szenarien im Rechenmodell untersucht und miteinander verglichen werden.

5.5 Ergebnisse des Rechenmodells

5.5.1 Dämmeffizienz

Durch den Einsatz der im Modell untersuchten Dämmstoffe verringert sich der Wärmestrom des Gebäudes von innen nach außen auf annähernd die Hälfte des Wärmestroms eines ungedämmten Gebäudes im Winter. Die Wärmelast verringert sich im Sommer durch den Einsatz der Dämmstoffe um bis zu 50 %.

Sowohl bei der Sanierung bestehender Alt- und Neubauten als auch bei der Dämmung von neu entstehenden Gebäuden ist die Dämmeffizienz einer 5 cm starken Altpapierdämmschicht ungefähr wirkungsvoll, wie die einer 5 cm starken Steinwoll- oder Polystyrol-Dämmung (siehe Abbildung 20). Im Vergleich zu Polyurethan, schneidet der AP-Dämmstoff mit 5 cm Schichtdicke im Winter um etwa 18 % und im Sommer um ca. 9 % schlechter in Bezug auf seine Dämmwirkung ab.

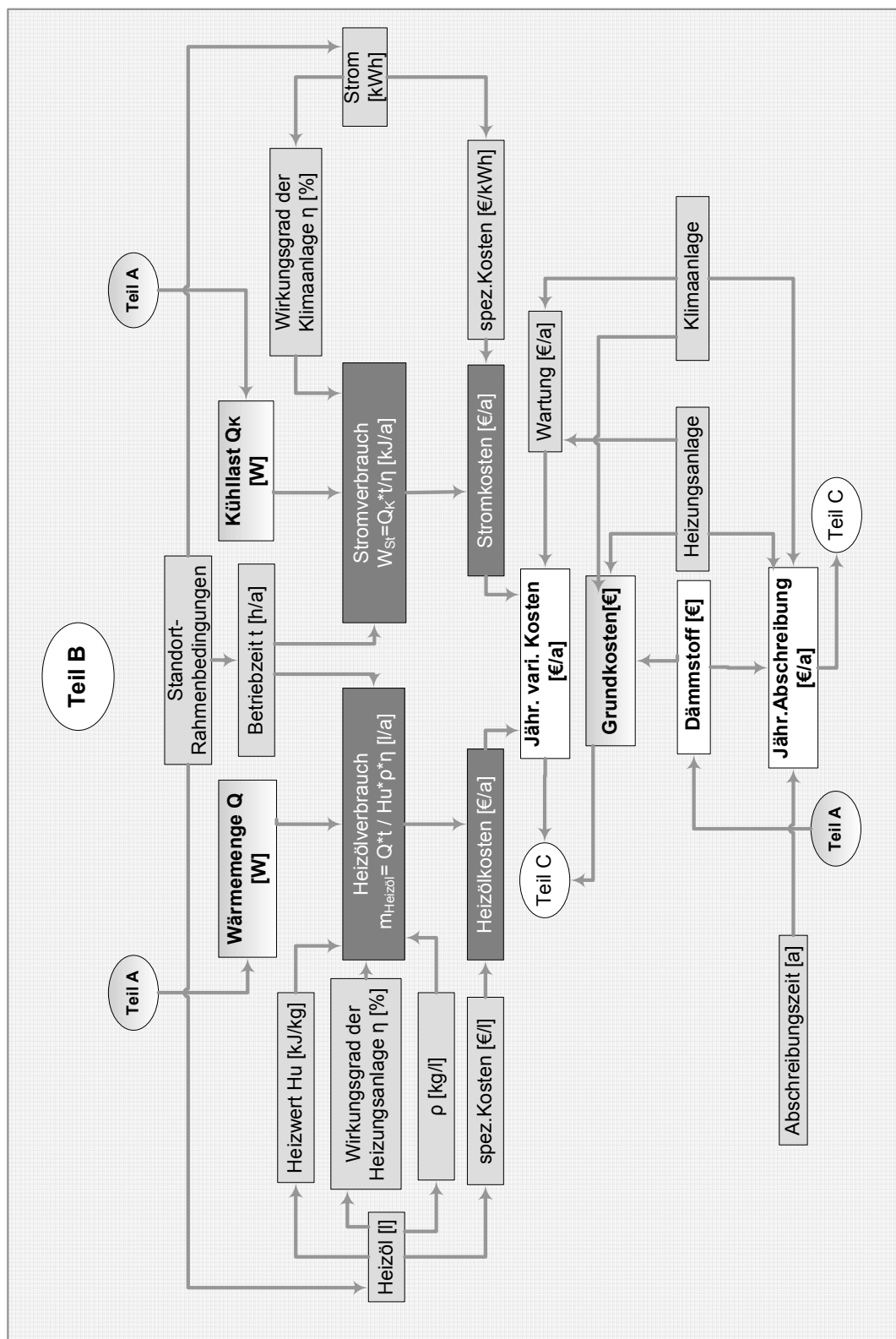


Abbildung 18: Rechenmodell für die Berechnung von Heizölverbrauch, Stromverbrauch, Kosten

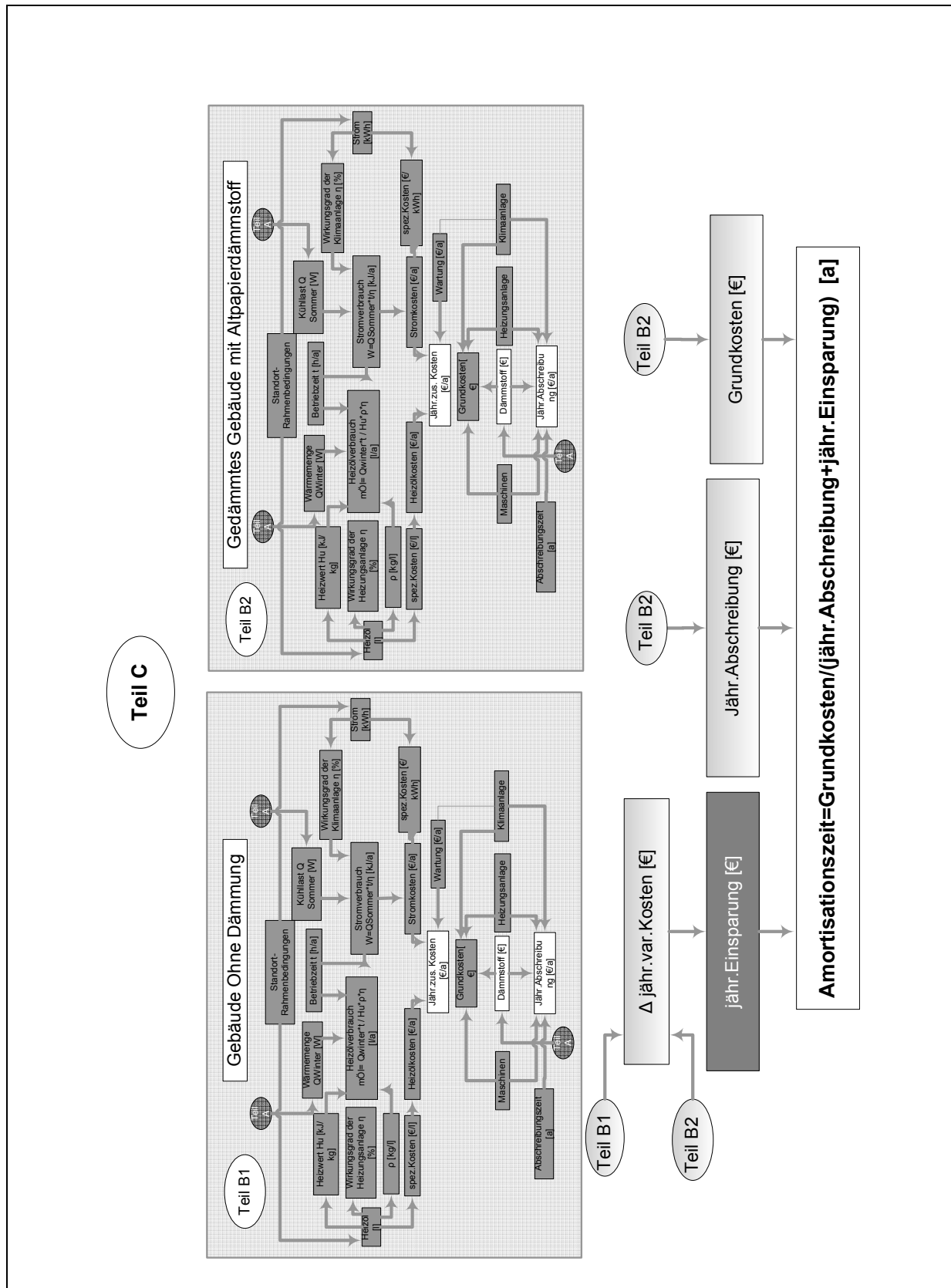


Abbildung 19: Rechenmodell für die Berechnung der Amortisationszeit in den gedämmten Gebäuden

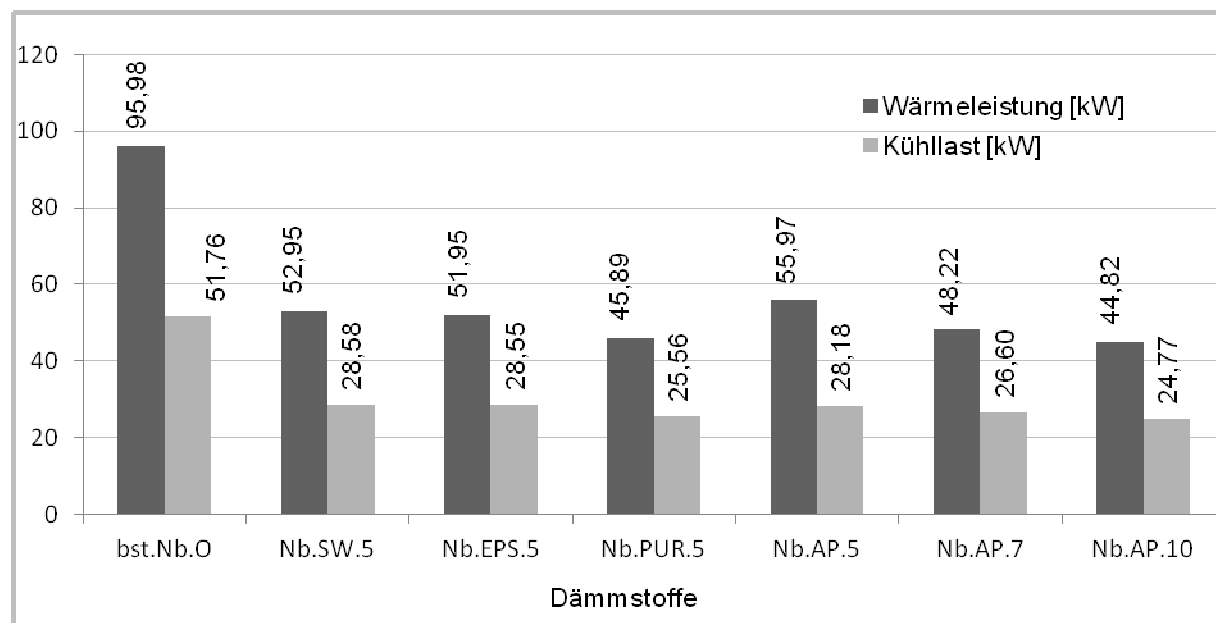


Abbildung 20: Dämmeffizienz im syrischen Neuwohngebäude

Wenn die Schichtdicke bei der AP-Dämmung nur um 2 cm vergrößert wird, erhöht sich die Dämmeffizienz im Winter um ca. 16 % und im Sommer um ca. 6 %. Trotz dieser Verbesserung bleibt der AP-Dämmstoff in seiner Dämmwirkung hinter der 5 cm starken Polyurethandämmung. Erst bei einer Erhöhung der AP-Dämmstoffdicke auf 10 cm wird die gleiche Dämmwirkung wie bei einer 5 cm starken Polyurethandämmung erzielt.

5.5.2 Wirtschaftliche Betrachtung

Die Differenz zwischen den Materialkosten für Altpapier und Borsalz und dem Verkaufspreis des Dämmstoffproduktes repräsentiert die Herstellungskosten und den Gewinn. In den Herstellungskosten sind neben der Anlagenabschreibung im Wesentlichen Personal- und Energiekosten enthalten. Da die Personal- und Energiekosten in Syrien wesentlich geringer sind als in Deutschland und von den deutschen Preisen als Basis für die Kostenabschätzung ausgegangen wird, sind die im Folgenden für Syrien abgeschätzten Werte für Herstellungskosten und AP-Dämmstoffpreis (siehe Tabelle 14) als Maximalwerte anzusehen.

Altpapier für die Dämmstoffherstellung wird in Deutschland für ca. 120 €/Mg eingekauft. Für 1 kg Borsalz zahlt man ca. 0,55 €. Da 1 kg AP-Dämmstoff bei der Herstel-

lung 8 % Borsalz zugesetzt werden, ergeben sich 0,044 € für den Borsalzanteil in einem Kilogramm AP-Dämmstoff. [Küllmer 2009]

Die Herstellungskosten inklusive Verkaufsgewinn betragen etwa das 4-fache der Materialkosten (siehe Tabelle 14). Davon ausgehend wird der Verkaufspreis für einen AP-Dämmstoff in Syrien abgeschätzt. 1 kg Altpapier wird in Syrien an die Papierindustrie für 2,5 syrische Lira abgegeben, wobei 60 syrische Lira etwa 1 Euro entsprechen. Borsalz wird in den arabischen Ländern aus China für ca. 580 €/Mg importiert [Alibaba 2012]. Für 1 kg AP-Dämmstoff werden 8 g Borsalz für 0,005 € eingesetzt.

Tabelle 14: Kostenabschätzung für 1 kg Altpapierdämmstoff in Syrien

	Altpapierkosten		Einheit
	Deutschland	Syrien	
a. Altpapier	0,120	0,042	€/kg _{AP}
b. Borsalz	0,044	0,005	€/kg _{AP}
Materialkosten	0,164	0,047	€/kg _{AP}
Herstellungskosten + Gewinn	0,636	0,188	€/kg _{AP}
Verkaufspreis	0,800	0,235	€/kg _{AP}

kg_{AP}: kg Altpapierdämmstoff

Verbrauchsmenge und Kosten von AP-Dämmstoff ändern sich je nach Schichtdicke.

Aus der Dichtetabelle isofloc L [isofloc 2003] ergibt sich für Dächer mit einer Neigung < 60° und für Wände jeweils mit einem Sparrenabstand von 70-80 cm eine Mindestdichte von 47,04 kg/m³ für den eingeblasenen AP-Dämmstoff. Für die Berechnung kann daher mit einer Dämmstoffdichte von 50 kg/m³ ausgegangen werden. Nach der Berechnung in Tabelle 13 wird für Syrien für 1 kg AP-Dämmstoff ein Preis von ca. 0,235 € angesetzt. Für 1 m³ AP-Dämmstoff ergibt sich damit ein Preis von 11,75 €/m³. In Tabelle 15 werden die aktuellen Preise der konventionellen Dämmstoffe in Syrien, wie sie vom dortigen Wohnungsbauministerium angegeben werden und die nach eigener Abschätzung zu erwartenden Preise für AP-Dämmstoff gegenübergestellt. Man sieht einen deutlichen Preisvorteil des AP-Dämmstoffs gegenüber den konventionellen Dämmstoffen aus Mineralfasern bzw. Polystyrol oder Polyurethan.

Tabelle 15: Dämmstoffkosten in Syrien

	SW 5cm	EPS 5cm	PUR 5cm	AP 5cm	AP.7cm	AP.10cm	Einheit
Preis	9,75	3,75	5,83	0,59	0,82	1,18	€/m²

Wenn der AP-Dämmstoff mit einer Schichtdicke von 5 cm eingesetzt wird, ergibt sich eine Ersparnis von ca. 84 % gegenüber dem Einsatz von Polystyrol und ca. 94 % gegenüber der Steinwolle. Bei einer AP-Dämmung mit 10 cm Schichtdicke spart man immer noch 68 % in Bezug auf die 5 cm starke Polystyrol-Dämmung und bis zu ca. 88 % im Vergleich zu einer 5 cm starken Steinwoll-Dämmung.

Aus dem Rechenmodell (Kapitel 5.4) ergeben sich die Gesamtkosten für die Gebäudedämmung im Neubau wie in Abbildung 21 dargestellt.

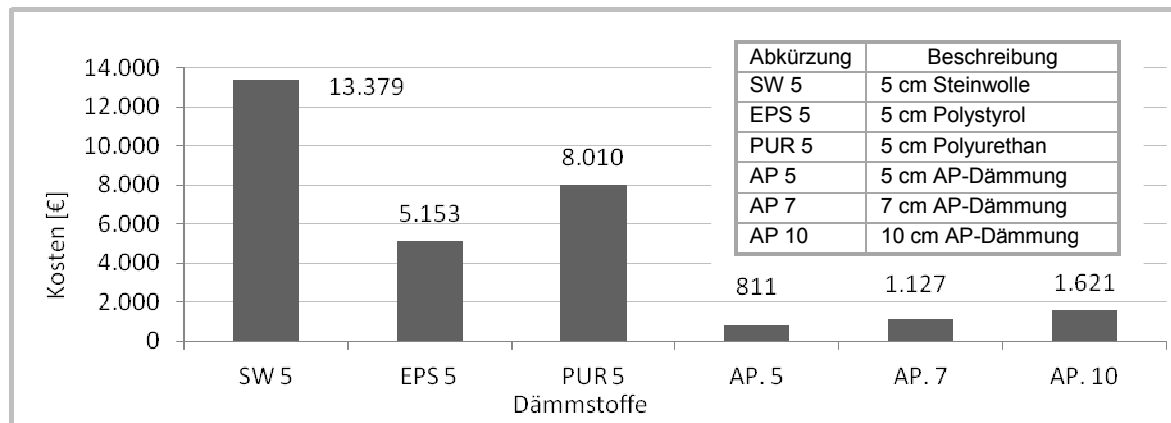


Abbildung 21: Dämmkosten im syrischen Neubau

Die Dämmkosten bei der Sanierung von bestehenden Gebäuden sind geringer als beim Neubau, da bei der Dämmung von bestehenden Bauten die Bodenfläche entfällt (siehe Abbildung 22).

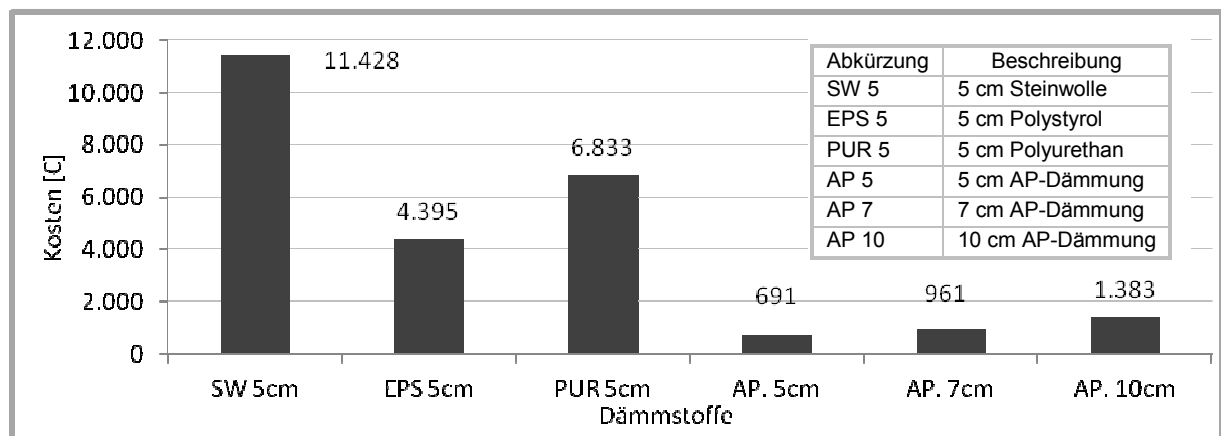


Abbildung 22: Dämmkosten im syrischen bestehenden Bau

Die Dämmkosten machen bei der Dämmung im Neubau von Steinwolle ca. 14 % der Baukosten in Syrien aus, wobei die Baukosten bei ca. 85 €/m² liegen [Malaab 2012]

und für das 4-geschossige Gebäude mit 2 Wohnungen (145 m²) pro Etage somit 98.600 € betragen. Die Dämmung mit 10 cm AP-Dämmstoff macht ca. 1,6 % der syrischen Baukosten aus.

Die Heizölkosten verringern sich durch den Einsatz von 5 cm Steinwolle, Polystyrol oder AP-Dämmstoff um ca. 41 bis 45 % gegenüber den Heizkosten eines ungedämmten Gebäudes. Eine Verringerung der Heizölkosten um ca. 53 % in Bezug auf die Heizkosten für ein ungedämmtes Gebäude wird durch den Einsatz einer 10 cm AP-Dämmschicht oder durch eine 5 cm Polyurethandämmung erzielt (siehe Tabelle 16).

Die Gebäudedämmung bewirkt einen geringeren Energiebedarf für die Raumkühlung durch Klimaanlage. Die Stromkosten der Klimaanlage können im Sommer um ungefähr 45 %, durch die Dämmung mit 5 cm Steinwolle, Polystyrol oder AP-Dämmstoff, abgesenkt werden. Durch die Dämmung mit 10 cm AP-Dämmstoff oder 5 cm Polyurethan können die Stromkosten für den Betrieb der Klimaanlage um ca. 52 % verringert werden (siehe Tabelle 16).

Die Ergebnisse aus dem Rechenmodell für die verschiedenen Neubauszenarien werden in der Tabelle 16 als Absolutwerte sowie als quadratmeterbezogene Werte dargestellt.

Nach den Angaben verschiedener Syrer über den Heizölverbrauch zum Heizen im Winter werden erfahrungsgemäß ca. 10 l/m²-a Heizöl im ungedämmten Gebäude in Syrien verbraucht, was auch durch das Rechenmodell bestätigt wird. In die Berechnung für die Amortisationszeit für die Kosten der Gebäudedämmung fließen die Kosten und Ersparnisse durch die Heizungsanlage, die Klimaanlage und die Dämmung ein.

Nach den in Tabelle 17 angegebenen Ergebnissen der Modellberechnungen für Neubauten ist die Amortisationszeit für ein mit AP-Dämmstoff gedämmtes Gebäude im Vergleich zu den übrigen, betrachteten Dämmstoffen um etwa anderthalb Jahre kürzer. Die Ergebnisse von bestehendem Alt- und Neubau sind in Anhang B in Tabellen B 5, B 6 angegeben.

Platten oder Rollen von Dämmstoffen erzeugen bei der Verarbeitung im Gebäude Dämmstoffreste, da die Maße der Platten oder Rollen nicht exakt zu den Wand- und

Deckenmaßen passen. Die Dämmstoffreste können zum überwiegenden Teil nicht an anderen Stellen eingesetzt werden, deswegen werden sie als Abfall behandelt. Somit beträgt der Verlust durch die Reste nach der Berechnung im Rechenmodell zwischen 4 und 7 % der gesamten Dämmstoffkosten. Der Einsatz des AP-Dämmstoffs erzeugt keinen Abfall und damit verbundene monetäre Verluste.

5.6 Bedarf an Altpapierdämmstoff

Ausgehend von der syrischen Verordnung zur Wärmedämmung von Gebäuden kann man den jährlichen Bedarf an Dämmstoffen für die Wohngebäude nur grob abschätzen. Da in dieser Arbeit die Stadt Homs als Beispiel für Syrien herangezogen wird, wurde die erforderliche Dämmstoffmenge für Homs abgeschätzt. Im Jahr 2008 wurden 2.229 Wohnungen in Homs gebaut [Cbs 2011]. Als typisches Wohngebäude für die Stadt wurde im Rechenmodell angenommen, dass jedes Gebäude 8 Wohnungen beinhaltet. Danach ist mit ca. 280 neu gebauten Gebäuden jährlich in Homs zu rechnen. Da die Statistiken der vergangenen Jahre annähernd konstante Werte für den Bereich der neu geschaffenen Wohnungen liefern, kann die Prognose für den Dämmstoffbedarf auch auf die nächsten 5 Jahre angewandt werden. In den letzten 3 Jahren wurden in Syrien durchschnittlich etwa 15.000/a Wohngebäude gebaut. Die Bevölkerungsanzahl erhöht sich jährlich um mehr als 500.000 Einwohner [Cbs 2011]. Da die Daten über Wohnungsanzahl in Homs von 2008 bekannt sind, werden die Daten von Syrien aus dem Jahr 2008 genommen. Im Jahr 2008 wurden 13.186 Wohngebäude in Syrien gebaut [Cbs 2011].

Im Rechenmodell wurde die Menge des AP-Dämmstoffs in Abhängigkeit von der Schichtdicke des Dämmstoffs berechnet (siehe Tabelle 18).

Ein typisches syrisches Gebäude benötigt 1.374 m² Dämmstoff. Für gesamt Syrien werden ca. 18.000.000 m²/a Dämmstoff zum Dämmen der neu gebauten Gebäude benötigt. Je nach der Dämmstoffart bzw. Dämmstoffdicke und der Dämmschichtdicke ändert sich die benötigte Dämmstoffmasse.

Für die jährliche Gesamtzahl der neu gebauten Gebäude in Homs wird dementsprechend ca. 2.000 Mg AP-Dämmstoff benötigt. Hochgerechnet auf das gesamte Land ergibt sich ein Bedarf von etwa 90.000 Mg AP-Dämmstoff für 13.186 Wohngebäude, wenn mit einer Dämmschichtdicke von 10 cm gerechnet wird.

Tabelle 16: Energiekosten und –Einsparung im syrischen Gebäude (8 Wohnungen)

	bst.Nb.O	Nb.SW.5	Nb.EPS.5	Nb.PUR.5	Nb.AP.5	Nb.AP.7	Nb.AP.10
Heizenergiebedarf [MJ/a]	414.652	228.743	224.437	198.239	241.791	208.331	193.622
Heizölverbrauch [kg/a]	10.790	5.952	5.840	5.158	6.292	5.421	5.038
Heizölverbrauch [l/a]	12.876	7.103	6.969	6.156	7.508	6.469	6.012
Heizölverbrauch [l/m².a]	11,10	6,12	6,01	5,31	6,47	5,58	5,18
Heizölkosten [€/a]	1.577	870	854	754	920	792	737
Heizölkosten [€/m².a]	1,36	0,75	0,74	0,65	0,79	0,68	0,63
Heizöleinspar. [l/a]		5.773	5.907	6.720	5.368	6.407	6.863
Heizöleinspar. [l/m².a]		4,98	5,09	5,79	4,63	5,52	5,92
Heizöleinspar. [%]		44,83	45,87	52,19	41,69	49,76	53,30
Ener.bedarf Kühl.[kWh/a]	18.115	10.004	9.992	8.947	9.862	9.311	8.671
Ener.bedarf Kühl [kWh/m².a]	15,62	8,62	8,61	7,71	8,50	8,03	7,48
Stromkosten [€/a]	760,85	420,18	419,65	375,79	414,22	391,07	364,19
Stromkosten [€/m².a]	0,66	0,36	0,36	0,32	0,36	0,34	0,31
Stromeinspar. [MJ/a]		29.200	29.246	33.006	29.712	31.695	34.000
Stromeinspar.[MJ/m².a]		25,17	25,21	28,45	25,61	27,32	29,31
Stromeinspar. [%]		44,78	44,84	50,61	45,56	48,60	52,13

Tabelle 17: Grundkosten, Variable Kosten, Jährliche Einsparung und Amortisationszeit in den unterschiedlichen Szenarien im neu gebauten Gebäude

	bst.Nb.O	Nb.SW.5	Nb.EPS.5	Nb.PUR.5	Nb.AP.5	Nb.AP.7	Nb.AP.10
Grundkosten [€]							
Inv.Heizungsanlage [€]	22.000	13.000	13.000	13.000	13.000	13.000	13.000
Inv. Klimaanlage [€]	7.000	6.400	6.400	6.400	6.400	6.400	6.400
Dämmkosten [€]	0	13.398	5.153	8.011	811	1.127	1.622
Fensterkosten [€]	13.787	19.301	19.301	19.301	19.301	19.301	19.301
Zwischensumme [€]	42.787	52.097	43.853	46.711	39.511	39.827	40.322
Abschreibungskosten [€/a]							
Dämmstoff [€/a]	0	268	103	160	16	23	32
Heizungsanlage [€/a]	1.100	650	650	650	650	650	650
Klimaanlage [€/a]	350	320	320	320	320	320	320
Fenster [€/a]	689	965	965	965	965	965	965
Zwischensumme [€/a]	2.139	2.203	2.038	2.095	1.951	1.958	1.967
Variable Kosten [€/a]							
Heizölkosten [€/a]	1.577	870	854	754	920	792	737
Stromkosten [€/a]	761	420	420	376	414	391	364
Wartung Heiz.anl. [€/a]	700	700	700	400	700	700	700
Wartung Klimaanlage [€/a]	200	200	200	200	200	200	200
Zwischensumme [€/a]	3.238	2.190	2.173	2.030	2.234	2.084	2.001
Jährl. Einsparung [€]		1.048	1.065	1.208	1.004	1.155	1.237
Jährl. Einsparung [%]		0,32	0,33	0,37	0,31	0,36	0,38
Jährl. Einsparung [€/m²]		1,20	1,22	1,39	1,15	1,33	1,42
Amortisationszeit [a]		10,09	7,91	8,30	6,84	6,60	6,56

Tabelle 18: Jährlich erforderliche Altpapierdämmstoffmenge für Wohngebäude

	Menge [kg]		
Altpapierdämmstoffschichtdicke [cm]	5	7	10
ein Gebäude	3.436	4.810	6.871
neu gebaute Gebäude /a in Homs	962.080	1.346.800	1.923.880
neu gebaute Gebäude /a in Syrien	45.307.096	63.424.660	90.601.006

Die jährlich anfallende Altpapiermenge in Syrien beträgt 54.750 Mg/a nach eigener Abschätzung (siehe Kapitel 4.3). Mit der in diesem Kapitel ermittelten Altpapiermenge von 90.000 Mg könnten demnach ca. 60 % des syrischen Bedarfs an Altpapierdämmstoff abgedeckt werden, wenn mit einer 10 cm Schichtdicke gerechnet wird.

6 Kombination eines Altpapierdämmstoffs mit vorhandener Mineralwolle

Gebäude sind in Deutschland mit unterschiedlichen Dämmstoffen gedämmt. Bei geringerer Dämmschichtdicke ist eine zusätzliche Dämmung erforderlich, um die neuen Regelungen der Energieeinsparverordnung einzuhalten. Eine zusätzliche Dämmung aus Altpapier zur bestehenden Dämmung kann interessant sein, besonders da der AP-Dämmstoff als ökologisch und zudem als preiswert gilt.

Da einerseits der Ausbau und die Entsorgung von Dämmstoffen sehr teuer sein können, andererseits die Materialien aber weiterhin gute Dämmeigenschaften aufweisen, soll versucht werden, alte und neue Dämmverfahren zu kombinieren. Eine Kombination aus AP-Dämmstoff und anderen verbauten Dämmstoffen, der gesundheitlich unbedenklich ist, stellt voraussichtlich auch beim Recycling kein Problem dar. Falls die verbauten Dämmstoffe, wie z.B. alte Mineralwolle, als krebserregend eingestuft sind, besteht jedoch die Gefahr der Vermischung des Neuen, gesundheitlich unbedenklichen Materials mit den alten krebserregenden Mineraldämmstoffen. Durch die Vermischung krebserregender Materialien mit modernen unbedenklichen AP-Dämmstoffen werden diese kontaminiert und später ebenfalls als Sonderabfall eingestuft. Dies wiederum erhöht das Sonderabfallvolumen und somit die Entsorgungskosten bei der Sanierung oder dem Abriss von Gebäuden.

Grundsätzlich kann AP-Dämmstoff nach langem Einsatz wiederverwendet werden, wenn der AP-Dämmstoff sortenrein ist und seine guten Dämmeigenschaften noch vorhanden sind. Die Beschaffenheit des AP-Dämmstoffs bezüglich des Borgehaltes muss nach der Nutzung durch einen Borattest überprüft werden [Küllmer 2009]. Wenn der recycelte AP-Dämmstoff den Anforderungen gerecht wird, kann er in einem anderen Dämbereich wieder eingesetzt werden.

6.1 Recycelfähigkeit des Altpapierdämmstoffs durch das Trennen von gesundheitsgefährdender Mineralwolle

Es muss ein Verfahren angewandt werden, das es ermöglicht, AP-Dämmstoffe auf alte Mineralwolle (vor 1996 produziert) aufzubringen und dabei eine Vermischung der beiden Materialien zu verhindern. Das Lösungsprinzip beruht auf der sicheren Tren-

nung der beiden verwendeten Dämmstoffe. Dadurch wird eine Einstufung des AP-Dämmstoffs als Sonderabfall vermieden.

6.1.1 Versuchsaufbau zur Kombination von Altpapierdämmstoff mit Mineralwolle

Nachfolgend werden verschiedene Möglichkeiten untersucht, den AP-Dämmstoff beim kombinierten Einbau von der alten Mineralwolle sicher abzugrenzen. Die Versuche wurden im Schulungszentrum der Firma isofloc Zellulosewärmedämmung durchgeführt.

Als Kombinationsverfahren können der Einbau von Trennfolien, das Aufsprühen von Bindemitteln oder das Aufsprühen eines feuchten AP-Dämmstoffs zum Einsatz kommen. Der Einsatz zweier unterschiedlicher Faserbindemittel wurde untersucht. Auch das Verarbeitungsverfahren des AP-Dämmstoffs kann eine unbeabsichtigte Vermischung der Materialien bewirken, daher werden sowohl das Auf- als auch das Einblasen von AP-Dämmstoff untersucht.

In einem Vorversuch wurde die erforderliche Menge zweier unterschiedlicher Bindemittel ermittelt, die zur Abdeckung der zu untersuchenden Mineralwollschichten benötigt werden.

Hawetol-Bindemittel wird bei der Asbestsanierung verwendet und ist ein Faserbindemittel, das eine dünnflüssige Konsistenz hat. Die flüssige Konsistenz ermöglicht das Benetzen von Flächen und Eindringen in feine Spalten und Risse. Im Vorversuch wurde festgestellt, dass das durch Aufsprühen aufgebrachte Hawetol so in Risse und Spalten eindringt, dass es nur schwer möglich ist zu erkennen, ob die Mineralwollschicht komplett besprüht ist. Dadurch besteht die Gefahr weitaus mehr oder zu wenig des Bindemittels einzusetzen.

Tiefgrund ist ein günstiges Produkt aus dem Baumarkt und bildet eine weiße Schicht auf der Oberfläche der Mineralwolle, so dass man deutlich erkennt, welche Fläche besprüht wurde. Abbildung 23 verdeutlicht den Unterschied der eingesetzten Bindemittel.

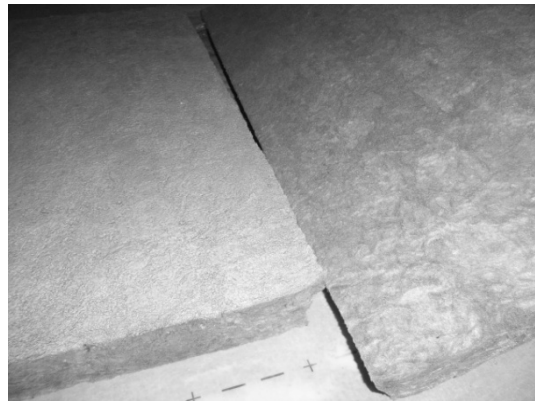


Abbildung 23: Links Glaswolle mit Tiefgrund besprüht, Rechts Glaswolle mit Hawetol besprüht

Für die insgesamt 15 Versuche wurden, um mehrere Versuchsvarianten gleichzeitig durchführen zu können, 6 Kästen mit den Maßen 100 x 70 x 14 cm aufgebaut. In Tabelle 19 sind die untersuchten Kombinationsverfahren aufgelistet.

