

Die Beeinflussung des oberirdischen Standing Crop und Turnover in Österreich durch die menschliche Gesellschaft

Karl Heinz Erb

Wien, 1999

Danksagung

Die vorliegende Arbeit war nur möglich durch die Unterstützung zahlreicher Personen, denen ich an dieser Stelle danken möchte.

Mein besonderer Dank gilt Prof. Dr. K. Burian†, Dr. H. Haberl, Mag. F. Krausmann, Prof. Dr. M. Fischer-Kowalski, Mag. H. Schandl, Mag. H. Weiß, N. Schulz, Mag. A. Geisler, Prof. Dr. R. Albert und Prof. Dr. R. Maier für die entgegenkommende Übernahme der Betreuung dieser Diplomarbeit..

Und Gerti Tauber

Abstract

Aim of this study is the quantification of the human influence on the standing crop in Austria. Standing crop, the mass of living organisms within a unit area, is a state-parameter of ecosystems. The 'net primary production' (NPP) is the net production of biomass by green plants and represents the energetic basis of all heterotrophic organisms. If it is not used up totally (litterfall or grazing), biomass accumulates within the ecosystem and builds up a stock, the standing crop. The turnover is defined as the ratio of standing crop/NPP and is a measure of the 'rate of throughput' or 'residence time' of organic matter or energy within the ecosystem. This thesis is restricted to the calculation of the biomass of the aboveground vegetation. Anthropogenic activities alter the energy flow of natural ecosystems and remove part of the NPP for socio-economic purposes. This 'human appropriation of NPP' results in a decrease of the standing crop and, because the NPP is reduced to a smaller extent, to an acceleration of the turnover. In this thesis the determination of the human influence on the standing crop is based on agricultural, forestry and climate data and statistical data on land-use in all Austrian municipalities (n=2350). The potential vegetation is used as a measure of reference, and its hypothetical standing crop is modelled using IBP-Data and an elevation model. The aboveground standing crop of the potential vegetation is 2.2 Gt DM (1 Gt C, 43,2 EJ), a value which represents at the same time the maximum capacity of carbon-storage of the aboveground terrestrial vegetation. The overall-turnover of the potential vegetation results in 29 years. The standing crop of the actual vegetation is 64% smaller (0.8 Gt DM, 0.36 Gt C or 15,7 EJ). The management of forests contributes 23% to the total reduction, the conversion from forests to crops, grasslands and build-up area 75%, the remaining 2% are caused by various human activities. The turnover of the actual aboveground vegetation is accelerated by an overall factor of 2.4 and amounts to 12 years. The most important parameter for the build-up of standing crop is the area of forest, since the standing crop of forests is about twenty times higher than that of other vegetation types. The reduction of the standing crop may be seen as an indicator for 'ecosystem encroachment'. The amount of reduction (0.36 Gt C) is equivalent to a net carbon release since the beginning of agriculture. Thus the present role of the terrestrial vegetation in Austria as a sink for carbon is based on its former role as a source. This point of view contributes to the discussion on the inclusion of terrestrial sinks and sources of carbon in the calculations of the international targets for a reduction of carbon dioxide emissions.

