

UNIVERSITÄT KASSEL

ABSCHLUSSARBEIT

**Entwicklung eines
C++-Programms zur
Bestimmung von
Biodiversitätsindizes**

Student:
Bernhard Zeidler

Matrikelnummer:
31202411

Erstprüferin:
Prof. Dr. Claudia Fohry
Zweitprüfer:
Apl. Prof. Dr. Rüdiger
Schaldach

11.04.2017

Selbstständigkeitserklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig angefertigt, nicht anderweitig zu Prüfungszwecken vorgelegt und keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel verwendet habe. Sämtliche wissentlich verwendeten Textausschnitte, Zitate oder Inhalte anderer Verfasser wurden ausdrücklich als solche gekennzeichnet.

Kassel, den 11. April 2017

Bernhard Zeidler

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Umweltwissenschaftlicher Hintergrund	2
2.1	Begriffserklärungen	2
2.1.1	Taxon	2
2.1.2	Landnutzungstyp und Landnutzungsintensität	3
2.2	Biodiversität	3
2.2.1	Verlust von Biodiversität	3
2.2.2	Folgen des Verlustes von Biodiversität	4
2.3	Messung von Biodiversität	5
2.3.1	Millenium Ecosystem Assessment	7
2.3.2	Biodiversity Intactnes Index	7
2.3.3	Natural Capital Index	8
2.3.4	GLOBIO3 und Mean Species Abundancy	9
3	Verwendete Ressourcen und Eingabedaten	12
3.1	LandSHIFT	14
3.2	Landflächen	14
3.3	Landnutzungstypen	15
3.4	Livestock Density	15
3.5	Unterscheidung von Landnutzungsintensität	16
3.6	Species Richness	16
3.7	ISO 3166 - Country Codes	16
3.8	MSA-Zuweisung für I	18
3.9	Zuweisung einzelner Länder zu (Welt-) Regionen	18
4	Implementierung	20
4.1	Überblick	20
4.2	Programmablauf	21
4.2.1	Laden sämtlicher Daten	22
4.2.2	Zusammenfassen der Karten	24
4.2.3	Berechnung der einzelnen BIIs	24
4.2.4	Ausgabe	25
4.3	Programmstruktur	25
4.3.1	Klasse: ASC_Data	25
4.3.2	Klasse: Cell	26
4.3.3	Klasse: Country	26
4.3.4	static struct Settings	27

4.3.5	static struct DataPointers	27
4.3.6	static struct MSA_Values	27
4.3.7	static struct MSA_Classes	28
4.3.8	struct Point	28
5	Ergebnisse	29
6	Schlussbemerkungen	30
	Literatur	31
	Tabellenverzeichnis	33
	Abbildungsverzeichnis	33

1 Einleitung

Menschen verändern ihre Umwelt. Menschen bauen Städte, legen Felder und Weideland an und bauen Straßen und andere Infrastruktur. Auf diese Weise prägt der Mensch die Welt in der er lebt. Aber wie groß ist der Einfluss des Menschen auf seine Umwelt? Als Beitrag zur Beantwortung dieser Frage befasst sich diese Arbeit inhaltlich zunächst mit Biodiversität. Biodiversität dient hierbei als Maß für den menschlichen Einfluss. In darauf folgenden Abschnitten mit der Entwicklung eines Programms zur Berechnung länderspezifischer Indikatoren für Biodiversität.

Hierzu sollen zunächst ein grundlegendes Verständnis für Biodiversität geschaffen werden. Im Anschluss wird auf das entwickelte Programm, dessen Struktur und Ablauf, eingegangen, sowie Testergebnisse vorgestellt.

Wie bereits erwähnt ist das Ziel dieser Abschlussarbeit ein Programm zu entwickeln mit dem Biodiversität auf globaler Ebene quantifiziert werden kann. Hierzu soll für einzelne Länder je ein Indikator berechnet werden, welcher die landesweite Biodiversität einstuft. Die hierbei verwendete Programmiersprache ist C++ wobei auf die Nutzung von Frameworks wie Qt verzichtet wurde. Hierdurch sollte das Programm ohne größeren Aufwand auf unterschiedlichen Computern ausführbar bleiben.

In Kapitel 2 werden zunächst einige Begriffe zur besseren Verständlichkeit dieser Arbeit definiert. In dem darauf folgenden Abschnitt 2.2 wird Biodiversität definiert und die Art und Weise wie Menschen darauf einwirken erläutert. Des Weiteren wird beispielhaft diskutiert welche Folgen durch den Verlust von Biodiversität entstehen. In Abschnitt 2.3 werden Möglichkeiten vorgestellt Biodiversität quantitativ einschätzen zu können. Hierfür wird die Arbeit des Millenium Ecosystem Assessment vorgestellt sowie berechenbare Indizes zur Darstellung von Biodiversität.

Nachdem auf diese Weise der umweltwissenschaftliche Hintergrund grundlegend erklärt wurde, werden in Kapitel 3 zunächst die verwendeten Fremddressourcen vorgestellt sowie die Eingabedaten erläutert.

In Kapitel 4 wird das entwickelte Programm vorgestellt. Hierzu wird in Abschnitt 4.1 zunächst ein Überblick zum Programm gegeben. Im Abschnitt 4.2 wird der Ablauf des Programmes beschrieben. Die Ausgabedaten des Programmes werden in Abschnitt 4.3 erläutert. Programmstruktur, also entworfene Klassen und `structs`, werden in Abschnitt 4.4 behandelt.

In Kapitel 5 werden von diesem Programm berechnete Ergebnisse für die Jahre 2000 und 2010 erläutert und verglichen, um eine globale Entwicklung der Biodiversität erkenntlich zu machen.

Den Ende dieser Arbeit bildet Kapitel 6 mit den Schlussbemerkungen.

2 Umweltwissenschaftlicher Hintergrund

Hauptaugenmerk dieser Abschlussarbeit liegt auf der Entwicklung eines Programmes zur Berechnung von Indikatoren, mit denen vorhandene Biodiversität quantitativ eingestuft werden kann. Hierfür soll zunächst ein grundlegendes Verständnis der umgebenden Forschung geschaffen werden. Um den wissenschaftlichen Rahmen dieses Themas zu beschreiben sollen in diesem Kapitel Biodiversität definiert werden, sowie Möglichkeiten zur Messung von Biodiversität vorgestellt werden.

2.1 Begriffserklärungen

2.1.1 Taxon

Der Begriff Taxon kann über die folgenden beiden Ebenen definiert werden[10]:

1. Ein Taxon umfasst eine Gruppe von biologisch verwandten Lebewesen welche gemeinsame Eigenschaften besitzen. Durch einige dieser Eigenschaften kann diese Gruppe von anderen Gruppen unterschieden werden.
2. Ein Taxon inkludiert alle Taxa niedrigeren Ranges und individuelle Organismen

Hierarchisch gesehen bildet eine Spezies die unterste Ebene der taxonomischen Gruppen. Die nächst höhere taxonomische Gruppe bildet das Genus, gefolgt von der Familie[10]. Weitere Ebenen taxonomischer Gruppen existieren, sollen hier allerdings nicht näher diskutiert werden.

Diese Definition soll am Beispiel der Rüsseltiere verdeutlicht werden:

- Das Taxon Rüsseltier(Proboscidea) umfasst die beiden Taxa *Loxodonta* und *Elephas*[15].
- Das Taxon *Loxodonta* umfasst die beiden Spezies Afrikanischer Elefant (*Loxodonta africana*) und Waldelefant (*Loxodonta cyclotis*). Eine Spezies ist hierbei auch ein Taxon.
- Die beiden Arten Afrikanischer Elefant und Waldelefant besitzen Eigenschaften, durch die sie sich unterscheiden lassen, wie Körpergröße oder Form der Stoßzähne[1].
- Diese beiden Elefantenarten sind durch die Zugehörigkeit zum Taxon *Loxodonta* ebenfalls Teil des Taxons Rüsseltier.

2.1.2 Landnutzungstyp und Landnutzungsintensität

Ein Landnutzungstyp beschreibt die Art in der ein Gebiet genutzt wird. Ein Beispiel für einen solchen Landnutzungstypen wäre „Weideland“. Hierdurch wird angegeben, dass das betrachtete Gebiet als Viehweide genutzt wird. Zur Unterscheidung von Landnutzungstypen existieren unterschiedliche Klassifizierungen, wie die in dieser Arbeit verwendete Einstufung des International Geosphere-Biosphere Programme (siehe Abschnitt 3.3 und Tabelle 2), oder die Global Land Cover 2000 (kurz GLC2000) Klassifizierung. In beiden Fällen werden unterschiedlichen Arten der Landnutzung (Weideland, Ackerbau, Beohntes Gebiet, etc) eindeutige Namen und Indizes zugewiesen.

Die Intensität der Landnutzung beschreibt wie stark das betrachtete Gebiet genutzt wird. Ein Gebiet des Typs „Weideland“, welches nur wenige Tage im Jahr als solches genutzt wird, wird weniger intensiv genutzt als ein vergleichbares Gebiet, welches ständig als „Weideland“ genutzt wird.

2.2 Biodiversität

Biodiversität, oder biologische Vielfalt, ist definiert als die Vielfältigkeit unter allen lebenden Organismen. Dies umfasst alle Landlebewesen, wie Tiere und Pflanzen, sowie alle aquatischen Organismen. Hierbei beschreibt Vielfalt auch die Diversität innerhalb einzelner Taxa [4] [5].