Tabelle 19: Durchgeführte Kombinationsversuche

Versuch	Versuchsbeschreibung	Bindemittel [kg/m ²] bzw. [ml/m ²]
O-Ab	Unbehandelte MiWo, AP aufgeblasen	
O-Eb	Unbehandelte MiWo, AP eingeblasen	
F-Ab	MiWo mit Folie abgedeckt, AP aufgeblasen	
F-Eb	MiWo mit Folie abgedeckt, AP eingeblasen	
f.AP-Ab	1,5 cm feucht.isofloc gesprüht, AP aufgeblasen	1,46
1.H-Ab	1 x Hawetol, AP aufgeblasen	0,08
1.H-Eb	1 x Hawetol, AP eingeblasen	0,22
2.H-Ab	2 x Hawetol, AP aufgeblasen	0,39
2.H-Eb	2 x Hawetol, AP eingeblasen	0,35
1.TG-Ab	1 x Tiefgrund, AP aufgeblasen	0,41
1.TG-Eb	1 x Tiefgrund, AP eingeblasen	0,31
2.TG-Ab	2 x Tiefgrund, AP aufgeblasen	0,73
2.TG-Eb	2 x Tiefgrund, AP eingeblasen	0,77
2.H-drkt.Ab	2 x Hawetol, direkt AP aufgeblasen	0,36
2.TG-drkt.Ab	2 x Tiefgrund, direkt AP aufgeblasen	0,35

Bei jedem Versuchsaufbau wurde eine 25 Jahre alte Glaswolle mit 4 cm Dicke in die Kästen gelegt. Der isofloc-AP-Dämmstoff wurde nach dem Aufbringen der jeweiligen Trennschicht mittels Einblas- oder Aufblasverfahren eingebracht (Abbildung 24).

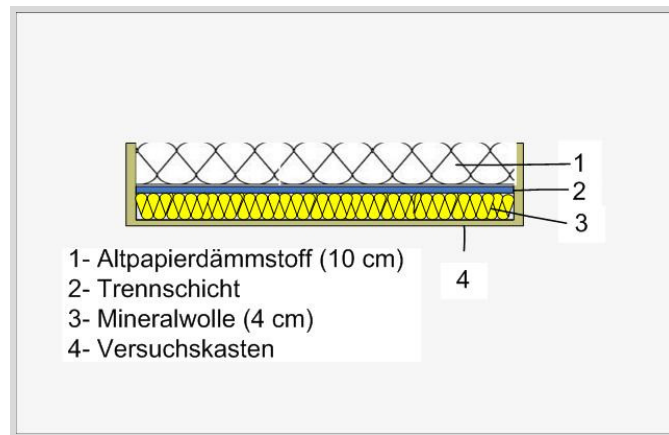


Abbildung 24: Versuchsaufbau

Für das Aufblasverfahren wurde der AP-Dämmstoff durch den Schlauch in den Kasten auf die Trennschicht aufgeblasen (siehe Abbildung 25). Für das Einblasverfahren wurde der Kasten mit einer Platte verschraubt. Durch ein Loch im Kasten wurde durch einen Schlauch der AP-Dämmstoff in den Kasten eingeblasen (Abbildung 26).



Abbildung 25: Aufblasen des Altpapierdämmstoffs im Versuchsmodell



Abbildung 26: Einblasen des Altpapierdämmstoffs im Versuchsmodell

Die Bindemittel brauchen Zeit zum Trocknen. Die Versuchskästen wurden dazu für 24 Stunden in der Versuchshalle unter normalen Klimabedingungen getrocknet. Bei einigen Versuchen wurde die Bindemittelmenge verdoppelt, um festzustellen, wie die Bindemittelmenge auf die Versiegelung der Mineralwolle wirkt.

Da es für die Praxis unwirtschaftlich ist, nach dem Aufbringen des Bindemittels auf das Abtrocknen zu warten, wurden Versuche durchgeführt, bei denen der AP-Dämmstoff auf das noch feuchte Bindemittel aufgebracht wurde.

6.1.2 Probenahme des Altpapierdämmstoffs

Um die Effektivität der jeweiligen Trennschicht zu untersuchen, wurden jeweils drei AP-Dämmstoffproben aus den Versuchsaufbauten mittels Ausstechrohr, mit 10 cm Querschnitt, im Kontaktbereich zur Mineralwolle entnommen. Dazu sticht man das Rohr in den AP-Dämmstoff und dreht es bis zur Kontaktschicht. Ein weiterer Durchgang mit dem Rohr wird entweder wegen der festen Trennschicht oder wegen der festen Struktur der Mineralwolle verhindert. Danach wird das Rohr mit der Probe herausgezogen. Die Probenahme erfolgte nach der Norm [LAGA 2001], wie es in Abbildung 27 dargestellt ist.

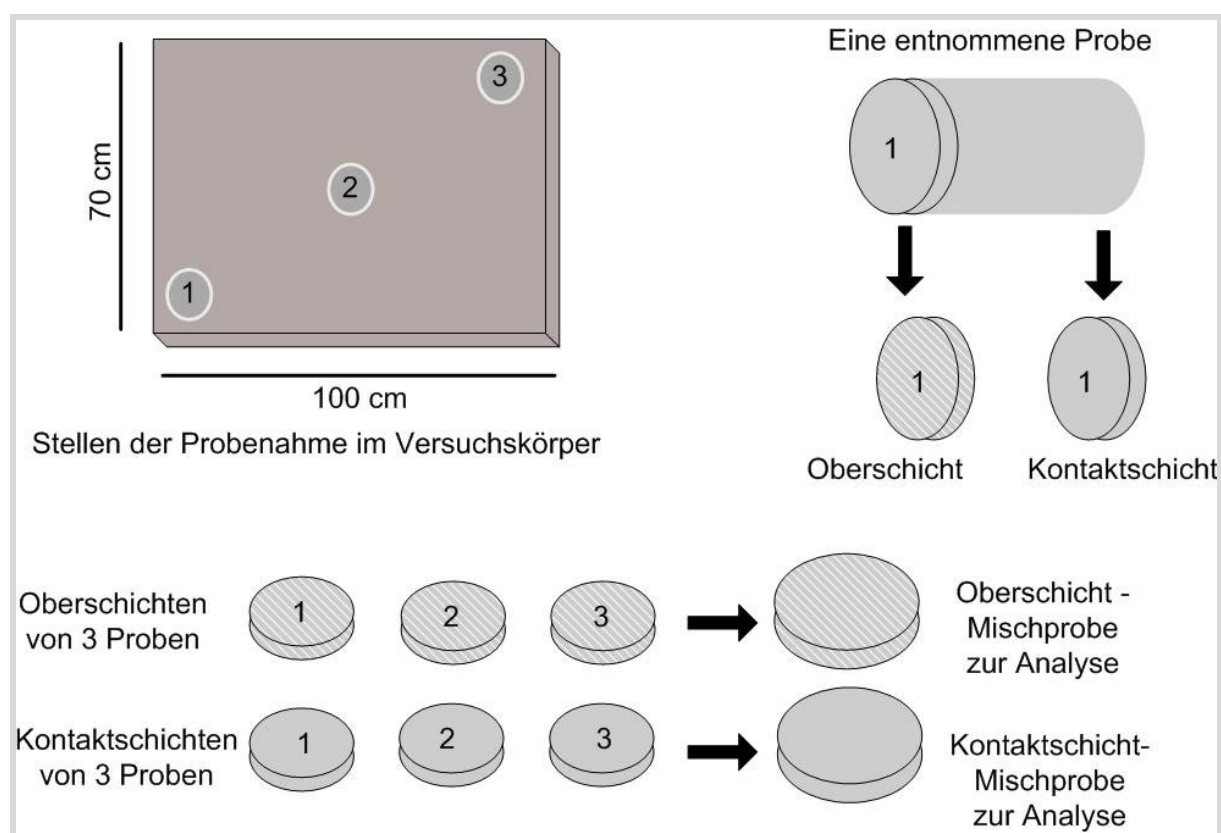


Abbildung 27: Probenahme im Versuchskörper

Die unterste Schicht des Probekörpers mit 1 cm Dicke, die als Kontaktschicht bezeichnet wird, wurde in einer Plastiktüte für die spätere Analyse aufbewahrt. Aus den drei gewonnen Einzelproben pro Versuchsaufbau wurde dabei jeweils eine Mischprobe erstellt. Genauso wurde mit dem oberen 1 cm des Prüfkörpers, der als Oberschicht bezeichnet wird, verfahren.

Mit Hilfe eines Staubsaugers wurde jeweils eine Saugprobe, kreisförmig mit einem Durchmesser von 10 cm, aus den Versuchskästen abgesaugt (Abbildung 28). Diese Probe repräsentiert die praktische Anwendung beim Rückbau, da dort der AP-Dämmstoff ebenfalls abgesaugt wird (Abbildung 29).



Abbildung 28: Probenahme in der Kontaktschicht mit Ausstechrohr



Abbildung 29: Entnehmen der Saugprobe mit Staubsauger

Bei der Probenahme können zufällige Fehler entstehen, die nur durch ein zusätzliches umfangreiches Messprogramm quantifiziert werden können.

6.1.3 Quantitative Bestimmung des Mineralwoll-Anteils

Nach der Gefahrstoffverordnung 2008 darf der Massengehalt von künstlichen alten Mineralfasern in einer Zubereitung oder einem Erzeugnis nicht mehr als 0,1 % der gesamten Masse betragen. Wenn der Massengehalt von künstlichen alten Mineralfasern mehr als 0,1 % der gesamten Masse einer Zubereitung beträgt, ist diese Zubereitung als Sonderabfall zu behandeln.

Eine Methode oder ein Ansatz zur Bestimmung des Mineralfasergehaltes in einer Probe ist nicht veröffentlicht. Daher musste ein Verfahren zur quantitativen Bestimmung von Mineralfasern im AP-Dämmstoff entwickelt werden.

Da es sich bei der Mineralfaser um nicht brennbares inertes Material handelt und der AP-Dämmstoff aus einem brennbaren, organischen Material besteht, führte dies zu der Überlegung, den quantitativen Nachweis von Mineralfasern über die Verbrennung bzw. Veraschung der Probe zu führen. Es wurde erwartet, dass der AP-

Dämmstoff einen relativ konstanten Aschegehalt aufweist und ggf. in der Probe enthaltene Mineralfasern nach der thermischen Behandlung komplett erhalten bleiben.

Damit aus den im Versuch ermittelten Messwerten der Mineralfaseranteil der Probe bestimmt werden kann, muss zunächst eine Gleichung entwickelt werden, die die kausalen Zusammenhänge darstellt.

Die Probe m_P besteht aus AP-Dämmstoff-Menge m_{AP} und Mineralwollmenge m_{MW} .

$$m_P = m_{AP,P} + m_{MW,P} \quad (6.1)$$

$m_{AP,P}$ Masse des Altpapierdämmstoffs in der Probe [g]

$m_{MW,P}$ Masse der Mineralwolle in der Probe [g]

m_P Masse der Probe [g]

Nach dem Glühen der Probe bleibt die Asche, die sich aus der Altpapierasche und der Mineralwolle zusammensetzt, zurück.

$$A_P = a_{AP} \cdot m_{AP,P} + a_{MW} \cdot m_{MW,P} \quad (6.2)$$

a_{AP} Altpapierdämmstoffaschegehalt in der Probe [%]

a_{MW} Mineralwollaschegehalt in der Probe [%]

A_P Asche der Probe [g]

Der Mineralfaseranteil in der Probe wird wie folgt berechnet.

$$A_P = a_{AP} \cdot (m_P - m_{MW,P}) + a_{MW} \cdot m_{MW,P} \quad (6.3)$$

$$m_{MW,P} = \frac{A_P - a_{AP} \cdot m_P}{a_{MW} - a_{AP}} \quad (6.4)$$

Anhand dieser Gleichung (6.4) kann die Menge der Mineralfaser in der AP-Dämmstoff-Mineralwoll-Probe quantitativ aus den Messwerten des Glühversuches bestimmt werden.

Um die Rahmenbedingungen für gut reproduzierbare Ergebnisse festzulegen, wurden verschiedene Versuchsreihen durchgeführt. Die Probe besteht aus 10% Mineralwolle und 90% Altpapierdämmstoffmaterial. Die Proben wurden bei 300°C und 550°C für 2, 3 und 18 Stunden geglüht und nach 10, 30 und 60 Minuten Abkühlungszeit im Exsikkator ausgewogen, um den Aschegehalt zu bestimmen.

Beim Glühen bei 300°C reduzierte sich der gemessene Aschegehalt nach den unterschiedlichen Glühzeiten (2, 3 und 18 Stunden). Dies bedeutet, dass der organische Teil in der Probe nicht vollständig beim Glühen mit 300°C verbrannte. Da der Aschegehalt bei verschiedenen Glühzeiten bei 550°C nur um 2 % schwankte, wurde für die weiteren Versuche die Temperatur von 550°C für 18 Stunden gewählt. Durch 18 Stunden Glühdauer bei 550°C wird gewährleistet, dass die organischen Komponenten vollständig verbrennen und der Aschegehalt stabil ist.

Auch die Abkühlzeit zwischen Glühen und Wägung hat einen Einfluss auf das Messergebnis. Es zeigten sich unterschiedliche Werte des Aschegehalts bei einer 10- bzw. 30-minütigen Abkühlung. Die Werte des Aschegehaltes zeigten eine Schwankung von 2% bei einer 30- minütigen sowie einer 60-minütigen Abkühlungszeit. Daher wurde die Abkühlungszeit auf 30 Minuten beschränkt (Anhang C, Tabelle C 1). Die statistische Auswertung der Versuchsreihen ergab, dass bei einer 18-stündigen Verweilzeit bei 550°C und einer anschließenden 30-minütigen Abkühlzeit die genauesten Ergebnisse erzielt wurden.

Analysengenauigkeit

Bei der Untersuchung der reinen Altpapierproben wurde ein Aschegehalt von 16,15 % ermittelt. Die reinen Mineralwollproben hatten einen Aschegehalt von 94,31%. Bei einer 10-fachen Wiederholung wurde beim AP-Dämmstoff eine Standardabweichung von ca. 4,7 % und bei der Mineralwolle von ca. 1 % erzielt.

Für den geforderten Grenzwert für Mineralfasern von 0,1 % der gesamten Masse ist die erforderliche Messgenauigkeit zu bestimmen.

$$\frac{m_{MW,P}}{m_P} \leq 0,001 \quad (6.5)$$

$$\frac{m_{MW,P}}{m_P} = \frac{A_P / m_P - a_{AP}}{a_{MW} - a_{AP}} \quad (6.7)$$

$$\frac{A_P}{m_P} = 0,001 \cdot (a_{MW} - a_{AP}) + a_{AP} \quad (6.8)$$

$$\frac{A_P}{m_P} = 0,001 \cdot (0,9431 - 0,1615) + 0,1615 = 0,1623$$

Nach dieser Berechnung führt die Zugabe von 0,1 % Mineralfaser zu einem Anstieg um 0,495 % der relativen Aschemenge von 16,15 % auf 16,23 %. Diese geringe Erhöhung kann bei einer ermittelten Standardabweichung in Höhe von 4,7 % nicht sicher erfasst werden.

Daher kann mit Hilfe dieses Verfahrens der Altpapierdämmstoff als mit Mineralwolle kontaminiert nicht sicher beurteilt werden. Aber eine Aussage über den besten Effekt der unterschiedlichen Kombinationsverfahren kann durch dieses Verfahren bzw. mit dieser Gleichung getroffen werden.

Um die Genauigkeit des Analysenverfahrens zu bestimmen, wurden unterschiedliche Mineralwollkonzentrationen (10, 5, 3 und 1%) im AP-Dämmstoff eingestellt und untersucht. Durch diese Konzentrationen kann eine Trendlinie für diesen Bereich abgeleitet werden und eine Kalibrierfunktion für die Messwerte in diesem Bereich ermittelt werden.

Die Ergebnisse werden in Abbildung 30 dargestellt. Anhand der eingezeichneten Hilfslinie wird gezeigt, dass bei Bestimmung der Mineralwollanteile ein systematischer Fehler aufgetreten ist. Dieser Fehler liegt zwischen ca. 1 bis 2 % und kann auf die Messungenauigkeit der verwendeten Waage zurückgeführt werden.

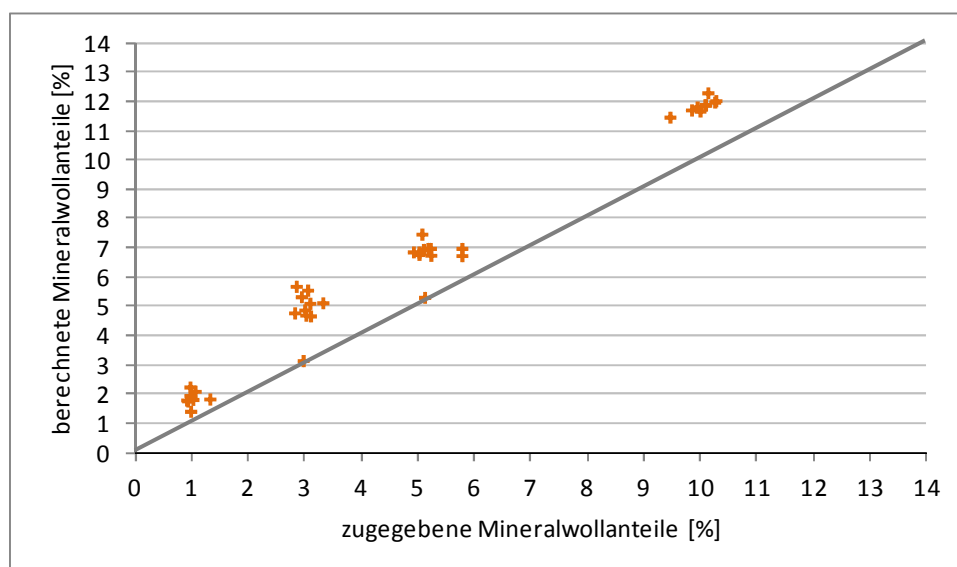


Abbildung 30: Ergebnisse der Analysereihe zur Bestimmung der Verfahrensgenauigkeit

Die Ergebnisse, eine Trendlinie der ermittelten Werte und ihr Bestimmtheitsmaß sind in Abbildung 31 dargestellt.

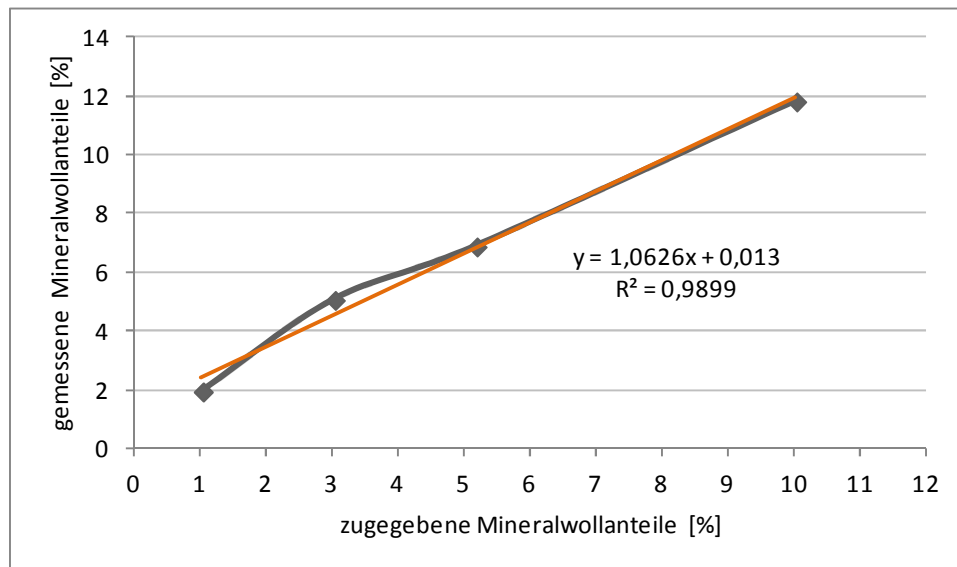


Abbildung 31: Genauigkeit der Kalibrierkurve bei unterschiedlichen Mineralfaserkonzentrationen

Die gemessene Mineralwollmenge wird mit Hilfe der Kalibrierfunktion korrigiert. Das entwickelte Analyseverfahren gewährleistet demnach ein Bestimmtheitsmaß von 0,9899 bei Mineralfaseranteilen zwischen 1 und 10 % im Gemisch.

Für die Praxis gilt, dass das untersuchte Material mit einem nach diesem Verfahren nachgewiesenen Mineralfaseranteil in jedem Fall als Sonderabfall einzustufen ist, da der Nachweisbereich den Grenzwert von 0,1 % übersteigt.

6.2 Effektivität der unterschiedlichen Kombinationsverfahren

Aus der entnommenen Probe wurde eine Laborprobe durch Mischen und Teilen von ca. 3 g hergestellt. Daraus entstanden wiederum 3 gleich große Analysenproben für eine 3-Fachbestimmung im Glühofen.

Die mit dem unter Kapitel 6.1.3 beschriebenen Verfahren gemessene Mineralwollmenge liegt bei allen Proben im Bereich von 1 - 2 % der jeweils untersuchten Probenmenge. Einige Proben wiesen negative Messwerte auf, was auf eine inhomogene AP-Dämmstoffzusammensetzung hinweist, da in der entwickelten Gleichung von einem konstanten Aschegehalt im AP-Dämmstoff ausgegangen wurde.

Beim Einsatz der Hawetoltrennschicht wurden negative Werte ermittelt. Dies zeigt, dass die Aschemenge der Probe kleiner als 16,15 % (siehe Formel (6.4)) der Probemenge ist. Dieser Prozentsatz wurde für den Aschegehalt von AP-Dämmstoff in der Probe ermittelt. Die Aschemenge von AP-Dämmstoff kann um den ermittelten Wert von 16,15 % schwanken, da der AP-Dämmstoff heterogen ist. Daraus können sich für den Ascheanteil, der aus dem Altpapier resultiert, größere Werte ergeben, wodurch ein negativer Wert entsteht. Hieraus wird geschlossen, dass beim Auftreten von negativen Werten der Anteil von MW in der Probe gleich null ist. Dies bedeutet, dass das Hawetol die Mineralfaser sehr gut versiegeln kann und die übrige Aschemenge in der Probe nur von der Asche des AP-Dämmstoffs entsteht.

Der Mineralfasergehalt in der Kontaktschicht ist in den meisten Fällen größer als in der Oberschicht, da durch den hohen Druck beim Aufblasen bzw. Einblasen des Altpapierdämmstoffs die Mineralfaser in der Kontaktschicht aufwirbelt. Die im Versuchsaufbau aufgewirbelten Mineralfasern finden sich in der Oberschicht wieder. Einige Werte der Oberschicht sind größer als in der Kontaktschicht, was dadurch begründet werden kann, dass beim Ein- bzw. Aufblasen des AP-Dämmstoffs große Mineralfasermengen in die umgebende Luft aufgewirbelt werden und sich nach langsamen Absenken auf der Oberschicht absetzen. Diese Werte sind bei dem Versuch ohne Trennschicht und beim Einsatz von zweimaligem Aufsprühen von Tiefgrund zu sehen. Tiefgrund trocknet langsam, daher konnte eine Freisetzung von Mineralwolle durch das Aufsprühen von Tiefgrund nicht verhindert werden.

Der Mineralfasergehalt in der Kontaktschicht und der Oberschicht (siehe Abbildung 32) ist beim Einblasverfahren größer als beim Aufblasverfahren. Der Druck beim Einblasen in den geschlossenen Versuchsaufbau ist größer als beim Aufblasen. Das führt zum Aufwirbeln weniger stark gebundener Mineralfasern, die sich in der Kontaktschicht dann mit dem AP-Dämmstoff vermischen.

In der Saugprobe konnte entweder nur wenig Mineralfaser beim Aufblasen oder gar keine Mineralfaser beim Einblasen nachgewiesen werden, da die Saugprobemasse mit ca. 20 g im Verhältnis zu einer gegebenenfalls freigesetzten Mineralfasermenge von wenigen mg sehr groß ist (Faktor $\geq 10^3$) und somit zum Teil eine Kontamination unterhalb der Nachweisgrenze liegen würde.

Die Messergebnisse (siehe Abbildung 32 bis Abbildung 34, Messergebnisse in [g] im Anhang C, Abbildung C1 bis Abbildung C 3) zeigen, dass der Einsatz einer Trennfolie ein gutes Ergebnis bezüglich der Verhinderung einer Mineralfaserkontamination liefert. Allerdings wurden noch Mineralfasern in den Proben nachgewiesen, was darauf zurückzuführen ist, dass die Ränder beim Einbau der Folie keinen dichten Anschluss zum Bauelement hatten. Das dichte Verlegen der Trennfolie ist in der Praxis nicht leicht zu realisieren, wenn im Dämmbereich schwer zugängliche Ecken und Winkel vorhanden sind.

Durch den Einsatz feuchten AP-Dämmstoffs durch aufsprühen wird eine feste Trennschicht realisiert. Die relativ große gemessene Mineralfasermenge in der Kontaktschicht kann auf den hohen Druck beim Aufblasen zurückgeführt werden. Bei der Saugprobe bezüglich des feucht aufgeblasenen AP-Dämmstoffs konnten keine Mineralfaser gefunden werden, da der feuchte AP-Dämmstoff mit 1,5 cm Schichtdicke nach einer Woche Trockenzeit eine feste Trennschicht gebildet hat, die den anschließend lose aufgeblasenen AP-Dämmstoff sicher von der Mineralfaser trennt. Dieses Trennverfahren ist leicht einsetzbar, bringt aber mit der einzuhaltenden Trockenzeit für die Praxis einen Nachteil mit sich. Das Sonderabfallvolumen wird nur wenig durch die feuchte AP-Dämmstoffmenge erhöht. Das Einblasverfahren für feuchten Dämmstoff ist für die Praxis nicht relevant [Küllmer 2010], da das Aufsprühverfahren von AP-Dämmstoff in einem geschlossenen Bauelement nicht realisiert werden kann.

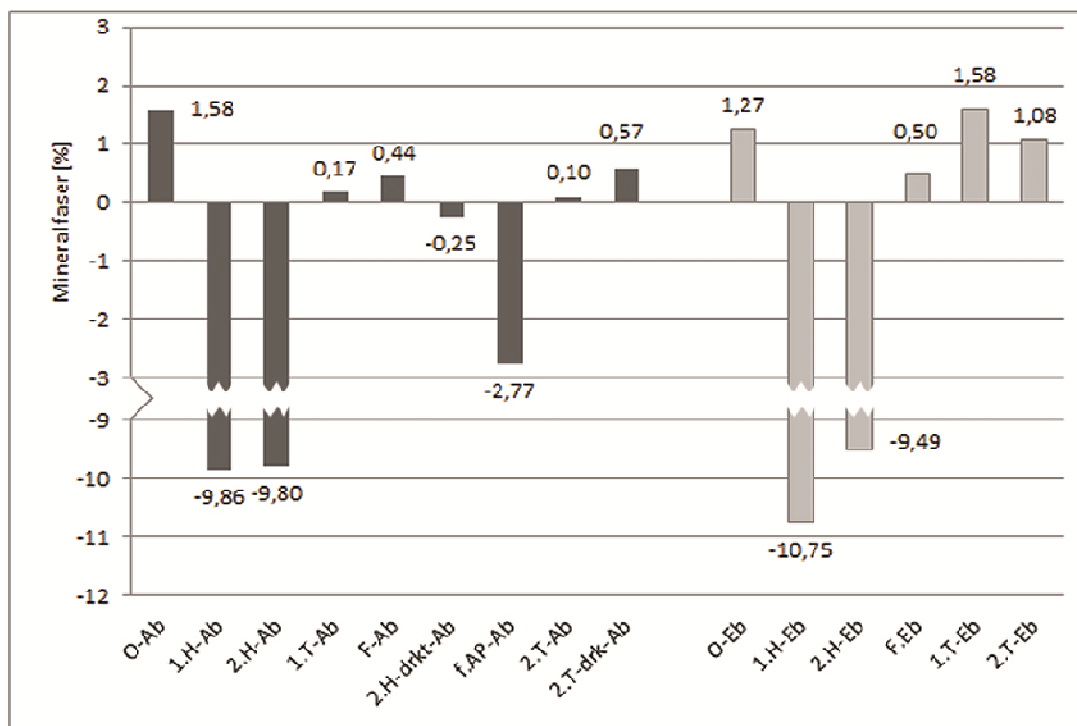


Abbildung 32: Kontamination in der Oberschicht beim Auf-(links) und Einblasen (rechts)

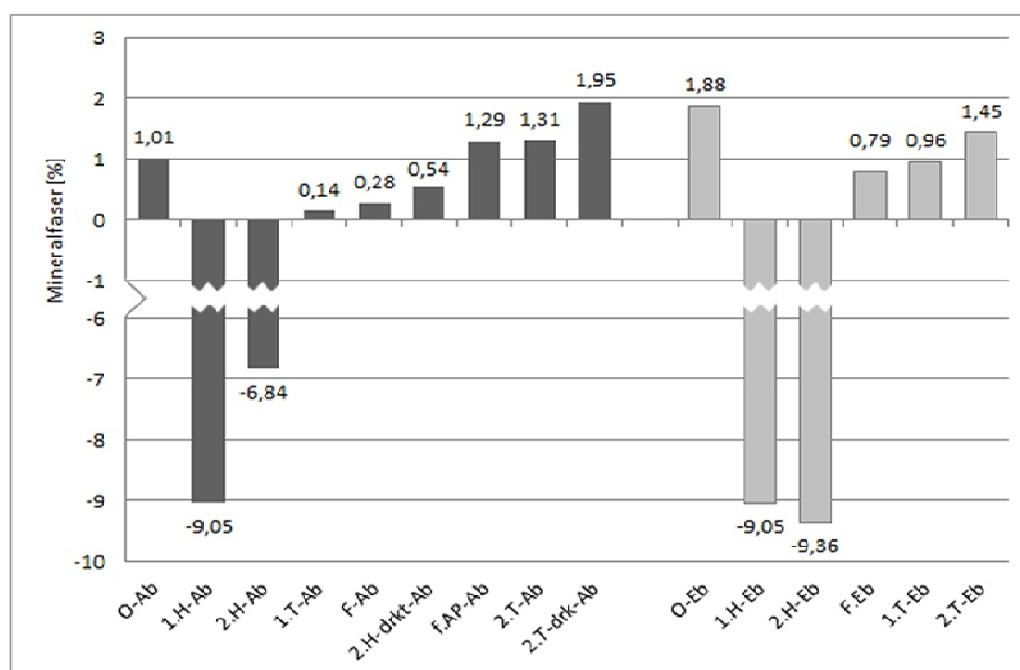


Abbildung 33: Kontamination in der Kontaktschicht beim Auf-(links) und Einblasen (rechts)

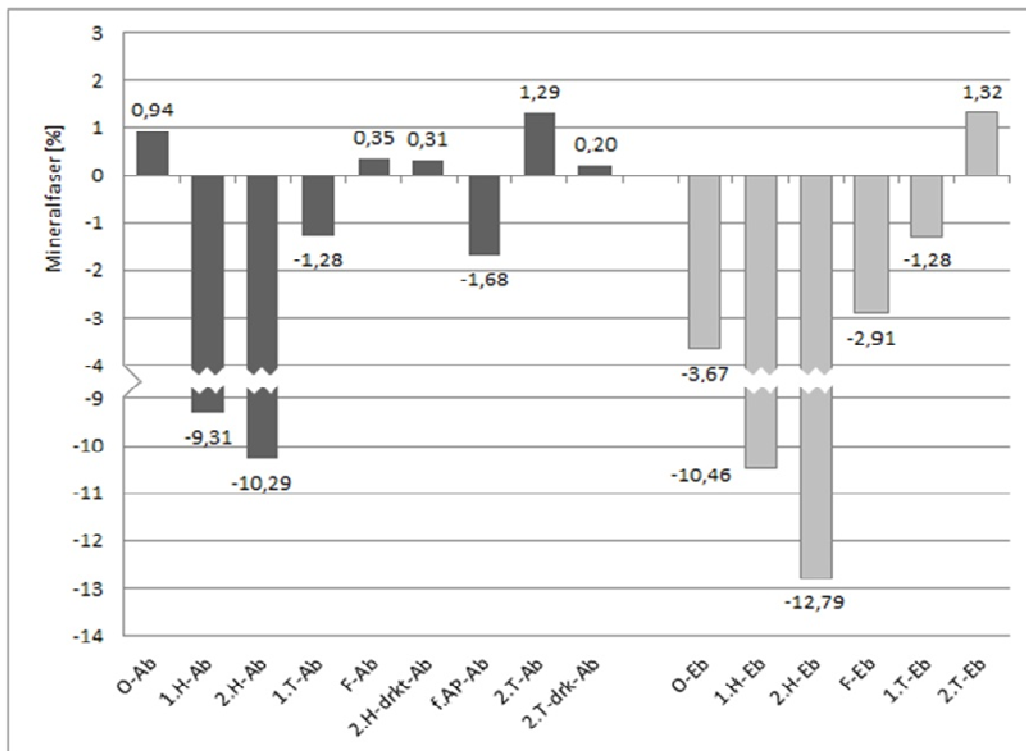


Abbildung 34: Kontamination in der Saugprobe beim Auf-(links) und Einblasen (rechts)

Tiefgrund als Bindemittel bewirkte bei 1-maliger Anwendung eine sehr geringe Freisetzung der Mineralfaser. Das Besprühen der Mineralfaser in 2 Schichten hatte jedoch einen negativen Einfluss auf die Trennung, da eine wesentlich längere Trockenzeit als die eingehaltenen 24 h erforderlich gewesen wäre. Wenn die Trennschicht noch feucht ist, wird die Mineralwolle nicht sicher versiegelt. Das konnte sowohl bei der Trennschichtprobe als auch bei der Saugprobe festgestellt werden.

Hawetol als Bindemittel zeigte den besten Effekt bei der Mineralwollversiegelung. Bei keiner der untersuchten Proben konnten Mineralfasern nachgewiesen werden. Die Trocknungszeit von Hawetol ist kürzer als die von Tiefgrund. Dies wird sehr deutlich beim 2-maligen Besprühen. Die Trennschicht war nach 24 Stunden vollkommen trocken. Die Fähigkeit von Hawetol in die Risse der Mineralwolle einzudringen, hat die Freisetzung der Mineralfasern komplett verhindert.

In der praktischen Anwendung wird man aus wirtschaftlichen Gründen auf eine komplette Trocknung der Bindemittel vor dem Aufbringen des AP-Dämmstoffs verzichten. Bei den Versuchen bei denen der AP-Dämmstoff direkt auf das feuchte Bindemittel aufgeblasen wurde, waren die nach 24 h genommenen und anschließend untersuchten Proben aus der Kontaktschicht und die Saugproben mit Mineralfasern kontami-

niert. Erfolgte die Probenahme nach 48 h, konnten in der Saugprobe keine Mineralfasern nachgewiesen werden. Daher kann in der Praxis tatsächlich auf eine Trocknung der Bindemittel verzichtet werden, da wegen des Anhaftungseffekts eine dünne Schicht aus AP-Dämmstoff mit dem feuchten Bindemittel gebildet wird, die die darunterliegende Mineralfaserdämmung vom AP-Dämmstoff trennt. Der AP-Dämmstoff kann beim Rückbau des Gebäudes abgesaugt werden. Die verbleibende dünne Trennschicht muss mit der Mineralwolle entsorgt werden

Die Versuche zeigten, dass die Trennung der unterschiedlichen Dämmstoffe durch Bindemittel machbar ist und besser anwendbar ist, als der Einsatz von Trennfolien. Bei der Verarbeitung ist lediglich sicherzustellen, dass die gesamte Oberfläche der Mineralwolldämmschicht benetzt wird.

6.3 Wirtschaftliche Betrachtung der Kombinationsverfahren

Beim wirtschaftlichen Vergleich der untersuchten Kombinationsverfahren von AP-Dämmstoff auf einer bestehenden Mineralfaserdämmung schneidet der feucht aufgesprühte AP-Dämmstoff deutlich günstiger als der Einsatz einer PP-Folie ab, obwohl die erzeugte Trennschicht aus Altpapier als Sonderabfall zu entsorgen wäre. Auch beim Aufbringen des AP-Dämmstoffs auf das feuchte Bindemittel entstehen weitere Sonderabfallmengen, die im Lebenszyklus zu zusätzlichen Kosten bei der Entsorgung führen. Insgesamt aber stellt der Einsatz des Hawetol-Bindemittels ohne Berücksichtigung einer Trockenzeit die aus Kostensicht günstigste Alternative dar (Tabelle 20).

Tabelle 20: Mengen und Kosten der Trennschichten

	Hawetol ohne Trocknung	AP-Dämmstoff	Polypropylenfolie
Gebrauchte Menge für 1 m ²	214 [ml]	1,5 [kg]	1 [m ²]
Materialkosten [€/m ²] ⁽¹⁾	0,075	0,250	0,96
Zusätzl. Entsorgungskosten [€/m ²] ⁽²⁾	0,177	0,177	--
Gesamtkosten [€/m ²]	0,252	0,427	0,96

(1): Kosten: Hawetol AV: ca 7€/20 l [Produktinfos 2012]

PE-Folie: ca 147,27 €/Rolle (3,0 x50,0 m) [Dr.Thiel Plannen& Netze,Produktinfos 2012]

(2): Als Grundlage dienen die Entsorgungskosten für Sonderabfall in Hessen ca. 118€/Mg [Kluger 2005]

7 Kompostierbarkeit des Altpapierdämmstoffs

Der AP-Dämmstoff muss nach der Nutzungsphase entsorgt oder verwertet werden. Die energetische Verwertung von AP-Dämmstoff ist die übliche Behandlung in Deutschland [Kolb 2004]. Der Heizwert des AP-Dämmstoffs liegt bei ca. 24,7 MJ/kg [Danner 2008]. Eine Deponierung von AP-Dämmstoffen ist in Deutschland seit dem 01.05.2005 ohne thermische Vorbehandlung nicht mehr möglich [wecobis 2011].