Kurzzusammenfassung

Ziel dieser Arbeit ist die Quantifizierung des menschlichen Einflusses auf den Standing Crop in Österreich. Standing Crop ist die Masse aller lebenden Organismen einer Flächeneinheit und stellt eine Zustandsgröße von Ökosystemen dar. Die Nettoprimärproduktion (NPP), die Netto-Biomasseproduktion der grünen Pflanzen, stellt die energetische Basis aller heterotrophen Organismen dar. Wird diese nicht gänzlich verbraucht (Fraß oder Detritus), akkumuliert Biomasse im Ökosystem und bildet im Lauf der Zeit einen Bestand, den Standing Crop. Der Turnover ist das Verhältnis von Biomasse zu NPP und drückt die 'Durchsatzrate' bzw. Verweilzeit des organischen Materials oder der Energie im Ökosystem aus. Vorliegende Untersuchung beschränkt sich auf die Berechnung der oberirdischen Biomasse der Vegetation. Der Mensch greift in den Energiefluß von Ökosystemen ein und eignet sich Teile der NPP an. Diese 'Aneignung von Nettoprimärproduktion' führt zu einer Verminderung des Standing Crop, und in Folge, da die NPP weniger vermindert wird als der Standing Crop, zu einer Beschleunigung des Turnover. In der vorliegenden Arbeit wurde die Berechnung der menschlichen Beeinflussung des Standing Crop in Österreich auf der Aggregationsebene der 2350 Gemeinden durchgeführt. Die Referenzbasis, die hypothetische natürliche Vegetation, wurde mit Hilfe eines Höhen-Wuchsgebiete-Modells und auf Basis von Auswertungen von IBP-Daten berechnet. Zur Ermittlung des Standing Crop der aktuellen Vegetation wurde auf Daten der amtlichen Statistik (Bodennutzungserhebung, Erntestatistik, und Auswertung der Bundesforstinventur) zurückgegriffen. Der oberirdische Standing Crop der hypothetischen natürlichen Vegetation beläuft sich nach den hier durchgeführten Berechnungen auf 2,2 Gt Trockenmasse (1 Gt C bzw. 43,2 EJ). Dieser Wert stellt gleichzeitig das hypothetisch maximale Bindungspotential der oberirdischen terrestrischen Vegetation für Kohlenstoff dar. Der 'overall'-Turnover der hypothetischen natürlichen Vegetation beträgt 29 Jahre. Der Standing Crop der aktuellen Vegetation beläuft sich auf 0,8 Gt Trockenmasse (0,36 Gt C bzw. 15,7 EJ) und ist somit um 64% kleiner als der der hypothetischen natürlichen Vegetation. Der forstwirtschaftlichen Einfluß auf die Wälder trägt 23% zu dieser Verminderung bei, die Urbarmachung von Land 75%, die restlichen 2% sind auf diverse menschliche Einflüsse zurückzuführen. Der Turnover erfährt eine Beschleunigung um den Faktor 2,4 und beträgt für die aktuelle Vegetation rund 12 Jahre. Wichtigster Faktor bezüglich des Standing Crop ist die Waldfläche, da der Standing Crop des Waldes etwa den zwanzigfachen Wert anderer Vegetationstypen erreicht. Der Einfluß des Menschen auf den Standing Crop kann so als Indikator für das 'ecosystem encroachment' angesehen werden. Die Reduktion des Standing Crop in Österreich um 0,63 Gt C ist gleichzusetzen mit einer historischen Emission von Kohlenstoff aufgrund der bereits abgeschlossenen Urbarmachung. Die gegenwärtige Rolle der terrestrischen Vegetation als Senke für CO₂ ist also auf ihre historische Rolle als Quelle zurückzuführen. Diese Ergebnisse können einen Beitrag zur Diskussion über die Einbeziehung biotischer Quellen und Senken in die Berechnungen internationaler Reduktionsziele für CO₂ leisten.