Neben diesen lebenden Organismen umfasst der Begriff „Biodiversität“ auch die Ökosysteme zu denen diese Lebewesen gehören. Ein Ökosystem ist hierbei ein Lebensraum (beispielsweise ein bestimmter Wald oder See) samt der darin vorkommenden Lebewesen. Bei dieser Betrachtung der Biodiversität werden sowohl natürliche Ökosysteme als auch von Menschen beeinflusste Ökosysteme berücksichtigt.

2.2.1 Verlust von Biodiversität

Biodiversität war bis vor etwa 1000 Jahren eine relativ konstante Größe [4]. Seither wächst der Druck auf natürliche Ökosysteme stetig an, was zu einer Reduktion der biologischen Vielfalt führt. Dieser Verfall von Biodiversität gewinnt weiterhin an Geschwindigkeit [13].

Um den wachsenden Bedarf an Nahrungsmitteln, Wasser, Holz und Brennstoffen decken zu können sind in den letzten 50 Jahren mehr Änderungen an Ökosystemen durchgeführt worden als je zuvor [2]. Basierend auf diesen Eingriffen erhöht sich die Aussterberate lebender Spezies [13]. Einer Annahme folgend war die durchschnittliche Aussterberate in etwa 0,1 - 1,0 pro Millionen Spezies pro Jahr, wobei die tatsächliche Rate durchaus höher sein kann,

da diese Annahme auf fossilen Funden weitverbreiteter Taxa basiert[4]. Die aktuelle Aussterberate ist geschätzt 1'000 - 10'000 mal höher als die natürliche Rate sein sollte[11]. Es gibt keine Anzeichen, dass sich diese Rate in der nahen Zukunft reduziert[4]. Hierbei ist allerdings zu bedenken, dass das tatsächliche Aussterben einzelner Spezies nur der letzte Schritt in einer Kette einzelner Verschlechterungen von Ökosystemen ist.

Eine Ursache für den Rückgang der Biodiversität ist der Verlust von natürlichen Habitaten. Dieser Verlust basiert zu großen Teilen auf der Ausweitung von Acker- und Weideland. Ein weiterer Faktor ist der Ausbau von Städten [11].

Eine weitere Ursache reduzierter Biodiversität ist eine Reduzierung der Qualität von natürlichen Habitaten[11]. Klimawandel, Verschmutzung oder Fragmentierung von Habitaten tragen hierzu bei. Außerdem beeinflusst leichte Zugänglichkeit von Gebieten durch ausgeprägte Infrastruktur die natürliche Qualität von Ökosystemen[13]

Diesem Verfall soll allerdings auch entgegengewirkt werden. So wurde beispielsweise im Jahr 2002 auf der Convention on Biological Diversity vereinbart die Reduktion von Biodiversität zu bekämpfen. Im selben Jahr wurde das selbe Ziel von unterschiedlichen Regierungen auf dem World Summit on Sustainable Development übernommen.

2.2.2 Folgen des Verlustes von Biodiversität

In Abschnitt 2.2 wurde erwähnt, dass der Bedarf an Nahrungsmitteln und Wasser steigt. Tatsächlich können Fischereien kaum den aktuellen Bedarf an Fisch decken geschweige denn den Zukünftigen. Die selbe Problematik gilt bei der Versorgung mit Frischwasser[2].

Viele Ökosystem-Dienste, welche Leben ermöglichen oder unterstützen, haben sich verschlechtert. Beispiele für solche natürlichen Dienstleistungen sind neben Nahrungs- und Wasserversorgung die Regulierung von:

- Luft- und Wasserqualität,
- lokalem Klima,
- natürlichen Gefahren und
- Krankheiten

Betrachtet man nun die aktuelle Entwicklung von Biodiversität ist davon auszugehen dass sich diese Dienste weiter verschlechtern.

Mögliche Folgen einer weiteren Abnahme der Qualität wären neben plötzlichen Änderungen der Wasserqualität und der Entstehung von toten Zonen

entlang der Zusammenbruch lokaler Fischereien. Krankheiten wie Malaria oder Cholera können sich weiter verbreiten. Des Weiteren besteht das Risiko, dass sich neue Krankheiten entwickeln können[2].

Anhand von zwei konkreten Beispielen sollen nun exemplarische Auswirkungen des Verlustes von Biodiversität verdeutlicht werden[4]:

1. Durch starkes Düngen von Feldern erhöht sich der Nährstoffanteil des Grundwassers, folglich auch der Nährstoffanteil in Flüssen, Seen und an Flussmündungen. Dieser Überfluss an Nährstoffen kann wiederum zu starkem Algenwachstum führen. Hierdurch werden offensichtlich auch mehr Pflanzen sterben. Bei dem Verwesungsprozess dieser Pflanzen wird dem umliegenden Gewässer Sauerstoff entzogen, was im Extremfall zum Fischsterben führen wird. Findet dieser Prozess in einem Korallenriff statt, wird zwangsweise das Riff selbst beschädigt und wechselt von einem Korallen- zu einem Algen-Riff. Dieser Wechsel ist irreversibel. Da Algen-Riffe die Küstenlinie allerdings weniger vor Stürmen schützen wird die Erosion der Küstenlinie beschleunigt.
2. Durch die Einführung eines quallenartigen Raubtiers ins Schwarze Meer wurden die Populationen von 26 Fischarten stark reduziert. Diese Fischarten waren von besonderer Bedeutung für lokale Fischereien. Durch diese Reduktion der Fischbestände ist der Ertrag einer wichtigen Nahrungsquelle stark zurückgegangen, was wiederum zum Zusammenbruch lokaler Fischereien führte.

2.3 Messung von Biodiversität

Wie bereits erwähnt ist Biodiversität ein mehrdimensionales Konzept. Um Biodiversität quantifizieren zu können, können Studien durchgeführt werden oder Experten befragt werden um den aktuellen Zustand von Ökosystemen - und dadurch Biodiversität - zu beschreiben oder um Prognosen zu treffen. Eine weitere Möglichkeit zur Beschreibung von Biodiversität ist das Aufstellen von Formeln zur Berechnung von Indikatoren.

Einem Ansatz des Millenium Ecosystem Assessment folgend müsste zur genauen Messung von Biodiversität die gesamte Fülle an Organismen über die gesamte Fläche und zu allen Zeitpunkten erfasst werden[4]. Hierzu müssten zur Unterscheidung aller Spezies taxonomische Unterschiede und Unterschiede in funktionalen Eigenschaften (Eigenschaften welche Überlebensfähigkeiten einzelner Spezies beschreiben) berücksichtigt werden. Des Weiteren müssten Interaktionen zwischen einzelnen Organismen (wie Parasitismus) beachtet werden[4].

Von besonderer Bedeutung wären hierbei Trends, welche die Entwicklung von Biodiversität beschreiben, statt dem reinen Zustand zu fixen Zeitpunkten.

Da diese präzise Messung allerdings kaum durchführbar wäre, werden häufig stellvertretende Indikatoren, wie Artenvielfalt spezifischer taxonomischer Gruppen, verwendet. Solche taxonomischen Indikatoren erfassen allerdings selten wichtige Aspekte wie Populationsgrößen, Verteilung der Arten, Funktion innerhalb des Ökosystems oder die Varianz innerhalb dieser Gruppen[4].

In den folgenden Abschnitten wird zuerst das Millenium Ecosystem Assessment vorgestellt, darauf folgen berechenbare Indikatoren der Biodiversität. Die Arbeit des Millenium Ecosystem Assessment dient als Beispiel für eine von Experten durchgeführte Beurteilung der globalen Biodiversität.

Zunächst allerdings einige Kriterien denen ein guter Indikator entsprechen soll:

- Wissenschaftliche Korrektheit.
- Anwendbarkeit des Indexes in zeitlichem und räumlichem Umfang politischer Entscheidungen.

Da Auswirkungen politischer Entscheidungen nicht sofort eintreten muss es möglich sein diesen Indikator für zeitliche Intervalle berechnen zu können, die die Auswirkungen politischer Entscheidungen darstellen können. Des Weiteren betreffen politische Entscheidungen nur das Gebiet der entsprechenden Regierung. Dementsprechend muss der Indikator für ein variables, festlegbares Gebiet berechenbar sein.

- Vergleichbarkeit zwischen Ausgangssituationen und definierbaren Ziel-situationen; zur Erstellung von Prognosen oder Trends.
- Nutzbarkeit des Indikators in Modellen, welche in zukünftigen Vorhersagen verwendet werden können. Ein Beispiel für ein Modell ist GLOBIO3, siehe Abschnitt 2.3.4
- Aggregation und Disaggregation zu Ökosystem-, nationalen- und internationalen Ebenen;

Hiermit ist das Zusammenfassen (Aggregation) kleinerer Teilindizes zu einem Größeren und Aufteilen(Disaggregation) eines größeren Indexes in kleinere Teilindizes gemeint.

- Einfache Verständlichkeit
- Breite Akzeptanz

- Berechnung des Indexes in ausreichender Präzision bei tragbaren Kosten

Diese Kriterien wurden von der Convention on Biological Diversity, kurz CBD, aufgestellt[14].