Die stoffliche Verwertung des AP-Dämmstoffs ist wegen des hohen Anteils an Borsalzen nicht möglich. Eine Kompostierung wird bisher nicht praktiziert. Borsalze und deren Verbindungen sind hinsichtlich der Grundwasserbelastung durch Auswaschung im Deponie- oder Brand- bzw. Löschfall problematisch [Laimer 2007, bmvit 2011].

Da die energetische Verwertung auch in der nahen Zukunft in Syrien hauptsächlich aus wirtschaftlichen Gründen nicht realisierbar sein wird, steht die stoffliche Verwertung des AP-Dämmstoffs im Vordergrund. Da die Kompostierung von AP-Dämmstoffen bisher nicht praktiziert wird (siehe Kapitel 2.4.2), sind Untersuchungen bezüglich der Kompostierfähigkeit von AP-Dämmstoff durchzuführen. Der hohe biologisch abbaubare organische Anteil des Altpapiers lässt die Kompostierung als eine für Syrien günstige Reststoffbehandlung erscheinen. Dieses zu entwickelnde Verfahren muss die Borsalze als Hindernis bei der biologischen Behandlung berücksichtigen und gleichzeitig gewährleisten, dass das Grundwasser durch Bor und seine Verbindungen nicht belastet wird.

7.1 Bor als Spurennährstoff

In der Acker- und Grünland- sowie Forstwirtschaft, aber auch für den Einsatz im Gartenbau oder bei der Blattdüngung ist der Einsatz von Borverbindungen in Düngemitteln mit Spurennährstoffen von Bedeutung, wobei ein Mindestgehalt von 0,02 % TM Bor für Dünger mit Spurennährstoffen vorgeschrieben ist [DüMV 2009]. Bormangel wird durch Trockenheit und ungünstige Witterungsbedingungen verstärkt. Außerdem werden anorganische Borverbindungen, wie z.B. Borax, in Pflanzenstärkungsmitteln eingesetzt [BfR 2005]. Die empfohlene Bordüngungsmenge schwankt je nach dem Bormangelgrad im Boden und der Bodenart zwischen 0,4 bis 2,5 kg Bor/ha (40 mg

bis 250 mg/m²) [Ernert 2011]. Als optimal gelten im Weinbau Werte von 0,6-1,0 mg/kg_{Boden} [Fox 2011]. Zur Behebung von akutem Bormangel eignet sich eine Blattdüngung (200 – 400 g B/ha in 400 l Wasser) [Hege 2007]. Es gibt reine "Borblattdünger", wie z.B. Solubor (17,4 % Bor) oder Librel-Bor (10% Bor) [Fox 2011]. Solubor darf laut Firmenempfehlung wegen seiner hohen Borkonzentration nur in geringeren Mengen (1 bis 2 kg/ha) mit einer ausreichenden Wassermenge von mindestens 1.200 l/ha gespritzt werden [Riedel 2006].

Ein kg AP-Dämmstoff enthält 4 % Borax mit 11 % Bor und 4 % Borsäure mit 17,5 % Borgehalt [Seminar isofloc 2010, Behrends 1995]. Davon ausgehend enthält 1 kg AP-Dämmstoff 1,14% Bor, dies entspricht 11,4 g Bor/kg AP-Dämmstoff.

Durch seinen hohen Borgehalt ist AP-Dämmstoff nicht allein kompostierbar. Im zu entwickelnden Verfahren muss daher der Borgehalt im Altpapier reduziert werden.

7.2 Vorbehandlung durch Auswaschen

Da Bor und seine Verbindungen leicht wasserlöslich sind, stellt das Auswaschen eine gute Möglichkeit zur Vorbehandlung vor der Kompostierung des Altpapiers dar. Der Borgehalt im Kompost darf die Grenzwerte für Düngemittel nicht überschreiten, wobei die Grenzwerte nicht für alle Bodenarten gleich sind. Diese Werte sind in der Literatur als empfohlene Werte je nach Bodenart angegeben (siehe Kapitel 7.1). Nach der deutschen Trinkwasserverordnung darf der Borgehalt im Trinkwasser nicht mehr als 1 mg/l betragen. Natürliche Bor-Konzentrationen liegen in Oberflächengewässern in Europa relativ niedrig im Bereich von 0,01 - 0,05 mg/l, Meerwasser hingegen enthält im Mittel 4,6 mg/l [Kuhlmann 1999].

Das Auswaschen von Borsäure im AP-Dämmstoff ist noch nicht untersucht und daher als Behandlungsverfahren für den AP-Dämmstoff nicht umgesetzt. Da es ein Verfahren zum Auswaschen der Borsäure im AP-Dämmstoff mit optimalen Wassermengen und Verweilzeiten des AP-Dämmstoffs im Wasser bisher nicht gibt, sind die Wirkung dieser Behandlung und deren Effizienz, nicht bekannt.

Die im Experiment untersuchten Einflussgrößen sind die Konzentration des AP-Dämmstoffs im Waschwasser, die Verweilzeit des AP-Dämmstoffs im Waschwasser und das mehrmalige Nutzen des Waschwassers. Dazu wurden Versuchsreihen durchgeführt, um die günstigsten Parameter für den Auswaschprozess zu finden.

7.2.1 Löslichkeit von Bor in Wasser

In 100 g Wasser lassen sich bei 20 °C 4,9 g Borsäure mit einem Borgehalt von 0,86 g und 5,1 g Borax mit 0,58 g Borgehalt lösen [Behrends 1995]. In einem Liter Wasser können 49 g Borsäure und 51 g Borax gelöst werden. Dieser Wert wird bei einer Behandlung von 20 g Altpapier in einem Liter Wasser nicht erreicht, da ein 1 kg AP-Dämmstoff 40 g Borsäure und 40 g Borax beinhaltet.

7.2.2 Auswaschversuche

Sowohl die Konzentration von AP-Dämmstoff im Waschwasser als auch die Verweilzeit des AP-Dämmstoffs im Waschwasser können einen Einfluss auf die ausgewaschene Menge von Borsäure und Borax haben. Daher wurden 20 g AP-Dämmstoff in 4 verschiedenen Behältern mit jeweils 1 l frischem Waschwasser für 30, 60, 90 und 120 Minuten behandelt.

Da durch einmalige Verwendung des Waschwassers mit den eingesetzten Papiermengen keine Borsättigung erreicht wurde, wurde in weiteren Versuchen überprüft, inwiefern ein mehrmaliger Einsatz des Waschwassers möglich ist. Dazu wurde AP-Dämmstoff im gleichen Verhältnis wie bei den Frischwasserversuchen dem bereits mit Bor angereicherten Waschwasser zugeführt. Auch hier wurden unterschiedliche Verweilzeiten zwischen 30 und 120 min untersucht.

In weiteren Versuchen mit Verweildauern von 30 bzw. 120 min wurden die Altpapier- und damit die Borkonzentration im Waschwasser erhöht. Dabei wurden jeweils 60 g Altpapier in 1 l Wasser ausgewaschen.

Rechnerisch können einem Liter Wasser 1.225 g Altpapierdämmstoff hinzugefügt werden, um 49 g Borsäure zu lösen. Zum Auslösen von 51 g Borax im Altpapierdämmstoff kann zu einem Liter Wasser 1.275 g Altpapierdämmstoff hinzugefügt werden siehe Anhang D.

Durch die geringe Dichte des Altpapiers lassen sich praktisch durch manuelle Zugabe unter Druck allerdings nur 193 g AP-Dämmstoff zu 1 l Wasser hinzugeben.

7.2.3 Ergebnisse der Waschwasseranalyse

Das Waschwasser aus allen Versuchen wurde mit den Küvettentests für Wasseranalyse analysiert und die ausgewaschene Bor-Menge bestimmt. Das Messprinzip ist: „Borat-Ionen reagieren mit einer chemischen Reagenz (Azomethin-H) und bilden einen gelben Farbstoff. Die Auswertung erfolgt fotometrisch.“ [Telgmann 2012] Der Soll-Wert des Borgehaltes im Waschwasser wurde auf dem in 7.2.1 berechneten Borgehalt in 1 kg AP-Dämmstoff basierend berechnet. In Tabelle 21 werden die Versuchsreihen und Borkonzentrationen (berechnet, gemessen) dargestellt.

Tabelle 21: Durchgeführte Versuche für Bor-Auswaschen

Versuch	AP-Menge [g]	Wassermenge [l]	Verweildauer [min]	Bor-Konzentration im Waschwasser [mg/l]		ausgewaschene Bormenge [%]
				berechnet (Soll-Wert)	gemessen (Ist-Wert)	
20.AP.FW.30	20	1,0	30	228	140	61,40
20.AP.FW.60	20	1,0	60	228	146	64,04
20.AP.FW.90	20	1,0	90	228	147	64,47
20.AP.FW.120	20	1,0	120	228	149	65,35
20.AP.GW.30	16	0,8	30	410	272	66,34
20.AP.GW.60	16	0,8	60	410	270	65,85
20.AP.GW.90	16	0,8	90	410	278	67,80
20.AP.GW.120	16	0,8	120	410	268	65,36
60.AP.FW.30	60	1,0	30	684	338	49,41
60.AP.FW.120	60	1,0	120	684	359	52,48
193.AP.FW.120	193	1,0	120	2.200	1.790	81,36

AP: Altpapierdämmstoff, FW: Frischwasser, GW: gebrauchtes Wasser

Die Verweilzeit beim Auswaschen hat insgesamt nur einen sehr geringen Einfluss auf die ausgewaschene Bormenge (Tabelle 21). Beim Einsatz von Frischwasser wurden jeweils ca. 64 % des zuvor berechneten Borgehaltes gelöst. Im bereits mit Bor angereichertem Waschwasser wurden ca. 65 % des Bors aus dem AP-Dämmstoff gelöst.

Bei der höheren Beaufschlagung des Waschwassers mit AP-Dämmstoff (60 g/l) wurden unabhängig von der Verweilzeit nur ca. 50 % des Bors aus dem Dämmstoff gelöst.

Im letzten Versuch mit 193 g AP-Dämmstoffmenge konnten nach 2 Stunden 80 % der berechneten Bormenge im Waschwasser gefunden werden.

Eine mehrmalige Nutzung des Waschwassers ohne Klärung ist möglich, die Waschwirkung nimmt dabei jedoch ab.

Bei einer höheren Konzentration des AP-Dämmstoffs im Waschwasser wird weniger Bor gelöst.

Da der AP-Dämmstoff im Versuch von 193 g AP-Dämmstoff mit der Hand in das Waschwasser hineingedrückt wurde, wurde mehr Bor im Wasser gelöst. Eine mechanische Unterstützung durch Rühren oder Kneten während des Auswaschens fördert die Waschwirkung demnach und wäre bei einer technischen Umsetzung angebracht.

Basierend auf den Ergebnissen, ist das Auswaschen von AP-Dämmstoff effektiv, da mehr als 50% des Boranteils im AP-Dämmstoff im Waschwasser gelöst werden können. In weiteren Untersuchungen zum Überprüfen der Kompostierungsfähigkeit von Biomüll mit ausgewaschenem AP-Dämmstoff konnte festgestellt werden, dass der verbleibende Borgehalt im AP-Dämmstoff nach dem Auswaschen den Kompostierungsprozess nicht unterbindet.

Als handelsübliches Aggregat bietet sich ein Pulper für die Vorbehandlung des AP-Dämmstoffs vor der Kompostierung an, um die bei der Kompostierung störend wirkenden Borgehalte auszuwaschen. Mit einer Siebpresse kann anschließend das Altpapier vom Waschwasser getrennt werden. Zur Bereitstellung des AP-Dämmstoffs vor der Behandlung können zu den Pulpern und der Bandpresse Silos auf dem Gelände der Kompostierungsanlage installiert werden. Die Wirtschaftlichkeit einer solchen Anlage muss noch geprüft werden.

7.2.4 Einsatzmöglichkeiten für das Waschwasser

Die Versuche haben gezeigt, dass sich die im AP-Dämmstoff enthaltene Borsäure und Borax auswaschen lassen. In Abhängigkeit von der anschließenden Nutzung bzw. Behandlung des Waschwassers muss der Auswaschprozess angepasst werden.

Soll das Waschwasser als Borblattdüngung angewendet werden, darf pro 1 l Waschwasser nur 44 – 87 g AP-Dämmstoff ausgewaschen werden. Der gewonnene Dünger darf für die Blattdüngung 0,5 bis 1 g Bor beinhalten (siehe Kapitel 7.1). Eine Auswaschzeit von 30 min ist ausreichend.

Für den Fall, dass das Bor aus dem Waschwasser zurückgewonnen werden soll, sind Borkonzentrationen bis zum Sättigungswert denkbar. Bisher ist jedoch noch keine Anlage zur Abtrennung von Bor aus Wasser beschrieben.

7.3 Vorbehandlung durch Mischen mit Biomüll

Einen niedrigen Borgehalt für die Kompostierung kann man auch erhalten, wenn der AP-Dämmstoff trocken und in kleinen Mengen zum Bioabfall hinzugefügt wird. Das entstehende Gemisch muss sich trotz des Borgehaltes im AP-Dämmstoff gut kompostieren lassen. Eine weitere Möglichkeit ist das Zumischen größerer Mengen ausgewaschenen AP-Dämmstoffs mit Biomüll, um den Borgehalt bei der Kompostierung niedrig zu halten.

Um den günstigeren Ansatz zu ermitteln, wurden beide Möglichkeiten experimentell untersucht. Dazu muss zunächst das optimale Mischungsverhältnis bestimmt werden.

7.3.1 Bestimmung des Mischungsverhältnisses

Nach der Bioabfallverordnung von 2010 dürfen Biokomposte (Trockenmasse) je nach Schwermetallgehalt innerhalb von 3 Jahren zu maximal 20 Mg_{TS}/ha ausgebracht werden [BioAbfV 2010]. Der empfohlene Borgehalt im Boden im Garten- und Ackerbau liegt bei 0,04 g bis 0,25 g/ m² Boden, je nach Bodenart und Nutzung [LfL 2011].

Abschätzung der Bor-Menge im Kompost

Die tägliche Abfallmenge in Syrien beträgt 0,6 kg/d (siehe Kapitel 3.1.4). Die Biomüllmenge macht 54 % der Abfallmenge in Syrien aus [Mohamad 2002]. Die jährlich im Verwaltungsbezirk Homs mit 2.087 Einwohnern anfallende Bioabfallmenge beträgt nach eigenen Berechnungen rund 246.808 Mg. Die unter 5.6 abgeschätzte jähr-

lich zu entsorgende AP-Dämmstoffmenge von 2.000 Mg entspricht dabei 0,8 % der Bioabfallmenge.

Eine Abschätzung, wie viel Bor im Fertigkompost enthalten sein wird, unter der Voraussetzung, dass die zu entsorgenden AP-Dämmstoffmengen dem in Homs anfallenden Bioabfall zugemischt werden, ist in Abbildung 35 dargestellt.

Wenn der Biokompost aus 99,2 % Bioabfall und 0,8% AP-Dämmstoff hergestellt wird, enthält 1 kg Materialgemisch 8 g AP-Dämmstoff mit 91 mg Borgehalt und 992 g Bioabfall. Die Trockenmasse beträgt üblicherweise 60 % von der Frischmasse, so haben 600 g des Materialgemisches einen Anteil von 91 mg Bor. Der abbaubare biologische Anteil wird mit 60% für Biomüll und 42% für Papier [Lord-Landwehr 2002] angenommen, davon werden ca. 50 % durch den Kompostierungsvorgang abgebaut. Rechnerisch sind demnach in 420 g Kompost 91 mg Bor enthalten, was einem Borgehalt von 0,022 % entspricht. Dieser Wert wird auch bei im Handel angebotenen Garten-Düngern angegeben.

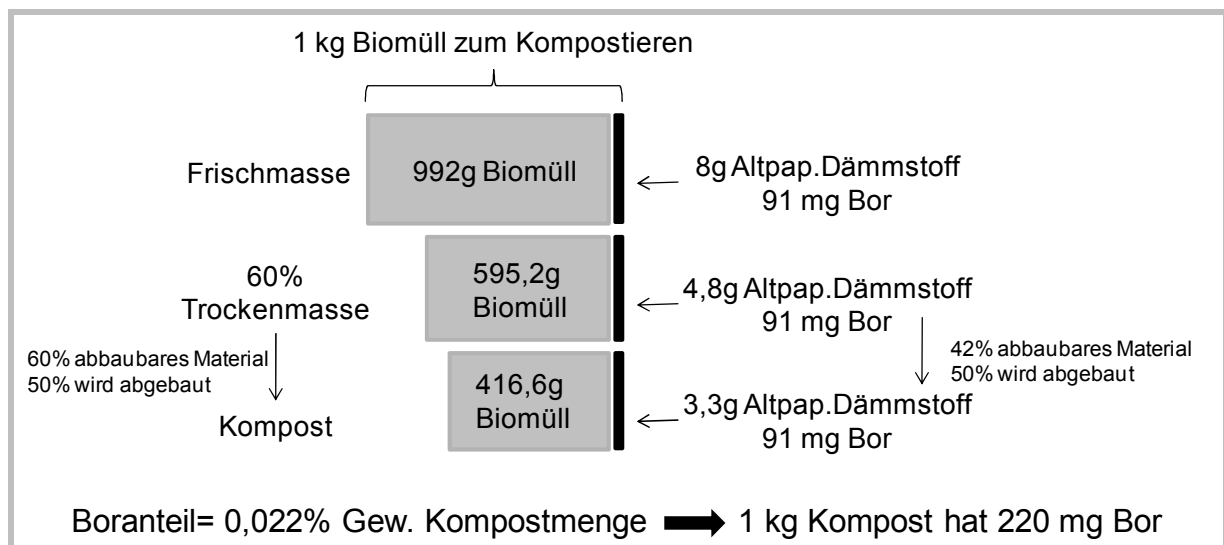


Abbildung 35: Abschätzung der Bor-Menge im Kompost

Nach der deutschen Bioabfallverordnung darf ein Quadratmeter Gartenboden mit maximal 2 kg Biokompost angereichert werden [BioAbfV 2010]. Für schwere Böden mit einer Dichte von ca. 2,6 kg/l ergibt sich damit ein Borgehalt von ca. 0,68 mg Bor/kg Boden, wenn der Kompost 0,25 m tief in den Boden eingearbeitet wird. Bei leichten Böden mit einer Dichte von 1,35 kg/l liegt der Borgehalt bei ca. 1,08 mg Bor/kg Boden bei 0,3 m Einarbeitungstiefe. Die beiden berechneten Werte liegen

sehr gut im Bereich der für den Weinbau optimalen Werte für den Borgehalt im Boden (0,6 - 1,0 mg/kg) [Fox 2011]. Auch dieses Ergebnis zeigt, dass die Kompostierung der AP-Dämmstoffmengen (0,8 % der Biomüllmasse) zusammen mit den Bioabfallmengen bezüglich der Borkonzentration unbedenklich ist.

Zusätzlich soll auch die Wirkung ausgewaschenen AP-Dämmstoffs auf die Kompostierung untersucht werden. Bis September 2011 war nach der Bioabfallverordnung [BioAbfV 2010] die Zugabe von 10 % Altpapier zu getrennt erfassten Bioabfällen oder zur Kompostierung zulässig. Die Fassung von 2011 lässt nur noch eine Zugabe von max. 0,5 % zu, was auf die Quotenerfüllung bezüglich des Altpapierrecyclings zurückzuführen ist. Da es in Syrien bisher keine Verordnung gibt, die ein Zumischen von Altpapier bei der Kompostierung regelt und auch von keinen schädlichen Umweltwirkungen ausgegangen werden muss, wird in den folgenden Versuchen mit den bis 2011 zulässigen Altpapiermengen experimentiert. Dazu wird in 2 Kompostierungsversuchen jeweils 10 % ausgewaschener AP-Dämmstoff dem Bioabfall zugemischt.

7.3.2 Versuchsdurchführung

Der Versuch wird parallel in 4 Reaktoren durchgeführt (siehe Abbildung 38). Bei den Reaktoren handelt es sich um geschlossene Systeme mit einer gesteuerten Zwangsbelüftung.

Die aus Kunststoffbehältern hergestellten Reaktoren sind mit einer wärmedämmenden Isolation versehen, so dass der Kompostierungsvorgang im Inneren der Reaktoren unabhängig von der Umgebungstemperatur ablaufen kann. Die Reaktoren haben ein Gesamtvolumen von 7 l, so dass bis zu 3 kg Material in einem Reaktor behandelt werden kann. Eine Pumpe (Abbildung 36) versorgt das Rottegut über einen Siebboden (Abbildung 37) mit Frischluft.

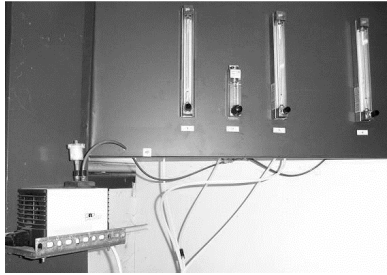


Abbildung 36: Pumpe +Schwebekörperdurchflussmesser



Abbildung 37: Sieb im Behälter



Abbildung 38: Kompostreaktoren

Dabei wird das Material durch den Siebboden von unten nach oben durchströmt. Soll die maximale Sauerstoffverbrauchsrate durch die Belüftung abgedeckt werden, so ergibt sich ein Sauerstoffbedarf von 0,8 bis 2,0 g/(kg·h). Dies entspricht einem Luftvolumenstrom von 3,9 bis 7,2 l/(kg·h) [Kranert 2010]. Mit Hilfe der Pumpe werden [5 l Luft /kg-Material·h] jedem Reaktor zugeführt. In Abbildung 39 sind die Reaktoren schematisch gezeigt.

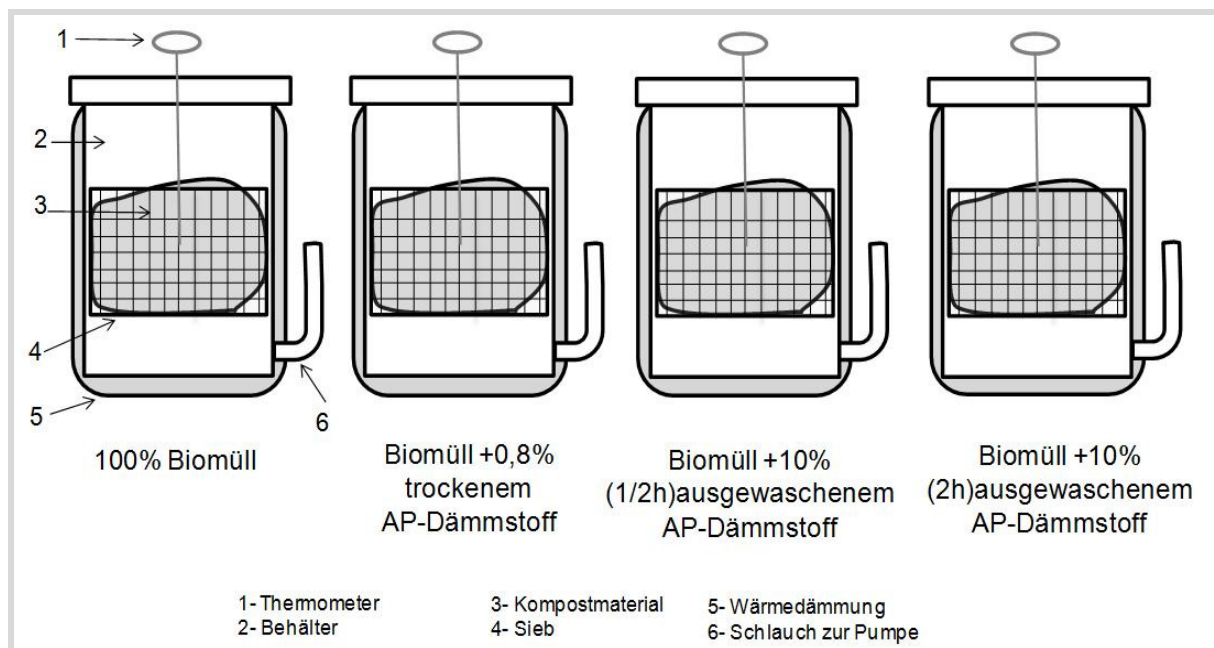


Abbildung 39: Reaktorenaufbau im Kompostierungsversuch

In einem Vorversuch wurde in einen Reaktor nur ausgewaschener AP-Dämmstoff eingesetzt. Die Temperatur im Reaktor veränderte sich während einer 1-wöchigen Versuchszeit nicht und entsprach der Raumtemperatur. Auch ein Animpfen mit Sickerwasser aus Bioabfallreaktoren brachte keinen Kompostierungs-

prozess in Gang. Die Möglichkeit AP-Dämmstoff ohne Zugabe von Bioabfall zu kompostieren wurde daher verworfen.

Nach der Zugabe von trockenem Altpapierdämmstoff von 0,8 % der Biomüllmasse und ausgewaschenem Dämmstoff mit 10 % der Biomüllmasse (siehe Kapitel 7.3.1) wurden diese Mengen in 3 Reaktoren untersucht. Trotz des niedrigen Einflusses von der Auswaschzeit auf die im Waschwasser ausgelöste Borgehaltmenge wurde der Effekt von ausgewaschenen AP-Dämmstoffen, die über unterschiedliche Auswaschzeiten ausgewaschen wurden, auf den Verlauf des Kompostierungsprozesses ebenfalls untersucht. Um den Kompostierungsprozess zu unterstützen, wurden 10 % der zu untersuchenden Menge (Biomüll, AP-Dämmstoff) an Frischkompost mit dem Biomüll und dem AP-Dämmstoff vermischt. Als Strukturmaterial wurden 250 g zerkleinerter Baum- und Heckenschnitt zu dem zu untersuchenden Material hinzugefügt, um bessere Belüftungsbedingungen in den Reaktoren zu erhalten.

Als Referenzreaktor diente ein Reaktor in dem ausschließlich Bioabfall kompostiert wurde. Im zweiten Reaktor wurde ein Gemisch aus 0,8 % trockenem AP-Dämmstoff und Biomüll eingesetzt (siehe Kapitel 7.3.1). Im dritten Reaktor bestand das Gemisch aus Biomüll und 10 % feuchtem AP-Dämmstoff (siehe Kapitel 7.3.1), der zuvor 30 min ausgewaschen wurde. Im vierten Reaktor wurde 10 % feuchter AP-Dämmstoff, der einem 2 h Auswaschprozess unterzogen wurde, mit dem Biomüll gemischt. Die eingesetzten Materialien und deren Massen sind in der Tabelle 22 und schematisch in der Abbildung 40 dargestellt.

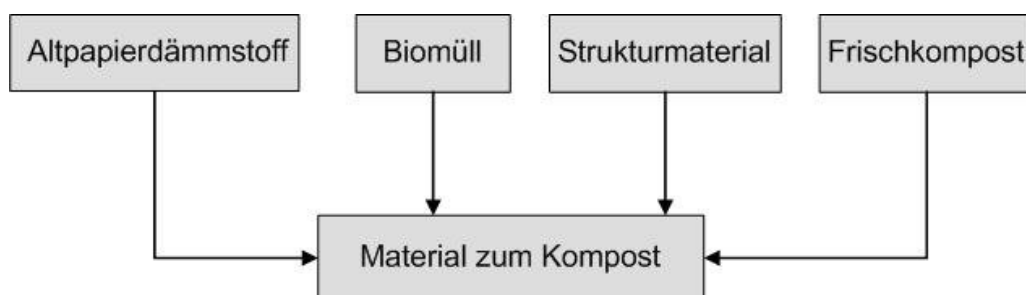


Abbildung 40: Mischung des Materials zur Kompostierung

Während der gesamten Versuchszeit im Technikum des Fachgebiets Abfalltechnik wurden die Temperaturen in den Reaktoren kontinuierlich in 60-Minutenintervallen

aufgezeichnet. Der Glühverlust und der Feuchtegehalt jedes untersuchten Gemisches wurden vor dem Einsetzen in den Reaktor und am Ende des Versuchs bestimmt. Die Massenreduktion R des Glühverlustes zwischen anfänglichem Abfall und Kompost am Ende des Kompostierungsprozesses zeigt die prozentuale abgebaute Substanz und wird nach der folgenden Gleichung (7.1) berechnet [DIN 14806 2005]:

$$R = \left[\frac{(M_{TS,a} \times GV_a) - (M_{TS,e} \times GV_e)}{(M_{TS,a} \times GV_a)} \right] \times 100 \quad (7.1)$$

- R Massenreduktion des organischen Anteils [%]
 $M_{TS,a}$ Die anfängliche Trockenmasse [g]
 $M_{TS,e}$ Die Trockenmasse zu Kompostierungsende [g]
 GV_a Der anfängliche Glühverlust [%]
 GV_e Der Glühverlust zu Kompostierungsende

Um Zufälligkeiten auszuschließen, wurde der Versuch einmal wiederholt (siehe Anhang D, Abbildung D 1), wobei der Borgehalt im ausgewaschenen Dämmstoff durch unterschiedliche Behandlungsmengen im Waschprozess (siehe Kapitel 7.2.3) variiert wurde.

Tabelle 22: Materialien in den Kompostierungsversuchsreaktoren

Reaktor	Inhalt des Reaktors	Masse [g]	Beschreibung
B	Biomüll	1.900	1,5 kg BiM+250 g Struktur Material +150 g Frischkompost
B-AP.0,8. t.	Biomüll+ 0,8 % trockenem AP	1.900	12 g trockner AP.+1.488 g BiM +250 g Struktur Material +150 g Frischkompost
B-AP.10. ½ h.f	Biomüll + 10 % für 1/2 h. ausgew. AP (feucht)	1.900	150 g für 1/2 h. ausgewaschener AP. +1.350 g BiM+250 g Struktur Material +150 g Frischkompost
B-AP.10.2 h.f	Biomüll +10 % für 2 h. ausgew. AP (feucht)	1.900	150 g für 2 h. ausgewaschener AP +1.350 g BiM+250 g Struktur Material +150 g Frischkompost

Während der 1-wöchigen Rottezeit wurde das Material in den Reaktoren einmal gewendet. Die erzeugten unterschiedlichen Komposte und die in den Reaktoren angefallenen Sickerwässer wurden analysiert

7.4 Ergebnisse des Kompostierungsversuchs

Die Kompostierungsprozesse wurden anhand der sich im jeweiligen Rottekörper einstellenden Temperatur beobachtet. Temperaturen von über 50 °C in sämtlichen Reaktoren wiesen auf eine hohe biologische Aktivität hin, so dass ein guter Rotteprozess zu erwarten war. Der optimale Temperaturbereich für einen maximalen Substanzabbau liegt zwischen 45 und 55 °C [Finstein 1983].

Da eine kontinuierliche Messung von Gasen nicht möglich war, wurden Kohlendioxid und Methan in den einzelnen Reaktoren einmal täglich gemessen. Die maximalen Kohlendioxidwerte lagen zwischen 17 und 24 Vol.-% (siehe Tabelle 23). Eine Methanbildung trat während der gesamten Versuchszeit nicht auf.

In Tabelle 23 sind die maximalen Kohlendioxidkonzentrationen während des Rotteprozesses, die Anfangs- und Endwerte von Feuchtigkeit, Trockenmasse und Glühverlust des Materials, sowie die nach [DIN 14806 2005] berechnete Massenreduktion des Glühverlustes während des Kompostierungsprozesses dargestellt.

Tabelle 23: CO₂, Feuchtigkeit, Glühverlust und Abbaugrad im Kompostierungsversuch

	Anfang des Versuchs			Max- CO ₂ [Vol.-%]	Ende des Versuchs			R [%]
	Feuchtigkeit [%]	Masse _{TR} [g]	Glühverlust [%]		Feuchtigkeit [%]	Masse _{TR} [g]	Glühverlust [%]	
B	68,85	591,85	87,03	17,7	57,67	301,16	71,94	58
B-AP.0,8. t.	78,26	413,06	81,86	23,4	70,53	298,19	76,44	33
B-AP.10. ½ h.f	79,96	380,76	81,03	24,8	62,38	330,95	74,17	21
B-AP.10.2 h.f	80,20	376,20	82,54	24,9	58,49	312,95	69,81	30

In Abbildungen 41 und 42 sieht man Biomüll und AP-Dämmstoff vor dem Mischen für den Kompostierungsversuch. Der nach 1-wöchiger Rotte entstandene Kompost wird in Abbildung 43 gezeigt. Die Materialien wurden nach einer Woche umgewendet und wieder in den Reaktoren eingesetzt. Eine Temperaturerhöhung wurde nicht festgestellt. In den Reaktoren wurde eine Massenreduzierung des Glühverlustes zwischen 21 % bei B-AP.10.1/2.h.f und 33 % bei B-AP.0,8.t erzielt. Diese Werte zeigen, dass obwohl AP-Dämmstoff mit Bor zugemischt wurde, der Kompostierungsprozess nicht

verhindert aber beeinträchtigt wurde, da die Massenreduzierung im Biomüllreaktor das 2 Fache der Massenreduzierung bei den Reaktoren mit zusätzlicher AP-Dämmstoffmenge beträgt. Mit einer Reduzierung des Glühverlustes um 58 % beim reinen Biomüll, wurde in gleichem Zeitraum allerdings deutlich mehr organische Substanz abgebaut als bei anderen Reaktoren.

In Abbildung 44 sind die Temperaturverläufe in den einzelnen Reaktoren dargestellt. Es zeigt sich, dass der Kompostierungsprozess bei der Zugabe von 0,8 % trockenem AP-Dämmstoff später beginnt, als bei reinem Bioabfall. Die maximale Temperatur im Reaktor mit 0,8 % AP-Dämmstoff von 58 °C liegt jedoch um 4 °C über der maximalen Temperatur im reinen Biomüllreaktor.

Die beiden Versuche B-AP.10.1/2 h.f und B-AP.10.2.h.f wiesen jeweils einen ähnlichen Temperaturverlauf auf, daher wurde aus Gründen der Übersichtlichkeit auf eine Darstellung der Temperaturkurve des Versuchs B-AP.10.2.h.f in Abbildung 44 verzichtet. Die ähnlichen Temperaturverläufe sind auf einen in etwa gleichen Borgehalt in den zugemischten, ausgewaschenen AP-Dämmstoffmengen zurückzuführen (siehe Kapitel 7.2.3). Die maximale Reaktortemperatur lag mit 52 °C leicht unter der des reinen Biomüllreaktors.

Der Wiederholungsversuch zeigte, dass der Abbauprozess ebenfalls eine Woche dauerte und die höchsten Temperaturen in den Reaktoren zwischen 45°C und 52°C lagen (siehe Anhang D, Abbildung D 1).