Inhaltsverzeichnis

ABBILDUNGSVERZEICHNIS	6
TABELLENVERZEICHNIS	7
<u>1 EINLEITUNG</u>	<u>10</u>
1.1 ZIELSETZUNG	10
1.2 BEGRIFFE	13
1.2.1 Standing Crop und Turnover als ökologische Parameter	13
1.2.2 Hypothetische natürliche Vegetation	21
<u>2 DATENGRUNDLAGEN</u>	<u>23</u>
2.1 FLÄCHENSTATISTISCHE GRUNDLAGEN	24
2.1.1 Hypothetische natürliche Vegetation	24
2.1.2 Aktuelle Vegetation	25
2.2 STANDING CROP - WERTE	27
2.2.1 Hypothetische natürliche Vegetation	27
2.2.2 Aktuelle Vegetation	29
2.3 UMRECHNUNG VON MASSE- IN ENERGIEEINHEITEN UND IN KOHLENSTOFFGEHALTE	32
<u>3 METHODIK</u>	<u>35</u>
3.1 STANDING CROP DER HYPOTHETISCHEN NATÜRLICHEN VEGETATION	35
3.1.1 Standing Crop-Werte für die Vegetationseinheiten der hypothetischen natürlichen Vegetation	36
3.1.1.1 Wälder	36
3.1.1.2 Alpine Rasen	48
3.1.1.3 Nival- und Felsvegetation	49
3.1.1.4 Zusammenfassung	50
3.1.2 Flächenmodell der hypothetischen natürlichen Vegetation	50
3.1.2.1 Gliederung Österreichs	51
3.1.2.2 Höhenmodell	55
3.2 STANDING CROP DER AKTUELLEN VEGETATION	61
3.2.1 Flächenmodell der aktuellen Vegetation	62
3.2.1.1 Vegetationstypen der aktuellen Vegetation	63
3.2.1.2 Berechnung der Flächen der aktuellen Vegetationseinheiten	64
3.2.2 Standing Crop-Werte für die Vegetationseinheiten der aktuellen Vegetation	68
3.2.2.1 Wälder	68
3.2.2.2 Äcker	75
3.2.2.3 Gartenländer	77
3.2.2.4 Grünländer	77
3.2.2.5 Hochalmen	79
3.2.2.6 Alpine Urvegetation	80

3.2.2.7 Verbaute Flächen	80
3.3 TURNOVER DES BIOMASSEVORRATS	81
4 ERGEBNISSE	83
<hr/>	
4.1 STANDING CROP DER HYPOTHETISCHEN NATÜRLICHEN VEGETATION	83
4.1.1 Auswertung nach politischen Einheiten	83
4.1.2 Auswertung nach Höhenstufen	86
4.1.3 Auswertung nach Vegetationstypen	88
4.2 STANDING CROP DER AKTUELLEN VEGETATION	90
4.2.1 Auswertung nach politischen Einheiten	90
4.2.2 Auswertung nach Vegetationstypen	91
4.3 BEEINFLUSSUNG DES STANDING CROP	94
4.3.1 Politische Einheiten	94
4.3.2 Vegetationstypen	99
4.3.2.1 Wälder	104
4.4 TURNOVER	113
4.4.1 Auswertung nach politischen Einheiten	113
4.4.2 Auswertung nach Vegetationstypen	118
5 DISKUSSION	123
<hr/>	
5.1 VERGLEICHENDE BEWERTUNG DER ERGEBNISSE	123
5.1.1 Fehlerabschätzung	123
5.1.2 Vergleich mit anderen Arbeiten	127
5.2 BEDEUTUNG DES STANDING CROP FÜR ÖKOSYSTEMARE ZUSAMMENHÄNGE	128
5.3 EINFLUSSNAHME DER GESELLSCHAFT AUF DEN STANDING CROP	139
5.3.1 Gesellschaftlicher Metabolismus und Kolonisierung von Natur	139
5.3.2 Klassifizierung der Intensität menschlicher Eingriffe: Hemerobie	145
5.4 BEDEUTUNG DES STANDING CROP FÜR DEN KOHLENSTOFFHAUSHALT	152
5.5 SCHLUßFOLGERUNGEN	161
6 LITERATUR	166
<hr/>	
7 APPENDIX	174
<hr/>	