2.3.1 Millenium Ecosystem Assessment

Das Millenium Ecosystem Assessment (im Folgenden MEA) wurde als Kooperation, bestehend aus einigen Agenturen der Vereinten Nationen, internationalen wissenschaftlichen Organisationen und Entwicklungsagenturen mit Führung aus dem privaten Sektor und zivilen Gruppen gebildet. Insgesamt waren über 1300 Experten aus 95 Ländern Teil des MEA[2].

Die Aufgabe des MEA war eine globale Zustandsabschätzung der Ökosysteme und deren Einfluss auf das menschliche Wohlergehen. Diese globale Einschätzung wurde von den folgenden vier Arbeitsgruppen innerhalb des MEA durchgeführt[2]:

- Condition & Trends: Beurteilung zum Wissensstand über Ökosysteme, zu treibenden Faktoren, zur Änderung von Ökosystemen, von Dienstleistungen welche von Ökosystemen erbracht werden und zum Zusammenhang von Ökosystemen mit menschlichem Wohlergehen im Jahr 2000.
- Scenarios: Entwicklung von unterschiedlichen, realistischen Szenarios in denen sich Ökosysteme und deren Dienstleistungen entsprechend entwickeln.
- Responses: Untersuchung von Stärken und Schwächen unterschiedlicher Reaktionsmöglichkeiten um Ökosysteme zu verwalten sowie Möglichkeiten menschliches Wohlergehen zu verbessern.
- Sub Global Assessments: Beschreibung von gesammelten Erfahrungen welche auf sub-globaler Ebene gesammelt wurden.

Die Ergebnisse der einzelnen Arbeitsgruppen wurden in insgesamt sieben Berichten vorgestellt.

2.3.2 Biodiversity Intactnes Index

Der BII, entwickelt von R. J. Scholes und R. Biggs basiert auf der Spezies-, oder Artenvielfalt (engl.: species richness) in einem zu betrachtenden Gebiet, verglichen mit einer Referenz-Artenvielfalt[14]. Die Artenvielfalt gibt

hierbei die Anzahl unterschiedlicher Spezies im betrachteten Gebiet an. Die ideale Referenz ist die Artenvielfalt im gleichen Gebiet, bevor diese Vielfalt von menschlichen Eingriffen in diesem Gebiet verändert wurde. Die genaue Formel zur Berechnung des BII ist wie folgt definiert:

$$\frac{\sum_i \sum_j \sum_k R_{ij} A_{jk} I_{ijk}}{\sum_i \sum_j \sum_k R_{ij} A_{jk}}$$

Hierbei iteriert:

- i über alle Taxa des betrachteten Gebietes
- j über alle Ökosysteme des betrachteten Gebietes,
- k über alle Landnutzungstypen des betrachteten Gebietes.

Die Variablen R_{ij} , A_{jk} , I_{ijk} bedeuten:

- R_{ij} : die Anzahl unterschiedlicher Spezies des Taxons i im Ökosystem j ,
- A_{jk} : die Fläche, welche vom Landnutzungstyp k im Ökosystem j belegt wird, und
- I_{ijk} : die Artenvielfalt des Taxons i im Ökosystem j unter Landnutzungstyp k , relativ zu einer Referenz.

Die Werte für I_{ijk} werden hierbei von Experten geschätzt.

Da genaue Daten zur Artenvielfalt allerdings selten vorhanden sind, müssen oft andere Daten verwendet werden. Hierzu kann die Artenvielfalt wie sie in Naturschutzgebieten vorkommt verwendet werden, solange der Urzustand des zu untersuchenden Gebietes dem des Vergleichsgebietes ähnelt. Zur Festlegung der Artenvielfalt wird erwähnt, dass ausschließlich gut dokumentierte Arten gezählt werden sollten, insbesondere Pflanzen und Wirbeltiere. Mikroben und wirbellose Lebewesen sollten hingegen nicht berücksichtigt werden, da diese zwar viele unterschiedliche Arten umfassen, allerdings nicht ausreichend dokumentiert sind[14].

2.3.3 Natural Capital Index

Ein weiterer Index zur Messung der Biodiversität ist der vom **National Institute for Public Health and the Environment** vorgeschlagene Natural Capital Index (im Folgenden NCI)[11]. Der NCI beschreibt biologische Vielfalt als Abweichung des betrachteten Gebietes vom natürlichen, ungestörten

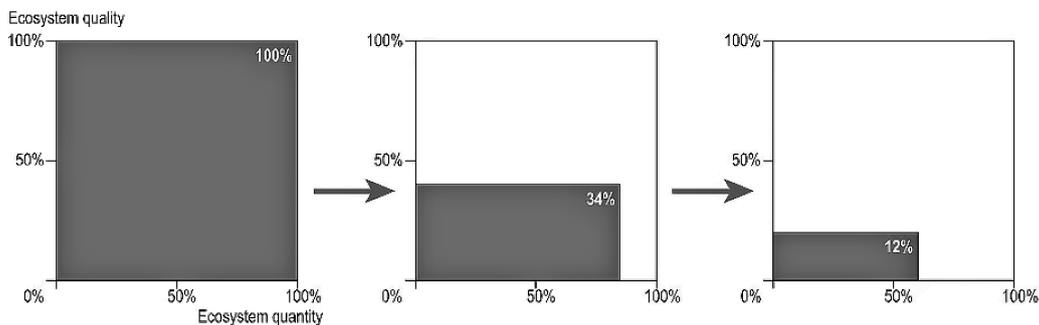


Abbildung 1: Grafische Darstellung des NCI, [11], S3

Zustand[3](vgl Abbildung 1). Der Basiszustand beschreibt also das vollständige (die Landfläche betreffend) betrachtete Gebiet vor jedwedem menschlichen Einwirken. Alternativ kann diese Ausgangssituation auch nach bereits eingetretenen Veränderungen festgelegt werden, dann wird allerdings nicht mehr die Abweichung vom natürlichen Urzustand gegeben. Dies ist insbesondere dann erforderlich, wenn der natürliche Urzustand nicht ausreichend dokumentiert ist.

Die Formel zur Berechnung des NCI ist wie Folgt gegeben:

$$NCI = \text{ÖkosystemQuantität}(\%) * \text{ÖkosystemQualität}(\%)$$

Hierbei gibt die ÖkosystemQuantität die Fläche des Gebietes an, welche noch ihrem natürlichen Zustand entspricht. Die ÖkosystemQualität wird als Verhältnis einer aktuellen Artenvielfalt (von einigen Kern Tier- und Pflanzenarten) zu ihrer Ursprünglichen Artenvielfalt definiert.

2.3.4 GLOBIO3 und Mean Species Abundancy

Mit dem GLOBIO3 Modell sollen durch Menschen entstandene Änderungen an Biodiversität beurteilt werden. Diese Beurteilung soll auf regionaler wie globaler Ebene stattfinden. Für diese Beurteilung werden einige treibende Faktoren, dazu später mehr, und deren Auswirkungen auf die Biodiversität herangezogen. Um Prognosen treffen zu können werden unterschiedliche Szenarien entwickelt um beispielsweise die wahrscheinlichen Auswirkungen politischer Entscheidungen analysieren zu können.

Das GLOBIO3 Modell basiert auf unterschiedlichen anderen Herangehensweisen [3]. So wird einerseits der bereits vorgestellte NCI in geänderter Form als Indikator zur Biodiversität übernommen. Diese geänderte Form ist nun als Mean Species Abundancy of original species (im Folgenden MSA) bekannt. Neben diesem verwendeten Indikator basiert GLOBIO3

Year	scenario	Ecosystem area with reduced biodiversity (km ²)	% of total area
2000		7,303,130	46
2030	Sustainability first	8,826,094	57
2030	Policy first	9,801,702	63
2030	Security first	10, 531,973	69
2030	Markets first	11,114,845	73

Tabelle 1: Beispiel zu GLOBIO2, entnommen aus[12], S20

zusätzlich auf der eigenen Vorgängerversion GLOBIO2, welches nun ebenfalls kurz vorgestellt werden soll.

Das GLOBIO2 Modell wurde 2001 von GRID-Arendal, einem Kollaborationszentrum der UN Environment[9], in Norwegen entwickelt[8]. Mit diesem Modell wird der Einfluss von Infrastruktur und deren Ausbau oder Entwicklung auf Biodiversität berechnet[3], [12]. Die Beurteilung dieses Einflusses basiert auf der Entfernung eines Gebietes zu vorhandener Infrastruktur. Der Grundgedanke hierbei ist, dass ein Gebiet mit relativer Nähe zu vorhandener Infrastruktur stärker von dieser Infrastruktur beeinflusst wird, als ein Gebiet das weiter entfernt liegt. Ergebnis dieses Modells ist dann die Gesamtfläche, beispielsweise in km², der Gebiete mit reduzierter Biodiversität.

Ein Beispiel hierfür ist in Tabelle 1 gegeben. In der Tabelle ist für eine Ausgangssituation und vier mögliche Szenarios jeweils die Größe der negativ beeinflussten Landfläche gegeben. Negativ beeinflusste Landfläche ist hierbei Landfläche mit reduzierter Biodiversität. Eine qualitative Einschätzung (wie stark diese Fläche beeinflusst ist) ist hierbei nicht gegeben.

Zusätzlich zur Übernahme des NCI und der Weiterentwicklung von GLOBIO2 werden auch einige Ansätze wie das MEA sie verwendete übernommen. So berücksichtigt GLOBIO3 Änderungen der Landnutzung, den Klimawandel oder auch Stickstoffablagerungen in der Atmosphäre. Des Weiteren werden (Habitat-) Fragmentierung und Änderungen an der Landnutzungsintensität berücksichtigt.