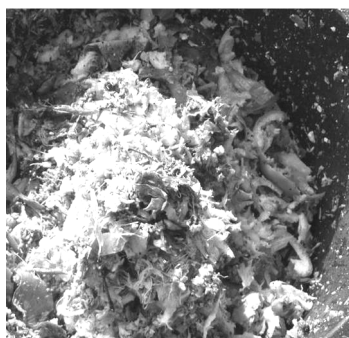


Abbildung 41: Biomüll

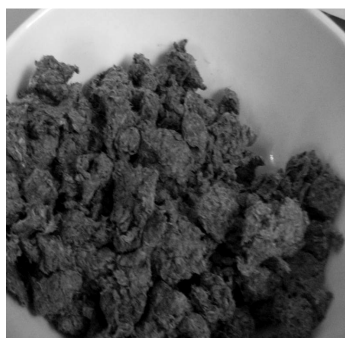


Abbildung 42: Ausgewaschener AP-Dämmstoff

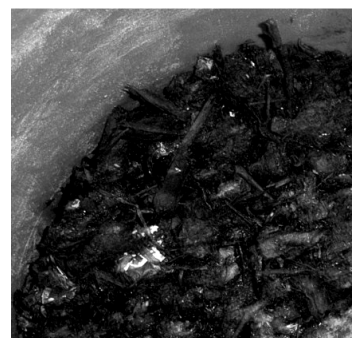


Abbildung 43: Kompost

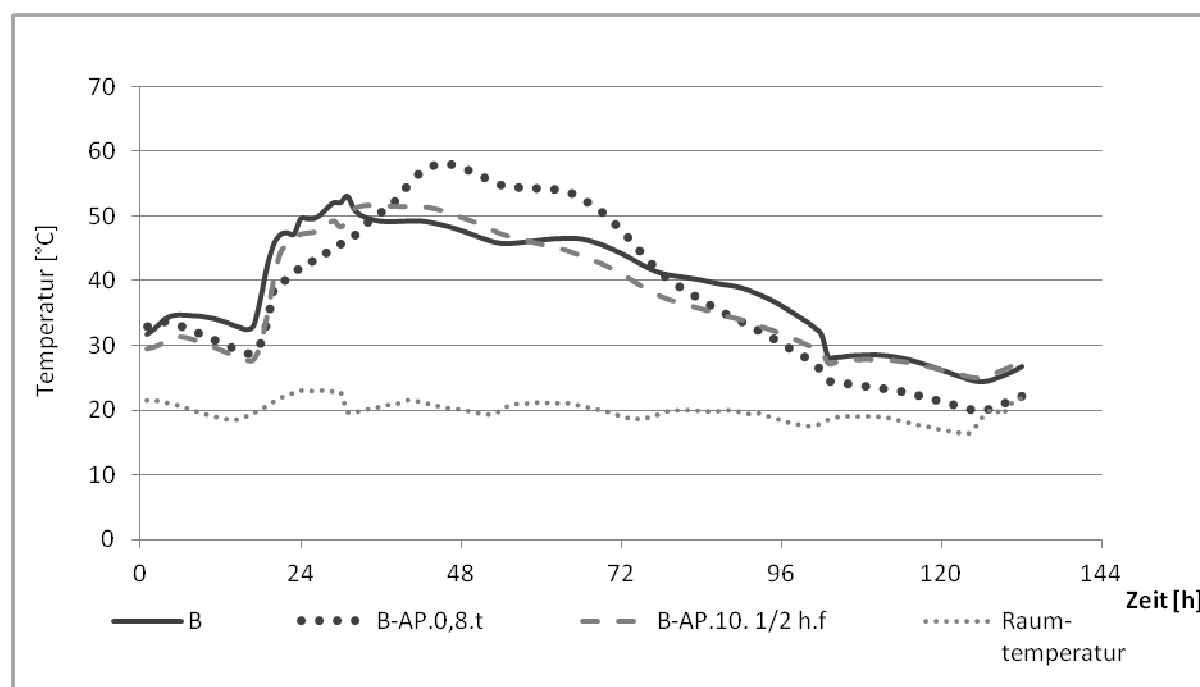


Abbildung 44: Temperaturverlauf in Kompostreaktor

In den Reaktoren entstanden unterschiedliche Sickerwassermengen, die gesammelt und später im Labor analysiert wurden. Ein Zusammenhang zwischen Altpapierzugabe und Sickerwasserentstehung konnte nicht festgestellt werden. Im Reaktor B-AP.10.1/2 h.f entstand nur eine kleine Menge Sickerwasser, die während des Versuches trocknete und daher nicht erfasst werden konnte.

Die Bor-Menge wurde sowohl im Waschwasser, im Sickerwasser als auch im Kompost bestimmt. Aufgrund der Ergebnisse der Boranalysen wurden Borbilanzen für die Kompostversuche (Abbildungen 45 und 46) erstellt.

Der Borgehalt in den Komposten mit AP-Dämmstoff lag zwischen 250 und 320 mg/kg_{TS}. Im Kompost aus reinem Biomüll wurde ein Borgehalt von 33 mg/kg_{TS} analysiert, da einige Gemüse und Obst Bor als Spurenelement enthalten. Bezogen auf den feuchten Kompost liegt die Borkonzentration zwischen 124 und 162 mg/kg. Die Ergebnisse sind in Tabelle 24 dargestellt.

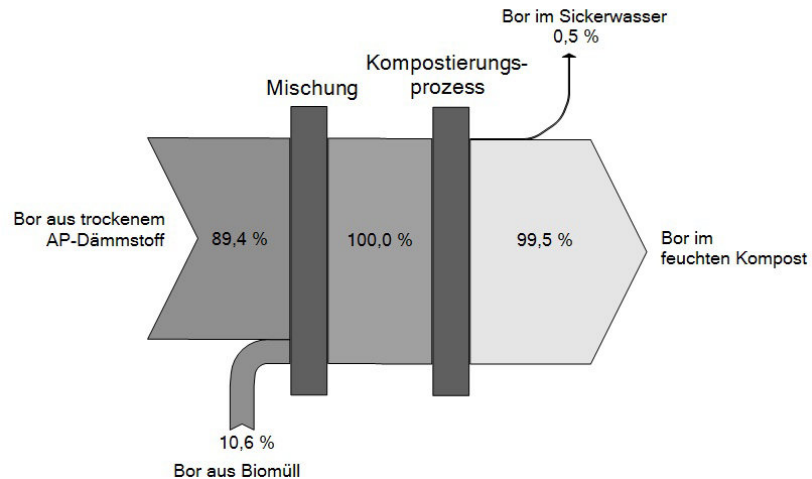


Abbildung 45: Borbilanz beim Kompostierungsversuch mit 0,8% trockenem AP-Dämmstoff und Biomüll

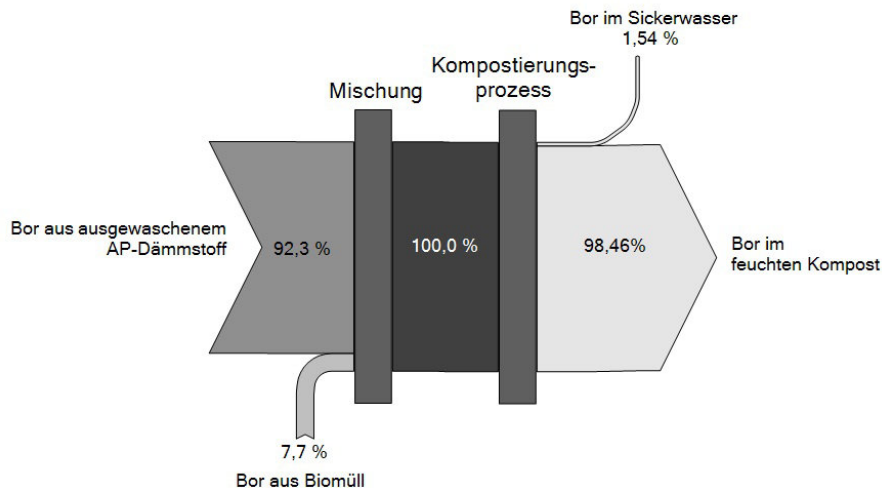


Abbildung 46: Borbilanz beim Kompostierungsversuch mit 10% ausgewaschenem AP-Dämmstoff und Biomüll

Tabelle 24: Bor-Konzentration im Kompost und Sickerwasser

Reaktor	Kompost [g]	Feuchtigkeit im Kompost [%]	Sickerwasser [g]	Bor-Konzentration		
				Kompost [mg/kg _{TS}]	Kompost [mg/kg] (berechnet)	Sickerwasser [mg/l]
B	689,11	56,30	93,96	33	14	10,30
B-AP.0,8. t.	704,11	57,65	147,60	320	142	3,51
B-AP.10. ½ h.f	804,84	58,88	0,00	290	162	0,00
B-AP.10.2 h.f	878,82	64,39	165,28	250	124	10,30

Das Zumischen von borhaltigem AP-Dämmstoff hat den Kompostierungsprozess nicht verhindert. Ausgehend vom Mindestgehalt an Bor (200 mg Bor/ kg_{TS} Kompost)

im Dünger mit Spurennährstoffen [DüMW 2009] kann man ca. 0,5 % trockenen AP-Dämmstoff dem Biomüll bei der Kompostierung zumischen. Der ausgewaschene AP-Dämmstoff kann zu ca. 7 % dem Biomüll zugemischt werden.

Die höhere Temperatur bei den Reaktoren mit AP-Dämmstoff kann darauf zurückgeführt werden, dass der AP-Dämmstoff als zusätzliches Strukturmaterial wirkt und die Belüftung dabei unterstützt.

Je nach der anfallenden Altpapiermenge im Verhältnis zum zu kompostierenden Biomüll kann das geeignete Verfahren gewählt werden. Beispielhaft ist in Abbildung 47 das Verfahren für den Einsatz von ausgewaschenem AP-Dämmstoff schematisch dargestellt.

Nach der im Analyselabor durchgeführten Analyse des AP-Dämmstoffs liegt der Borgehalt bei 7,6 g/kg. Daher ist der in der Berechnung mit 11,4 g/kg angenommene Wert hoch und liefert somit ein entsprechendes Sicherheitspotential bei der Berechnung des zulässigen Mischungsverhältnisses von AP-Dämmstoff zu Bioabfall.

Das Sickerwasser weist relativ geringe Borkonzentrationen auf, die aber den max. Wert der dt. Trinkwasserverordnung von 1 mg/l bis um das 10-fache übersteigen. Bei der Behandlung des Sickerwassers in einer Kläranlage ist aber mit einer starken Verdünnung zu rechnen, da bei 800 mg/l und mehr keine stabile Nitrifikation in kommunalen Kläranlagen etabliert werden kann und die Hemmung für 1.000 mg/l Bor etwa 40% betragen kann [Buchheister 2003].

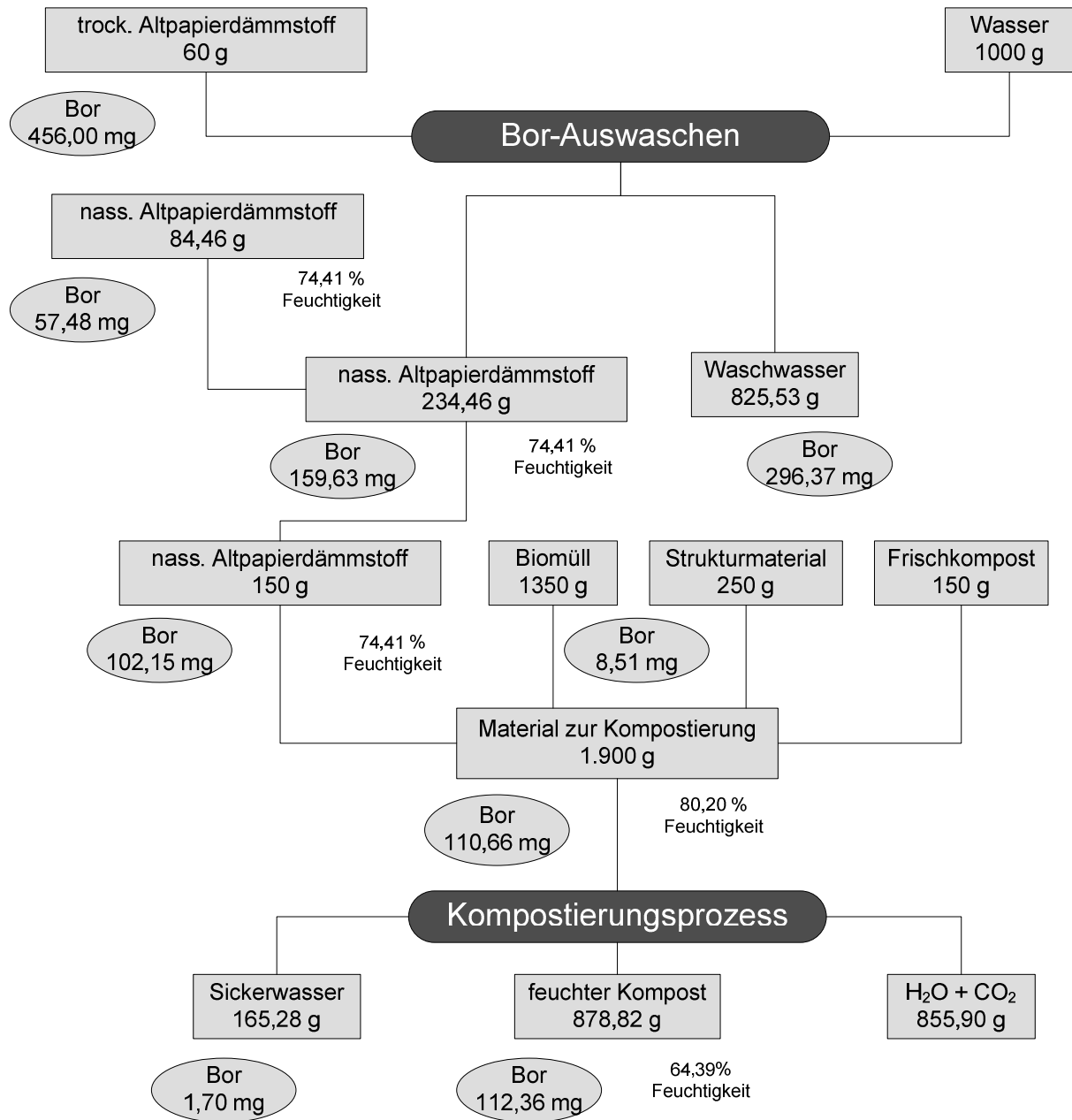


Abbildung 47: Kompostieren im Versuch vom Biomüll mit 10% der Biomüllmasse von ausgewaschenem AP-Dämmstoff

8 Ökologische Bewertung des Altpapierdämmstoffs

Das Ziel der ökologischen Bewertung in dieser Arbeit ist es, den Rohstoffbedarf, den Energiebedarf und die entstehenden Emissionen innerhalb des Lebenszykluses des AP-Dämmstoffs mit denen der konventionellen in Syrien eingesetzten Dämmstoffe zu vergleichen.

Eine Ökobilanz ist die Zusammenstellung und Beurteilung der Input- und Outputflüsse und der potentiellen Umweltwirkungen eines Produktsystems im Verlauf seines Lebenswegs [DIN 14040 2009].

Als Basis für die Bilanzierung dienen die in Kapitel 5 berechneten Werte über Dämmstoffmengen und den Energieverbrauch innerhalb einer Nutzungsphase von 50 Jahren in einem typischen syrischen Gebäude. AP-Dämmstoff wurde mit einer Dämmschichtdicke von 10 cm, die restlichen Dämmstoffe mit jeweils 5 cm betrachtet, da die Dämmwirkung und der ökonomische Vorteil von 10 cm AP-Dämmstoff sich insgesamt als am günstigsten erwiesen (siehe Kapitel 5.5). Nach der Nutzungsphase besteht in Syrien derzeit die Möglichkeit, die Dämmstoffe, nachdem sie aus dem Gebäude ausgebaut wurden, zu recyceln oder auf einer Deponie abzulagern. In Syrien besteht kein Ablagerungsverbot für bestimmte Stoffe auf Deponien.

8.1 Datenquellen

In Syrien werden Polyurethan und Polystyrol unter Einsatz von Fluorchlorkohlenwasserstoffen als Treibmittel hergestellt. Steinwolle wird nach Syrien importiert. Eine Fabrik zur Steinwolle-Herstellung aus Basalt ist in Planung. Eine AP-Dämmstoffherstellung gibt es in Syrien nicht, daher werden die Angaben für die Herstellung von Steinwolle als auch von AP-Dämmstoffen aus deutschen Datenbanken eingesetzt.

Informationen über Rohstoffe und Emissionen bei der Herstellung der verschiedenen Dämmstoffe sind dem Bericht Life Cycle Inventories of Building Products entnommen [ecoinvent 2007]. Die Graue Energie, der Treibhauseffekt in den Phasen von der Rohstoffproduktion über die Dämmstoffherstellung und den Transport bis zum Einbau in das Gebäude wurden der Literatur [Kolb 2004] entnommen. Informationen über Polyurethan werden verschiedenen Ökobilanzstudien [IVPU 2002] entnommen.

Daten über den Wasserverbrauch während der Herstellungsphase der Dämmstoffe entstammen aus der Literatur [Wecobis 2011].

Alle weiteren für die Bilanzierung notwendigen Daten können aus den Daten der oben angegebenen Quellen berechnet werden.

Die Software Umberto erlaubt die Modellierung von vernetzten Prozesssystemen unter Einbezug von Stoffströmen, Energieflüssen und Emissionen. Zur Auffindung des Rohstoffbedarfs, der Energieeinsparpotentiale, der Emissionen und des Deponieraumbedarfs der unterschiedlichen Dämmstoffe innerhalb des gesamten Lebenszyklus wurden verschiedene Szenarien modelliert. Dadurch können die Daten sowohl für den gesamten Lebenszyklus der Dämmstoffe als auch für die verschiedenen Phasen des Lebenszyklus der Dämmstoffe miteinander verglichen werden.

8.2 Lebensabschnitte der Dämmstoffe

In diesem Abschnitt werden die für die Dämmstoffherstellung benötigten Rohstoffe, die für diese Studie festgelegten Dämmschichtdicken sowie die Entsorgungsmöglichkeiten der unterschiedlichen Dämmstoffe dargestellt. Ausgehend von diesen Angaben werden verschiedene Szenarien (siehe Kapitel 8.40) ausgewählt und mittels der Software Umberto ökologisch miteinander verglichen. In Abbildung 48 wird der Lebenszyklus des AP-Dämmstoffs dargestellt. In Anhang E sind die Lebenszyklen von den anderen Dämmstoffen in Abbildungen E1, E 2, E 3 dargestellt.

8.2.1 Herstellung

Steinwolle wird derzeit von Saudi-Arabien und anderen Ländern nach Syrien importiert. Es bestehen Pläne, in Syrien Steinwolle aus Basalt herzustellen. Termine für eine Umsetzung dieser Pläne sind allerdings nicht bekannt. Die benötigten Daten über Steinwolle sind in Anhang E in Tabellen E 1 und E 2 zu erhalten.

Die Rohstoffe zur Herstellung des Polystyrols sind Benzin und Ethylen. Als Treibgas wird heutzutage in Deutschland meist eine Mischung aus 50 % Kohlendioxid und 50 % Pentan eingesetzt [Wecobis 2011], während in Syrien immer noch Fluorchlorkohlenwasserstoffe verwendet werden. Eine Polystyrol-Platte besteht aus ca. 98% Luft und 2 % Polystyrol [FNB 2010]. Aus fabrikneuen Polystyrol-Platten wird Styrol unter 2 ppm über einen Zeitraum von 4 Wochen emittiert [Wecobis 2011]. Die einge-

setzten Daten in der ökologischen Betrachtung bezüglich der Herstellungsphase von Polystyrol findet man in Anhang E in Tabellen E 1 und E 3.

Die wichtigsten Rohstoffe für die Herstellung der Polyurethan-Dämmstoffe sind Diphenylmethan-Diisocyanat und Polyether oder Polyester-Polyole. Als Treibmittel werden heute in Deutschland hauptsächlich Kohlenwasserstoffe (Pentan) eingesetzt, in geringen Mengen auch CO₂. In Syrien sind Fluorchlorkohlenwasserstoffe als Treibmittel im Einsatz. Die Daten von Polyurethan sind in Anhang E in Tabellen E 1 und E 4 angegeben.

Altpapier wird zerkleinert und wird mit einer Mischung aus 4 % Borsäure und 4 % Borax gemischt [Külmer 2010]. Die Daten von der Herstellung des AP-Dämmstoffs sind in Anhang E in Tabellen E 1 und E 5 angegeben.

8.2.2 Entsorgung

Die Stadt Homs betreibt eine geordnete Deponie mit einer Kapazität von 410.000 Mg/a, die 5 km vor der Stadt liegt [Eidam 2007].

In Homs gibt es keine Kompostierungsanlagen, aber der Bau einer solchen Anlage ist geplant. Die Kompostierungsanlage soll 50 km von Homs entfernt liegen und ist für ca. 30 Mg/d Material ausgelegt [Mohamad 2011]. Im Stoffstrommodell werden die von diesen Anlagen zur Verfügung stehenden Daten zur Berechnung von Energiebedarf und Emissionen eingesetzt.

Steinwolle

Die mineralischen Bestandteile verhalten sich auf der Deponie chemisch inert. Die Bindemittel sind sehr stabil und reagieren auch bei erhöhten Temperaturen auf der Deponie nur in sehr geringem Maße [Wecobis 2011]. „Nachteilig bei der Deponierung ist die geringe Rohdichte und schlechte Komprimierbarkeit und der damit verbundene Raumbedarf.“ [Mötzel 2009]

Polystyrol

Jährlich werden in Deutschland nur 5% der Polystyrol-Platten inklusive der Produktionsabfälle recycelt [Wecobis 2011]. Als Schüttdämmstoff kann das alte Polystyrol weiterverwertet werden, wegen des hohen Aufbereitungsaufwands ist dieses Vorgehen jedoch weder ökologisch noch ökonomisch vertretbar [Kolb 2004].

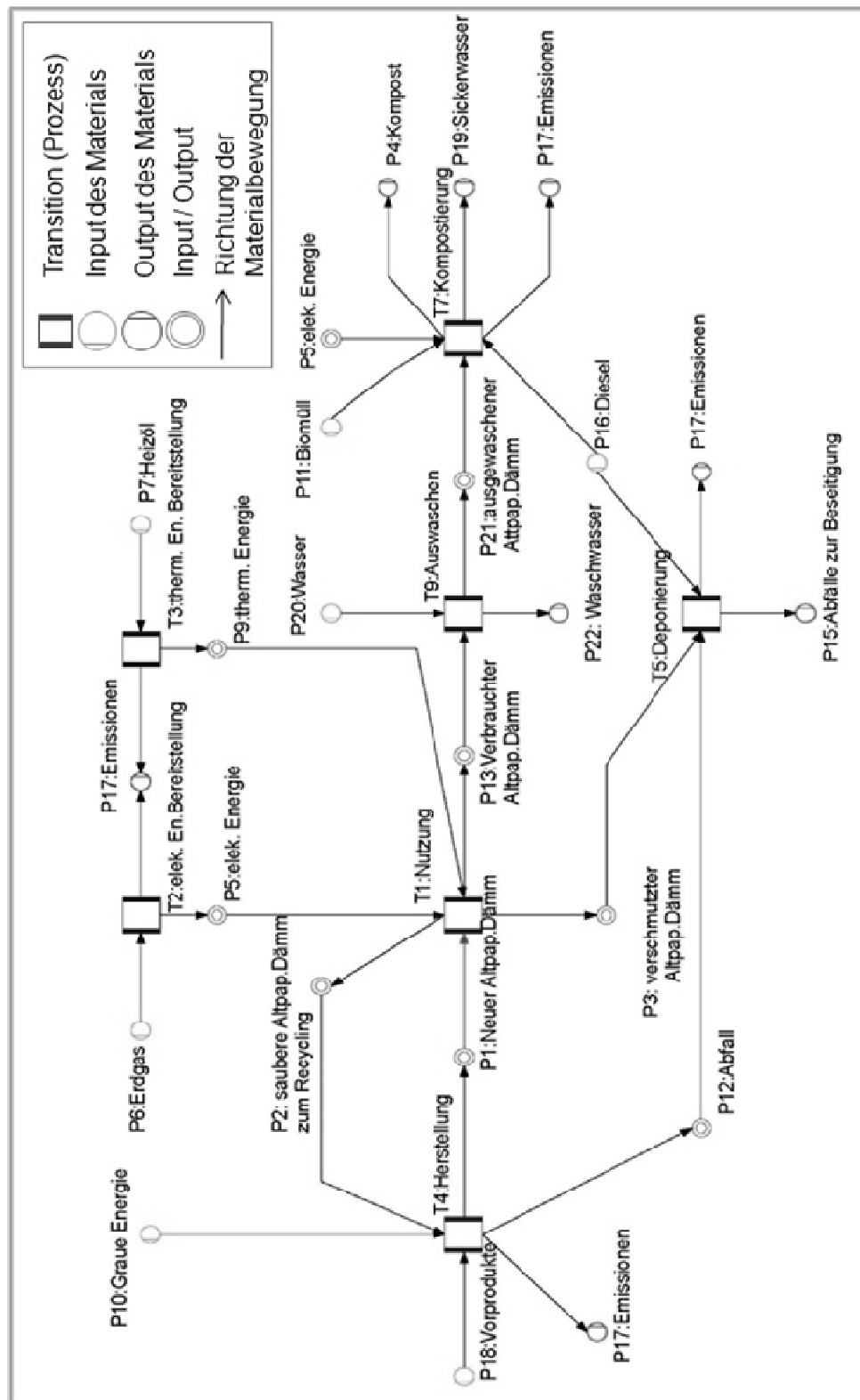


Abbildung 48: Darstellung des Lebenszyklus AP-Dämmstoffs

Auf einer Deponie ist ein Auswaschen des Flammenschutzmittels möglich und dies kann zu einer erhöhten Belastung der Deponie-Abwässer beitragen. Es ist nicht nachgewiesen, dass Flammenschutzmittel in der Nahrungskette vorkommen. [Kolb 2004, Wecobis 2011]

Bei einer Deponierung können Polystyrol-Platten aufgrund ihres hohen Luftanteils stark verdichtet werden. Es wird angenommen, dass eine gute Verdichtung der Polystyrolplatten in der Praxis realisiert werden kann.

Polyurethan

Saubere und unbeschädigte PUR-Platten können nach dem Einsatz als Dämmstoffmaterial wiederverwertet werden, z.B. zur Dämmung der obersten Geschossdecken bei der Altbaurenovierung. Saubere Polyurethan-Abfälle, die mit Pentan oder CO₂ als Treibmittel hergestellt werden, können zu Klebepressplatten recycelt werden [IVPU 2002].

Das Produkt ist je nach Qualität nur langsam oder nicht verrottbar. In Syrien kann PUR mit Bauabfall ohne thermische Vorbehandlung deponiert werden.

Die Polyurethan-Platten lassen sich beim Einbau auf der Deponie nur wenig verdichten, da die Polyurethan-Platten mechanisch widerstandsfähig sind.

Altpapierdämmstoff

AP-Dämmstoff kann als Dämmstoff wiederverwendet werden.

Eine Deponierung von AP-Dämmstoffen ist seit dem 01.06.2005 in Deutschland ohne thermische / energetische Vorbehandlung nicht mehr zulässig. In Syrien besteht die Möglichkeit AP-Dämmstoff zu deponieren.

8.3 Deponierung der Dämmstoffe

Die derzeit einzige Möglichkeit in Syrien, die Dämmstoffe nach ihrer Nutzung zu entsorgen, ist die Deponie. Um die Umweltwirkungen der deponierten Dämmstoffe zu beurteilen, werden im Stoffstrommodell der Raumbedarf, das entstehende Sickerwasser und die Emissionen der Deponie für die verschiedenen Dämmstoffe berechnet.

8.3.1 Raumbedarf

Die Einbaudichte von AP-Dämmstoff auf der Deponie beträgt $0,3 \text{ Mg/m}^3$ [Behrends 1995]. Das bedeutet, dass 300 kg AP-Dämmstoff 1 m^3 Raumbedarf auf der Deponie beanspruchen. Voraussetzung dafür ist, dass die Altpapiermenge auf ein Sechstel des ursprünglichen AP-Dämmstoffvolumens (50 kg/m^3) komprimiert wird. Für die Einbaudichte von Polystyrol auf einer Deponie wird der gleiche Wert angenommen, da die Polystyrol-Platten eine große Menge Luft beinhalten und sich dadurch gut verdichten lassen. Da die Komprimierbarkeit von Steinwolle und Polyurethan sehr schlecht ist, wird für deren Einbaudichte angenommen, dass Steinwolle und Polyurethan nur 25 % des Volumens beim Verdichten verlieren. Mit Hilfe der Rohdichte und der Dämmstoffmenge zum Ablagern lässt sich der Raumbedarf berechnen. Ausgehend von einer Höhe der Einbauschicht im Deponiekörper von 30 cm wird die benötigte Fläche auf der Deponie berechnet.

8.3.2 Sickerwasser

Die Niederschlagsmenge in Homs beträgt durchschnittlich $400\text{-}500 \text{ l/m}^2$ pro Jahr. Die in Homs liegende Deponie hat eine Fläche von 440.000 m^2 [Tröger 2008]. Eine Verdunstung von der Deponiefläche von 25 % der Regenwassermenge wird für eine Deponie mit verdichteter Oberfläche mit Kompaktoren angenommen [Fricke 2005]. Als Folge der höheren Einbaudichte ergibt sich ein intensiver Oberflächenabfluss von bis zu 60 % der Niederschlagsmenge [Fricke 2005]. Ausgehend von den angenommenen Werten für Verdunstung und Oberflächenabfluss macht die Sickerwassermenge ca. 15 % der Niederschlagsmenge aus. Das Sickerwasser läuft in den Deponien von Steinwolle, Polystyrol und Polyurethan ab. Der Altpapierdämmstoff speichert das Sickerwasser im Deponiebau. Die Speicherfähigkeit von Altpapierdämmstoff mit einer Dichte von 150 g/l wurde im Labor untersucht. Es wurden 150 g Altpapierdämmstoff in einem 1 Liter Behälter verdichtet und mit Wasser gesättigt. Die gespeicherte Wassermenge im Versuch beträgt 1l. Daher wird angenommen, dass bei einer Dichte von 300 g/l auf der Deponie eine Speicherfähigkeit von ca. $0,5 \text{ l}$ Wasser entsteht. Ausgehend von dieser Untersuchung wird die Speicherfähigkeit in der Deponie mit der Dichte von 300 kg/m^3 AP-Dämmstoff mit $0,5 \text{ l/m}^3$ berechnet.

Erfasstes Sickerwasser wird normalerweise in einer Kläranlage behandelt. In Kläranlagen kann Bor nicht entfernt werden. Wird das geklärte Sickerwasser mit seinem Borgehalt in Oberflächengewässer eingeleitet, ist mit einer starken Verdünnung zu rechnen. Natürliche Bor-Konzentrationen liegen in Oberflächengewässern in Europa relativ niedrig im Bereich von 0,01 - 0,05 mg/l, Meerwasser hingegen enthält im Mittel 4,6 mg/l [Kuhlmann 1999]. Daher muss der Borgehalt im Sickerwasser gemessen und bei hohen Beiträgen verdünnt werden, bevor das Sickerwasser Oberflächengewässern zugeleitet wird.

8.3.3 Gasbildung

Bei der Deponierung von Steinwolle werden keine Gase emittiert, da es sich um inertes/mineralisches Material handelt. Es gibt keine Untersuchungen über das Freisetzen von Treibmitteln aus Polystyrol und Polyurethan auf Deponien. Es kann aber davon ausgegangen werden, dass nach einer 50-jährigen Nutzungszeit und den üblichen, bei der Herstellung eingesetzten Treibmittelmengen, die daraus entstehenden potentiellen Mengen vernachlässigbar sind. Bei der Deponierung von AP-Dämmstoff entstehen Gase, wie beispielsweise Methan und Kohlendioxid beim biologischen Abbauprozess. Die theoretisch dabei möglichen Gasmengen werden durch Berechnungen abgeschätzt.

Die freigesetzten Gasvolumina können mit der Gleichung (8.1) [Urban 2012] ermittelt werden.

$$V_{CO_2} = 1,868 \cdot C_{org} \quad (8.1)$$

V_{CO_2} Gebildetes Kohlendioxidvolumen [m^3/Mg]

C_{org} Organischer Kohlenstoff [kg/Mg]

Der erste Faktor ergibt sich daraus, dass bei einer vollständigen anaeroben Umsetzung von 1 kg Kohlenstoff (TOC) unter Normbedingungen $1,878m^3$ Gas gebildet werden. Die gesamten organischen Kohlenstoffe bei Altpapierdämmstoff liegen zwischen 43 % und 47 % [Urban 2012]. So berechnet sich das Kohlendioxidvolumen je kg AP-Dämmstoff auf der Deponie mit:

$$V_{CO_2} = 1,868 \left[\frac{m^3}{kg} \right] \times 0,44 = 0,82 \left[\frac{m^3}{kg} \right] = 820 \left[\frac{m^3}{Mg} \right]$$

Die Kohlendioxidmenge, Heizölmenge und Erdgasmenge innerhalb der Nutzungsphase werden in Anhang E berechnet.

Die eingesetzten Daten bezüglich der Kohlendioxidmenge und Kraftstoffmengen in der Kompostierung und der Deponierung sind in Anhang E angegeben.

8.4 Szenarien für die ökologische Bewertung

Bei der Modellierung des Lebenszyklus für die unterschiedlichen Dämmstoffe werden die in Tabelle 25 beschriebenen Szenarien analysiert.

Die Szenarien umfassen die Herstellung der einzelnen Dämmstoffe, wobei als Datengrundlage die unter Kapitel 8.1 beschriebenen Quellen dienen, und gehen über eine 50 jährige Nutzungsphase bis hin zu den unterschiedlichen Entsorgungswegen.

Die aus der Nutzungsphase der Dämmstoffe resultierenden Dämmstoff-, Energiemengen und Emissionen beziehen sich in allen Szenarien auf die Modellberechnungen für den Neubau (siehe Kapitel 5), da die Berechnungen im Rechenmodell für die unterschiedlichen Gebäudetypen keine signifikanten Unterschiede in den Ergebnisgrößen bezüglich der Energiemengen und der damit verbundenen Kohlendioxid-Emissionen innerhalb der Nutzungsphase zeigten.

Emissionen aus dem Transport der Dämmstoffe werden nicht berücksichtigt. Zum einen können keine Transportentfernungen auf Grund fehlender Informationen über Anlagenstandorte angegeben werden, da die im Modell betrachteten Anlagen zum Teil auch noch nicht bestehen. Zum anderen sind diese Emissionen vergleichsweise gering und daher vernachlässigbar gegenüber den Emissionseinsparungen aus einer 50 jährigen Nutzungsphase der Dämmstoffe. Mit Beispielberechnungen für Transporte der Dämmstoffe von der Baustelle zu einer 5 km entfernten Deponie konnten diese Einschätzungen mit 1,75 kg Kohlendioxidmenge bestätigt werden.

In den verschiedenen Szenarien, die die derzeitige Entsorgungspraxis in Syrien widerspiegeln, werden die ausgebauten Dämmstoffe zu 100 % deponiert. Nach der neuen EU-Abfallrahmenrichtlinie müssen mindestens 70 % der Bau- und Abbruchabfälle bis zum Jahr 2020 recycelt werden. Dies gilt nicht unbedingt für jede Bauabfallart. Ein Recycling kann durch eine Weiterverwendung erfolgen. Die Weiterverwendung ist nicht auf die Anwendung als Dämmstoffplatten beschränkt. Trotzdem wird

als optimaler Fall in weiteren Szenarien angenommen, dass 30% der Dämmstoffe deponiert und 70 % recycelt bzw. als Dämmstoff wiederverwendet werden. Dem einen Extrem, 100 % Deponierung wird dabei ein weiteres Extrem mit einer hohen Recyclingquote gegenübergestellt. Eine Deponie in Syrien beinhaltet eine Sickerwassererfassung. Nach den Ergebnissen aus Kapitel 7.4 fließen die unterschiedlichen Möglichkeiten für eine AP-Dämmstoffkompostierung in weitere Szenarien ein, wobei der Kompostierungsprozess in offenen Mieten in Syrien erfolgt.

Als ökologisch optimale Lösung für den AP-Dämmstoff, bei der keine zu entsorgenden Reststoffe entstehen, wird die Kombination aus 70 % Recycling und 30 % Kompostierung in einem Szenario dargestellt.

Tabelle 25: Szenarien der ökonomischen Betrachtung

Szenario	Beschreibung	
	Dämmstoff	Entsorgungsweg
D.SW	Steinwolle	Deponierung
D.EPS	Polystyrol	Deponierung
D.PUR	Polyurethan	Deponierung
D.AP	Altpapierdämmstoff	Deponierung
30D,70R.SW	Steinwolle	70% Recycling + 30% Deponierung
30D,70R.EPS	Polystyrol	70% Recycling + 30% Deponierung
30D,70R.PUR	Polyurethan	70% Recycling + 30% Deponierung
30D,70R.AP	Altpapierdämmstoff	70% Recycling + 30% Deponierung
K.AP.f.10	Altpapierdämmstoff	Kompostierung 10% feuchte ausgewaschene AP-Dämmung zum Biomüll
K.AP.t.0,8	Altpapierdämmstoff	Kompostierung 0,8% trockene AP-Dämmung zum Biomüll
70.R,30K.AP.t	Altpapierdämmstoff	70% Recycling + 30% Kompostierung 0,8% trockene AP-Dämmung zum Biomüll

8.5 Ergebnisse der ökologischen Betrachtung

Im Rahmen der ökologischen Betrachtung werden Energiebedarf, Kohlendioxidausstoß, Wasserverbrauch, Abfallmengen und Deponieflächenbedarf für die unterschiedlichen Szenarien berechnet. Die aus den Szenarien, die jeweils ein typisches Gebäude betrachten, gewonnenen Ergebnisse werden anschließend auf das ganze Land Syrien (13.186 Gebäude im Jahr 2008) hochgerechnet. Bei einer durchschnitt-

lichen Wohngebäudezahl von 15.000 Wohngebäude/a in Syrien, beträgt die Standardabweichung 12 %. Dieser Fehler kann sowohl für den Energiebedarf als auch für den Kohlendioxidausstoß übertragen werden. Diese mit Unsicherheiten behaftete Hochrechnung ist möglich, da mit Homs eine für Syrien repräsentative Stadt und ein für Syrien typisches Wohngebäude (siehe Kapitel 5.2) für die Berechnungen gewählt wurden.