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1.2.1 Schema des ökologischen Energieflusses	15
Abbildung 1.2.2 Ökosystemparameter im Laufe der Sukzession	19
Abbildung 3.1.1 Beziehung zwischen Standing Crop und Klima bei Nadel- und Laubwäldern	38
Abbildung 3.1.2 Beziehung zwischen Standing Crop und Jahresdurchschnittstemperatur von in Österreich heimischen Baumarten	39
Abbildung 3.1.3 Beziehung zwischen Standing Crop der Fichte (<i>Picea abies</i>) und Klima	40
Abbildung 3.1.4 Modelle der Akkumulation von Biomasse im Laufe der Sukzession	42
Abbildung 3.1.5 Beziehung zwischen Standing Crop und Bestandesalter der Tanne (<i>abies alba</i>). Altersserie in Italien	44
Abbildung 3.1.6 Logistische Regression für den Standing Crop der Wälder der potentiellen Vegetation als Funktion des Alters	45
Abbildung 3.1.7 Wuchsgebiete Österreichs	54
Abbildung 3.1.8 Höhengrenzen der Höhenstufen der Wuchsgebiete und Grenzen des verwendeten Höhenrasters	56
Abbildung 3.2.1 Flächenanteile der Altersklassen der Buche (<i>Fagus sylvatica</i>) im Vergleich mit der potentiellen logistischen Wachstumskurve	73
Abbildung 4.3.1. Standing Crop der potentiellen und der aktuellen Vegetation	94
Abbildung 4.3.2 Anteile von Nadel-, Laub- und Mischwald an den Waldflächen der hypothetischen natürlichen und der aktuellen Vegetation	108
Abbildung 4.3.3. Potentieller Standing Crop der 3 Waldtypen in den Bundesländern	109
Abbildung 4.3.4 Aktueller Standing Crop der 3 Waldtypen in den Bundesländern	110
Abbildung 5.2.1 Nährstoffzyklus in terrestrischen Ökosystemen	131
Abbildung 5.3.1 Interaktionsmodell Gesellschaft- Natur	140
Farbtafeln	
Farbtafel 1 Standing Crop der Vegetation Österreichs	96
Farbtafel 2 Prozentuelle Beeinflussung des Standing Crop in Österreich	97
Farbtafel 3 Absolute Beeinflussung des Standing Crop in Österreich	98
Farbtafel 4 Turnover der Vegetation Österreichs	116
Farbtafel 5 Beschleunigung des Turnover der Vegetation Österreichs	117

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2.1.1.: Untergliederung der Fläche Österreichs zur Ermittlung des aktuellen Standing Crop	25
Tabelle 2.2.1.: Flächenkategorien der aktuellen Vegetation und Methodik der Ermittlung von repräsentativen Flächenwerten des oberirdischen Standing Crop	29
Tabelle 2.3.1.: Brennwerte verschiedener pflanzlicher Materialien	33
Tabelle 3.1.1.: Standing Crop der Vegetationstypen der hypothetischen natürlichen Vegetation	50
Tabelle 3.1.2.: Wuchsgebietsanteile der Bundesländer	54
Tabelle 1.1.3.: Höhenstufenabfolge und deren potentielle Vegetation der Wuchsbezirke	55
Tabelle 3.1.4.: Vegetationseinheiten der Wuchsgebiete und Höhenstufen Österreichs und deren Standing Crop der hypothetischen natürlichen Vegetation	59
Tabelle 3.1.5.: Zonale Vegetationstypen und deren Flächenanteil an Österreich	60
Tabelle 3.2.1: Potentielle und aktuelle Waldgrenze der alpinen Wuchsgebiete und angenommener Flächenanteil des Waldes an der Höhenstufe 4	66
Tabelle 3.2.2.: Flächen der aktuellen Nutzungskategorien der Bundesländer	68
Tabelle 3.2.3.: Trockensubstanz pro Vorratsfestmeter der einzelnen Baumarten	69
Tabelle 3.2.4.: Expansionsfaktoren zur Berechnung der Baumbiomasse aus der Schaftholzmasse (=Baumstamm + Rinde) über die Altersklassen	70
Tabelle 3.2.5.: Expansionsfaktoren zur Berechnung des Unterwuchses der Baumarten	71
Tabelle 3.2.6.: Anteile der Altersklassen Österreichs Wälder am Ertragswald	74
Tabelle 3.2.7.: Erntefaktoren zur Ermittlung des Standing Crop aus der Ernte der landwirtschaftlich genutzten Fläche	76
Tabelle 3.2.8.: Ermittlung des Standing Crop der Hochalmweiden	79
Tabelle 4.1.1.: Flächen der Bundesländer und deren 'Nullflächen'	84
Tabelle 4.1.2.: Standing Crop der hypothetischen natürlichen Vegetation nach Bundesländern	85
Tabelle 4.1.3.: Flächenverteilung der Höhenstufen Österreichs	86
Tabelle 4.1.4.: Standing Crop der hypothetischen natürlichen Vegetation nach Höhenstufen	87
Tabelle 4.1.5.: Flächenanteile der Vegetationstypen der hypothetischen natürlichen Vegetation	88
Tabelle 4.1.6.: Standing Crop der hypothetisch natürlichen Vegetation Österreichs nach ökologischen Großgruppen	89
Tabelle 4.2.1.: Standing Crop der aktuellen Vegetation nach Bundesländern	90
Tabelle 4.2.2.: Flächenverteilung der Vegetationstypen der aktuellen Vegetation	92
Tabelle 4.2.3.: Standing Crop der aktuellen Vegetation nach Vegetationstypen	93
Tabelle 4.3.1.: Relative Beeinflussung des Standing Crop in Österreich	95