All diese (treibenden) Faktoren werden dann zur Berechnung des MSA herangezogen. Zu beachten ist hierbei, dass ausschließlich Landflächen in diese Beurteilung eingehen. Neben Ozeanen und anderer Wasserkörper ist die Antarktis aus der Berechnung ausgeschlossen.

Der MSA stellt dann ein durchschnittliches Verhältnis zwischen ursprünglicher Artenvielfalt und aktueller Artenvielfalt dar. Ein Wert von 0,7 würde dementsprechend bedeuten, dass von der ursprünglichen Artenvielfalt noch 70% vorhanden sind.

Die Art und Weise wie einzelne Spezies auf sich ändernde Bedingungen in ihrem Ökosystem reagieren kann nicht aus dem MSA extrahiert werden, nur die gesamt Reaktion aller Spezies in diesem Ökosystem[3].

3 Verwendete Ressourcen und Eingabedaten

Das Programm soll Indikatoren zur Biodiversität berechnen. Da für den BII eine klare Formel zur Berechnung definiert ist können zuverlässige Ausgaben produziert werden, solange die Eingaben für diese Formel korrekt sind. Daher soll der BII als Indikator verwendet werden.

An dieser Stelle soll zum besseren Verständnis zunächst das Eingabeformat einzelner Dateien definiert werden: Die Eingabe der Daten findet hauptsächlich in Form von Rasterkarten statt. Hierfür wurde der Globus in einzelne Zellen unterteilt. Zellen werden anhand ihrer Koordinaten (in Längen- und Breitengrad) unterschieden.

Um nun die Programmeingaben zu bestimmen soll noch einmal die Formel zur Berechnung des BII betrachtet werden:

$$\frac{\sum_i \sum_j \sum_k R_{ij} A_{jk} I_{ijk}}{\sum_i \sum_j \sum_k R_{ij} A_{jk}}$$

Diese Formel bildet jeweils einzelne Summen über die Laufvariablen i , j und k . Die Variablen symbolisieren Taxa (i), Ökosysteme (j) und Landnutzungstypen (k). Hierbei gelten die folgenden Rahmenbedingungen:

- Die betrachteten Taxa sollen sich auf Amphibien, Vögel und Säugetiere beschränken. Dadurch beschränkt sich die Anzahl der Iterationen über i auf drei.
- Mit den Verwendeten Daten ist eine Unterscheidung zwischen Ökosystem und Landnutzungstypen nicht möglich, stattdessen wird eine Zelle mit einem Landnutzungstypen und einer Größe als eigenes Ökosystem interpretiert.
- Landnutzungstypen sollen zusätzlich anhand der Intensität der Landnutzung unterschieden werden

Die Variablen R_{ij} , A_{jk} und I_{ijk} entsprechen konkreten Werten die zur Berechnung benötigt werden:

- R_{ij} ist die Anzahl unterschiedlicher Spezies eines Taxons,
- A_{jk} ist die Fläche einer Zelle und
- I_{ijk} symbolisiert die Auswirkungen des Landnutzungstypen einer Zelle auf die dort lebenden Spezies. Hierfür werden MSA-Werte verwendet.

Zusammenfassend werden die Folgenden Eingabedaten benötigt:

1. Artenvielfalt pro Zelle, jeweils ein Wert pro Taxon (Amphibien, Vögel und Säugetiere), zur Bestimmung von R_{ij}
2. Landnutzungstyp pro Zelle, zur Bestimmung von I_{ijk}
3. Flächengröße pro Zelle in km^2 , zur Bestimmung von A_{jk}
4. Angaben zur Anzahl von Nutzvieh, in Livestock-Units, pro Zelle zur genauen Identifikation von Weideland, ebenfalls zur Bestimmung von I_{ijk}
Ein Wert größer Null gibt hierbei an, dass dieses Gebiet als Weideland genutzt wird. Eine Livestock-Unit entspricht hierbei nicht der totalen Anzahl von Nutzvieh sondern einem zusammenfassenden Wert.
5. Landeszugehörigkeit pro Zelle in Form von ISO:3166 Landescodes, zur Zuweisung einzelner Zellen zu Ländern
6. Zuweisung einzelner Länder zu Regionen,
7. Zuweisung von Landnutzungsintensitäten zu einzelnen Landnutzungstypen, zur Bestimmung von I_{ijk}
Diese Daten sind Regional vorhanden, daher wird Punkt 6 benötigt.
8. MSA-Werte pro Landnutzungstyp, dies ist der genaue Wert von I_{ijk}

Zellenweise Informationen (Punkte 1 - 5) sind in Form von Rasterkarten gegeben. Diese Karten sind in ASC-Dateien enthalten. Inhaltlich besitzt jede ASC-Datei einen Header und eine Tabelle. Der Header definiert hierbei die Anzahl an Zeilen und Spalten der Tabelle, sowie einen NO_DATA Wert. Des Weiteren definiert dieser Header die Zellengröße einzelner Einträge in Grad. Diese Größe definiert die Feinheit des Rasters, da Zellen eine Breite und Höhe dieser Größe haben (vom Äquator ausgehend). Zusätzlich definiert der Header die Koordinaten der linken unteren Ecke, ebenfalls in Grad. Ist diese Ecke beispielsweise als $-180, -56$ definiert bedeutet dies, dass die Koordinaten des ersten Elements der letzten Zeile die globalen Koordinaten 180° West und 56° Süd besitzt. Die Tabelle führt dann die eigentlichen Informationen.

Zusätzlich zu diesen Rasterkarten werden noch CSV-Dateien geladen:

- Die Erste dieser Dateien beinhaltet die Zuweisung einzelner Länder zu ihren Regionen (Punkt 6). Hierzu werden zunächst sämtliche Regionen in der ersten Zeile genannt. In einer neuen Zeile wird eine Region genannt und in darauf Folgenden Zeilen stehen die Länder dieser Region, mit ihrer ISO-ID. Diese Aufzählung wiederholt sich für alle Regionen.

- Die nächste Datei weist einzelnen Regionen das Verhältnis der Landnutzungsintensitäten zu (Punkt 7). Auch hierfür werden zunächst in der ersten Zeile sämtliche Regionen genannt. Zur menschlichen Lesbarkeit werden in der folgenden Zeile die unterschiedlichen Intensitäten genannt (beispielsweise `Low_Input_Cropland` und `High_Input_Cropland`). Hiernach steht in jeder Zeile zunächst der Name der betroffenen Region, gefolgt von den prozentualen Anteilen der jeweiligen Intensität (vgl. Tabelle 3).
- Die Letzte dieser Dateien führt die MSA-Werte für I in der Formel (Punkt 8 der Eingabedaten). Diese Datei beinhaltet lediglich die Namen der Landnutzungstypen (nach Intensität unterschieden) gefolgt vom entsprechenden MSA-Wert.

3.1 LandSHIFT

LandSHIFT ist ein Programm mit dem kontinentale und globale Änderungen der Landnutzung berechnet werden können. Hierfür werden einzelne Szenarios mit einer Laufzeit von ca. 20 - 50 Jahren simuliert.

Bei der Durchführung dieser Simulation werden Änderungen an der Landnutzung entsprechend unterschiedlicher Aktionen wie Urbanisierung, Getreideanbau oder Viehzucht durchgeführt. Hierfür werden globale Simulationen für Klima oder den Wasserzyklus berücksichtigt sowie menschliche Faktoren wie Bevölkerungsdichte. Außerdem werden technologische Faktoren wie der Stand der landwirtschaftlichen Entwicklung mit zur Berechnung herangezogen.

Die Ausgaben von LandSHIFT sind unter Anderem standardisierte Rasterkarten, welche jeweils Informationen zu Landnutzungstypen, Livestock Density und Zellgröße enthalten. Diese Ergebnisse werden in dieser Arbeit verwendet.

3.2 Landflächen

Zur Berechnung von BIIs muss die Landfläche eines Landnutzungstypen im betrachteten Ökosystem bekannt sein. Hierzu die folgenden beiden Punkte:

1. Eine Zelle besitzt genau einen Landnutzungstypen
2. Es wird angenommen dass die Fläche des Landnutzungstypen der gesamten Fläche der Zelle entspricht

Die Landfläche eines Landnutzungstyps in einem Ökosystem ist also die Flächengröße der einzelnen Zelle.