In Abbildung 49 und Abbildung 50 sind die Verteilung des Energieaufwands bzw. der entstehenden CO₂-Emissionen in den Lebensabschnitten der unterschiedlichen Dämmstoffe und der verschiedenen betrachteten Entsorgungsszenarien dargestellt. Der dargestellte Energiebedarf und der damit gekoppelte CO₂-Ausstoß während der Nutzungsphase ist nicht den Dämmstoffen anzulasten, sondern stellt die insgesamt benötigte Energie zum Heizen und Klimatisieren des Gebäudes dar, die durch die Dämmung nur noch ca. 50 % der Energie und der CO₂-Emissionen eines ungedämmten Gebäudes beträgt.

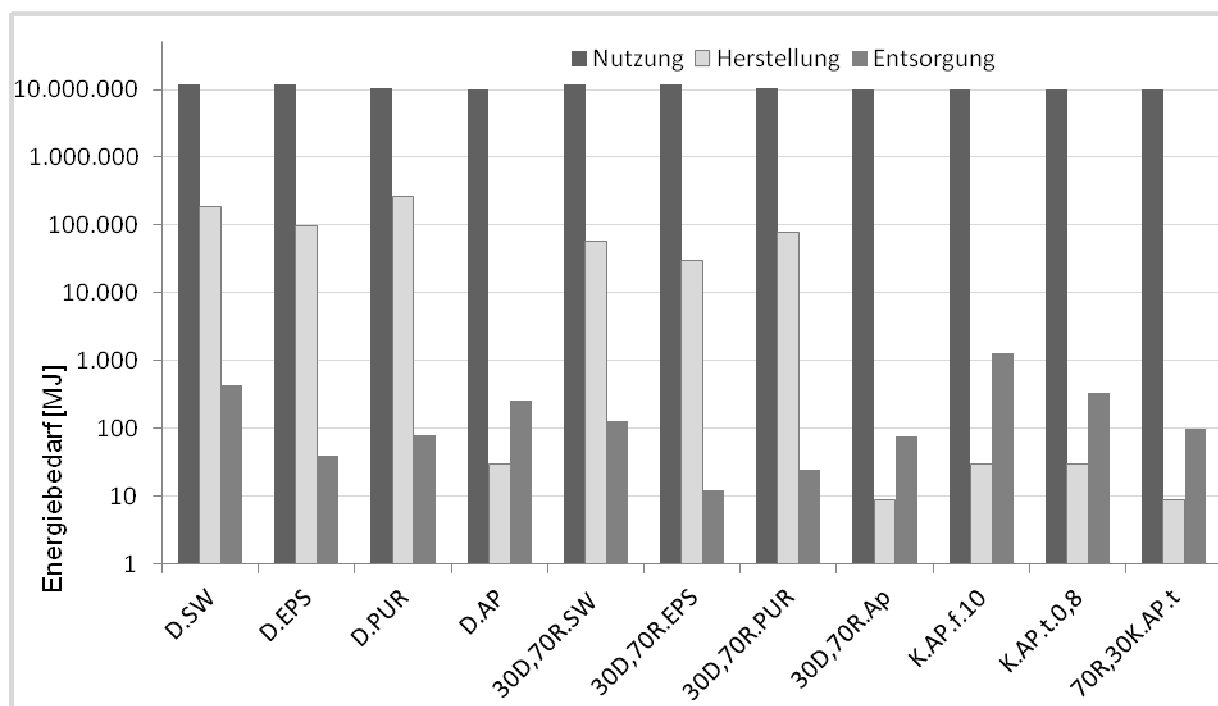


Abbildung 49: Verteilung des Energiebedarfs in Lebensabschnitte der in den gesamten syrischen Gebäuden eingesetzten Dämmstoffe

Der Energieverbrauch bei der Herstellung von Steinwolle, Polystyrol oder Polyurethan zum Dämmen eines Gebäudes macht ca. 1 % des Energiebedarfs zum Heizen und Klimatisieren dieses Gebäudes während der 50-jährigen Nutzungsphase aus.

Der Energiebedarf für die Entsorgung der Dämmstoffe beträgt zwischen 10^{-4} und 10^{-2} % des Energiebedarfs für die Herstellung der jeweiligen Dämmstoffmengen.

Bei der Deponierung der Dämmstoffe entstehen CO₂-Emissionen durch den Betrieb der Maschinen. Diese Mengen sind aber vergleichsweise sehr gering. Bei der Deponierung hängt die Kohlendioxidmenge von der zu deponierenden Dämmstoffmenge und somit von der gebrauchten Dieselmenge der Maschinen für die Verdichtung ab. Lediglich beim AP-Dämmstoff entsteht durch den biologischen Abbauprozess zusätzliches CO₂ in nennenswerten Mengen (siehe Abbildung 50).

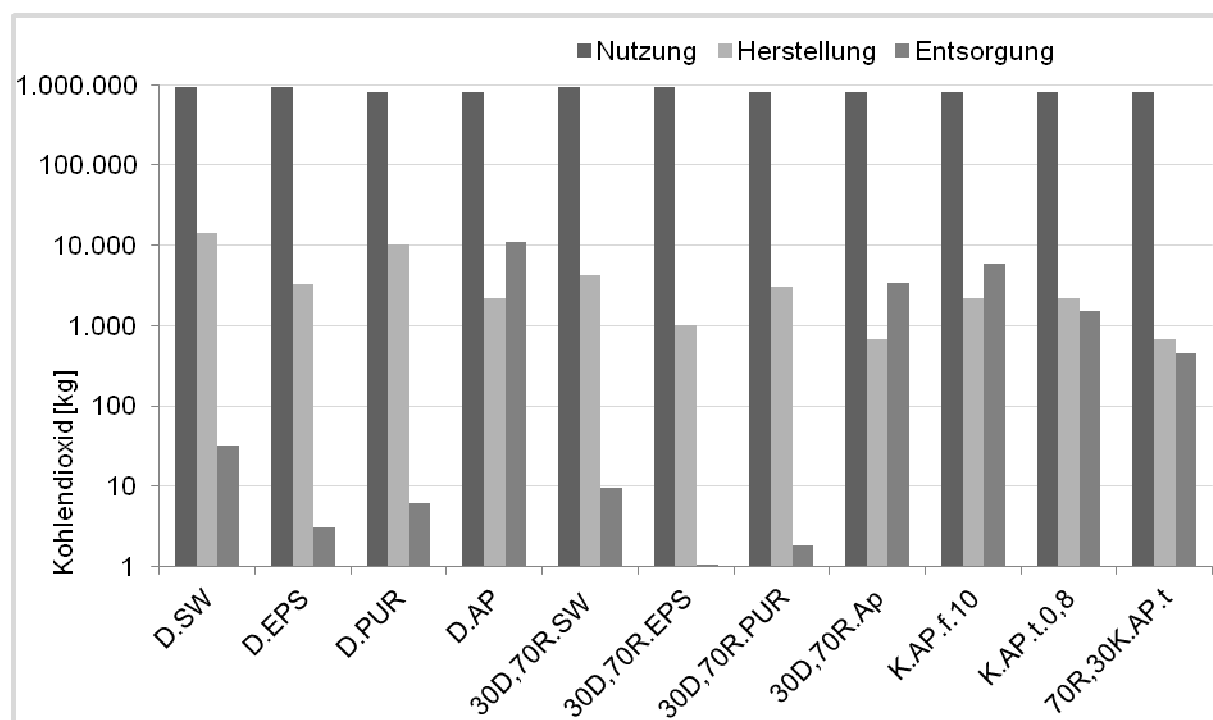


Abbildung 50: Verteilung des emittierten Kohlendioxids in Lebensabschnitte der in den gesamten syrischen Gebäuden eingesetzten Dämmstoffe

Abbildung 51 und Tabelle 26 zeigen, dass der Einsatz von AP-Dämmstoff zum geringsten Energiebedarf und damit gekoppelt auch zu den geringsten CO₂-Emissionen führt. Dies kann auf den geringen Energiebedarf bei der Herstellung des AP-Dämmstoffs zurückgeführt werden.

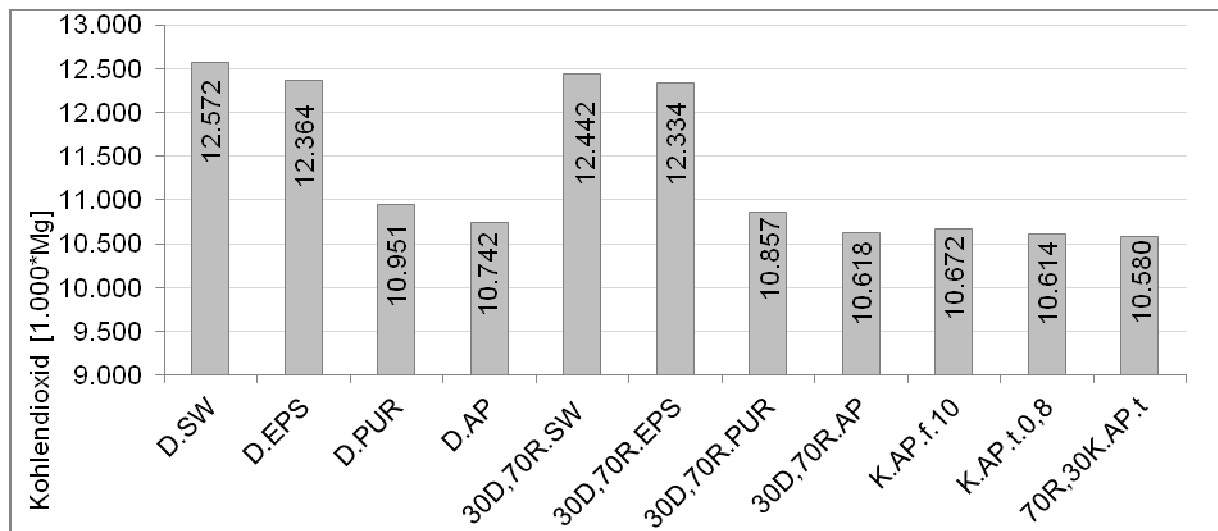


Abbildung 51: Gesamter Kohlendioxidausstoß über den Lebenszyklus der in den gesamten syrischen Gebäuden eingesetzten Dämmstoffe

Dem Energiebedarf aus der Herstellungs- und der Entsorgungsphase der Dämmstoffe steht eine Energieeinsparung von 44 bis 53 % aus der 50-jährigen Nutzung des gedämmten Gebäudes gegenüber. Dabei sind bei allen Szenarien nahezu gleiche Energiebedarfe zum Heizen bzw. zum Klimatisieren der Gebäude zu verzeichnen. Das ist wiederum auf ähnliche Dämmwirkungen der untersuchten Dämmstoffe zurückzuführen (siehe Kapitel 5.5.1).

Die Einsparung der emittierten Kohlendioxidmenge im ganzen Lebenszyklus des Altpapierdämmstoffs beträgt mehr als 1.000 Mg CO₂ im Vergleich zum emittierten Kohlendioxid durch den Einsatz von Steinwolle oder Polystyrol. Dies liegt darin begründet, dass das emittierte Kohlendioxid bei der Herstellung- und der Nutzungsphase des AP-Dämmstoffs geringer ist als bei der Herstellung und der Nutzung von Steinwolle bzw. Polystyrol.

Dämmstoffrecycling verringert den Energiebedarf und die damit verbundene emittierte Kohlendioxidmenge, da die insgesamt zu produzierenden Dämmstoffmengen geringer ausfallen und damit weniger Energie für die Herstellung benötigt wird. Durch das Recycling von AP-Dämmstoff wird mehr Energie sowohl bei der Herstellung als auch bei der Entsorgung gegenüber den anderen Dämmstoffen eingespart. Bei einer Kompostierung von 30 % der AP-Dämmstoffmenge wird mehr Energie benötigt als bei der 30 % igen Deponierung. Die Dieselmenge zum Antrieb der Maschinen ist bei der Kompostierung größer als auf der Deponie. Die Energieeinsparung bei 70% Re-

cycling und 30 % Deponierung der AP-Dämmstoffmenge ist gegenüber den anderen dargestellten Möglichkeiten am größten. Die emittierte Kohlendioxidmenge ist am geringsten, wenn der AP-Dämmstoff zu 70% recycelt und 30% mit Biomüll kompostiert wird.

Eine Zugabe des AP-Dämmstoffs zum Biomüll in einer Kompostierungsanlage führt zu einem höheren Energiebedarf als bei der vollständigen Deponierung des AP-Dämmstoffs, da mit einem höheren Aufwand für den Betrieb zusätzlicher Maschinen zu rechnen ist. Die Kohlendioxidmenge bleibt bei einer Beteiligung des AP-Dämmstoffs an der Kompostierungsanlage weniger als bei der Deponierung des gesamten AP-Dämmstoffs. Die Vorbehandlung des AP-Dämmstoffs vor der Kompostierung ist mit einer großen Wassermenge (siehe Abbildung 52) zum Auswaschen verbunden.

Mit dem Einsatz von 10 cm AP-Dämmstoff werden über den gesamten Lebenszyklus von der Herstellung bis zur Entsorgung im Vergleich zum ungedämmten Gebäude ungefähr die Hälfte des Energieverbrauchs (siehe Tabelle 26) und des Kohlendioxid- ausstoßes eingespart. Die Einsparung für das im Modell betrachtete mit AP-Dämmstoff gedämmte Gebäude über die 50-jährige Nutzungsdauer entspricht dem Kohlendioxidausstoß von 173 Mittelklassewagen pro Jahr. Wobei von einer jährlichen Fahrleistung von 30.000 km und einem durchschnittlichen CO₂-Ausstoß von 150 g CO₂/km ausgegangen wird.

Der große Wasserverbrauch im Dämmstofflebenszyklus wird auf die benötigte große Wassermenge bei der Herstellung zurückgeführt. Bei kleinen AP-Dämmstoffmengen, bei denen eine Vermischung ohne Vorbehandlung mit Biomüll möglich ist, werden große Wassermengen, die in anderen Szenarien zum Auswaschen des AP-Dämmstoffs benötigt werden, eingespart. In Abbildung 52 wird der gesamte Wasserbedarf im Dämmstofflebenszyklus für die unterschiedlichen Szenarien dargestellt. Eine Wiederverwendung von Steinwolle bzw. Polystyrol und Polyurethan wird derzeit noch nicht praktiziert. Ein möglicher Wasserverbrauch zum eventuellen Reinigen der Dämmstoffplatten wird nicht eingerechnet. Die Wassermenge zum Reinigen ist im Besonderen zu vernachlässigen, wenn die Dämmstoffplatten mittels Schraubdübeln oder Kleben gut geschützt sind und nicht verschmutzt werden.

Tabelle 26: Energiebedarf und Energieersparnis über den Lebenszyklus der in den gesamten syrischen Gebäuden eingesetzten Dämmstoffe

	Energiebedarf [MJ]			Gesamter Energiebedarf [MJ]	Energieersparnis [MJ]
	Herstellung der Dämmstoffe	Heizung + Kühlung des Gebäudes	Entsorgung der Dämmstoffe		
Ohne Dämmung		23.041.662		23.041.662	
D.SW	189.589	12.613.381	427	12.803.397	10.238.265
D.EPS	99.217	12.483.666	40	12.582.922	10.458.739
D.PUR	260.075	11.015.949	81	11.276.105	11.765557.
D.AP	30	10.759.513	257	10.759.800	12.281.861
30D,70R.SW	56.877	12.613.381	128	12.670.386	10.371.276
30D,70R.EPS	29.765	12.483.666	12	12.513.443	10.528.219
30D,70R.PUR	78.022	11.015.949	24	11.093.996	11.947.666
30D,70R.AP	9	10.759.513	77	10.759.599	12.282.062
K.AP.f.10	30	10.759.513	289	10.760.832	12.280.829
K.AP.t.0,8	30	10.759.513	330	10.759.873	12.281.789
70R,30K.AP.t	9	10.759.513	99	10.759.621	12.282.041

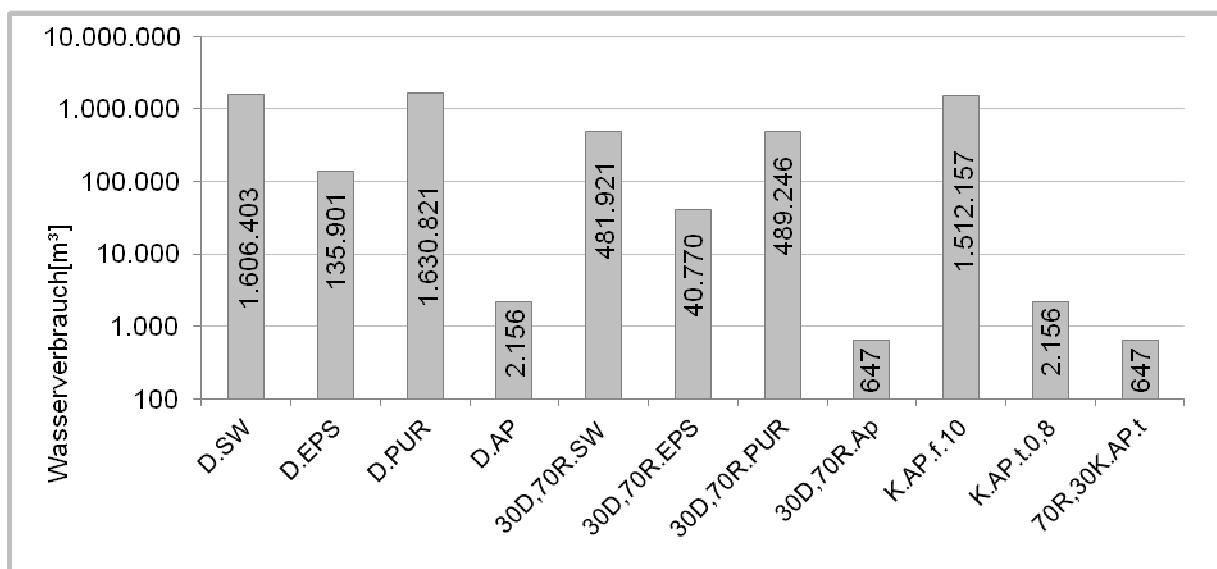


Abbildung 52: Gesamter Wasserverbrauch über den Lebenszyklus der in einem syrischen Gebäude eingesetzten Dämmstoffe

Nach der Berechnung des Raumbedarfs der verschiedenen Dämmstoffe auf der Deponie kann man feststellen, dass eine Deponierung von AP-Dämmstoff das doppelte Volumen im Vergleich zu Polystyrol benötigt, auch wenn die deponierte Masse von AP-Dämmstoff ca. der 7-fachen der Polystyrolmasse entspräche. In Abbildung 53 sieht man den Deponieraumbedarf für die unterschiedlichen Dämmstoffe.

Würde für die Gebäudedämmung in Homs nur AP-Dämmstoff an Stelle von Steinwolle oder Polyurethan eingesetzt werden, würde ein wesentlich geringeres Deponievolumen bei der Ablagerung der nach der Nutzung ausgebauten Dämmstoffe benötigt werden. Durch das Recycling verringert sich die zu deponierende Abfallmenge. Falls der AP-Dämmstoff zum Teil recycelt wird und der Rest kompostiert wird, fallen keine Abfälle für die Deponie an.

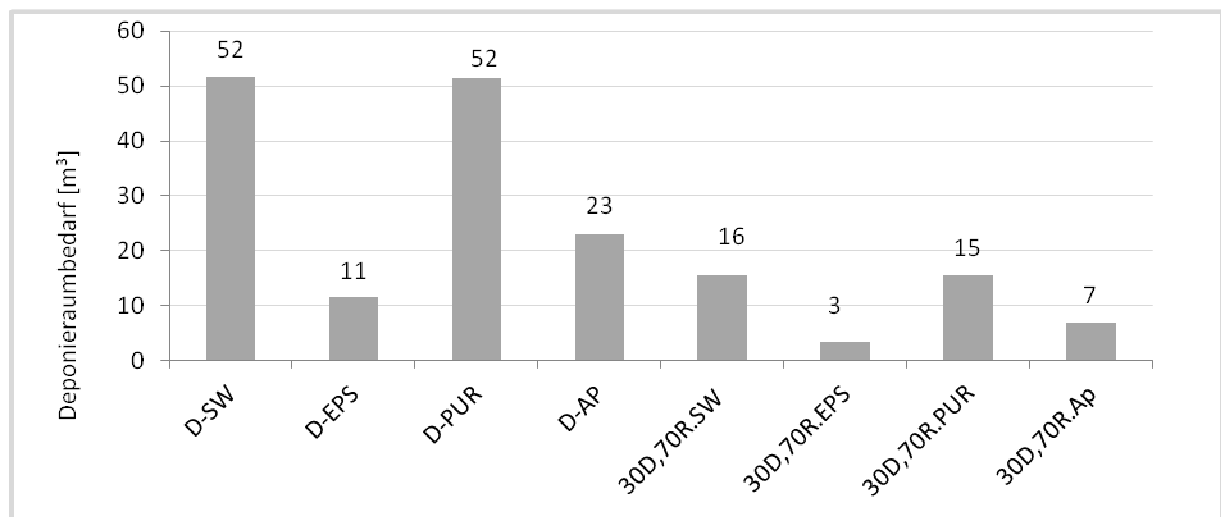


Abbildung 53: Deponieraumbedarf für die unterschiedlichen von einem Gebäude ausgebauten Dämmstoffe

Das auf der Deponie entstehende Sickerwasser (siehe Tabelle 27) ist bei der AP-Dämmstoffdeponierung durch Auswaschen mit Bor belastet. Für den gesamten Verwaltungsbezirk Homs ergibt sich aus den Berechnungen in Kapitel (5.6) ca. 2.000 Mg/a AP-Dämmstoff für die Deponie, wenn weder Recycling noch eine Kompostierung durchgeführt werden. Darin sind 22.800 kg Bor enthalten. Für diese Menge werden 6.667 m³ Raumbedarf und 22.222 m² Deponiefläche benötigt. Bei der in die Berechnung einfließenden Regenwassermenge von 400 l/m² jährlich errechnet sich die Sickerwassermenge (59,5 l/m² für AP-Dämmstoff) zu 1.322 m³. Ausgehend vom Sättigungswert von Bor in Wasser mit 2,2 g/l [Behrends 1995] ergibt sich rein rechne-

risch, dass die Bor-Menge im AP-Dämmstoff auf der Deponie im Laufe von knapp 8 Jahren ausgewaschen wird.

Tabelle 27: Benötigter Deponieraumbedarf, Sickerwasser der Deponie von den aus einem Gebäude ausgebauten Dämmstoffen

	D.SW	30D, 70R.SW	D.EPS	30D, 70R.EPS	D.PUR	30D, 70R.PUR	D.AP	30D, 70R.AP
Rohdichte [kg/m³]	149		15		30		50	
Einbaudichte [kg/m³]	198		90		40		300	
Menge [kg/Gebäude]	10.238	3.071	1.031	309	2.061	618	6.871	2.061
Raumbedarf [m³]	52	16	11	3	52	16	23	7
Deponiefläche [m²]	172	52	38	11	172	52	76	23
Sickerwasser [l]	10.320	3.120	2.280	660	10.320	3.120	4.522	1.369

Aus ökologischer Sicht ist der Einsatz von AP-Dämmstoff in einem Gebäude sinnvoll, da der Energiebedarf sowohl bei der Herstellung als auch während der Nutzungsphase niedriger ist als beim Einsatz der herkömmlichen Dämmstoffe. Durch das Recycling eines Teils des anfallenden AP-Dämmstoffs und eine Kompostierung des anderen Teils, kann ein großer Deponieraumbedarf eingespart werden.

8.6 Qualitative Betrachtung

Rohstoffe, Bindemittel oder Treibmittel werden bei der Herstellung der unterschiedlichen Dämmstoffe verwendet. Dämmstoffe beeinflussen die Umwelt und die Menschen entweder positiv oder negativ, je nach Wirkung der eingesetzten Rohstoffe und Zusatzstoffe. In Tabelle 28 sind die Umweltwirkungen und die Auswirkung der Dämmstoffe auf den menschlichen Organismus dargestellt.

„Die mineralischen Rohstoffe für die Steinwollherstellung sind praktisch unbegrenzt vorhanden.“ [Laimer 2007] Zum Aushärten der Steinwollmatten werden Phenol und Formaldehyd bei der Herstellung eingesetzt und in kleinen Mengen in die Luft emittiert. Phenol wirkt toxisch und kann die Atemwege und die Schleimhaut reizen. Der Arbeitsplatzgrenzwert von Phenol liegt bei 2 ppm, nach den technischen Regeln der Gefahrstoffe TRGS 900. Im eingebauten Zustand der Steinwolle kann Formaldehyd nur in geringen Mengen < 0,05 ppm, nach der Weltgesundheitsorganisation (WHO), in die Raumluft freigesetzt werden. In Abhängigkeit von der Konzentration in der

Raumluft kann es Atemwege, Augen, Haut und Verdauungswege schädigen und Allergien auslösen. Eine krebserregende Wirkung von Formaldehyd wird vermutet [Kolb 2004].

Tabelle 28: Wirkung der Dämmstoffe auf Mensch und Umwelt

	Schadstoff	Wirkung
SW	Phenol	Atemwegen und Schleimhaut reizend
	Formaldehyd	Atemwege, Augen und Haut schädigend, krebserregend
	Fasern ⁽¹⁾	krebserregend
EPS	Styrol	Augen und Nase reizend
	FCKW	Treibhauseffekt fördernd, Ozonabbauend
PUR	Isocyanat	Atemwege reizend, Kopfschmerz auslösend, allergen
	FCKW	Treibhauseffekt fördernd, Ozonabbauend
AP	Borsäure	Fruchtbarkeit beeinträchtigend, Kind im Mutterleib schädigend

(1) : bei alter Mineralwolle

Bei der Herstellung und Verarbeitung von Steinwolle werden Fasern freigesetzt. Diese Fasern können wie bei alter Mineralwolle lungengängig sein, wenn die Fasern länger als 5 µm und dünner als 3 µm sind. Wegen der hohen Biobeständigkeit der Fasern wird alte Mineralwolle als krebserzeugender Dämmstoff betrachtet. 1995 haben die Hersteller von Mineralwolle neue Fasern mit guter Biolöslichkeit entwickelt.

Bei der Herstellung des Polystyrols sind die Vorprodukte wie Benzol und Ethylen als Gefahrstoffe mit erheblichem Risikopotential beteiligt. Diese Vorprodukte werden aus nicht erneuerbaren Ressourcen wie Erdöl oder Kohle hergestellt. Styrol als Hauptrohstoff bei der Polystyrol-Herstellung kann während der Nutzung ausdampfen und Augen und Nase reizen. Die Emission von Kohlenwasserstoffen in die Luft besteht zu einem großen Anteil aus dem sehr giftigen Styrol, welches jedoch in der Luft innerhalb weniger Tage abgebaut wird. Styrol steht außerdem im Verdacht, Krebs zu erregen und das Erbgut zu schädigen. [Wecobis 2011]

Isocyanat ist der Rohstoff bei der Polyurethanherstellung und wird als Wohngift betrachtet, da es die Atemwege reizen und Kopfschmerzen und Allergien verursachen kann.

Seit 1994 ist bei Produkten deutscher Hersteller das FCKW-Treibmittel größtenteils durch Pentan, z. T. auch durch teilhalogenierte Kohlenwasserstoffe (HFCKW) ersetzt. Die Emissionen von den fluorierten Treibhausgasen HFCKW sind neben dem

Kohlendioxid die bedeutenden klimarelevanten Emissionen, da sie wesentlich zum Treibhauseffekt und Ozonabbau beitragen. [Kolb 2004]

AP-Dämmstoff schont die Lebensräume, weil kein Erdöl, wie bei Kunststoffschäumen, verwendet wird. Außerdem sind keine Treibmittel notwendig, die zum Teil klimaschädigend sind. Das große Potential beim Einsatz von AP-Dämmstoff liegt darin, dass die Rohstoffe aus Altpapier und Altzeitungen bestehen. Das führt zu einer Reduktion der Abfallmengen und schont Rohstoffressourcen. Selbst bei hohen Altpapierpreisen überwiegt der ökologische Aspekt beim Altpapier durch Ressourcen- und Flächenschonung.

Kleine Zellulosefasern können lungengängig sein. Bei sachgerechter Verarbeitung und Beachtung der Atemschutzempfehlungen sind aber keine Gesundheitsbeeinträchtigungen zu erwarten, auch nicht durch Druckerschwärze [Danner 2008].

Seit März 2007 ist in Deutschland ein gesundheitsbasierter Arbeitsplatzgrenzwert (AGW) in Höhe von 2,6 mg Borsäure / m³ in Kraft, dieser ist in der TRGS 900 enthalten. Nach den neuen Kennzeichnungsvorschriften für Borsäure ab dem 1. Dezember 2010 werden die Borsäure und Zubereitungen, ab einer Konzentration von 5,5 Gew-%. freier Borsäure als reproduktionstoxisch gekennzeichnet. Diese neue Einstufung gilt für Borsäure; Boroxid und mehrere Natriumborate. Bor kann die Fruchtbarkeit beeinträchtigen und das Kind im Mutterleib schädigen, wird als Gefahrenhinweis gegeben. Die Wirkung von Bor auf den menschlichen Organismus wird kontrovers diskutiert. Es ist nicht klar, in welcher Form Bor schädigend wirkt. Bisher wurde die Wirkung von Bor auf Ratten untersucht. Wenn die Ergebnisse der Tierversuche auf den Menschen übertragen würden, so müsste man 11 bis 25 g Bor täglich über mehrere Wochen einnehmen, damit eine schädigende Wirkung eintritt. Nach der Stellungnahme des Verbandes der Schmierstoff-Industrie VSI 2009 liegt die tödliche Dosis bei 25-30 g/d, d.h. man kann davon ausgehen, dass ein Mensch an Vergiftung stirbt, bevor es zu einer Fortpflanzungsgefährdung kommt. [IQUH 2010]

9 Ökonomische Bewertung

Die durchgeführten Kostenabschätzungen basieren auf Literaturangaben und Anfragen bei einigen Firmen in Syrien. Viele Angaben für die Herstellungsphase von Dämmstoffen, wie die Rohstoffkosten, besonders bei der Polystyrol- und Polyurethanherstellung sind schwierig zu erhalten. Steinwolle wird in Syrien importiert. Die Kosten des AP-Dämmstoffs beziehen sich auf Annahmen für die Rohstoffkosten und Energiekosten in Syrien (siehe Kapitel 5.5.2). Da die Angaben über die Kosten aus der Herstellungsphase der verschiedenen Dämmstoffe nicht einheitlich zur Verfügung standen, umschließt die Systemgrenze der ökonomischen Betrachtung den Dämmstoffverkauf, die Verarbeitungs- und Nutzungsphase und die Entsorgungsphase.

9.1 Verarbeitungskosten

Für den Einbau der Dämmstoffe werden Personal und bei der AP-Dämmstoff-Verarbeitung Maschinen benötigt.

9.1.1 Personalkosten

Nach syrischen Angaben des Bauministeriums 2010 sind die Personalkosten eines Mitarbeiters für die Verarbeitung der Steinwolle höher als für Polystyrol und Polyurethan, da das Umgehen mit Steinwolle umständlicher ist als mit den anderen Dämmstoffen. Da das Einblasen des AP-Dämmstoffs in das Bauelement schwerer als das Einsetzen von Polystyrolplatten ist, wird in dieser Berechnung angenommen, dass das Einkommen des Mitarbeiters beim AP-Dämmstoffeinsatz genauso hoch wie bei der Steinwollverarbeitung ist. In der folgenden Tabelle 29 sind die Personalkosten für einen Mitarbeiter nach der Verarbeitung der Dämmstoffart nach dem syrischen Bauministerium 2010 dargestellt.

Tabelle 29: Personalkosten in der Dämmstoffverarbeitung

Personalkosten	SW	EPS	PUR	AP
s.L/m ²	60	40	40	60
€/m ²	1	0,667	0,667	1

9.1.2 Maschineneinsatz

Die AP-Dämmstoffmenge, die pro Stunde von einer Einblasmaschine verarbeitet werden kann, wird nach folgender Formel (9.1) berechnet:

$$m_{AP} = \frac{\dot{M}_M}{m_{APS}} \quad (9.1)$$

m_{AP} Eingesetzte Altpapierdämmstoffmenge [Sack/h]
 \dot{M}_M Leistung einer Einblasmaschine [kg/h]
 m_{APS} Altpapierdämmstoffmenge [kg/Sack]

Eine Einblasmaschine hat eine Leistung von ca. 685 kg/h [X-Floc 2011]. Ein Sack AP-Dämmstoff beinhaltet 12,5 kg. Ausgehend davon können ca. 54,8 Säcke pro Stunde verarbeitet werden. Mit einer Dämmschichtdicke von 10 cm beim AP-Dämmstoff werden 5 kg/m² gebraucht. Für die gesamte Gebäudefläche von 1.374 m² werden 549,6 Säcke benötigt. Somit werden 10 Stunden benötigt, um das gesamte Gebäude zu Dämmen. Inklusive der Zeit für das Aufbauen und Abbauen einer Einblasmaschine können für den Maschineneinsatz 14 Stunden angesetzt werden. Die Anschlussleistung einer Einblasmaschine beträgt 4,2 kW. Die Stromkosten K_{En} liegen in Syrien bei 0,042 €/kWh. Zur Verarbeitung werden 2 Mitarbeiter benötigt.

Die Anschaffungskosten für eine Einblasmaschine betragen ca. 10.000 € [Küllmer 2009]. Als Abschreibungszeit für die Maschine können 5 Jahre angesetzt werden. Sowohl für die Wartungskosten der Maschine als auch für einen kalkulierten Gewinn durch den Maschineneinsatz werden jährlich je 5 % der Investitionskosten angesetzt. Für eine Betriebszeit für jede Maschine von 8 Stunden an mindestens 150 Tagen pro Jahr, werden die Einsatzkosten für die Einblasmaschine nach folgender Formel (9.2) berechnet [Halm 2008]: Üblicherweise werden die Maschinen von den privaten Unternehmen ohne Kredite angeschafft, dadurch entfallen die Zins-/ Finanzkosten.

$$K_{E,M} = \frac{K_{Ab,M} + K_{Inv,M} \cdot (W + G)}{T_{B,M}} + K_{En} \quad (9.2)$$

$K_{E,M}$	Einsatzkosten einer Maschine [€/h]
$K_{Ab,M}$	Abschreibungskosten [€/a]
$K_{Inv,M}$	Investitionskosten [€]
W	Jährliche Wartung [%]
G	Jährlicher Gewinn [%]
$T_{B,M}$	Betriebszeit [h/a]
K_{En}	Energiekosten [€/h]

Demnach ergeben sich Einsatzkosten für die AP-Einblasmaschine in Höhe von ca. 2,68 €/h in Syrien.

9.2 Energiekosten während der Gebäudenutzung

Für die Nutzungsdauer eines Gebäudes werden 50 Jahre angesetzt. Während der Nutzungsphase werden Heizöl für die Heizungsanlage und Strom für die Klimaanlage verbraucht. Die Heizölkosten liegen in Syrien umgerechnet bei 0,1225 €/l.

9.3 Entsorgungskosten

Für die Deponierung der Dämmstoffe wird neuer Deponieraum benötigt. Wenn der AP-Dämmstoff mit Biomüll gemischt wird und in einer existierenden Kompostierungsanlage kompostiert wird, entfallen die Investitionskosten für eine neue Kompostierungsanlage. Auf der anderen Seite steigen die Investitionskosten aufgrund der Mitkompostierung von AP-Dämmstoff mit Biomüll.

Die Investitionskosten für den Bau einer geordneten Deponie liegen in Syrien bei ca. 21 €/Mg Hausmüll und bei 25 €/Mg für eine Kompostierungsanlage [Mohamad 2002]. Die Betriebskosten für die Hausmülldeponierung liegen in Syrien zwischen 1,50 und 3,30 €/Mg. Die Betriebskosten für die Kompostierung betragen ca. 5,80 €/Mg (siehe Anhang F, Abbildung F 1) [Mohamad 2011]. Die Kosten für die Dämmstoffentsorgung werden über einen Zeitraum von 30 Jahren für die Deponie und für die Kompostierungsanlage betrachtet.