Tabelle 4.3.2.: Gesellschaftliche Beeinflussung des Standing Crop in Österreich nach Vegetationstypen	100
Tabelle 4.3.3.: Gesellschaftliche Beeinflussung des Standing Crop in Österreich nach Vegetationstypen in Absolutwerten	101
Tabelle 4.3.4.: Anteile der aktuellen Nutzungskategorien an der Verminderung des Standing Crop	103
Tabelle 4.3.5.: Waldflächenanteil der hypothetisch natürlichen und der aktuellen Vegetation	105
Tabelle 4.3.6.: Verringerung der Waldfläche durch Absenkung der natürlichen Waldgrenze	106
Tabelle 4.3.7.: Gesellschaftliche Beeinflussung des Standing Crop der Wälder nach Bundesländern	107
Tabelle 4.3.8.: Vergleich des Standing Crop der Waldtypen der hypothetischen natürlichen Vegetation und der aktuellen Vegetation	111
Tabelle 4.3.9.: Vergleich der Bestockung der Wälder der potentiellen und der aktuellen Vegetation	112
Tabelle 4.4.1.: Turnover der potentiellen Vegetation nach Bundesländern	113
Tabelle 4.4.2.: Turnover der aktuellen Vegetation nach Bundesländern	114
Tabelle 4.4.3.: Beschleunigung des Turnover nach Bundesländern	115
Tabelle 4.4.4.: Turnover der potentiellen Vegetation nach Vegetationstypen	118
Tabelle 4.4.5.: Turnover der aktuellen Vegetation nach Vegetationstypen	119
Tabelle 4.4.6.: Beschleunigung des Turnover nach Vegetationstypen	120

Appendix

APPENDIX A LITERATURRECHERCHEN **175**

Appendix A.1 Ergebnisse von Studien zum Standing Crop der alpinen Rasen und Matten und der Tundravegetation	175
Appendix A. 2 Ergebnisse von Studien zum Standing Crop von Grasländern	176

APPENDIX B ANGABEN ZUM STANDING CROP IN STUDIEN ZUR ERMITTLUNG DES GLOBALEN STANDING CROP BZW. DES GLOBALEN KOHLENSTOFFHAUSHALTES **178**

Appendix B.1 Whittaker 1970	178
Appendix B.2 Whittaker & Likens 1973a, b	179
Appendix B.3 Ajtay et al. 1979	180
Appendix B.4 Olson et al. 1983	181
Appendix B.5 Waring & Schlesinger 1985	183
Appendix B.6 Kimmins 1987	183