Class	IGBP	Class	IGBP
0	Water	10	Grasslands
1	Evergreen Needleleaf forest	11	Permanent wetlands
2	Evergreen Broadleaf forest	12	Croplands
3	Deciduous Needleleaf forest	13	Urban and built-up
4	Deciduous Broadleaf forest	14	Cropland/Natural vegetati- on mosaic
5	Mixed forest	15	Snow and ice
6	Closed shrublands	16	Barren or sparsely vegeta- ted
7	Open shrublands	254	Unclassified
8	Woody savannas	255	Fill Value
9	Savannas		

Tabelle 2: Aggregation der einzelnen Landnutzungstypen entsprechend IGBP Klassifizierung[6]

3.3 Landnutzungstypen

Ein Kernaspekt des BII ist die Unterscheidung von Landnutzungstypen. Der Landnutzungstyp bestimmt einerseits die Größe der Landfläche, welche von diesem Typen belegt ist ($A_{j,k}$), andererseits den dritten Faktor der Formel, $I_{i,j,k}$ (siehe Abschnitt 2.3.2). Dementsprechend müssen zur Laufzeit Informationen zur Landnutzung einzelner Zellen vorhanden sein. Eine entsprechende Eingabedatei gibt für jede Zelle einen Landnutzungstypen an. Das Programm erwartet hierbei eine Klassifizierung entsprechend der „International Geosphere Biosphere Programme“ (kurz IGBP), siehe Tabelle 2. Die verwendeten Daten weichen allerdings in zwei Punkten von dieser Klassifikation ab:

1. Zur Identifikation unterschiedlicher Getreidearten wurden Werte von 1000 bis 1020 verwendet. Diesen wird intern der Wert für Cropland zugewiesen.
2. Die Werte 2000 und 2001 symbolisieren intensive Landnutzung für den Landnutzungstyp „Grassland“

3.4 Livestock Density

Die Eingabe der Livestock Density gibt Aufschluss darüber, ob eine Zelle zur Viehzucht verwendet wird. Besitzt eine Zelle einen Eintrag der größer als Null ist, wird angenommen dass diese Zelle entsprechend verwendet wird.

Da Intensive Nutzung zur Viehzucht bereits durch einen eigenen Landnutzungstypen (vgl. Abschnitt 3.3) markiert ist, ist der genaue Wert hierbei irrelevant.

Da es Zellen gibt, welche den Landnutzungstypen „16: Barren or sparsely vegetated“ haben und Einträge mit Livestock Units ist diese Eingabe zur genaueren Bestimmung des Landnutzungstypen erforderlich (Da diese Zellen einen anderen MSA-Wert zur Berechnung benötigen).

Angemerkt sei noch, dass die Einträge in dieser Datei hierbei nicht die totale Anzahl an Nutzvieh darstellen sondern eine aggregierte Form. Da die genaue Art wie diese Aggregation stattfindet für diese Arbeit nicht relevant war, wurden keine weiteren Recherchen in dieser Richtung durchgeführt.

3.5 Unterscheidung von Landnutzungsintensität

Wie Eingangs erwähnt existieren für einige Landnutzungstypen unterschiedliche Intensitäten der Landnutzung. Entsprechend muss einzelnen Zellen eine solche Intensität zugewiesen werden um einen eindeutigen Wert für I laden zu können. Im Falle des Landnutzungstyps „Grazingland“ ist dies durch die Rasterkarten für Landnutzungstypen und Livestock Density gegeben. Für Feldbau und Forstwirtschaft muss allerdings noch eine entsprechende Zuweisung geladen werden. Diese Zuweisung findet allerdings nicht auf Zellebene statt sondern regional (siehe Tabelle 3). Intensitäten dieser Tabelle werden für jedes einzelne Land der Region übernommen. Hierbei muss zunächst die Gesamtfläche pro Landnutzungstyp berechnet werden und dann prozentual verteilt werden.

3.6 Species Richness

Für die Species Richness, also die Anzahl unterschiedlicher Arten pro Taxon, werden insgesamt drei Dateien eingelesen. Jede Datei beinhaltet jeweils Informationen zur Artenvielfalt einer taxonomischen Gruppe. Die Einträge in diesen Dateien stellen jeweils die Anzahl der Arten pro Zelle dar.

3.7 ISO 3166 - Country Codes

Die Berechnung der einzelnen BIIs soll länderspezifisch stattfinden. Es wird also eine Möglichkeit zur Identifizierung und Unterscheidung einzelner Länder benötigt. Eine solche eindeutige Zuweisung von identifizierenden Schlüsselwörtern zu Ländern existiert in Form der ISO Norm 3166. In dieser Zuweisung besitzt jedes Land einen eindeutigen englischen sowie einen eindeutigen französischen Namen. Jedem Land sind dann eindeutige Alpha 2 Codes (zweibuchstabile

	Primary Forest	Secondary Forest	Forest Plantation	Low Input Cropland	High Input Cropland
Asia	67	14	19	24,14	75,86
Europe	59	36	5	0	100
Latin-America	84	15	1	27	73
North-Africa	31	31	38	36	64
North-America	55	43	2	0	100
Pacific-OECD	81	11	8	0	100
Russia-and-North-Asia	91	7	2	58	42
Sub-Saharan-Africa	94	5	1	76	24
West-Asia	31	36	33	36	64

Tabelle 3: Zuweisung einzelner Landnutzungsintensitäten entsprechend Alkemade et al.[3]

Einträge geben an wieviel Prozent der gesamten Ackerfläche intensiv bzw. extensiv genutzt werden. Selbiges gilt für die Waldnutzung

Kürzel), Alpha 3 Codes (dreibuchstabige Kürzel) sowie eindeutige numerische Werte zugewiesen. Die numerischen Werte reichen von vier bis 894. Eine Rasterkarte, in der jede Zelle eine entsprechende numerische Länderzuweisung erhält wurde vom *Center of Environmental Systems Research* der Universität Kassel zur Verfügung gestellt. Da diese Karte aus dem Jahr 2000 stammt sind allerdings die folgenden beiden Änderungen zu beachten [16]:

- Der in der Karte enthaltene Code 891 entspricht dem heute nicht mehr existierenden Staatenbund Serbien und Montenegro, welcher inzwischen in zwei souveräne Staaten aufgelöst ist.
- Der ebenfalls nicht mehr aktuelle Code 736 war dem Sudan zugewiesen, bis der Süd-Sudan seine Unabhängigkeit erlangte.

Die Größe der Zellen ist in Form einer Eingabedatei gegeben. Die einzelnen Einträge geben die Größe der Zelle in km^2 an, allerdings mit einem Faktor von 10'000 multipliziert um Gleitkommazahlen mit relativer Präzision als Ganzzahl darzustellen. Auch hier ist das Dateiformat ASC.

3.8 MSA-Zuweisung für I

Für die Zuweisung einzelner Werte für I wurden zwei unterschiedliche Tabellen eingelesen. Die erste der beiden Tabellen (siehe Tabelle 4) übernimmt die Werte wie sie von Alkemade et al.[3] vorgeschlagen wurden. Die Werte der zweiten Tabelle (siehe Tabelle 5) wurden aus einer Datensammlung berechnet und stellen MSA-Werte entsprechend dieser Forschungsergebnisse dar. Diese Datensammlung beinhaltet zusätzlich unterschiedliche Klimazonen, wodurch zukünftig eine entsprechende Unterscheidung möglich ist. Aktuell ist diese Unterscheidung allerdings noch nicht enthalten. Für diese zusätzliche Differenzierung müsste pro Klimazone eine MSA-Tabelle berechnet werden.

3.9 Zuweisung einzelner Länder zu (Welt-) Regionen

Da die Zuweisung der Landnutzungsintensität nur Regional zur Verfügung stand mussten die einzelnen Länder den selben Regionen zugeordnet werden. Ausgangspunkt für diese Zuweisung war eine ähnliche Zuweisung in Form einer Tabelle[7]. In dieser Zuweisung wurden die folgenden Weltregionen unterschieden: Sub-Sahara-Afrika, Zentral Asien, Europa, Frühere Sowjetunion, Latein Amerika, Mittlerer Osten/Nord Afrika, Nord Amerika, Pazifik-OECD, Pazifisches Asien und Süd Asien. Da diese Regionen nicht mit den Regionen der Landnutzungsintensität übereinstimmten wurden sie wie folgt modifiziert:

Landuse type	MSA
Cropland	
Low input	0,3
Intensive	0,1
Grazing land	
Extensive grazing	0,7
Man made pastures	0,1
Forest	
Primary forest	1
Secondary forest	0,5
Forest plantations	0,2
Natural vegetation	
Bare land	1
Savannah and grasslands(moderate use)	0,94
Urban	0,05

Tabelle 4: MSA Tabelle mit geschätzten Werten

Landuse Type	MSA
Cropland	
Low input	0,6
Intensive	0,48
Grazing land	
Extensive grazing	0,76
Man made pastures	0,52
Forest	
Primary forest	1
Secondary forest	1
Forest plantations	0,71
Natural vegetation	
Bare land	0,76
Savannah and grasslands(moderate use)	0,88
Urban	0,15

Tabelle 5: MSA Tabelle mit berechneten Werten

- Die Region „Mittlerer Osten/Nord Afrika“ wurde in die beiden Regionen „Mittlerer Osten“ und „Nord Afrika“ geteilt. „Mittlerer Osten“ wurde zusätzlich zu „West-Asien“ umbenannt.
- Die Regionen „Zentral Asien“, „Süd Asien“ und „Pazifisches Asien“ wurden zu einer Region „Asien“ zusammengefasst.
- Die Region „Frühere Sowjetunion“ wurde zu „Russland und Nord-Asien“ umbenannt. Des Weiteren wurde die Ukraine der Region „Europa“ zugewiesen
- Die Türkei wurde der Region „West-Asien“ zugewiesen.

Nach diesen Anpassungen und dem Hinzufügen einiger fehlender Länder war die erstellte Zuweisung konform zu jenen Regionen für die Landnutzungsinintensitäten gegeben waren.

Diese Zuweisung wurde in Form einer CSV-Datei gespeichert, welche einen Tabulator als Trennzeichen verwendet. Hierdurch wurde das Einlesen der Datei trivial. Diese Datei speichert in der ersten Zeile sämtliche Namen der vorkommenden Regionen. Im Anschluss wird zunächst eine Region benannt, worauf alle Länder mit zugehöriger ISO-ID in je einer Zeile folgen.