9.4 Ergebnisse der ökonomischen Betrachtung

Die Ergebnisse der ökonomischen Betrachtungen für die verschiedenen Szenarien sind in Tabelle 30 zusammengefasst. Diese Daten zeigen die Dämmstoffkosten, Verarbeitungskosten und die Entsorgungskosten sowie die Ersparnis innerhalb der Nutzungsphase durch den Dämmstoffeinsatz in einem syrischen Gebäude für die verschiedenen Szenarien (siehe Kapitel 8.4). Wobei die Installationskosten (Heizungsanlage, Klimaanlage) in gedämmten Gebäuden günstiger als in ungedämmten Gebäuden sind, da eine geringere Anlagenleistung in einem gedämmten Gebäude erforderlich ist. Während der Nutzungsphase wird eine hohe Energieeinsparung durch das Dämmen eines Gebäudes erzielt. Rechnerisch betragen die Installationskosten, Heizöl- und Stromkosten für das typische syrische ungedämmte Gebäude 145.900 € (siehe Anhang F, Tabelle F 1).

Tabelle 30: Ökonomische Betrachtung des Lebenszyklus der unterschiedlichen Dämmstoffe im typischen syrischen Gebäude

	D.SW	D.EPS	D.PUR	D.AP	30D,70R.SW	30D,70R.EPS	30D,70R.PUR	30D,70R.AP	K.AP.f.10	K.AP.t.0,8	70 R,30.K.AP.t
Kosten											
Dämmstoffe [€]	13.397	5.153	8.010	1.621	13.397	5.153	8.010	1.621	1.621	1.621	1.621
Verarbeitung [€]	2.748	1.833	1.833	2.786	2.748	1.833	1.833	2.786	2.786	2.786	2.786
Entsorgung [€]	1.229	124	247	825	519	52	105	348	1.367	1.367	530
Ersparnis											
Installation u. Nutzung [€]	62.000	62.800	70.000	71.450	62.000	62.800	70.000	71.450	71.450	71.450	71.450
ges. Kosten [€]	17.373	7.109	10.091	5.232	16.664	7.038	9.948	4.756	5.775	5.775	4.938
ges. Ersparnis [€]	44.627	55.691	59.909	66.218	45.336	55.762	60.052	66.694	65.675	65.675	66.512

Die spezifischen Kosten für Polystyrol liegen mit 6,83 €/kg höher als bei allen anderen Dämmstoffkosten, falls die Dämmstoffe deponiert werden. Das liegt im Wesentlichen darin begründet, dass die spezifischen Dämmstoffkosten auf die eingesetzten Massen der Dämmstoffe bezogen werden. Die Dichte des Polystyrol-Dämmstoffs ist mit 15 kg/m³ deutlich kleiner als die aller anderen Dämmstoffe (Steinwolle 149 kg/m³). Die spezifischen Kosten für AP-Dämmstoff betragen 0,72 €/kg, wenn 70 % der AP-Dämmstoffe recycelt und der Rest kompostiert wird. Aus wirtschaftlicher

Sicht ist die Kompostierung des AP-Dämmstoffs günstiger als die Deponierung. Insgesamt sinken die spezifischen Dämmstoffkosten durch Recycling, da die zu produzierende Dämmstoffmenge verringert wird.

Durch den Einsatz von Polyurethan oder AP-Dämmstoff während der Nutzungsphase ist die Einsparung an Energiekosten größer als bei der Dämmung mit Steinwolle oder Polystyrol (siehe Abbildung 54).

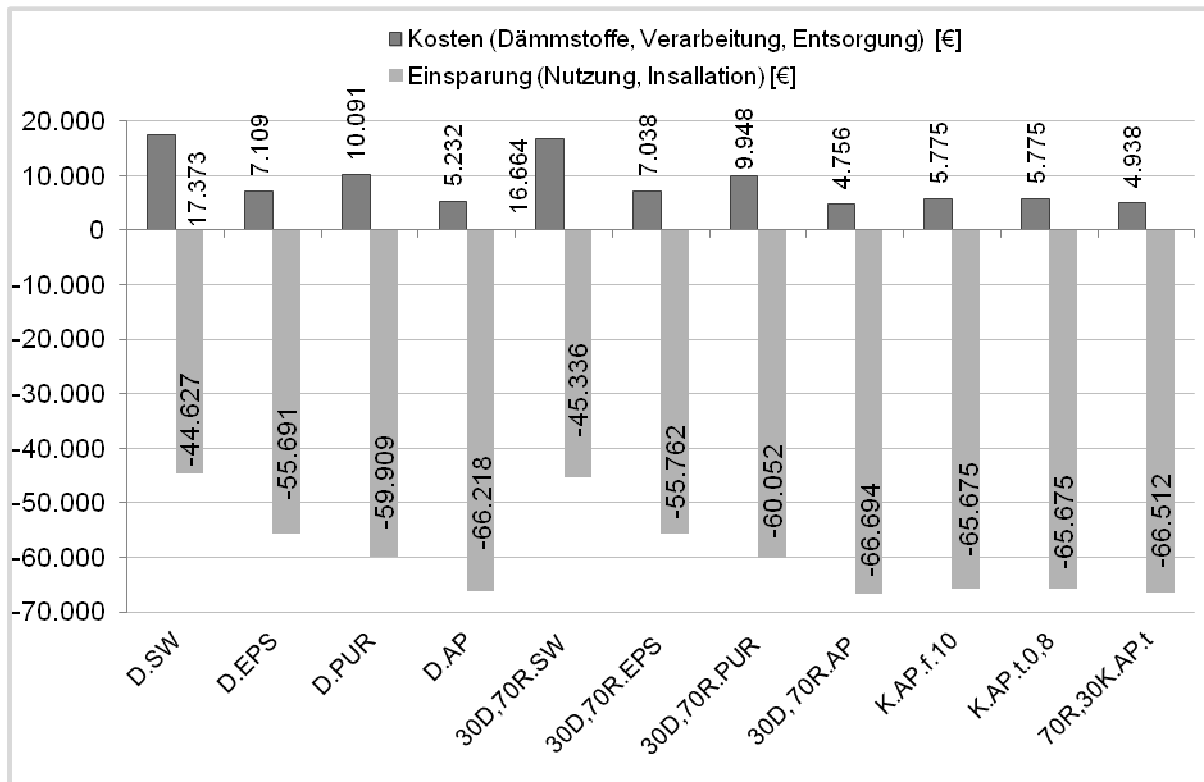


Abbildung 54: Kosten und Ersparnis durch den Einsatz von Dämmstoffen in den syrischen Modellwohnhäusern

Die für das gesamte Land Syrien jährlich theoretisch mögliche Energieeinsparung, und die damit verbundene Kosteneinsparung, die gleichzeitig auch einen enormen volkswirtschaftlichen Vorteil bewirkt, ist in Abbildung 55 dargestellt.

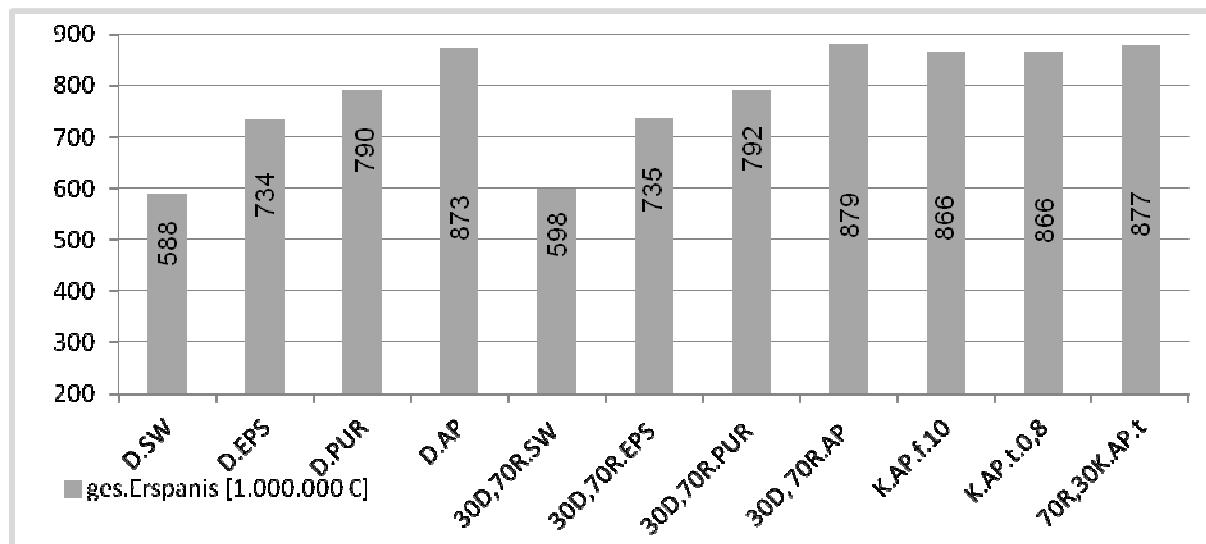


Abbildung 55: Einsparung durch den Einsatz von Dämmstoffen in syrischen Modelwohnhäusern

Der AP-Dämmstoffeinsatz stellt sich insgesamt bei allen betrachteten Szenarien als die wirtschaftlichste Alternative heraus, wobei sich eine Einsparung über den 80 jährigen Lebenszyklus der Dämmstoffe von rd. 870 Mio. € ergibt.

10 Fazit und Ausblick

Der Einsatz von AP-Dämmstoff in syrischen Gebäuden ist eine technisch einfache, ökologisch sinnvolle und wirtschaftlich tragbare Form, die zu einer besseren Abfallwirtschaft, zur Ressourcenschonung und zur Energieeinsparung in Schwellenländern wie Syrien beiträgt. Den folgenden Aspekten ist hierbei besondere Aufmerksamkeit zu schenken.

Es müssen landesweite, genaue Datenerhebungen zu den anfallenden Altpapiermengen in Syrien durchgeführt werden, so dass präzisere Daten über die Mengen in Schulen und Universitäten, in verschiedenen Siedlungsstrukturen, Geschäften und Haushalten vorliegen. Die syrischen Städte haben ähnliche Strukturen, aber jede Stadt hat ihre Besonderheiten, die berücksichtigt werden müssen. Sonderfälle wie Feiertage oder Zeiten mit hohen Altpapieraufkommen sind zu berücksichtigen. Darauf basierend kann ein Altpapiersammelsystem besser geplant und umgesetzt werden. Eine selektive Sammlung oder eine Sortierung des gesammelten Altpapiers in unterschiedliche Altpapiersorten ist erforderlich. Ein günstiges Mischungsverhältnis zwischen den unterschiedlichen Altpapiersorten und -qualitäten oder die am besten geeignete Altpapiersorte für die Herstellung eines Dämmstoffs sollte ermittelt und anschließend untersucht werden.

Mit der in Kapitel 4.1.1 ermittelten Altpapiermenge von 54.750 Mg/a, die in Syrien zu erwarten ist, können 60 % der syrischen jährlich neugebauten Gebäude gedämmt werden. Mit diesen Mengen können mehrere Anlagen zur AP-Dämmstoffherstellung, die auf das Land verteilt werden können, gut ausgelastet werden. Eine Produktionsanlage für AP-Dämmstoff in Kassel (Deutschland) hat eine Kapazität von ca. 1,6 Mg/h [Küllmer 2010].

Obwohl die benötigte Dämmstoffmenge an AP-Dämmstoff bei gleicher Dämmeffizienz größer ist als die von herkömmlichen Dämmstoffen, bleibt der AP-Dämmstoff wirtschaftlich günstiger als beispielsweise Polystyrol oder Mineralwolle. Grund dafür ist in erster Linie der günstige Rohstoffpreis von Altpapier.

Es ist möglich, AP-Dämmstoff auf bestehende Mineralwolldämmungen aufzubringen ohne dass eine Kontamination des AP-Dämmstoffs mit krebserregenden Mineralfa-

sen auftritt. So wird gewährleistet, dass keine zusätzlichen Sonderabfallmengen entstehen. Dafür müssen zur Verarbeitung allerdings Fachkräfte ausgebildet und regelmäßig geschult werden.

Für die Entsorgung des AP-Dämmstoffs nach der Nutzungsphase, ist eine Kompostierung gemeinsam mit Biomüll in bestehenden Anlagen möglich. Bei der Kompostierung ist eine regelmäßige Qualitätskontrolle durchzuführen, damit zum einen die Borkonzentrationen im Dämmstoff den Kompostierungsprozess nicht stören oder gar zum Erliegen bringen. Zum anderen gewährleistet ein gleichmäßig geringer Borgehalt im Kompost eine Bodendüngung bei landwirtschaftlich genutzten Flächen. Dies kommt insbesondere den Böden in der Region Homs zugute, da dort die Böden unter Bor-Mangel leiden.

Die Ergebnisse aus den Kompostierungsversuchen wurden mit kleinen Laborreaktoren über einen Zeitraum von 1 Woche ermittelt. Die hierbei gewonnenen Ergebnisse sollten für die Umsetzung in einer Kompostierungsanlage herangezogen werden. Erst dann können nach Messungen genaue Aussagen über mögliche bzw. erforderliche Mischungsverhältnisse von AP-Dämmstoff und Biomüll bei der Kompostierung getroffen werden, um einen marktfähigen Kompost zu erzeugen. Auch die benötigten Wassermengen, die für das Auswaschen des Bors erforderlich sind, können in großtechnischen Versuchen letztendlich genauer für einen wirtschaftlichen und ökologischen Betrieb bemessen werden.

11 Zusammenfassung

Neben der schwach organisierten Abfallwirtschaft in Syrien, wie fehlendes Recycling der Abfallwertstoffe und den großen Abfallmengen zum Deponieren, tragen der hohe Energiebedarf und der damit verbundene Kohlendioxidausstoß einen gravierenden Teil zu der Umweltproblematik bei. Ein AP-Dämmstoff kann durch den Einsatz von Altpapier als Rohstoff die Abfallmenge verringern und durch das Dämmen der Wohngebäude den Energiebedarf vermindern.

Ein Sammelsystem wurde für ein Aufkommen von ca. 150 Mg/d Altpapier unter den lokalen Rahmenbedingungen für Syrien konzipiert. Die dabei eingesammelten Altpapiermengen und -qualitäten können die zur Gebäudedämmung in Syrien benötigte AP-Dämmstoffmenge zu ca. 60 % abdecken.

Mit Hilfe eines Rechenmodells wurde der Altpapiereinsatz für ein typisches syrisches Gebäude modelliert. Mit einem Einsatz von einer Schichtdicke von 10 cm bietet der AP-Dämmstoff ökonomische und ökologische Vorteile gegenüber Steinwolle, Polystyrol und Polyurethan, mit jeweiligen Schichtdicken von 5 cm.

Zum Schutz vor Kontamination mit krebserregenden Mineralfasern bei der Kombination von AP-Dämmstoff und Mineralwolle wurden unterschiedliche Verfahren untersucht. Ein zuverlässiger Kontaminationsschutz kann durch das Aufsprühen von speziellen Bindemitteln (Hawetol) auf die Mineralwolle erfolgen.

Eine Möglichkeit zur Kompostierung von AP-Dämmstoffen wurde experimentell untersucht. Eine Vorbehandlung des AP-Dämmstoffs erfolgte durch das Auswaschen von ca. 65 % des darin enthaltenen Bors. Es konnte nachgewiesen werden, dass eine Kompostierung von bis zu 0,5 % trockenem AP-Dämmstoff oder bis zu 7 % ausgewaschenem AP-Dämmstoff zum Biomüll möglich ist.

Unter Beachtung unterschiedlicher Entsorgungswege wurde durch eine ökologische und ökonomische Bewertung die Entsorgung von AP-Dämmstoff durch Recycling und Kompostierung mit Biomüll als die günstigste Alternative bewertet.

Insgesamt konnte nachgewiesen werden, dass der Einsatz eines AP-Dämmstoffs und eine damit verbundene Einführung eines Altpapiersammelsystems für Syrien große volkswirtschaftliche und umweltbezogene Vorteile mit sich zieht.

12 Literatur

- Abschami, B.: Persönliches Gespräch, Fachleiter in Fachbereich Architektur, Al Baath Universität, Syrien, Juni 2012
- Adomeit, E.: Der Gebäudebestand in Deutschland, [www. Energieundbau.de](http://www.Energieundbau.de), aufgerufen am 28.11.2011, (2011)
- Ahrens, A., Leidecker, R., Winteler, S.: Papier- Naturprodukt oder Chemiecocktail?, Greenpeace Studie, Hamburg (1993) 15 S.
- Alibaba.: kosten von Bor, www.arabic.alibaba.com/Produkt-gs, letzter Zugriff: 26.11.2012
- Al-IQTISSADIYA.: Die Kosten von Energieerzeugung in Syrien, www.iqtissadiya.com, Damaskus, Syria 2010
- Alkhalij.: ein Projekt zum Sammeln vom Altpapier in Damaskus, www.Syria-news.com, Damaskus, Syria, April 2005
- Antonio Bauen, Abfallwesen überprüfen und optimieren, Schweizer Gemeinde 40 (2005) 03, 18-19
- Badawi, A.: Persönliches Gespräch, Ingenieurin In der Firma zur Herstellung von Polystyrol und Polyurethan als Dämmstoff, Damaskus, Syrien, August 2010
- Behrends, W.: Wartig: Chemieberatung GmbH, Gutachten: Entsorgungspfade für Isofloc, Lahntal (1995) 77 S.
- BfR: Bundesinstitut für Risikobewertung, Zusatz von Borsäure oder Borax in Nahrungsergänzungsmitteln, Gesundheitliche Bewertung Nr. 005/2006 des BfR (2005) 24 S.
- BioAbfV: Verordnung über die Verwertung von Bioabfällen auf landwirtschaftlich, forstwirtschaftlich und gärtnerisch genutzten Böden, Anhang 1 Liste der für eine Verwertung auf Flächen grundsätzlich geeigneten Bioabfälle sowie grundsätzlich geeigneter mineralischer Zuschlagstoffe, Stand 09.11.2010
- BMU: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Papierverbrauch in Deutschland, Verfügbar unter: www.umwelt-im-

- unterricht.de/hintergrund/papierverbrauch-deutschland, letzter Zugriff: 07.12.2011
- bmvit, Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie A, Grundlegende Untersuchungen zu aufgespritzten Zellulosedämmschichten für Außenfassaden, Grundlagenstudie, Graz, Österreich (2001), 121 S.
- Bockisch, F., Wieland, H., Murphy, D., Behring, H., Jäger, C., Hinrichs, P.: Perspektiven für Dämmstoffe aus heimischen nachwachsenden Rohstoffen, Landtechnik (2000) 1, 22-23
- Breyer, W.: Kohle- und Erdgaskraftwerke hoher Effizienz als Beitrag zum Klimaschutz, Tagungsband der DPG- Tagung München, Deutsche Physikalische Gesellschaft, März (2006), 105-116
- Buchheister, F., Winter, J.: Der Einfluss von Bor auf die Nitrifikation, GWF Wasser Abwasser 144 (2003) 1, 66-70
- BUWAL, Bundesamt für Umwelt: Ökoinventare für Verpackungen, Wald und Landschaft, Bd.II. Schriftenreihe Umwelt Nr. 250. Abfälle (1996)
- Cbs: Central Bureau of Statistics Syrian Arab Republic Office of Prime Minister, www.cbssyr.org, letzter Zugriff: 25.11.2011
- Cirsium Büro: Energie- und Schadstoffbilanz von isofloc ,Schlussbericht, (1991) 51 S.
- Cord-Landwehr, K.: Einführung in die Abfallwirtschaft, Sammlung und Transport von Abfall und Wertstoffen, B. G. Teubner, Stuttgart/Leipzig/Wiesbaden (2002), 346 S.
- Danner, H.: ökologische Wärmedämmstoffe im Vergleich, Leitfaden zur Dämmstoffauswahl für den normgerechten Einsatz, das Bauzentrum München, Weber Offset GmbH, München (2008) 59 S.
- DepV: Deponieverordnung, Verordnung des Bundesministers für Umwelt über die Ablagerung von Abfällen, vom April 1996
- DIN EN 14806: Deutsche Norm, Verpackung - Vorbeurteilung des Auflöses von Verpackungsmaterial unter simulierten Kompostierungsbedingungen im Labormaßstab; vom Oktober 2005, 20 S.

- DIN EN ISO 6946: Deutsche Norm, Bauteile-Wärmedurchlasswiderstand und Wärmedurchgangskoeffizient- Berechnungsverfahren (ISO 6946:2007) vom April 2008, 33 S.
- DIN EN ISO 14040: Deutsche Norm, Umweltmanagement – Ökobilanz – Grundsätze und Rahmenbedingungen (ISO 14040: 2006), vom November 2009, 40 S.
- DIN V 4108-6: Deutsche Norm, Wärmeschutz und Energie Einsparung in Gebäuden Teil 6: Berechnung des Jahresheizwärme- und des Jahresenergiebedarfs, vom Juni 2003, 73 S.
- Dinkel, F., Feucht, S., Waldeck, B.: ökologische Bewertung von Wärmedämmsystemen, Carbothek AG, Basel (1993) 135 S.
- DüMV: Düngemittelverordnung: Verordnung über das Inverkehrbringen von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln. Stand 14.12.2009
- ecoinvent: Althaus, H., Kellenberger, D., Classen, M., Thalmann, Ph., Life Cycle Inventories of Building Products, ecoinvent Report Nr 7, Part XIV, Insulation Products and Processes Dübendorf (2007) 914 S.
- Eggels, P., Ven, v.d.B.: Allocation model for landfill. in: Finnveden, G., Huppes, G, Life cycle assesment and treatment of solid waste. AFR-Report 98, Naturvardsverket, Stockholm, Sweden. (1995)
- Eidam, M., Waneck,B., Zusammenfassung des Masterplans für Abfallmanagement für die arabische Reublik Syrien, Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden (2007) 23 S.
- EnEV: Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden (Energieeinsparverordnung), vom November 2001 32 S.
- EnEV: Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden (Energieeinsparverordnung), vom April 2009 42 S.
- Ernert, S.: Bor vernachlässigen oder düngen, Homepage DRL: Dienstleistungszentrum Ländlicher Raum Westerwald Osteifel: verfügbar unter: www.dlr-westerwald-osteifel.rlp.de; letzter Zugriff: 08.06.2011

- EUWID: Europäischer Wirtschaftsdienst GmbH, Händlerpreise für Altpapier in Deutschland (2010)
- Eyerer, P., Reinhardt, H.-W.: Ökologische Bilanzierung von Baustoffen und Gebäuden; Birkhäuser-Verlag, Basel (2000) 223 S.
- Farhat, J.: Persönliches Gespräch über ihren Besuch zur Firma zur Herstellung von Verpackungen aus Altpapier in Homs, Ingenieurin an der Fakultät Architektur, Al Baath Universität, Homs Syrien. September 2011
- Farsan, B.: Lokale Papierherstellung wird mit Geheimtinte geschrieben, www.alazmenah.com, Damaskus, November (2009)
- Finstein, M.S., Miller, F.C., Strom, P.F., Monitoring and evaluating composting process performance. Journal WPCF, 58(4), (1986) 272-278
- FNB: Homepage der Forum Nachhaltiges Bauen, verfügbar unter: www.nachhaltiges-bauen.de/Baustoffe/Polystyrol, letzter Zugriff: 01.12.2011
- Fox, R.: Bor ein wichtiges Spurenelement, Staatliche Lehr- und Versuchsanstalt für Wein- und Obstbau Weinsberg, verfügbar unter: www.landwirtschaft-mlr.baden-wuerttemberg.de; letzter Zugriff: 08.06.2011
- Fricke, K., Münnich, K., Bauer, J.. Deponietechnik, Vorlesung in der Vertiefung in die Abfallwirtschaft, Abfallwirtschaft, Leichtweiss-Institut für Wasserbau, Technische Universität Braunschweig, (2005)
- GDI: Gesamtverband Dämmstoffindustrie: Energieeffizientes Bauen – Wärmedämmung ist der erste Schritt, Berlin (2006) 46 S.
- GefStoffV: Gefahrstoffverordnung: Verordnung zum Schutz von Gefahrstoffen, Ausschuss für Gefahrstoffe, vom 18 Dezember 2008, 82 S.
- Halm, G.: Skript zur Vorlesung Sammlung, Umschlag und Transport von Abfällen, Fachbereich Bauingenieur- und Umweltingenieurwesen, Fachgebiet Abfalltechnik, Universität Kassel (2008)
- Hantouch, Y.: Energieeinsparung im Wohnungsbau in Syrien, Fakultät VI Technischen Universität Berlin, Berlin (2009) 254 S.

- Hege, U.: Hinweise für die Düngung mit Bor (B), Institut für Agrarökologie, Ökologischen Landbau und Bodenschutz, (2007) 3 S.
- Hoerr, Ph.: Vergleichende CO₂-Bewertung von Mehrweg- und Einwegsyste men am Beispiel der Peter Riegel Weinimport GmbH, Masterarbeit, Justus-Liebig Universität, Institut für Landschaftsökologie und Ressourcenmanagement, Gießen (2009) 118 S.
- Isofloc-Zellulosedämmung: Wärmedämmtechnik GmbH, Praxisschulung Verarbeitungsrichtlinien, Lohfelden (2003) 38 S.
- Issa, S.: Architektonische Konstruktion, Lehrbuch, Architekt Fakultät, Al Baath Universität Homs, Syrien, Homs (1996) 214 S.
- IVPU-Industrieverband Polyurethan-Hartschaum, Ökobilanz von PUR-Hartschaum-Wärmedämmstoffen, 4.aktualisierte Auflage, Stuttgart (2002) 15 S.
- IQUH: Institut für Qualitätsmanagement und Umfeldhygiene, Fa. Kh Weinish: Dämmstoffvergleich Mineralische Dämmstoffplatten und Zellulose Dämmwolle, Einschätzung zur Gesundheits- und Umweltverträglichkeit von Glas- u./o. Mineralwolle gegenüber Zelluloseflocken/ Einblasverfahren, Weikersheim (2010) 16 S.
- Jabbour, A, Persönliches Gespräch, Hersteller von Türen und Fenster, Damaskus, Syrien, Dezember 2012
- Khalil, Gh: Persönliches Gespräch, Bauingenieur und Privat Unternehmer in der Stadt Homs, Homs, Syrien, Dezember 2009
- Kleinhempel, A. K.: Innovative Dämmstoffe im Bauwesen, Bremer Energie Institut, Bremen (2005) 38 S.
- Kluger, N.: Mineralwolle-Dämmstoffe- ein neues Faserproblem?, Fachtagung: Schadstoffe bei Rückbau/Abbruch und bei der Sanierung von Gebäuden, Vortrag, St. Gallen (CH), (2005)
- Kolb, B.: Nachhaltiges Bauen in der Praxis, Bolk – Verlag, München (2004) 256 S
- Kranert; M. Einführung in die Abfallwirtschaft, Vieweg+Teubner Verlag, Stuttgart (2010) 665 S.

- Kröger, K.: Deponiegas Zusammenstellung, Ingenieurbüro für Umwelt und Natur, Lützelbach (2006) 55 S.
- Kuhlmann, I.: Entwicklung eines Anreicherungsverfahrens zur quantitativen Bestimmung von Bor in Oberflächenwasser mit der Flammen Atomemissionsspektrometrie, Fachbereich Chemie und Chemietechnik, Universität-GH Paderborn, (1999) 125 S.
- Küllmer, J.: persönliches Gespräch, Geschäftsführer, Fa. Isofloc Zellulosedämmung, Lohfelden, Juni 2009
- Küllmer, J.: E-Mail, Geschäftsführer, Fa. isofloc Zellulosedämmung, Lohfelden, November 2009
- Küllmer, J.: persönliches Gespräch, Versuchsdurchführung, Geschäftsführer, Fa. Isofloc Zellulosedämmung, Lohfelden, April 2010
- LAGA PN 98: Länderarbeitsgemeinschaft Abfall, Grundregeln für die Entnahme von Proben aus festen und stichfesten Abfällen sowie abgelagerten Materialien, Stand 2001, gültig bis 31.12.2013
- Laimer, M.: Wärmedämmung an Gebäuden, Amt für Energieeinsparung, Autonome Provinz Bozen- Südtirol, Abteilung 37- Wasser und Energie, Athesia Druck, Bozen (2007) 51 S.
- LfL: Bayerisches Landesanstalt für Landwirtschaft, Leitfaden für die Düngung von Acker- und Grünland. Druckhaus Kastner, Freising-Weihenstephan (2011) 99 S.
- Lord-Landwehr. K.: Einführung in die Abfallwirtschaft, Teubner GmbH Verlag, Stuttgart, Leipzig, Wiesbaden (2002) 365 S.
- Maas, A.: persönliches Gespräch, Leiter des Fachgebiets Bauphysik, Fachbereich Architektur, Stadtplanung, Landschaftsplanung, Fachgebiet Bauphysik, Universität Kassel, Juni 2010
- Maas, A: Skript der Vorlesung konstruktive Grundlagen II, Fachbereich Architektur, Stadtplanung, Landschaftsplanung, Fachgebiet Bauphysik, Universität Kassel, (2010)

- Malaab, H.: Persönliches Gespräch, Unternehmer für Wohnungsbau, Homs, Syria, Dezember 2012
- MAM: Municipal Administration Modernisation: Urban Planning and development in Homs, Syria (2009) 87 S.
- Mohamad, A.: Angepasste Abfallentsorgung für Schwellen- und Entwicklungsländer, Fachgebiet Abfalltechnik, Fachbereich Bauingenieurwesen, Universität Kassel e. V., Kassel (2002) 155 S.
- Mohamad, A.: E-Mail, Dozent in Fachgebiet Umwelttechnik, Al Baath Universität, Syrien, Mai 2011
- Mötzel, H., Zelger, T. Ökologie der Dämmstoffe, Springer- Verlag, IBO- Österreichisches Institut für Baubiologie und –Ökologie, Donau- Universität Krems, Zentrum für Bauen und Umwelt, Wien (2000) 195 S.
- Mötzel, H.: Haus der Zukunft, Entsorgungswege der Baustoffe, ABC-Disposal Anhang A2, IBO: Österreichisches Institut für Baubiologie und Ökologie, Österreich (2009) 94 S.
- Nassour, A.. Ansätze zur Reform der Abfallwirtschaft in Entwicklungsländern, Habilitationsschrift, der Agrar- und Umweltwissenschaftlichen Fakultät der Universität Rostock, Rostock (2005) 132 S.
- Riedel, M.: Bor zu viel ist schädlicher als zu wenig, Staatliches Weinbauinstitut Freiburg, der Badische Winzer, März (2006) 25-27
- SANA, der syrische Nachrichtenagentur, In Homs ist die Vorbereitung für das Neuschuljahr beendet, Homs, Syrien, Beitrag von 18. August 2008
- Seminar isofloc: Theoretisch und Praxisschulung, Fa. Isofloc Zellulosedämmung, Lohfelden, Juni 2010
- Syrische Wärmedämmverordnung, Syrien, Damaskus 2007
- Tabasaran, O.: Überlegung zum Problem Deponiegas, Müll und Abfall, Heft 7,(1976)
- Telgmann, U.: E-Mail, Dipl. Ing. Fachgebiet Siedlungswasserwirtschaft, Universität Kassel, Februar 2012

- TRGS-900: Technische Regeln für Gefahrstoffe, Arbeitsplatzgrenzwerte, vom 2.7.2009, 49 S.
- TRGS-905: Technische Regeln für Gefahrstoffe, Verzeichnis krebserzeugender, erbgutverändernder oder fortpflanzungsgefährdender Stoffe, vom Mai 2008, 12 S.
- Trivalor: Master Plan of Waste Management in Syrian Arab Republic, Trivalor Studie: Energies, Déchets et Management Environnemental (2004) 101 S.
- Tröger, N.: Stand und Entwicklungsmöglichkeiten des Bauabfallrecyclings in der Stadt Homs, Praktikumsarbeit, Hochschule Zittau/Görlitz - Al-Baath Universität Homs, Syrien, Homs (2008) 67 S.
- UBA: Umweltbundesamt: Papierverbrauch und Verwertung von Altpapier, Homepage des Umweltbundesamtes: verfügbar unter: <http://www.umweltbundesamt-daten-zur-umwelt.de/umweltdaten/public>; letzter Zugriff: 06.06.2011
- UPM kymmene: So Entsteht Qualitätspapier, www.upm.kymmene.com, Auflage 26.500, Deutschland (2005) 64 S.
- Urban, A.: Skript der Vorlesung Grundlagen der Abfalltechnik, Fachgebiet Abfalltechnik, Institut für Wasser, Abfall, Umwelt, Fachbereich Bauingenieur- und Umweltingenieurwesen, Universität Kassel, (2012)
- Urban, A.: Skript der Vorlesung Abfallverbrennung, Fachgebiet Abfalltechnik, Institut für Wasser, Abfall, Umwelt, Fachbereich Bauingenieur- und Umweltingenieurwesen, Universität Kassel, (2012)
- VDI 2078: VDI Richtlinien, Berechnung der Kühllast klimatisierter Räume, vom Januar 2007, 159 S.
- Waari, R.: Bewertung der pädagogischen Praxis in Homs, Bericht in der Zeitung Althaoura, Homs, Syrien, Beitrag von 03. März 2005
- wecobis: Homepage des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, ökologisches Bauinformationssystem, verfügbar unter: www.wecobis.de, letzter Zugriff: 01.12.2011
- Wikinews: syrische elektronische Zeitschrift, Preise von Diesel in Syrien, www.wikinews.org, letzter Zugriff: 07.02.2013

WWF Deutschland: World Wide Fund for Nature, Wald steckt da, wo wir ihn nicht erwarten, Papierverbrauch in Deutschland Hintergrundinformationen, Berlin (2011) 10 S.

X-Floc GmbH: Vergleich technische Daten von Einblasmaschinen von X-Floc, verfügbar unter: www.x-floc.com, letzter Zugriff: 02.12.2011

Zedan, Gh., Hamdan, Y., Khadour, A.: Berechnung der Wärmemenge und Kühllast eines Wohngebäude, Projektarbeit, Mechanik Fakultät, Al Baath Universität Homs, Syrien, Homs (2009) 146 S.

Ziegler, B., Fader, B.: Komposteinsatz im Ökoweinbau, Der Deutsche Weinbau Nr. 1 (2004)

13 Anhang

Anhangsverzeichnis

13.1	Anhang A: Altpapiersammelsystem	145
13.2	Anhang B: Altpapierdämmstoffeinsatz im syrischen Wohngebäude	148
13.3	Anhang C: Kombination AP-Dämmstoff mit alter Mineralwolle	157
13.4	Anhang D: Kompostierbarkeit des AP-Dämmstoffs	159
13.5	Anhang E: Ökologische Betrachtung	160
13.6	Anhang F: Ökonomische Betrachtung	166

13.1 Anhang A: Altpapiersammelsystem

Tabelle A 1: Protokoll der Sammlung von Altpapier in Homs

Tag	Fakultät		evangelische Schule				Schule-2	Post	Bank	Haushalte				
	Stdt.	Mtrb.	Kinder- garten	Grundst. 1	Grundst. 2	Gymna- sium				Nr-1	Nr-2	Nr-3	Nr-4	Nr-5
	30 Student/Raum	3 Räume 1 Mitarb./Raum	7 Räu- me 35 Schü- ler/Raum	16 Räume 35 Schü- ler/Raum	20 Räume 35 Schü- ler/Raum	12 Räume 33 Schü- ler/Rau- m	9 Räume 33 Schü- ler/Rau- m	4 E	20 E.	2 E	2 E	3E	4 E	5 E
Altpapiermenge [kg]														
Mo	0,60		1,30	2,50	6,76	4,17	7,40		0,23					
Di.	0,72		1,34	2,75	6,50	4,50	7,00		0,34					
Mi	0,54		1,10	2,61	6,10	5,10	7,40		0,32					
Do	0,57		1,15	2,60	6,52	4,08	6,79		0,30					
Fr	0,43	1,23	0,90	2,50	6,53	3,80	6,90	0,47	0,32					
Sa														
So										0,00	0,00	0,48	0,00	3,16
Mo	0,59		1,40	2,63	7,10	4,16	7,00		0,31					
Di	0,60		1,21	2,61	6,73	4,17	6,43		0,24					
Mi	0,70		1,20	2,52	6,10	4,12	7,20		0,30					
Do	0,53		1,30	2,76	6,36	4,90	7,38		0,20					
Fr	0,42	1,34	1,10	2,52	6,30	4,00	6,50	0,53	0,24					
Sa														
So										0,00	0,00	0,50	0,00	3,10
Mittelwerte der Altpapiermenge														
	[kg/d]	[kg/w]	[kg/d]	[kg/d]	[kg/d]	[kg/d]	[kg/d]	[kg/w]	[kg/d]	[kg/w]	[kg/w]	[kg/w]	[kg/w]	[kg/w]
	0,57	1,29	1,20	2,60	6,50	4,30	7,00	0,50	0,28	0,00	0,00	0,49	0,00	3,13

Hinweis: Im Studentenraum, in Schulen, in der Bank wurde die durchschnittliche Altpapiermenge für 5 Tage/ Woche berechnet.