APPENDIX C ERGEBNISSE NACH BEZIRKEN **184**

Appendix C.1 Flächen der Bezirke nach Höhenstufen	185
Appendix C.2 Standing Crop der hypothetischen natürlichen Vegetation nach Höhenstufen – Trockenmasse	187
Appendix C.3 Standing Crop der hypothetischen natürlichen Vegetation nach Höhenstufen – Energieeinheiten	189
Appendix C.4 Standing Crop der hypothetischen natürlichen Vegetation nach Vegetationstypen – Trockenmassen	191
Appendix C.5 Standing Crop der hypothetischen natürlichen Vegetation nach Vegetationstypen – Energieeinheiten	193
Appendix C.6 Standing Crop der aktuellen Vegetation – Trockenmasse	195
Appendix C.7 Standing Crop der aktuellen Vegetation – Energieeinheiten	197
Appendix C.8 Beeinflussung des oberirdischen Standing Crop und Turnover	199
Appendix C.9 Beeinflussung der Wälder	201

1 Einleitung

1.1 Zielsetzung

Diese Diplomarbeit wurde im Rahmen des Projektes 'Gesellschaftliche Eingriffe in den natürlichen Energiefluß von Ökosystemen' erarbeitet. Es stellt ein Teilprojekt des Projekts "Prozeßorientierte Top-down Planungsindikatoren" (Colonizing Landscapes – Indicators of Sustainable Land Use) im Forschungsschwerpunkt 'Kulturlandschaftsforschung' des österreichischen Bundesministeriums für Wissenschaft und Verkehr dar. Ein politisches Ziel des Forschungsschwerpunktes lautet 'nachhaltige Nutzung der österreichischen Kulturlandschaften'¹.

Bedeutsam für dieses Vorhaben ist die Identifikation von Indikatoren (=Kennzahlen, Parameter) für die Unterscheidung von nachhaltiger und nicht nachhaltiger Entwicklung in unterschiedlichen Kulturlandschaften.

Solche Indikatoren des menschlichen Einflusses werden in diesem Teilprojekt beschrieben. Während sich menschliche Gesellschaften in prähistorischen Zeiten in den natürlichen Haushalt mehr oder weniger harmonisch eingefügt haben, folgte seit der Entwicklung der Landwirtschaft eine immer stärkere Umgestaltung der Ökosysteme. Durch gezielte Eingriffe versucht die Gesellschaft seither, die Produktion an nutzbarer Biomasse zu erhöhen, wenngleich die gesamte Produktion dadurch auch abnehmen kann. Die damit verbundenen Veränderungen und Umstrukturierungen der natürlichen – energetischen wie materiellen - Prozesse bringt der Indikator 'Gesellschaftliche Aneignung von Nettoprimärproduktion' (HABERL 1995, WRIGHT 1990, VITOUSEK ET AL. 1986) zum Ausdruck. Diese Studien zeigen, daß der Mensch zwar beinahe die Hälfte der Nettoprimärproduktion nutzt, d.h. durch Ernte entnimmt, durch die Eingriffe die Nettoprimärproduktion selbst jedoch nur geringfügig vermindert

¹ Unter 'nachhaltiger Entwicklung' wird hier eine (sozio-ökonomische) Entwicklung verstanden, welche natur- und sozialverträglich ist und die dauerhafte Erhaltung oder Herstellung der Lebensgrundlagen auch für zukünftige Generationen sicherstellt (BUNDESMINISTERIUM F. WISSENSCHAFT, FORSCHUNG UND KUNST 1995).

wird. Denn eine Aufrechterhaltung bzw. Steigerung der Nettoprimärproduktion liegt im Sinne vieler gezielter gesellschaftlicher Eingriffe in die Natur (ODUM 1983). Im Gegensatz dazu führt der gesellschaftliche Einfluß auf die Natur in der Regel zu einer Reduktion des Biomassevorrats, des Standing Crop (OLSON ET AL. 1983).

Die gezielten Eingriffe des Menschen, z.B. der Ersatz von Ökosystemen durch andere (in der Ökologie häufig als 'künstliche' beschrieben), das Einführen von standortsfremden Arten, oder auch Veränderung der Altersstruktur von natürlichen Ökosystemen, bedeuten grundlegende Veränderung der natürlichen Ökosysteme. Viele dieser Veränderungen gehen mit einer Verminderung des Biomassevorrats einher.