4 Implementierung

4.1 Überblick

Bei dem entwickelten Programm handelt es sich um eine Konsolenanwendung. Zur Ausführung wird ihm ein einziger Parameter übergeben. Dieser Parameter beschreibt den Pfad zu einer Konfigurationsdatei, inklusive Namen. Sobald die Ausführung beginnt werden parallel Eingabedaten geladen. Für jede Datei wird zunächst eine Statusmeldung in der Konsole ausgegeben, die angibt welche Datei geladen wird:

```
Loading File „Dateiname“
```

Sobald eine Datei fertig geladen wurde, wird ebenfalls eine entsprechende Statusmeldung ausgegeben:

```
Done Loading File „Dateiname“
```

Nachdem sämtliche Dateien geladen wurden, werden die unterschiedlichen Kartendaten zusammengeführt. Hierfür werden die Rasterkarten zunächst in einzelne Sektoren unterteilt. Im Anschluss werden für jeden Sektor sämtliche Kartendaten zusammengeführt. Entsprechende Statusmeldungen geben Aufschluss darüber, welcher Sektor gerade bearbeitet wird. Sektoren werden hierbei über Koordinaten unterschieden, welche die Eckpunkte des Sektors angeben.

```
Merging Data for Area: „Koordinate der linken oberen Ecke“ to  
„Koordinate der rechten unteren Ecke“
```

Im Anschluss werden die BIIs der einzelnen Länder berechnet, was ebenfalls durch Meldungen in der Konsole beschrieben wird. Diese Statusmeldungen geben die ISO ID des aktuell betrachteten Landes an.

```
Calculating BII for country: „ISO ID“
```

Zuletzt werden die Ausgaben erzeugt, wieder durch Statusmeldungen beschrieben:

```
Writing BII file
```

Nachdem die Ausgabe erzeugt wurde endet die Ausführung des Programmes. Die Konsole bleibt geöffnet bis sie vom Nutzer geschlossen wird.

4.2 Programmablauf

Prinzipiell lässt sich der gesamte Ablauf des Programmes als eine Folge weniger Schritte zusammenfassen. Das Programm wird über die Kommandozeile gestartet. Als Argument wird der vollständige Pfad zu einer Konfigurationsdatei mit übergeben. Diese Datei beinhaltet sämtliche Pfade zu allen benötigten Dateien. Falls kein Pfad angegeben wird, wird an einem Standardpfad nach einer solchen gesucht. Wird keine entsprechende Datei gefunden wird die Programmausführung abgebrochen und eine entsprechende Fehlermeldung über die Konsole ausgegeben.

Nachdem diese Datei geladen wurde werden alle weiteren Dateien geladen. Hierfür werden, falls möglich, mehrere Threads gestartet um den Ladevorgang zu beschleunigen. Dies berücksichtigt die maximale Anzahl Threads, welche innerhalb der Konfigurationsdatei festgelegt wurde. Daten werden parallel geladen, da das sequentielle Laden schlicht zu lange dauerte (Mehrere Minuten auf dem Entwicklungs-PC, ohne Testausgaben). Hierdurch wurde vor allem während der Entwicklung das Testen neuer Funktionalitäten oder das lokalisieren von Fehlern unnötig verlangsamt.

Da nicht alle Rasterkarten die selbe (Welt-) Fläche abdecken, muss nun die (rechteckige) Fläche bestimmt werden, welche tatsächlich von allen Karten abgedeckt wird. Hierfür wird der linke untere und der obere rechte Eckpunkt bestimmt. Für diese Bestimmung wird lediglich aus sämtlichen unteren linken Eckpunkten der Größte und aus sämtlichen oberen rechten Eckpunkten der Kleinste konstruiert. Das Ergebnis muss nicht identisch mit tatsächlichen Eckpunkten sein, wie Abbildung 2 verdeutlicht. In dieser Abbildung wurden zwei rechteckige Flächen übereinandergelegt. Das Rechteck, welches durch die Schnittpunkte definiert ist, bildet hierbei die letztendlich betrachtete Fläche. Die gespeicherten Eckpunkte sind mit Kreisen markiert.

Im Anschluss wird diese nutzbare Fläche in einzelne Sektoren unterteilt. Ein „Sektor“ beschreibt hierbei ein Kartensegment, welches die Fläche in seiner gesamten Breite umfasst aber eine variable Höhe besitzt. Diese Höhe kann in der Konfigurationsdatei festgelegt werden, ist ursprünglich auf den arbiträren Wert von 2 Grad festgelegt. Sektoren werden in Form von Punktepaaren gespeichert. Ein Punkt beschreibt jeweils einen Eckpunkt des Sektors. Die gespeicherten Punkte sind die jeweils linke obere und die rechte untere. Diese Sektoren werden erstellt, um das Multithreading im nächsten Schritt zu ermöglichen.

Nach der Segmentierung wird nun mit der maximalen Anzahl an Threads der Kartenabgleich durchgeführt. Hierfür bearbeitet jeder Thread zunächst einen Sektor, nach dessen Bearbeitung den nächsten bisher unbearbeiteten Sektor. Die Bearbeitung einzelner Sektoren bedeutet hierbei, dass für jede

Rasterzelle der Rasterkarten ein einzelnes Cell-Objekt angelegt wird, welches sämtliche Werte aus allen Rasterkarten repräsentiert. Im selben Schritt wird die Zelle auch dem jeweiligen Land zugewiesen. Nachdem ein Thread einen Sektor bearbeitet hat versucht der Thread seine lokalen Daten mit der globalen Datensammlung zu synchronisieren.

Das Zusammenfügen aller Karten ist zeitlich gesehen am aufwändigsten, da sämtliche Werte aus sämtlichen Dateien geladen und verarbeitet werden müssen. Aus diesem Grund wurde das Zusammenführen sämtlicher Daten auf die maximal mögliche Anzahl Threads verteilt.

Während die Kartendaten zusammengefügt werden, werden keine Teile des BII berechnet. Die Begründung hierfür ergibt sich wie folgt: Zu keinem Zeitpunkt ist garantiert, dass ein Thread alle vorhandenen Zellen zu einem einzelnen Land besitzt. Es kann auch nie garantiert werden, dass ein Thread jemals alle Zellen eines Landes besitzen wird. An dieser Stelle könnten also höchstens Teilwerte einzelner BIIs berechnet werden und es müsste einen Folgeschritt geben welcher die Berechnungen für alle Länder abschließt. Für diesen Folgeschritt müssten wiederum Daten aus allen Threads benötigt würden. Um den Programmablauf nicht unnötig zu verkomplizieren wurden an dieser Stelle klare Einzelschritte festgelegt und implementiert.

Da die Datendarstellung der ASC-Dateien nun durch einzelne Cell-Objekte vorgenommen wird, wird der Speicher der Ursprünglichen Datendarstellung freigegeben.

Im Folgenden wird die Berechnung der landesspezifischen BIIs durchgeführt, auch hierfür werden mehrere Threads verwendet. Für die genaue Berechnung der BIIs wird auf das entsprechende Kapitel (Kapitel 4.2.3) verwiesen

Den letzten Schritt bildet das Schreiben der tatsächlichen Ausgabe.

4.2.1 Laden sämtlicher Daten

Das Multithreading zum Laden aller Dateien ist simpel gehalten. Alle Dateien werden in einer vorgegebenen Reihenfolge geladen, zuerst die großen ASC-Dateien mit über Sieben-Millionen Tabelleneinträgen (bei 1672 Zeilen zu 4320 Spalten). Das Laden dieser Dateien wird hierbei vom Konstruktor der Klasse ASC_Data (vgl. Kapitel 4.3.1) gehandhabt, welcher die Werte direkt in einer internen Datenstruktur speichert. Für die jeweiligen CSV-Dateien existieren eigene Ladefunktionen.

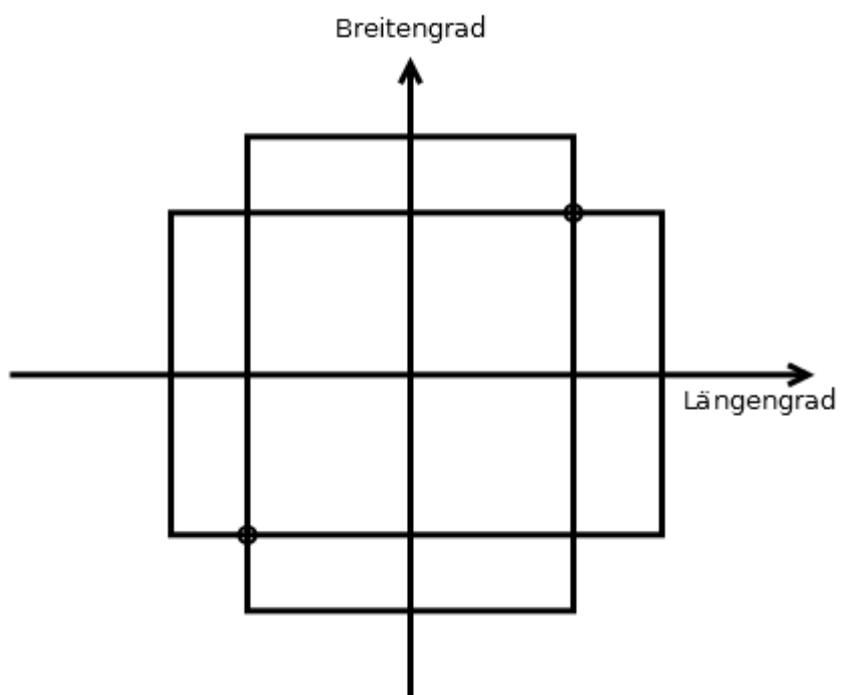


Abbildung 2: Bestimmung der nutzbaren Fläche.
Die Schnittpunkte der Rechtecke begrenzen die nutzbare Fläche, die mit
Kreisen markierten Schnittpunkte werden gespeichert