146

[illegible]

Tabelle A 4: Berechnete Mülltonnen und Müllfahrzeuganzahl für den Verwaltungsbezirk Homs

[illegible]

13.2 Anhang B: Altpapierdämmstoffeinsatz im syrischen Wohngebäude

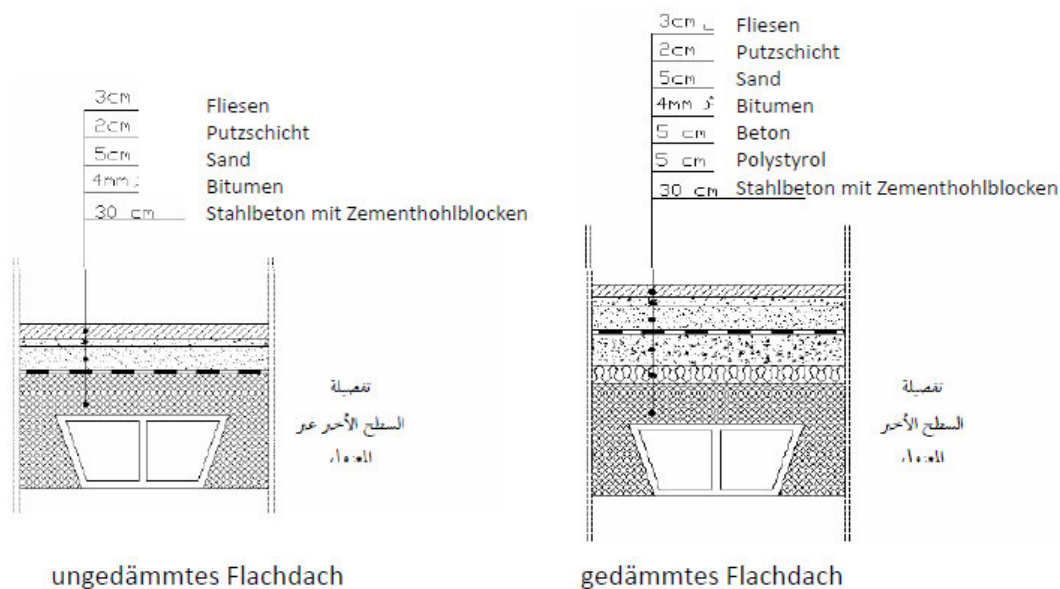


Abbildung B 1: Beispiel für ein Flachdach in Syrien [syrische Wärmedämmverordnung 2007]

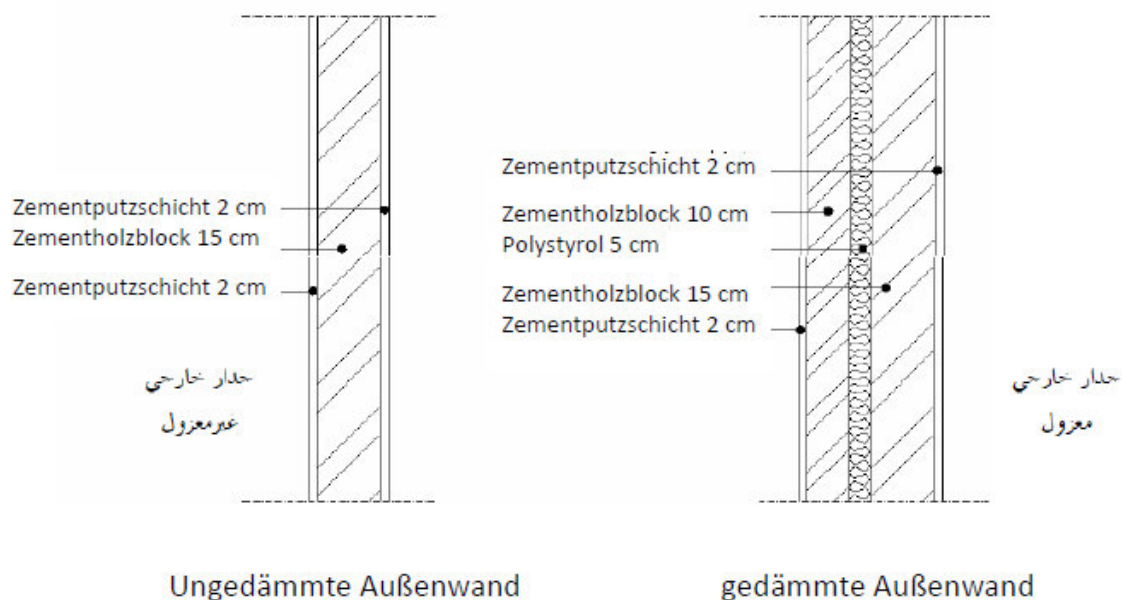


Abbildung B 2: Beispiel für eine Außenwand in Syrien [syrische Wärmedämmverordnung 2007]

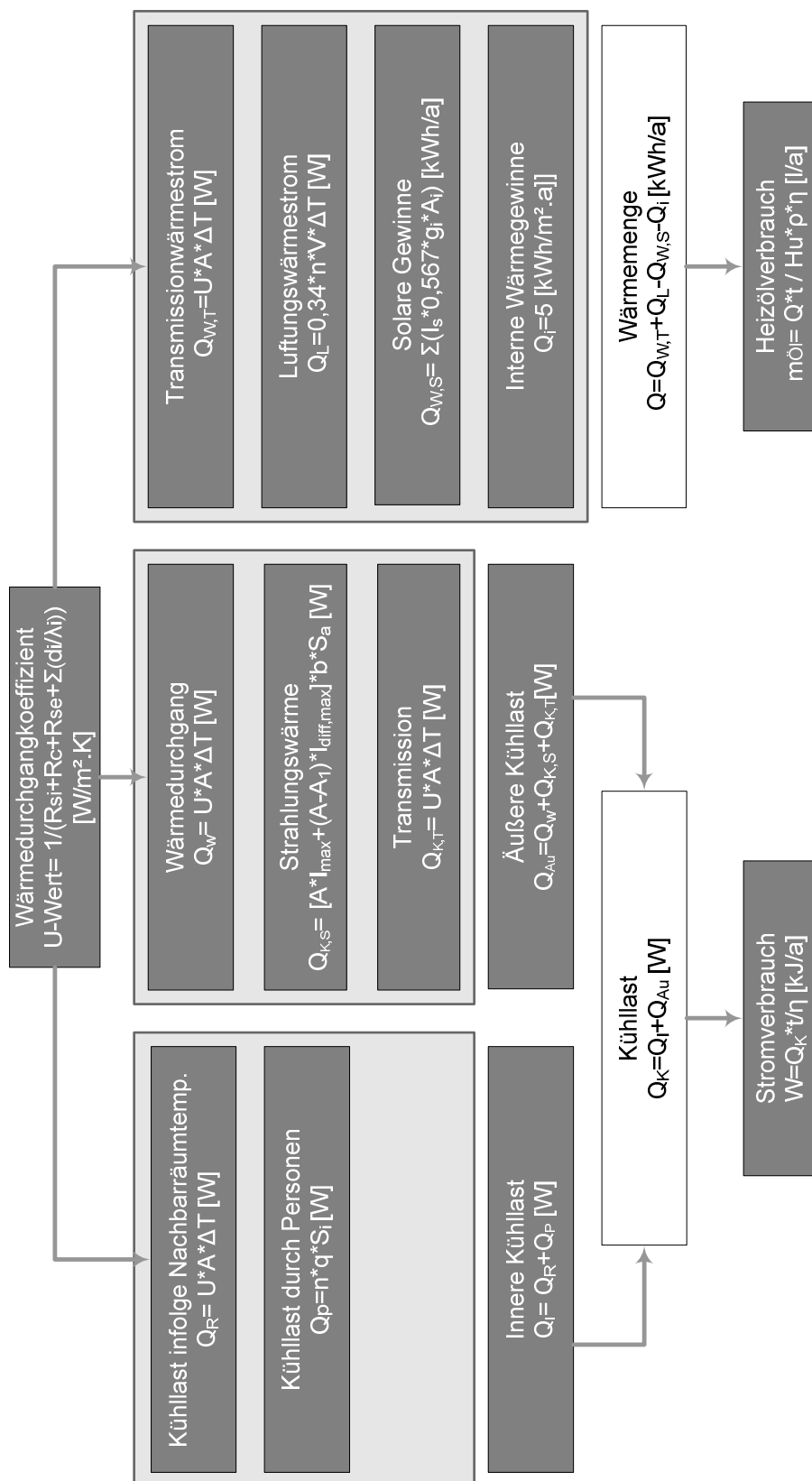


Abbildung B 3: Formeln im Rechenmodell zur Berechnung von Wärmemenge, Kühllast, Heizölverbrauch, Stromverbrauch

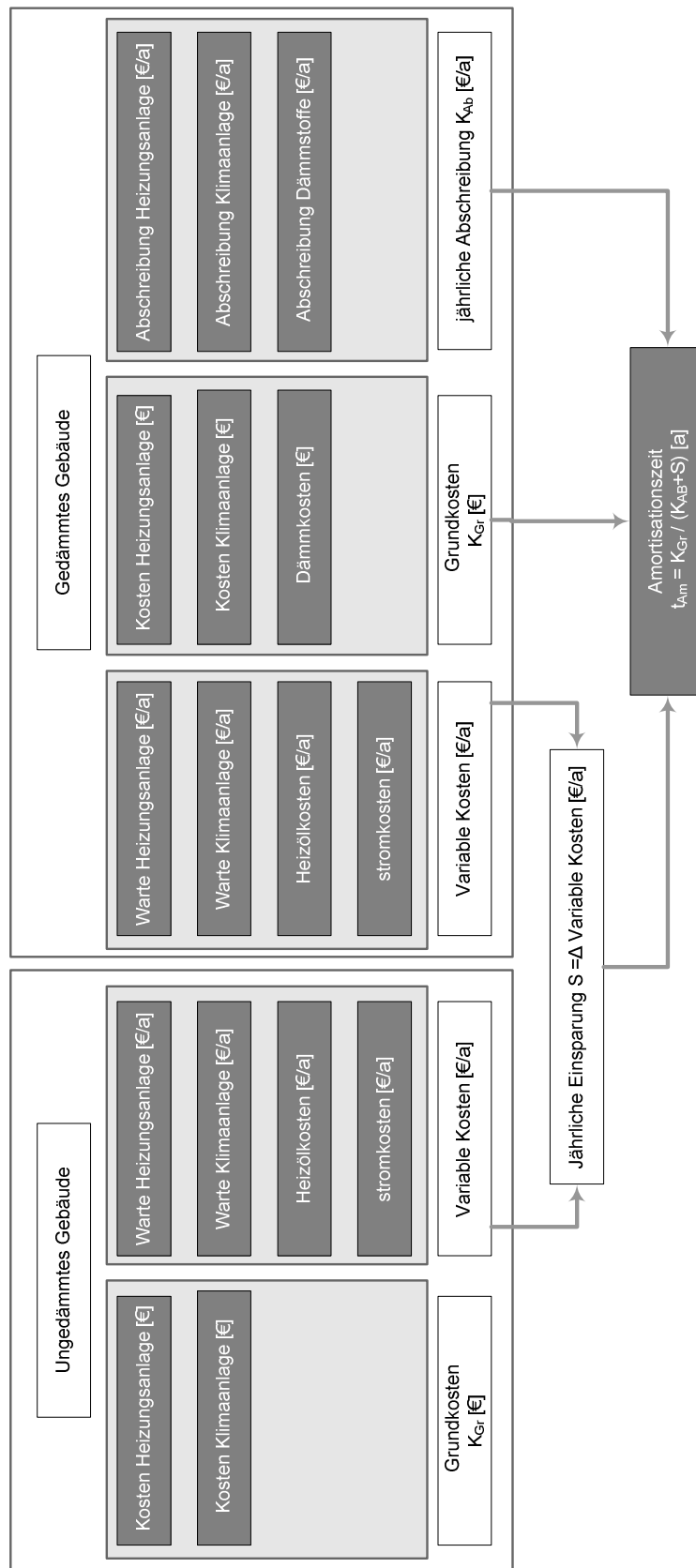


Abbildung B 4: Schema zur Berechnung von Grundkosten, variable Kosten, Jährliche Einsparung und Amortisationszeit

13.3 Berechnungen im Rechenmodell für ein mit 10 cm AP-Dämmstoff gedämmtes Gebäude im Neubau in Syrien

Tabelle B 1: Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten für Neubau mit 10 cm AP-Dämmstoff gedämmtes Gebäude in Syrien

Neubau mit Altpapierdämmstoff 10 cm gedämmt										
Bauelement	Bauschichten	Dicke cm	R _{si}	R _{se}	R _c	d _i	λ _i	d _i /λ _i	Σd _i /λ _i	U _i
Außenwand	Kalkstein	5,00	0,130	0,035	0,000	0,050	1,530	0,033	2,959	0,320
	Wasserabweisende P	2,00				0,020	0,540	0,037		
	Zementhohlblöcke	10,00				0,100	0,770	0,130		
	Altpapierdämmstoff 10	10,00				0,100	0,040	2,500		
	Gipsplatte	2,00				0,020	0,210	0,095		
	Zementhohlblöcke	10,00				0,100	0,770	0,130		
	Zementputzschicht	2,00				0,020	0,720	0,028		
	Farbe	0,20				0,002	0,300	0,007		
Flachdach	Fliesen	2,50	0,100	0,035	0,000	0,025	1,600	0,016	3,064	0,313
	Wasserabweisende P	2,00				0,020	0,540	0,037		
	Sand	5,00				0,050	0,300	0,167		
	Bitumenbahn	0,40				0,004	0,170	0,024		
	Bewehrte Leichtbeton	5,00				0,050	0,300	0,167		
	Altpapierdämmstoff 10	10,00				0,100	0,040	2,500		
	Stahlbeton mit Zement	30,00				0,300	2,500	0,120		
	Zementputzschicht	2,00				0,020	0,720	0,028		
Erdboden	Farbe	0,20				0,002	0,300	0,007		
	Fliesen	2,50	0,170	0,035	0,000	0,025	1,600	0,016	3,000	0,312
	Zementputzschicht	2,00				0,020	0,720	0,028		
	Sand	5,00				0,050	0,300	0,167		
	Bitumenbahn	0,40				0,004	0,170	0,024		
	Bewehrte Leichtbeton	5,00				0,050	0,300	0,167		
	Altpapierdämmstoff 10	10,00				0,100	0,040	2,500		
	Stahlbeton mit Zement	25,00				0,250	2,500	0,100		
Zwischendecke	Fliesen	2,50	0,10	0,035	0	0,025	1,600	0,016	0,365	2,002
	Zementputzschicht	2,00				0,020	0,720	0,028		
	Sand	5,00				0,050	0,300	0,167		
	Stahlbeton mit Zement	30,00				0,300	2,500	0,120		
	Zementputzschicht	2,00				0,020	0,720	0,028		
	Farbe	0,20				0,002	0,300	0,007		
Innenwand	Farbe	0,20	0,13	0,035	0	0,002	0,300	0,007	0,199	2,749
	Zementputzschicht	2,00				0,020	0,720	0,028		
	Zementhohlblöcke	10,00				0,100	0,770	0,130		
	Zementputzschicht	2,00				0,020	0,720	0,028		
	Farbe	0,20				0,002	0,300	0,007		

Tabelle B 2: Berechnung der Wärmemenge für eine mit 10 cm AP-Dämmung gedämmte Wohnung im Erdgeschoss

Zimmernummer		1	
T	Außen		Innen
	-3		22

Bauelement	Dimensionen		Fläche			U [W/m²·K]	Δt [K]	Q [W]
	Länge [m]	Höhe [m]	gesamte [m²]	abgezogene [m²]	Netto [m²]			
W Ost	3,15	3,35	10,55	2,16	8,39	0,32	25,00	67,34
W Nord	1,52	3,35	5,09	0,00	5,09	0,32	25,00	40,86
W Süd	5,70	3,35	19,10	2,00	17,10	0,32	8,00	43,89
Fenster Ost	1,80	1,20	2,16	0,00	2,16	5,70	25,00	307,80
Tür	1,00	2,00	2,00	0,00	2,00	2,79	25,00	139,50
Zwischendecke	4,35	3,15	13,70	0,00	13,70	0,48	0,00	0,00
Erboden	4,35	3,15	13,70	0,00	13,70	0,22	12,00	36,52
Σ Q [W]								635,91

Tabelle B 3: Berechnung der Kühllast für eine mit 10 cm AP-Dämmung gedämmte Wohnung im Erdgeschoss

Zimmernummer		1	
T°C	Außen		Innen
	38		22
φ	Außen		Innen
	35		45

Trockene Kühllast Ql					
innere Kühllast Ql					
Wärmequelle		Berechnung		23 Juli 14 Uhr	
1- Personen Qp	Personenanz np	tr.Wärmaabg q	Kl.faktor Si	Q in W	
	1	90	0,83		Qp
					74,7
2- Nachbarräume	U in W/m²K	A in m²	Δt		Qw
Erdreich		0,22	13,70	2	6,09
Zwischensumme Ql					80,79
Äußere Kühllast Ql					
1- Wärmedurchgang durch Außenwände und Dächer Qw				Juli 14 Uhr	
				Q in W	
Wand	U in W/m²K	A in m²	Δt		Qw
W Ost	0,32	8,39	14,4		38,79
W Nord	0,32	5,09	8,7		14,22
W Süd	0,32	17,10	12,3		67,49
Zwischensumme Qw					120,49
2- Transmission durch Fenster Qt				Juli 14 Uhr	
				Q in W	
Fenster	U in W/m²K	A in m²	ΔT		Qt
Fenster Ost	5,70	2,16	16		196,99
Zwischensumme Qt					196,99
3- Strahlungswärme durch Fenster Qs				Juli 14 Uhr	
				Q in W	
Richtung	I max	I diff,max	A1 in m²	A-A1	b
Ost	528	48	1,74	0,42	1,1
Zwischensumme Qs					216,88
Gesamte trockene Kühllast					615,15
Feuchte Kühllast Ql					
Wärmequelle		Berechnung		Juli 14 Uhr	
1- Personen Qp	Anzahl	tr.Wärmaabg q	Kl.faktor Si	Q in W	
	1	30	0,83		Qp
					24,9
Gesamte feuchte Kühllast					24,90

Tabelle B 4: Kosten (Heizöl, Strom, Dämmstoff) für ein gedämmtes syrisches Gebäude

	mit Altpapierdämmstoff 10 cm gedämmtes Gebäude
Dämmstoffkosten [€/m²]	1,18
Heizenergiebedarf [kJ/a]	193.621.961
Heizölverbrauch [kg/a]	5.038
Heizölverbrauch [l/a]	6.012
Heizölkosten [€/a]	737
Energieverbrauch zur Kühlung [MJ/a]	31.216
Energieverbrauch zur Kühlung [kWh/a]	8.671
Stromkosten [€/a]	364
Dämmkosten [€]	1.622
Abschreibungszeit der Dämmstoffe[a]	50
Kosten der Dämmstoffe im Jahr [€]	32
Heizungsanlage [€]	13.000
Abschreibungszeit der Heizungsanlage[a]	20
Kosten der Heizungsanlage im Jahr	650
Klimaanlage [€]	6.400
Abschreibungszeit der Klimaanlage[a]	20
Kosten der Heizungsanlage im Jahr [€]	320
jährliche Wartung der Heizungsanlage [€]	700
jährliche Wartung der Klimaanlage [€]	200

Tabelle B 5: Ergebnisse des bestehenden Altbaus

Amortisationszeit für gedämmten bestehenden Altbau							
	bst.Ab.O	gedämmter bestehender Altbau					
		bst.Ab.SW.5	bst.Ab.EPS.5	bst.Ab.PUR.5	bst.Ab.AP.5	bst.Ab.AP.7	bst.Ab.AP.10
Dämmstoffkosten [€/m²]		9,75	3,75	5,85	0,59	0,82	1,18
Wärmeleistung [W]	113.065	62.976	62.726	62.997	62.997	59.652	56.731
Wärmeleistung [kWh/a]	135.678	75.571	75.271	75.596	75.596	71.582	68.078
Heizenergiebedarf [kJ/a]	488.442.256	272.054.298	270.974.449	272.145.321	272.145.321	257.695.806	245.079.631
Heizölverbrauch [kg/a]	12.710	7.079	7.051	7.082	7.082	6.706	6.377
Heizölverbrauch [l/a]	15.167	8.448	8.414	8.451	8.451	8.002	7.610
Heizölverbrauch [l/m².a]	13,07	7,28	7,25	7,28	7,28	6,90	6,56
Heizölkosten [€/a]	1.858	867	864	867	867	821	781
Heizölkosten [€/m².a]	1,60	0,75	0,74	0,75	0,75	0,71	0,67
Heizöl einsparung [l/a]		6.719	6.753	6.716	6.716	7.165	7.557
Heizöl einsparung [l/m².a]		5,79	5,82	5,79	5,79	6,18	6,51
Heizöl einsparung %		44,30	44,52	44,28	44,28	47,24	49,82
Kühllast [W]	67.286	37.477	37.337	37.477	37.477	35.751	34.253
Energieverbrauch zur Kühlung [MJ/a]	84.781	47.222	47.045	47.222	47.222	45.047	43.159
Energieverbrauch [MJ/m².a]	73	41	41	41	41	39	37
Stromkosten [€/a]	989	551	549	551	551	526	504
Stromkosten [€/m².a]	0,85	0,47	0,47	0,47	0,47	0,45	0,43
Stromeinsparung [MJ/a]		37.559	37.736	37.559	37.559	39.734	41.622
Stromeinsparung [MJ/ m².a]		32,38	32,53	32,38	32,38	34,25	35,88
Stromeinsparung %		44,30	44,51	44,30	44,30	46,87	49,09
Dämmkosten [€]	0	11.427	4.395	6.856	691	961	1.383
Abschreibungszeit der Dämmstoffe[a]		50	50	50	50	50	50
Kosten der Dämmstoffe im Jahr [€]		229	88	137	14	19	28
Investitionskosten der Heizungsanlage [€]	22.000	13.000	13.000	13.000	13.000	13.000	13.000
Abschreibungszeit der Heizungsanlage[a]	20	20	20	20	20	20	20
Investitionskosten der Heizungsanlage im Jahr	1.100	650	650	650	650	650	650
Investitionskosten der Klimaanlage [€]	7.000	6.400	6.400	6.400	6.400	6.400	6.400
Abschreibungszeit der Klimaanlage[a]	20	20	20	20	20	20	20
Investitionskosten der Klimaanlage im Jahr [€]	350	320	320	320	320	320	320
Fensterkosten [€]	13.787	19.301	19.301	19.301	19.301	19.301	19.301
Abschreibungszeit der Fenster [a]	20	20	20	20	20	20	20
Kosten der Fenster im Jahr [€]	689	965	965	965	965	965	965
jährliche Wartung der Heizungsanlage [€]	700	700	700	700	700	700	700
jährliche Wartung der Klimaanlage [€]	200	200	200	200	200	200	200
jährliche Abschreibung insgesamt [€]	2.139	2.164	2.023	2.072	1.949	1.954	1.963
Grundkosten [€]	42.787	50.128	43.096	45.557	39.392	39.662	40.084
Variable Kosten im Jahr [€]	3.747	2.318	2.313	2.318	2.318	2.247	2.185
jährliche Einsparung [€]		1.429	1.434	1.429	1.429	1.500	1.562
jährliche Einsparung [%]		0,38	0,38	0,38	0,38	0,40	0,42
jährliche Einsparung [€/m²]		1,64	1,65	1,64	1,64	1,72	1,80
Amortisationszeit		13,95	12,46	13,01	11,66	11,48	11,37

Tabelle B 6: Ergebnisse des bestehenden Neubaus

Amortisationszeit für gedämmten bestehenden Neubau							
	bst.Nb.O	gedämmter bestehender Neubau					
		bst.Nb.SW.5	bst.Nb.EPS.5	bst.Nb.PUR.5	bst.Nb.AP.5	bst.Nb.AP.7	bst.Nb.AP.10
Dämmstoffkosten [€/m²]		9,75	3,75	5,85	0,59	0,82	1,18
Wärmeleistung [W]	95.984	61.479	61.297	57.047	61.256	58.672	56.094
Wärmeleistung [kWh/a]	115.181	73.775	73.556	68.456	73.507	70.407	67.313
Heizenergiebedarf [kJ/a]	414.651.672	265.589.348	264.801.235	246.442.217	264.624.861	253.464.417	242.326.510
Heizölverbrauch [kg/a]	10.790	6.911	6.890	6.413	6.886	6.595	6.306
Heizölverbrauch [l/a]	12.876	8.247	8.223	7.652	8.217	7.871	7.525
Heizölverbrauch [l/m².a]	11,10	7,11	7,09	6,60	7,08	6,78	6,49
Heizölkosten [€/a]	1.577	1.010	1.007	937	1.007	964	922
Heizölkosten [€/m².a]	1,36	0,87	0,87	0,81	0,87	0,83	0,79
Heizöleinsparung [l/a]		4.629	4.653	5.223	4.659	5.005	5.351
Heizöleinsparung [l/m².a]		3,99	4,01	4,50	4,02	4,31	4,61
Heizöleinsparung %		35,95	36,14	40,57	36,18	38,87	41,56
Kühllast [W]	51.759	36.690	36.610	34.232	36.731	35.230	33.887
Energieverbrauch zur Kühlung [MJ/a]	65.216	46.229	46.129	43.133	46.281	44.390	42.698
Energieverbrauch [MJ/m².a]	56	40	40	37	40	38	37
Stromkosten [€/a]	761	539	538	503	540	518	498
Stromkosten [€/m².a]	0,66	0,46	0,46	0,43	0,47	0,45	0,43
Stromeinsparung [MJ/a]		18.986	19.087	22.083	18.935	20.826	22.518
Stromeinsparung [MJ/ m².a]		16,37	16,45	19,04	16,32	17,95	19,41
Stromeinsparung %		29,11	29,27	33,86	29,03	31,93	34,53
Dämmkosten [€]	0	11.427	4.395	6.856	691	961	1.383
Abschreibungszeit der Dämmstoffe[J]		50	50	50	50	50	50
Kosten der Dämmstoffe im Jahr [€]		229	88	137	14	19	28
Investitionskosten der Heizungsanlage [€]	22.000	13.000	13.000	13.000	13.000	13.000	13.000
Abschreibungszeit der Heizungsanlage[a]	20	20	20	20	20	20	20
Investitionskosten der Heizungsanlage im Jahr	1.100	650	650	650	650	650	650
Investitionskosten der Klimaanlage [€]	7.000	6.400	6.400	6.400	6.400	6.400	6.400
Abschreibungszeit der Klimaanlage[a]	20	20	20	20	20	20	20
Investitionskosten der Klimaanlage im Jahr [€]	350	320	320	320	320	320	320
Fensterkosten [€]	13.787	19.301	19.301	19.301	19.301	19.301	19.301
Abschreibungszeit der Fenster [a]	20	20	20	20	20	20	20
Kosten der Fenster im Jahr [€]	689	965	965	965	965	965	965
jährliche Wartung der Heizungsanlage [€]	700	700	700	700	700	700	700
jährliche Wartung der Klimaanlage [€]	200	200	200	200	200	200	200
jährliche Abschreibung insgesamt	2.139	2.164	2.023	2.072	1.949	1.954	1.963
Grundkosten [€]	42.787	50.128	43.096	45.557	39.392	39.662	40.084
Zusätzliche Kosten im Jahr [€]	3.238	2.450	2.445	2.341	2.447	2.382	2.320
jährliche Einsparung [€]		789	793	897	792	856	918
jährliche Einsparung [%]		0,24	0,24	0,28	0,24	0,26	0,28
jährliche Einsparung [€/m²]		0,91	0,91	1,03	0,91	0,98	1,06
Amortisationszeit [a]		16,98	15,31	15,34	14,37	14,11	13,91

13.4 Anhang C: Kombination AP-Dämmstoff mit alter Mineralwolle

Tabelle C 1: Aschegehalt bei unterschiedlichen Temperaturen, Glühzeiten, Abkühlzeiten

Glühen bei 550°

Abkühlungszeit	Aschegehalt		
	für 2h Glühen	für 3h Glühen	für 18h Glühen
10 min	23,2650	22,3755	22,3955
30 min	25,3000	24,6251	24,8500
60 min	25,8450	25,1700	25,4149

Glühen bei 300°C

Abkühlungszeit	Aschegehalt		
	für 2h Glühen	für 3h Glühen	für 18h Glühen
10 min	46,1004	41,5616	38,0412
30 min	48,4052	44,4961	39,8260
60 min	49,3351	45,6458	40,7709

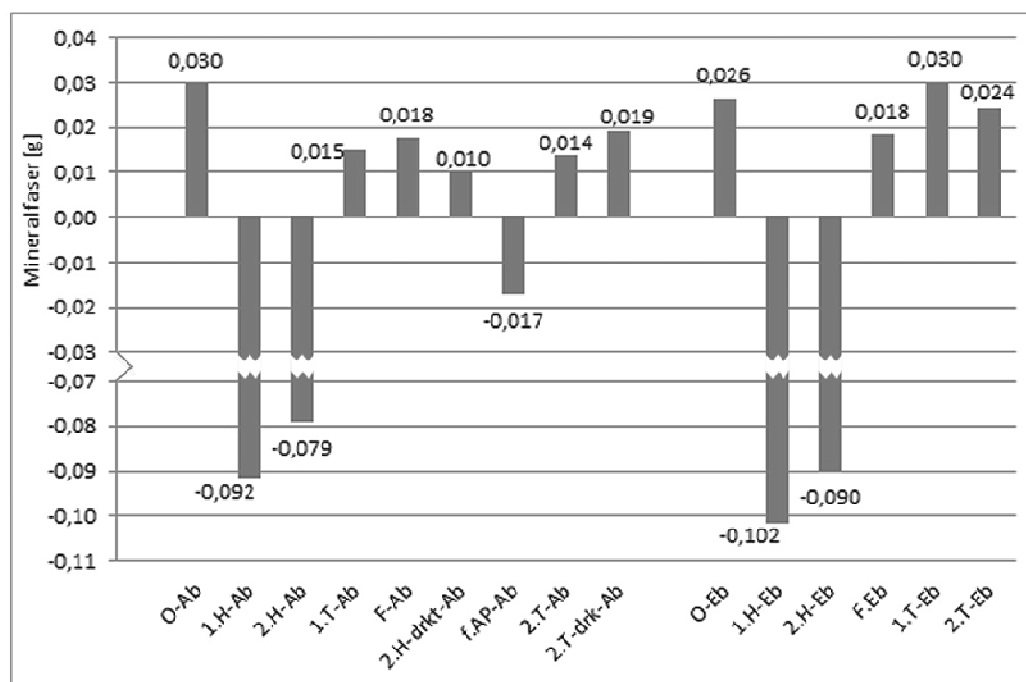


Abbildung C 1: Kontamination in der Oberschicht beim Auf-(links) und Einblasen (rechts)

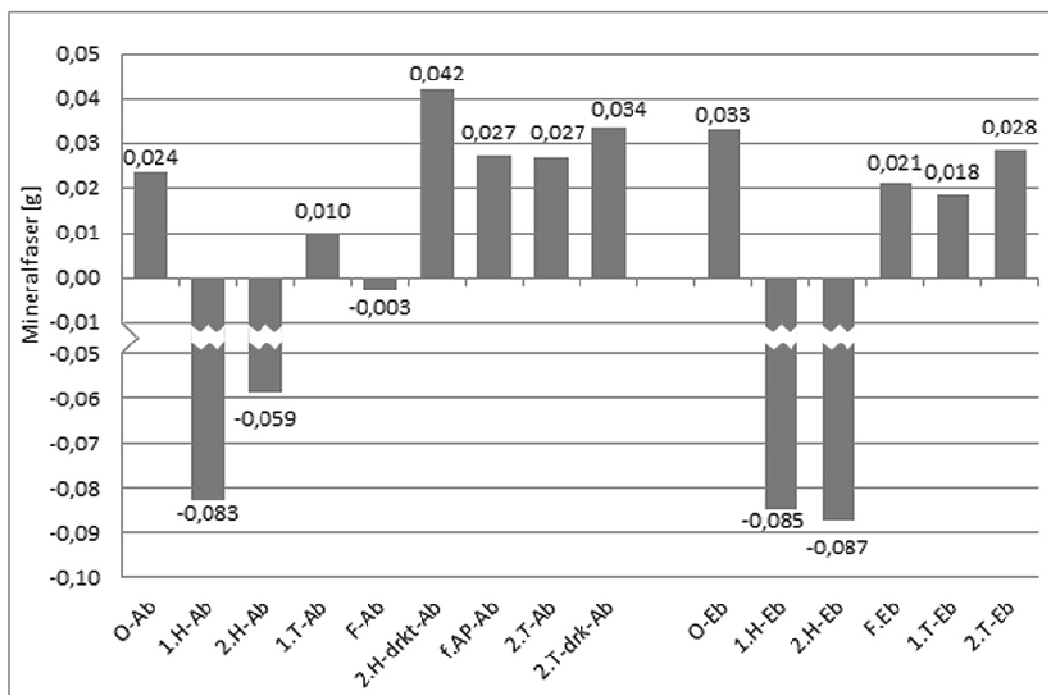


Abbildung C 2: Kontamination in der Kontaktschicht beim Auf-(links) und Einblasen (rechts)

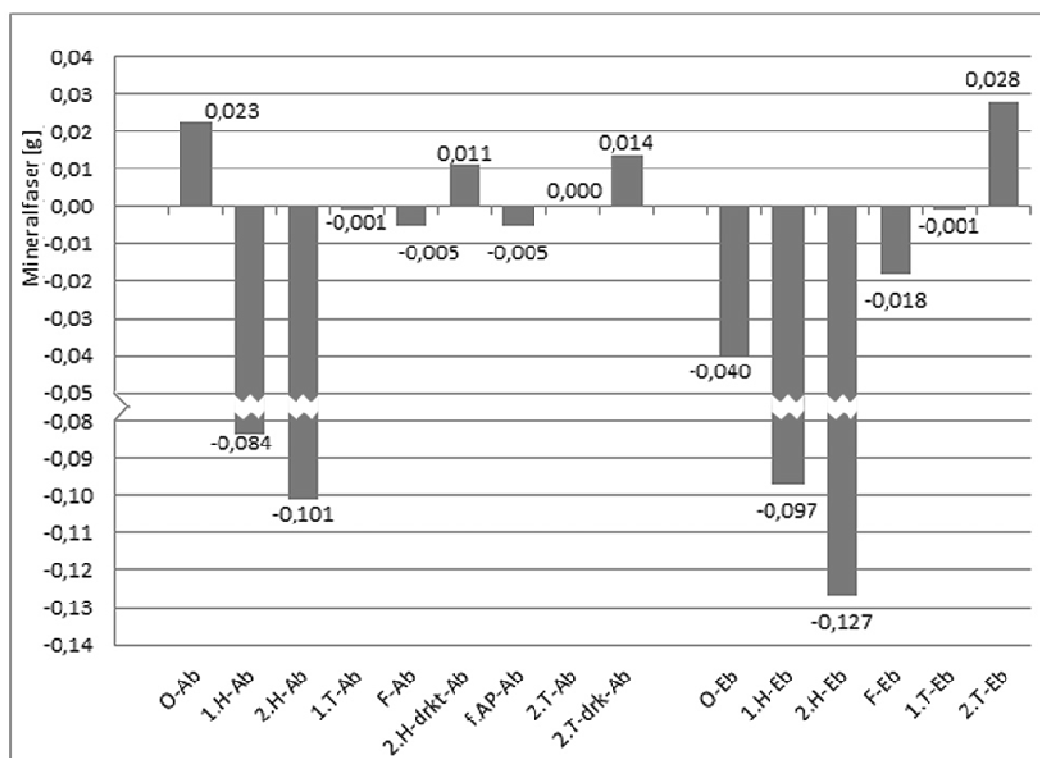


Abbildung C 3: Kontamination in der Saugprobe beim Auf-(links) und Einblasen (rechts)

13.5 Anhang D: Kompostierbarkeit des AP-Dämmstoffs

Berechnung der AP-Dämmstoffmenge im Liter Wasser

In einem Liter Wasser können 49 g Borsäure und 51 g Borax gelöst werden.

In einem kg AP-Dämmstoff befinden sich 40 g Borsäure und 40 g Borax.

1.225 g AP-Dämmstoff beinhalten 49 g Borsäure. In 1.275 g AP-Dämmstoff befinden sich 51 g Borax. Basierend darauf müssen 1.225 AP-Dämmstoff mit 1 l Wasser vermengt werden, um 49 g Borsäure zu lösen. 51 g Borax können in 1 l Wasser gelöst werden, wenn 1.275 g AP-Dämmstoff im Wasser hinzugefügt werden.