4.2.2 Zusammenfassen der Karten

Um den Kartenabgleich durchzuführen wählt ein Thread zunächst den nächsten zu bearbeitenden Sektor aus einer entsprechenden Liste. Nun wird in Zählschleifen auf jedes Element der Rasterkarten zugegriffen und einem neu erzeugten Objekt zugewiesen. Die Zählschleifen iterieren hierbei über Zell-Koordinaten in Längen- und Breitengraden. Falls auf diese Weise eine Zelle ohne Landfläche oder Landeszugehörigkeit erzeugt werden würde, wird die aktuelle Iteration übersprungen, ohne ein entsprechendes Objekt zu erzeugen. Tatsächlich erzeugte Objekte werden zunächst in einer Thread-lokalen Liste gespeichert, bevor sie mit einer globalen Liste synchronisiert werden.

Um zu verhindern dass zum Ende des gesamten Abgleichs alle Threads gleichzeitig versuchen ihre Daten zu synchronisieren, geschieht dies zusätzlich nach dem Abgleichen eines Sektors.

4.2.3 Berechnung der einzelnen BIIs

Die Berechnung der einzelnen BIIs wird Länderspezifisch durchgeführt. Ein Thread wählt hierfür das nächste Land, dessen BII noch berechnet werden muss, aus einer programmweiten Liste an Ländern. Für diese Auswahl wird ein ebenfalls programmweiter Iterator verwendet. Um ein mehrfaches Berechnen des selben Wertes zu verhindern wird dieser Iterator durch einen `std::mutex` geschützt.

Zur Berechnung eines BIIs werden Zähler-Summen und Nenner-Summen getrennt gebildet. Grundlegend wird für jede Zelle die Species Richness mit der Flächengröße der Zelle und dem MSA-Wert, welcher dem Landnutzungstypen dieser Zelle entspricht, multipliziert. Das Ergebnis dieser Berechnung wird auf den bereits vorhandenen Zähler addiert. Die selbe Berechnung wird für den Nenner durchgeführt, allerdings wird hier kein MSA-Wert mit eingerechnet.

Ausnahmen bilden hierbei Zellen mit den Landnutzungstypen „Forest“ oder „Cropland“. Da für diese Beiden Landnutzungstypen die Intensität der Landnutzung nicht Zellenweise gegeben ist wird zunächst die gesamte Waldfläche beziehungsweise Ackerfläche berechnet. Nachdem sämtliche Zellen eines Landes betrachtet wurden werden auf die bereits berechneten Zähler und Nenner weitere Werte Addiert. Diese Werte ergeben sich wie folgt:

- prozentualer Anteil der Low_Input_Cropland Landfläche der gesamten Ackerfläche multipliziert mit
- der Summe der Species Richness der gesamten Ackerfläche (nur im Falle des Zählers: multipliziert mit)

- dem MSA-Wert für Low_Input_Cropland

Das Ergebnis wird auf den vorhandenen Zähler beziehungsweise Nenner aufaddiert. Für die anderen Intensitäten (High_Input_Cropland, Forest_Plantation etc.) geschieht diese Berechnung analog.

Falls der Nenner nun Null ist, wird der BII auf -100 gesetzt, sonst ist der BII das Ergebnis der Division Zähler \div Nenner.

4.2.4 Ausgabe

Die Ausgabe der berechneten Werte erfolgt in Form einer CSV-Datei. In dieser Datei wird zunächst der Name einer Region genannt, danach, Zeilenweise, die tatsächlichen Werte. Hierfür wird der Name eines Landes, gefolgt von dessen ISO ID und dem berechneten BII in die Datei geschrieben. Falls für ein Land kein Wert berechnet werden konnte, da beispielsweise keine gültige Zelle erzeugt werden konnte, wird „-100“ als BII eingetragen, was offensichtlich kein korrekter Wert sein kann.

4.3 Programmstruktur

Um die Menge der einzulesenden Daten verwalten zu können wurden unterschiedliche Klassen erstellt. Diese Klassen sind ASC_Data, welche die Daten der ASC-Dateien speichert, sowie die Klassen Country und Cell. Cell-Objekte speichern im späteren Programmablauf sämtliche Daten einzelner Zellen, wie Koordinaten oder Zellgröße. Country Objekte dienen schlicht der Zuweisung einer Zelle zu einem Land. Hierfür speichert ein Country Objekt alle zu diesem Land gehörigen Zellen in einer Liste.

Des Weiteren existieren einige Strukturen, deren Hauptaufgabe das halten konstanter Werte ist. Allgemein wurden structs statt Klassen erstellt wenn die einzige Aufgabe dieses Konstrukts im halten von Informationen bestehen würde. Zur besseren Lesbarkeit wurden sämtliche Strukturen in einer einzelnen Datei zusammengefasst. Der gesamte prozedurale Ablauf wird von einer main-Funktion gesteuert (siehe Abschnitt 4.2). Im Folgenden sollen sowohl die Klassen als auch die Strukturen erläutert werden. Listen zum halten von Objekten von Klassen oder structs, sowie einige globale std::mutex sind im globalen Gültigkeitsbereich der Hauptdatei angelegt.

4.3.1 Klasse: ASC_Data

Wie der Name dieser Klasse vermuten lässt, halten Objekte dieses Typs die aus ASC-Dateien eingelesenen Werte. Neben einem Standard Konstruktor,

welcher alle Werte mit Null initialisiert, existiert ein weiterer. Dieser Konstruktor erwartet einen `std::ifstream` als Referenz. Diese explizite Variante initialisiert alle Variablen mit Werten, welche während der Ausführung des Konstruktors eingelesen werden. Die Folgenden privaten Variablen werden im Speicher gehalten: Da während des Ablaufs die obere rechte Ecke des von dieser Karte abgedeckten Gebietes benötigt wird, kann diese mit der Funktion `void calculateTRCorner()` berechnet werden

Die tatsächlichen Tabellen-Elemente werden in einem eindimensionalen `std::Vector` gehalten. An dieser Stelle wurde eine eindimensionale Liste gewählt, um das Einlesen der Daten zu beschleunigen. Zugriff auf Tabellenelemente wird durch get- bzw set-Funktionen geregelt, welche entweder X- und Y-Koordinaten oder Längen- und Breitengrade erwarten.

Eine weitere Funktion, `void eraseElements()`, ermöglicht das Löschen aller Elemente, wobei die Größe des Vektors an die leere Größe angepasst wird. Hierdurch wird der benötigte Speicher freigegeben, da die eingelesenen Daten zum späteren Verlauf in Cell-Objekten gespeichert werden.

Da eine Ausgabe des Programmes die Form einer ASC-Datei haben soll, existiert ebenfalls eine Funktion zum Schreiben einer solchen. Die entsprechende Funktion erwartet einen Pfad, inklusive Namen, zum erstellen der Datei.

4.3.2 Klasse: Cell

Ein Objekt dieser Klasse stellt eine Zelle des globalen Rasters dar. Einzelne Zellen speichern sämtliche Daten, aus allen eingelesenen Rasterkarten, wie Koordinaten, Zellgröße oder Landnutzungstyp.

Der Konstruktor dieser Klasse erwartet lediglich die Koordinaten einer Zelle, alle weiteren Werte werden durch entsprechende set-Funktionen gesetzt. Ausgenommen der Variablen `landUsetype` besitzen alle Variablen entsprechende get-Funktionen. Da der Landnutzungstyp einer Zelle nur benötigt wurde um den entsprechenden Eintrag einer MSA-Tabelle zu ermitteln, existiert eine Funktion die die MSA-„Klasse“ dieser Zelle liefert.

4.3.3 Klasse: Country

Country-Objekte dienen in erster Linie der Zuweisung von einzelnen Zellen zu dem Land, in dem sie liegen. Hierfür werden Zeiger auf Zellen in einer `std::deque` gespeichert. Des Weiteren speichern diese Objekte den Namen des Landes, welches sie repräsentieren, und die zugehörige ISO ID, sowie den berechneten BII. Im späteren Implementierungsverlauf wurde noch ein

`std::mutex` hinzugefügt, um parallelen Zugriff auf einzelne Länder zu verhindern.

Name und ID können nur durch den Konstruktor gesetzt werden. Zugriff auf den `std::mutex` wird über die trivialen Funktionen `bool tryLock()`, `void lock()` und `void unlock()` reguliert. Zugriff auf die Zellenliste wird über entsprechende Funktionen wie `addCell` reguliert.

4.3.4 static struct Settings

Diese struct speichert die Daten aus der einzulesenden config-Datei. Neben den Pfaden zu allen weiteren einzulesenden Dateien und der Zielpfade für die Ausgaben sind dies:

- Die maximale Anzahl an Threads, welche zur Ausführung des Programmes erzeugt werden dürfen.
- Den Wert welcher in der auszugebenden ASC-Datei „Keine Daten vorhanden“ symbolisiert.
- Die Höhe (in Breitengraden) einzelner Sektoren, welche zur Laufzeit von einzelnen Threads bearbeitet werden.

4.3.5 static struct DataPointers

Sinn und Zweck dieser struct ist schlicht Zugriff auf alle gelesenen Inhalte aus ASC-Dateien an einem zentralen Zugriffspunkt zu vereinen. Hierzu existiert für jede ASC-Datei ein `std::unique_ptr` um diesen Zugriff zu regulieren. Es existiert ebenfalls eine Funktion zur Freigabe des benötigten Speichers.

4.3.6 static struct MSA_Values

Die `MSA_Values` struct speichert die MSA-Werte der eingelesenen MSA-Tabelle. Hierfür werden geschachtelte `std::maps` entsprechend der folgenden Form verwendet:

```
map<string, map<int, double>> msaValueMap
```

Hierbei beschreibt die innere `map` eine MSA-Tabelle, welche jedem Landnutzungstyp(dargestellt als `int`-Schlüssel) einen entsprechenden Wert zuweist. Die äußere `map` dient der möglichen Unterscheidung von Klimazonen. Dementsprechend würde für jede Klimazone eine eigene MSA-Tabelle abgelegt werden können. Für diese Unterscheidung wird zusätzlich ein `std::vector` zum Speichern der unterschiedlichen Klimazonen verwendet. Diese Klimazonen dienen der äußeren `map` als Schlüsselwerte.

4.3.7 static struct MSA_Classes

Diese struct definiert eine Reihe konstanter Werte zur internen Unterscheidung von MSA-Klassen. Diese Werte orientieren sich an den IGBP Landnutzungstypen (mit 100 multipliziert) und ergeben sich wie folgt:

```
const int FORESTS = 500;
const int PRIMARY_FOREST = 501;
const int SECONDARY_FOREST = 502;
const int FOREST_PLANTATION = 503;

const int SAVANNAH_GRASSLAND = 1100;
const int EXTENSIVE_GRAZING = 1101;
const int MANMADE_PASTURE = 1102;

const int CROPLAND = 1200;
const int CROPLAND_LOW = 1201;
const int CROPLAND_HIGH = 1202;

const int BARREN = 1500;

const int URBAN = 1300;

const int UNCLASSIFIED = 25400;
```

4.3.8 struct Point

Ein Punkt stellt eine Kombination aus Längen- und Breitengrad dar. Jeweils zwei Punkte definieren einen Sektor, welcher von einem Thread bearbeitet wird (siehe Abschnitt 4.2). Hierfür stellt ein Punkt die linke obere Ecke des Sektors dar, der Zweite die rechte untere Ecke. Ein einzelner Punkt speichert lediglich seine X- und Y- Koordinaten als je ein `double`.

31	Azerbaijan	0.581231
51	Armenia	0.618299
112	Belarus	0.819793
268	Georgia	0.895991
398	Kazakhstan	0.53586
417	Kyrgyzstan	0.540825
643	Russian-Federation	0.92458
762	Tajikistan	0.536167
795	Turkmenistan	0.533062
860	Uzbekistan	0.535146

Tabelle 6: Berechnete Werte für das Jahr 2000

31	Azerbaijan	0.565195
51	Armenia	0.612223
112	Belarus	0.79559
268	Georgia	0.923659
398	Kazakhstan	0.535763
417	Kyrgyzstan	0.540451
643	Russian-Federation	0.923326
762	Tajikistan	0.536815
795	Turkmenistan	0.533492
860	Uzbekistan	0.535162

Tabelle 7: Berechnete Werte für das Jahr 2010

5 Ergebnisse

Da nun das Programm vorgestellt wurde sollen im Folgenden noch einige Ergebnisse vorgestellt werden. Die folgenden Ausgaben (Tabellen 6 und 7) wurden von diesem Programm berechnet, sind aber in keiner Weise vollständig, da die gesamte Ausgabe, inklusive Kopfzeile und Regionen, 194 Zeilen lang ist. Auszugsweise werden hier die Werte für die Region „Russia and North Asia“ vorgestellt.

Die dargestellten Tabellen entsprechen jeweils Teilen der Ausgabe für die Jahre 2000 und 2010. In beiden Fällen wurde die berechnete MSA-Tabelle verwendet, statt derjenigen, welche geschätzte Werte verwendet. Die einzigen Dateien, welche zur Berechnung der jeweiligen Ausgaben geändert wurden, sind die Landnutzungstyp-Datei und die Livestock-Density-Datei. Hierfür wurden lediglich die entsprechende Pfade innerhalb der Konfigurationsdatei angepasst.

Die Ausgaben sind offensichtlich unterschiedlich. Auffällig ist hierbei, dass sich nicht alle Werte verschlechtert haben. Der Eintrag für Georgien (ID 268) hat sich beispielsweise verbessert.

6 Schlussbemerkungen

Ziel dieser Abschlussarbeit war es ein Programm zu entwickeln, das die Berechnung von landesspezifischen Biodiversitätsindizes durchführt. Das entwickelte Programm tut dies, indem BIIs für einzelne Länder berechnet werden. Hierfür werden unterschiedliche Rasterkarten, welche globale Datensätze beinhalten, verarbeitet. Zusätzlich werden einzelne Länder Regionen zugewiesen, wodurch die Ausgabe Strukturierter ist.

Dieses Programm ist aber durchaus verbesserungswürdig.

- Es könnten genauere Ergebnisse erzielt werden, indem die Verteilung von Intensitäten auf Land- oder Forstwirtschaftlich genutzte Zellen optimiert wird.
- MSA-Werte könnten zusätzlich anhand von Klimazonen unterschieden werden.
- Speicherverbrauch oder Dauer der Laufzeit des Programmes könnten optimiert werden.

Der gegenwärtige Umgang mit Ländern für die kein BII berechnet werden konnte ist ebenfalls diskutabel.

Abgesehen von diesen möglichen Verbesserungen ist das entwickelte Programm allerdings stabil und läuft ohne Unterbrechungen. Des Weiteren ist der Quelltext -unter Windows- ohne Modifikationen kompilierbar und ausführbar. Laufzeitprobleme sind nicht bekannt.

Literatur

- [1] Aktionsgemeinschaft Artenschutz. WALDELEFANT, 2017. <http://www.aga-artenschutz.de/waldelefant.html>.
- [2] Alberta Society of Professional Biologists. Millennium ecosystem assessment. *BIOS*, 20(1):1–8, 2005.
- [3] Rob Alkemade, Lera Miles, Mark van Oorschot, et al. GLOBIO3: A Framework to Investigate Options for Reducing Global Terrestrial Biodiversity Loss. *Ecosystems*, 12(3):374–390, 2009. doi: {10.1007/s10021-009-9229-5}.
- [4] Millennium Ecosystem Assessment. Ecosystems and human well-being: Biodiversity synthesis, 2005.
- [5] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (Bmu). Dem Klimawandel begegnen, 2009.
- [6] Channan, S., K. Collins and W. R. Emanuel. Global mosaics of the standard MODIS land cover type data, 2014. <http://glcf.umd.edu/data/lc/>.
- [7] Jan Philipp Dietrich, Christoph Schmitz, Christoph Müller, et al. Measuring agricultural land-use intensity – a global analysis using a model-assisted approach. *Ecological Modelling*, 232:109– 118, 2012. doi: 10.1016/j.ecolmodel.2012.03.002.
- [8] GLOBIO consortium. Natural capital index-image, 2017. <http://www.globio.info/what-is-globio/history-of-globio/nci-and-image>.
- [9] GRID Arendal. History, 2017. <http://www.grida.no/about>.
- [10] International Commission on Zoological Nomenclature. *INTERNATIONAL CODE OF ZOOLOGICAL NOMENCLATURE*. The International Trust for Zoological Nomenclature, 1999. ISBN 0 85301 006 4.
- [11] National Institute for Public Health and the Environment. Biodiversity: how much is left? the natural capital index framework (nci), 2002.
- [12] Dr. Christian Nellemann. The fall of the water, 2004.
- [13] Tim Newbold, Lawrence N. Hudson, Samantha L. L. Hill, et al. Global effects of land use on local terrestrial biodiversity. *NATURE*, 520(45): 1–8, 2015. doi: 10.1038/nature14324.

- [14] R. J. Scholes und R. Biggs. A biodiversity intactness index. *NATURE*, 434(3):45–49, 2005.
- [15] Wikipedia. Elefanten, 2017. <https://de.wikipedia.org/wiki/Elefanten>.
- [16] Wikipedia. ISO 3166-1 numeric, 2017. https://en.wikipedia.org/wiki/ISO_3166-1_numeric.

Tabellenverzeichnis

1	Beispiel zu GLOBIO2, entnommen aus[12], S20	10
2	Aggregation der einzelnen Landnutzungstypen entsprechend IGBP Klassifizierung[6]	15
3	Zuweisung einzelner Landnutzungsintensitäten entsprechend Alkemade et al.[3]	17
4	MSA Tabelle mit geschätzten Werten	19
5	MSA Tabelle mit berechneten Werten	19
6	Berechnete Werte für das Jahr 2000	29
7	Berechnete Werte für das Jahr 2010	29

Abbildungsverzeichnis

1	Grafische Darstellung des NCI, [11], S3	9
2	Bestimmung der nutzbaren Fläche.	23