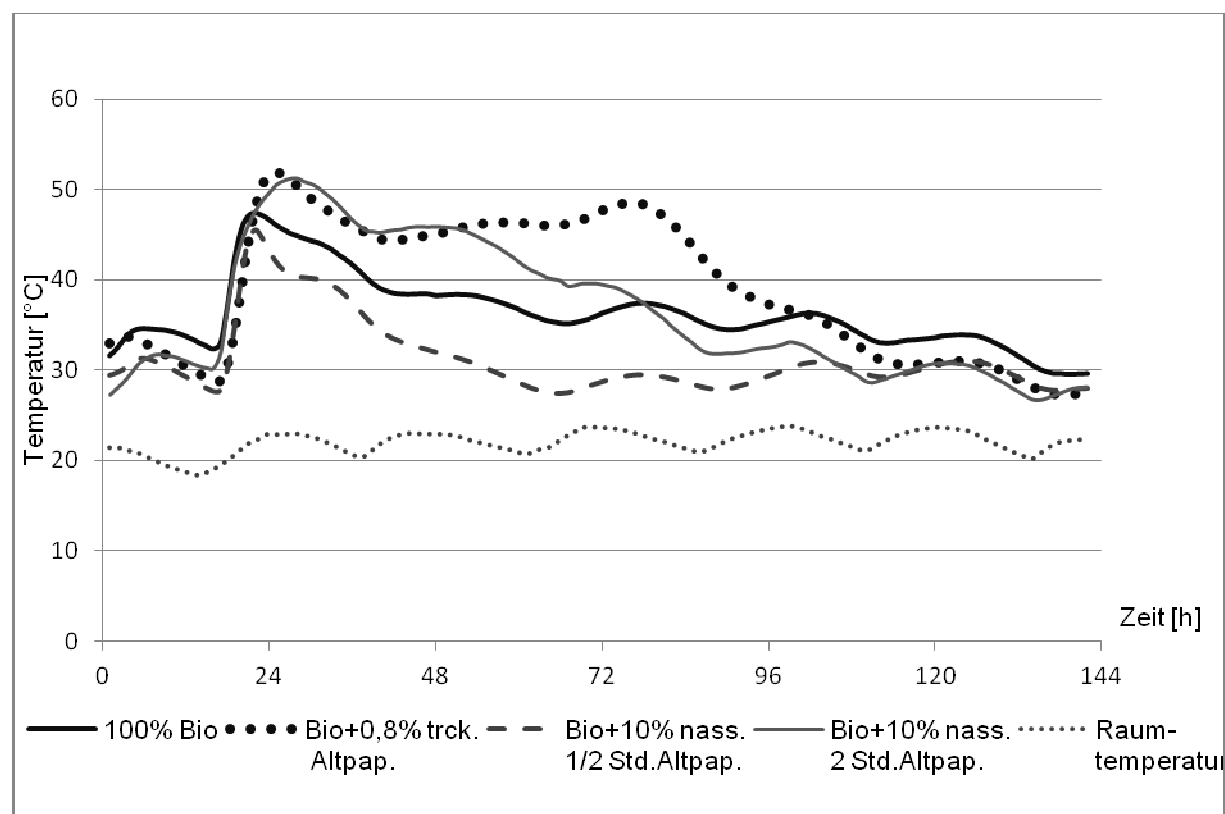


Abbildung D 1: Temperaturverlauf in Kompostreaktoren (Wiederholungsversuch)

13.6 Anhang E: ökologische Betrachtung

Tabelle E 1: Daten über Dämmstoffe innerhalb der Herstellungsphase

Dämmstoff	λ [W/m*k]	Dichte [kg/m³]	Treibhauspotential [CO ₂ -Äq] [kg/m³]	Energie [MJ/m³]
Steinwolle	0,040	160	221,00	2.963
EPS	0,039	15	48,40	1.444
PUR	0,023	30	147,80	3.785
Zelluloseflocken	0,040	50	16,15	217

Quelle: Kolb 2004, Eyerer 2000, Mötzel 2000

Tabelle E 2: Im Modell eingesetzte Angaben von Steinwolle innerhalb der Herstellungsphase

Input	Masse	Einheit	Quelle	Output	Masse	Einheit	Quelle
Kalkstein	0,0591	kg	Ecoinvent 2007	Steinwolle	1,0000	kg	Ecoinvent 2007
Basalt	0,5280	kg	Ecoinvent 2007	Kohlendioxid	1,3800	kg	Kolb 2004
Zement	0,1190	kg	Ecoinvent 2007	Phenol	0,0001	kg	Ecoinvent 2007
Zusatzstoffe	0,3650	kg	Ecoinvent 2007	Formaldehyd	0,0002	kg	Ecoinvent 2007
Recycl. Steinwolle	0,0145	kg	Ecoinvent 2007	Abwasser	0,3000	kg	Ecoinvent 2007
Phenol	0,0184	kg	Ecoinvent 2007				
Formaldehyd	0,0513	kg	Ecoinvent 2007				
Harnstoff	0,0115	kg	Ecoinvent 2007				
Wasser	11,900	kg	Ecoinvent 2007				
Graue Energie	18,519	MJ	Kolb 2004				

Tabelle E 3: Im Modell eingesetzte Angaben von Polystyrol innerhalb der Herstellungsphase

Input	Masse	Einheit	Quelle	Output	Masse	Einheit	Quelle
Polystyrol	0,0200	kg	Ecoinvent 2007	EPS	1,000	kg	
bromierte	0,009	kg	Ecoinvent 2007	Kohlendioxid	3,227	kg	Kolb 2004
Zusatzstoffe	0,049	kg	Ecoinvent 2007	Wasser	10,000	kg	
Luft	0,931	kg	Ecoinvent 2007	FCHK	0,006	kg	Ecoinvent 2007
Pentan (FCHW)*	0,062	kg	Ecoinvent 2007				
Wasser	10,000	kg	Wecobis 2011				
graue. Energie	96,27	MJ	Kolb 2004				

*: in Syrien eingesetzt

Tabelle E 4: Im Modell eingesetzte Angaben von Polyurethan innerhalb der Herstellungsphase

Input	Masse	Einheit	Quelle	Output	Masse	Einheit	Quelle
MDI	0,591	kg	IVPU 2002	PUR	1,000	kg	
Polyol	0,392	kg	IVPU 2002	Kohlendioxid	4,9270	kg	Wecobis 2011
Pentan (FCHW)*	0,089	kg	IVPU 2002	Wasser	60,000	kg	
Wasser	60	kg	Wecobis 2011	FCHK	0,0025	kg	Ecoinvent 2007
graue Energie	126,167	MJ	Kolb 2004				

*: in Syrien eingesetzt

Tabelle E 5: Im Modell eingesetzte Angaben von Altpapierdämmstoff innerhalb der Herstellungsphase

Input	Masse	Einheit	Quelle	Output	Masse	Einheit	Quelle
Alte Zeitungen	0,9200	kg	Isofloc 2010	AP-Dämmstoff	1,0000	kg	
Borsäure	0,0400	kg	Isofloc 2010	CO ₂	0,3230	kg	Kolb 2004
Borax	0,0400	kg	Isofloc 2010	Staub	0,0112	kg	Ecoinvent 2007
Wasser	0,0238	kg	Ecoinvent 2007				
graue Energie	4,3400	MJ	Kolb 2004				

13.6.1 Eingesetzte Angaben von den folgenden Berechnungen

Für die Nutzungsphase

- *Kohlendioxidausstoß und Erdgasmenge bei der Herstellung der elektrischen Energie*

Bei der Erzeugung von 1 kWh elektrischer Energie wird 369 g Kohlendioxid emittiert [Breyer 2006], 1 kWh entspricht 3.600 kJ

Der Wirkungsgrad η von einer Erdgaskraftwerkanlage (in Syrien) beträgt 45% [Al-IQTISSADYA 2010]. Heizwert H_u vom Erdgas beträgt 36.000 kJ/kg, Dichte von Erdgas beträgt 0,78 kg/m³. Nach der folgenden Formel wird die Erdgasmenge berechnet

$$\eta \% = \frac{En_{el} [kJ]}{Hu \left[\frac{kJ}{kg} \right] \times m_{Erdgas} [kg]}$$

- *Kohlendioxidausstoß und Heizölmenge bei der Herstellung der thermischen Energie*

Wirkungsgrad im Kessel der Heizungsanlage beträgt 90% [syrische Wärmedämmverordnung 2007]. Heizwert vom Heizöl beträgt 42.700 kJ/kg. Von 1 kg Heizöl werden 38.430 kJ thermische Energien erzeugt.

$$\eta \% = \frac{En_{th} [kJ]}{Hu \left[\frac{kJ}{kg} \right] \times m_{Heizöl} [kg]}$$

Kohlendioxid-Volumen im Rauchgas ergibt sich nach der Formel:

$$V_{CO_2} \left[\frac{m^3 CO_2}{kg_{BS}} \right] = 1,867 \times C[\%]$$

Kohlenstoffgehalt im Heizöl besetzt 86% von der gesamten Zusammensetzung vom Brenngas.

Dichte vom Kohlendioxidgas beträgt 1,98 kg/m³. Für 1 kg Heizöl berechnet man das Volumen von Kohlendioxid:

$$V_{CO_2} = 1,867 \times 0,86 = 1,606 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$m_{CO_2} = 1,606 \text{ m}^3 \times 1,98 \text{ kg/m}^3 = 3,18 \text{ kg}$$

SO₂ volumen im Rauchgas ergibt sich nach der Formel:

$$V_{SO_2} \left[\frac{\text{m}^3 SO_2}{\text{kg BS}} \right] = 0,68 \times S[\%]$$

Schwefelgehalt im Heizöl beträgt 0,3% der gesamten Zusammensetzung vom Brenngas.

Dichte vom Schwefeldioxidgas beträgt 2,931 kg/m³. Für 1 kg Heizöl berechnet man das Volumen von Schwefeldioxid:

$$V_{SO_2} = 0,68 \times 0,003 = 0,00204 \text{ m}^3$$

$$m_{SO_2} = 0,00204 \text{ m}^3 \times 2,931 \text{ kg/m}^3 = 0,006 \text{ kg}$$

Für die Kompostierung

➤ *Elektrische Energie, Dieselmenge, Kohlendioxid und Methan*

Es wird davon ausgegangen, dass die Kompostierungsanlage 360 d/a im Betrieb ist.

Der Durchsatz der Kompostierungsanlage in Damaskus beträgt 500 Mg/d. Die elektrische Energie beträgt 1.830 MWh im Jahr [Nassour 2004]. Ausgehend davon wird die elektrische Energie von 10 kWh/Mg berechnet.

240.000 l Diesel werden jährlich verbraucht für 500 Mg/d Abfall [Nassour 2004]. Die Diesel-Dichte beträgt 0,86 kg/l. Dieseldieselkraftstoff 1,3 l/Mg Abfall bzw. 1,13 kg / Mg Abfall.

Bei der Kompostierung von 1 Mg Biomüll in Low-Technikanlage werden 215 kg Kohlendioxid und 4,19 kg Methan emittiert. [Vorlage in der Software Umberto]

Für die Deponierung

➤ *Dieselmenge, Kohlendioxid, Methan und Stickstoff*

1 l Diesel/Mg Abfall (Diesel Dichte 0,86 kg/l → 0,86 kg Diesel/Mg Abfall) [Eggels 1995], [BUWAL 1996]

Nach den Berechnungen unter 8.3.3 werden 1.624 kg Kohlendioxid, 1.082 kg Methan und 512 kg Stickstoff bei einer Deponierung von 1 Mg Biomüll emittiert [Urban 2012] [Kröger 2006].

13.6.2 Abbildungen

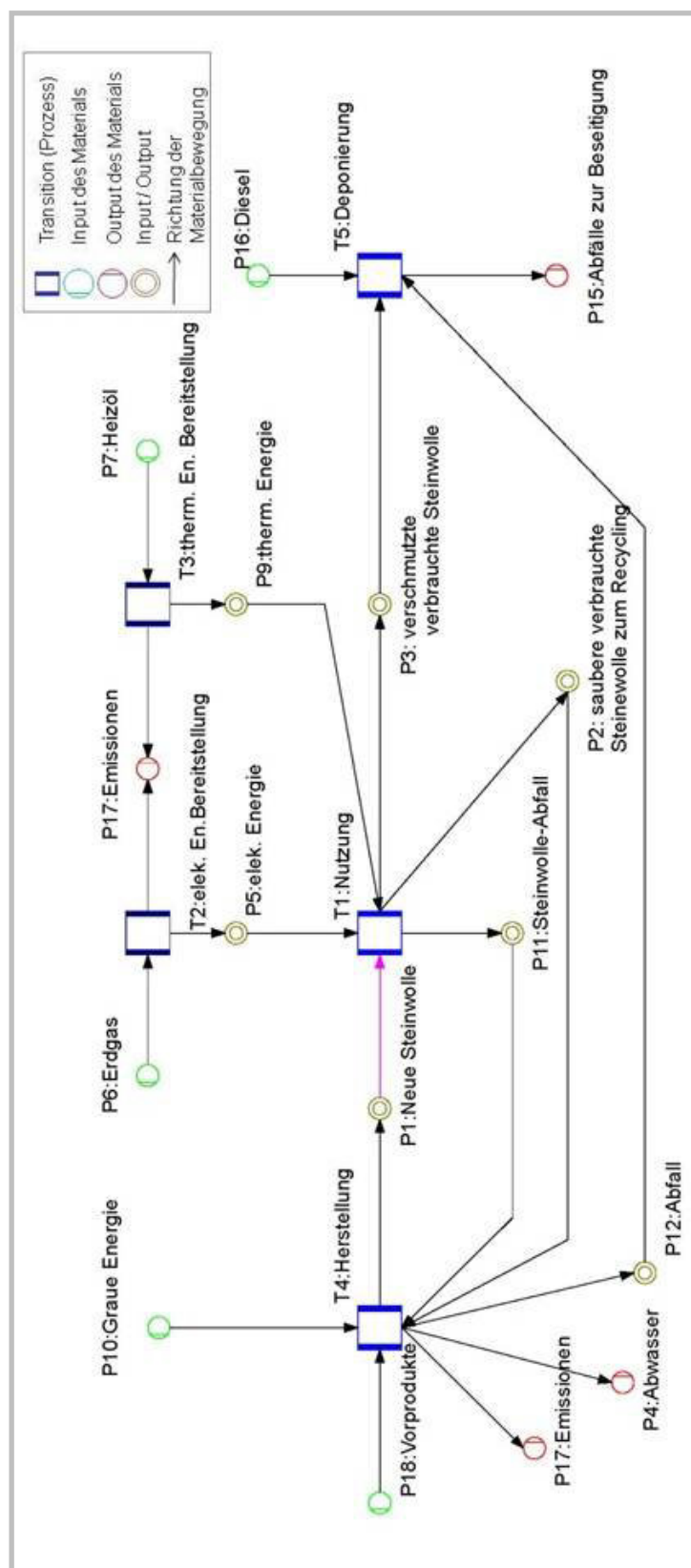


Abbildung E 1: Darstellung des Lebenszyklus für Steinwolle

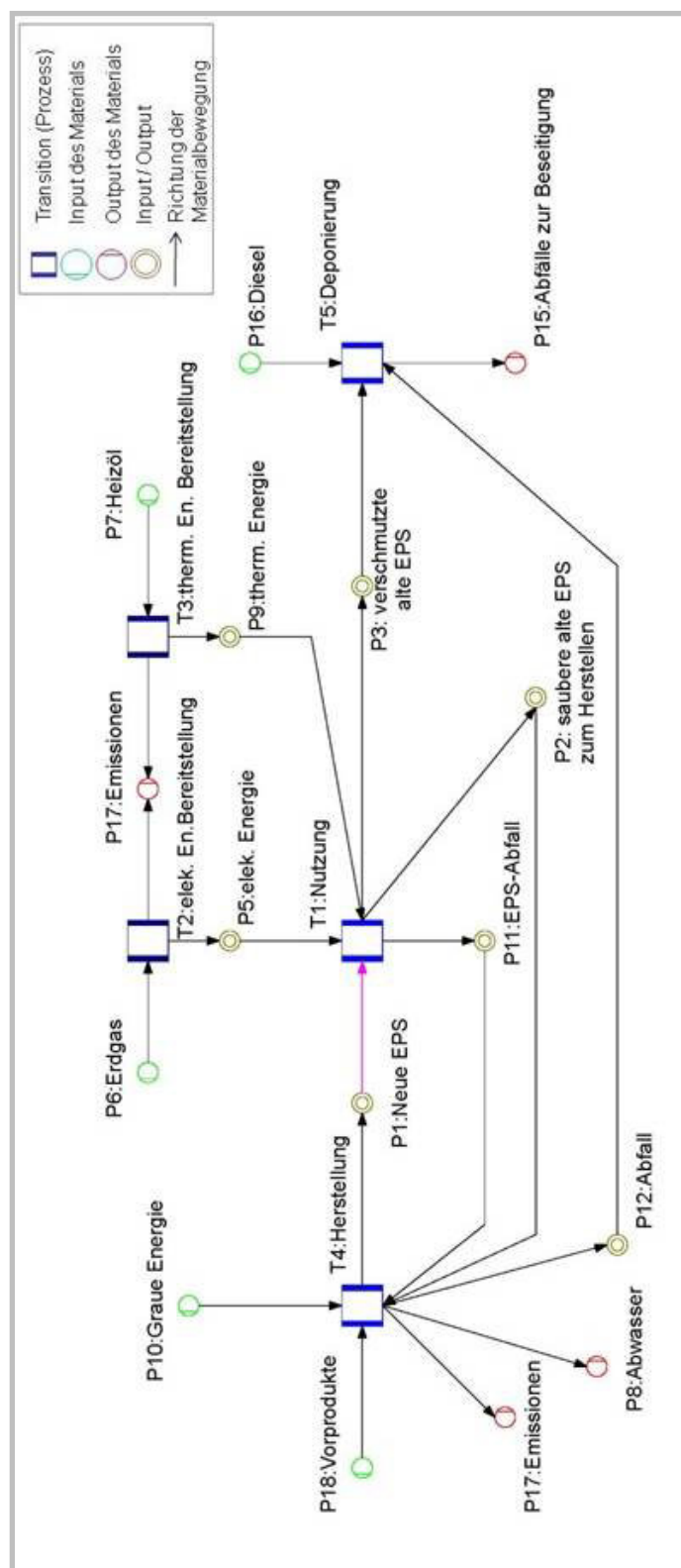


Abbildung E 2: Darstellung des Lebenszyklus für Polystyrol

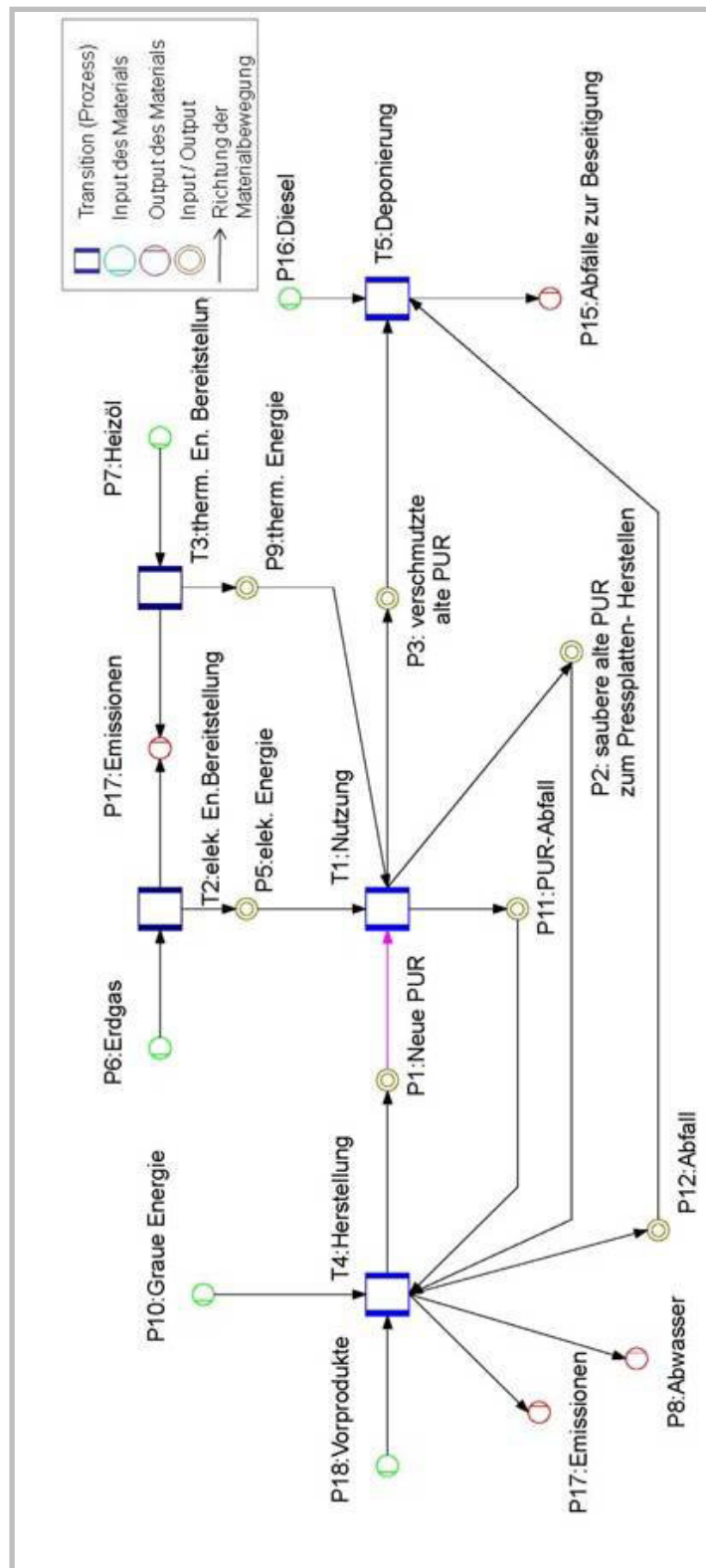


Abbildung E 3: Darstellung des Lebenszyklus für Polyurethan

13.7 Anhang F: Ökonomische Betrachtung

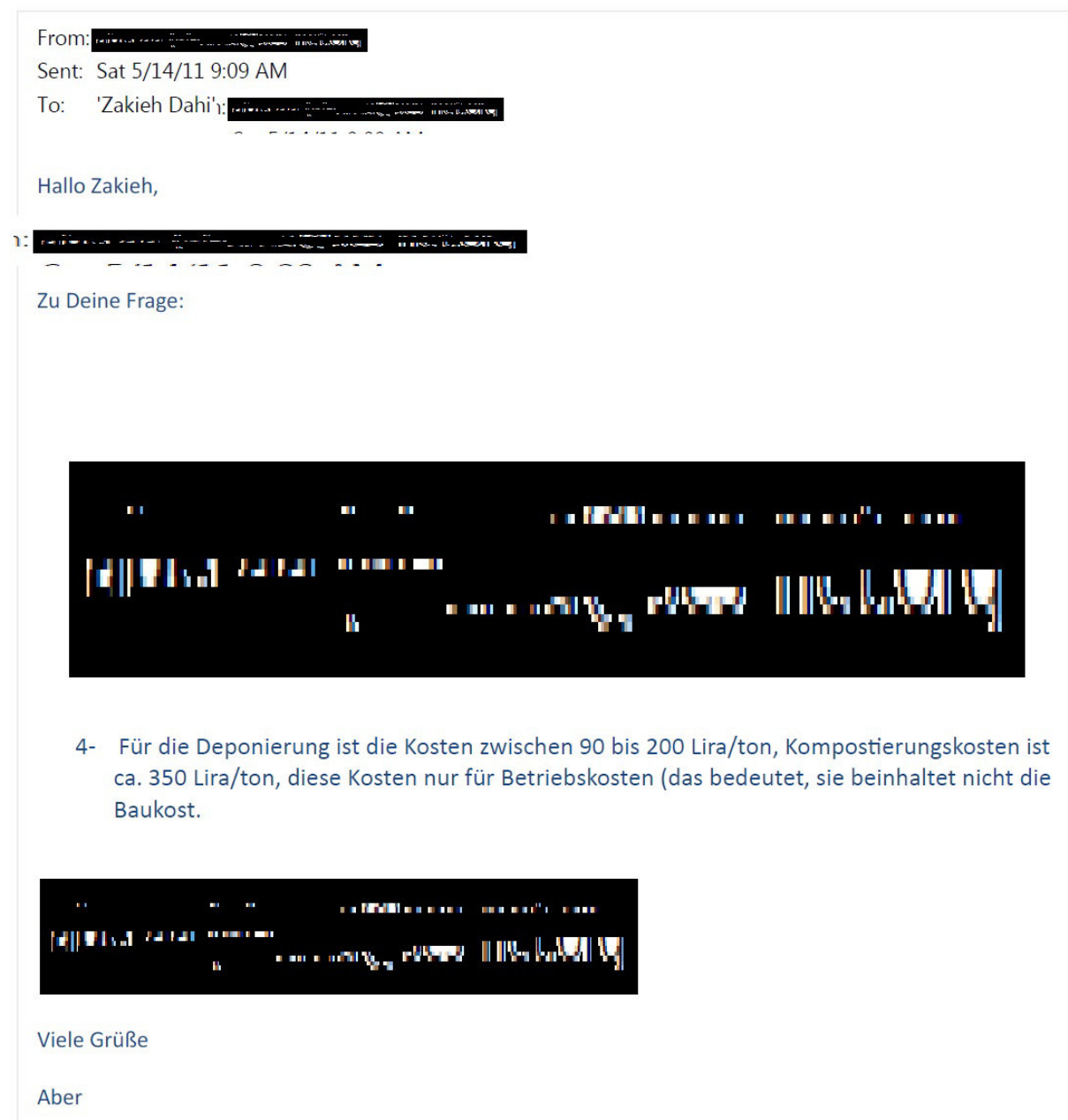


Abbildung F 1: E-Mail über die Betriebskosten von der Deponie und der Kompostierungsanlage in Syrien

Tabelle F 1: Ergebnisse der ökonomischen Betrachtung der unterschiedlichen Szenarien

	bst.Nb.O	D.SW	D.EPS	D.PUR	D.AP	30D,70R.SW	30D,70R.EPS	30D,70R.PUR	30D,70R.AP	K.AP.f.10	K.AP.t.0.8	70R,30K.AP.t
Kosten												
Dämmstoffe												
Dämmstoffmenge [kg]		10.238	1.031	2.061	6.871	10.238	1.031	2.061	6.871	6.871	6.871	6.871
Dämmfläche [m²]		1.374	1.374	1.374	1.374	1.374	1.374	1.374	1.374	1.374	1.374	1.374
Dämmkosten [€]		13.397	5.153	8.010	1.621	13.397	5.153	8.010	1.621	1.621	1.621	1.621
spez.Dämmkosten [€/kg]		1,31	5,00	3,89	0,24	1,31	5,00	3,89	0,24	0,24	0,24	0,24
Verarbeitung												
Personalbedarf		2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
personalkosten [€]		2.748	1.833	1.833	2.748	2.748	1.833	1.833	2.748	2.748	2.748	2.748
Einsatzkosten (Mschine) [€]					37,52				37,52	37,52	37,52	37,52
Verarbeitungskosten [€]		2.748	1.833	1.833	2.786	2.748	1.833	1.833	2.786	2.786	2.786	2.786
spez. Verarbeitungskosten [€/kg]		0,27	1,78	0,89	0,41	0,27	1,78	0,89	0,41	0,41	0,41	0,41
Deponierung												
Investitionskosten [€]		215	22	43	144	215	22	43	144			
Betriebskosten [€]		1.014	102	204	680	304	31	61	204			
Kompostierung												
Investitionskosten [€]										172	172	172
Betriebskosten [€]										1.196	1.196	359
Entsorgungskosten [€]		1.229	124	247	825	519	52	105	348	1.367	1.367	530
spez. Entsorgungskosten [€/kg]		0,12	0,12	0,12	0,12	0,05	0,05	0,05	0,05	0,20	0,20	0,08
Ersparnis												
Installationen												
Heizungsanlage [€]	22.000	-9.000	-9.000	-9.000	-9.000	-9.000	-9.000	-9.000	-9.000	-9.000	-9.000	-9.000
Klimaanlage [€]	7.000	-600	-600	-600	-600	-600	-600	-600	-600	-600	-600	-600
Nutzung												
Heizölkosten [€]	78.850	-35.350	-36.150	-41.150	-42.000	-35.350	-36.150	-41.150	-42.000	-42.000	-42.000	-42.000
Stromkosten [€]	38.050	-17.050	-17.050	-19.250	-19.850	-17.050	-17.050	-19.250	-19.850	-19.850	-19.850	-19.850
Install+ Nutz.Ersparnis [€]		-62.000	-62.800	-70.000	-71.450	-62.000	-62.800	-70.000	-71.450	-71.450	-71.450	-71.450
ges.Kosten [€]	145.900	17.373	7.109	10.091	5.232	16.664	7.038	9.948	4.756	5.775	5.775	4.938
ges. spez. Kosten [€/kg]		1,70	6,90	4,90	0,76	1,63	6,83	4,83	0,69	0,84	0,84	0,72
ges.Ersparnis [€]		-44.627	-55.691	-59.909	-66.218	-45.336	-55.762	-60.052	-66.694	-65.675	-65.675	-66.512

Schriftenreihe
Fachgebiet Abfalltechnik an der Universität Kassel

Herausgeber: Arnd I. Urban

- Band 1 *Dissertation*
Konsequenzen für die thermische Restabfallbehandlung verursacht durch
die TASI und das KrW-/AbfG
M. Friedel
Kassel 2001, ISBN 3-89792-057-3
- Band 2 *Dissertation*
Angepasste Abfallentsorgung für Schwellen- und Entwicklungsländer
A. Mohamad
Kassel 2002, ISBN 3-937022-00-7
- Band 3 *UNIK-AT 2004*
Verwertung von Baustellenabfällen
Hrsg.: A. I. Urban, I. Hetz-Yousseau
Fachtagung
Kassel 2004, ISBN 3-937722-03-1
- Band 4 *UNIK-AT 2005,*
Optimierung der Abfall-Logistik
Kasseler Abfall-Logistik-Tage
Hrsg.: A. I. Urban, G. Halm, M. Weber
Fachtagung
Kassel 2005, ISBN 3-89958-145-8
- Band 5 *Dissertation*
Untersuchungen zur Bestimmung des Verbrennungsverhaltens von festen
Abfallstoffen
H. Seeger
Kassel 2005, ISBN 3-89958-144-X
- Band 5 *UNIKAT 2006*
Stoffströme der Kreislaufwirtschaft
Hrsg.: A. I. Urban, G. Halm, R. M. Morgan
Fachtagung
Kassel 2006, ISBN 3-89958-244-6
- Band 6 *Dissertation*
Hygienisierung von Kompost – Möglichkeiten zum Nachweis einer
erfolgreichen Abtötung von Pathogenen und Unkrautsamen
M. Idelmann
Kassel 2005, ISBN-10: 3-89958-203-9
- Band 7 *UNIKAT 2007*
Weiterentwicklung der Abfallsammlung
Abfallwirtschaft ohne Duale Systeme?
Kassel 2007, ISBN 978-3-89958-300-7

- Dissertation*
Band 8 Abfalltausch. Reduzierung von Siedlungsabfalltransporten mit LKW unter ökologischen und ökonomischen Aspekten
Markus Weber
Kassel 2008, ISBN 978-3-89958-363-2
- UNIKAT 2009*
Band 9 Kasseler Modell – mehr als Abfallentsorgung. Kasseler Werkstofftage
Kassel 2009, ISBN 978-3-89958-692-3
- Band 10 Mit RFID zur innovativen Kreislaufwirtschaft
Kassel 2009, ISBN 978-3-89958-804-0
- UNIKAT 2010*
Band 11 Praktikable Klimaschutz-Potenziele in der Abfallwirtschaft
Kassel 2010, ISBN 978-3-89958-910-8
- UNIKAT 2011*
Band 12 Wertstofftonne und mehr... Auf dem Weg zur Kreislaufwirtschaft
Kassel 2011, ISBN 978-3-86219-142-0
- Dissertation*
Band 13 Co-Verbrennung von Siedlungsabfällen in Kleinanlagen zur dezentralen Energieversorgung und Abfallentsorgung
Ramona Schröer
Kassel 2012, ISBN 978-3-86219-242-7
- Dissertation*
Band 14 Entwicklung und Erprobung eines Abreinigungsfilters für das Abgas häuslicher Kleinf Feuerungsanlagen für die Verbrennung von Biomasse und Abfällen
Mohammadshayesh Aleysa
Kassel 2012, ISBN 978-3-86219-290-8
- UNIKAT 2012*
Band 15 Wertstofftonne und mehr... Herausforderungen an eine neue Kreislaufwirtschaft, Kassel 06. und 07. September 2012
Kassel 2012, ISBN 978-3-86219-372-1
- Dissertation*
Band 16 Smarte Produktkennzeichnung von Elektro- und Elektronikgeräten mittels RFID für ein gezieltes Stoffstrom- und Informationsmanagement
Löhle, Stephan
Kassel 2013, ISBN 978-3-86219-440-7
- Dissertation*
Band 17 Recycelfähige Dämmstoffe aus Altpapier für Syrien
Dahi, Zakia
Kassel 2013, ISBN 978-3-86219-606-7

Schriftenreihe
Fachtagung Thermische Abfallbehandlung

Herausgeber: Bernd Bilitewski, Martin Faulstich, Arnd I. Urban

- Band 1 Thermische Restabfallbehandlung
ISBN 3-503-03915-5, 1. Fachtagung, Dresden, 1996
- Band 2 Thermische Abfallbehandlung
Entwicklung von Technik und Kosten in einer Kreislaufwirtschaft
ISBN 3-88122-892-6, 2. Fachtagung, Kassel, 1997
- Band 3 Thermische Abfallbehandlung
ISSN 0942-914X, 3. Fachtagung, Garching bei München, 1998
- Band 4 Thermische Abfallbehandlung
Co-Verbrennung
ISBN 3-9805174-7-0, 4. Fachtagung, Dresden, 1999
- Band 5 Thermische Abfallbehandlung
Zukunft in Deutschland und Europa
ISBN 3-89792-003-6, 5. Fachtagung, Kassel, 2000
- Band 6 Thermische Abfallbehandlung
ISSN 0942-914X, 6. Fachtagung, Garching bei München, 2001
- Band 7 Thermische Abfallbehandlung
ISBN 3-934253-09-1, 7. Fachtagung, Berlin, 2002
- Band 8 Thermische Abfallbehandlung
ISBN 3-937022-01-5, 8. Fachtagung, Berlin, 2003
- Band 9 Thermische Abfallbehandlung
ISBN 3-937022-02-3, 9. Fachtagung, Berlin, 2004
- Band 10 Thermische Abfallbehandlung
ISBN 3-934253-33-4, 10. Fachtagung, Berlin, 2005
- Band 11 Thermische Abfallbehandlung
ISBN 978-3-89958-198-0, 11. Fachtagung, München, 2006
- Band 12 Thermische Abfallbehandlung
ISBN 978-389958-274-1, 12. Fachtagung München, 2007

Information:

Universität Kassel
Fachgebiet Abfalltechnik
34109 Kassel
www.uni-kassel.de/fb14/abfalltechnik

Im Zeichen des Klimawandels rückt die Wärmedämmung von Gebäuden und die damit verbundene Energieeinsparung weltweit immer stärker in den Fokus von Politik und Umweltschutz. Bei einer effektiven Wärmedämmung von Gebäuden wird der Energiebedarf für die Heizung und die Klimatisierung stark verringert und somit auch die damit verbundenen klimarelevanten Emissionen.

Die Studie bezieht sich auf die Wärmedämmungssituation von Gebäuden in Syrien. Neben der schwach organisierten Abfallwirtschaft in Syrien, tragen der hohe Energiebedarf im Bereich der Gebäudekühlung und der damit verbundene Kohlendioxidausstoß einen gravierenden Teil zur Umweltproblematik des Landes bei. Die Studie untersucht die Möglichkeit, einen umweltfreundlichen Dämmstoff aus Altpapier in syrische Wohngebäude einzubauen. Dieser Altpapierdämmstoff wird mit den in Syrien konventionell verwendeten Dämmstoffen, von der Herstellung, über die Nutzung bis hin zur Entsorgung verglichen.

Neben dem niedrigen Energieaufwand bei der Herstellung des Altpapierdämmstoffs, gibt es weitere relevante Vorteile gegenüber den konventionell verwendeten Dämmstoffen. So kann beispielsweise der Altpapierdämmstoff bei der Entsorgung an einem Kompostvorgang mit Bioabfällen beteiligt werden. Dies zeichnet den Dämmstoff als recycelfähiges Material aus.

Insgesamt wird mit der Studie nachgewiesen, dass der Einsatz eines Altpapierdämmstoffes und eine damit verbundene Einführung eines gezielten Altpapiersammelsystems möglich ist und in Syrien große volkswirtschaftliche und umweltbezogene Vorteile mit sich zieht.