Ein verminderter Biomassevorrat hat wiederum Auswirkungen auf die Charakteristik der Ökosysteme. Er kann z.B. zu einem Verlust von Struktur führen, und, da die Biomasseproduktion durch gesellschaftliche Leistungen doch aufrecht gehalten wird, auch zu einer Beschleunigung des Umsatzes (oder: Erhöhung des Turnover) der Ökosysteme. All dies, gewollt oder ungewollt, sind Folgen der gesellschaftlichen Nutzung der Natur.

In der vorliegenden Diplomarbeit werden die Verminderung des Biomassebestandes und die Beschleunigung des Turnover als Indikatoren für gesellschaftliche Eingriffe untersucht. Die gesellschaftlichen Eingriffe werden dadurch anhand ihrer Folgen, also anhand von den durch sie induzierten Zustandsveränderungen, beschrieben. Um ein solches Vorgehen zu gewährleisten, muß der heute tatsächlich bestehenden Welt eine 'Referenzwelt' gegenübergestellt werden. Diese soll hypothetischen Charakter haben und eine Welt beschreiben, welche ohne gesellschaftliche Eingriffe existieren würde. Anhand eines Vergleiches des Existierenden mit dem Hypothetischen soll eine quantitative Beschreibung der Folgen der menschlichen Eingriffe ermöglicht werden.

Die Verminderung des Biomassebestandes durch menschliche Aktivitäten beinhaltet auch eine andere Komponente. Schon seit längerer Zeit herrscht eine rege Diskussion über die Rolle der terrestrischen Vegetation im globalen Kohlenstoffhaushalt und dessen Rolle in der sog. 'Treibhausproblematik'. Während, besonders in letzter Zeit, die Vegetation der nördlichen Hemisphäre als Senke für atmosphärischen Kohlenstoff (CO₂) angesehen wird, muß dies im Laufe der

Geschichte nicht immer so gewesen sein. Heutzutage wirkt der Wald Österreichs tatsächlich als biotische Senke - er nimmt sowohl in Fläche als auch in Bestockung zu. Der Vergleich des Standing Crop von hypothetischer (also ohne menschlichen Einfluß) und aktueller Vegetation erlaubt nun aber auch eine Art historischer Analyse. Denn die hypothetische Vegetation stellt jene Vegetation dar, welche vor der menschlichen Besiedlung geherrscht haben könnte. Ein solcher Vergleich erlaubt quantitative Aussagen über den in Österreich im Grunde schon seit langem abgeschlossenen Prozeß der Urbarmachung.

Das 1997 verabschiedete internationale 'Kyoto-Protokoll' enthält quantifizierte, rechtlich verbindliche Verpflichtungen zur Begrenzung und Minderung von Emissionen von Treibhausgasen der Vertragsstaaten. Eine besondere Bedeutung kommt dabei der Kohlendioxidbilanz zu. Erstmals werden in diesen Bilanzen im Verpflichtungszeitraum (2008-2012) auch biologische Quellen und Senken auf die Reduktionsverpflichtungen angerechnet. Dies setzt eine weite empirische Grundlage voraus, bei der vor allem die räumliche Verteilung der Funktionen der Vegetation, aktuell wie historisch, von Bedeutung ist. Der Vergleich von hypothetischer natürlicher und aktueller Vegetation kann hierfür einen Beitrag leisten, besonders da die oben genannte historische Komponente der Diskussion nicht in den Protokollen zu Emissionsreduktionen enthalten ist. Meiner Meinung nach bedarf diese Diskussion aber auch eines solchen Standpunktes, besonders im Hinblick auf die Gerechtigkeitsfrage der internationalen Reduktionsverpflichtungen.

Mit der hier vorliegenden Untersuchung soll daher versucht werden, einen Beitrag für die Nachhaltigkeitsdiskussion, sowohl bezüglich menschlicher Einflüsse auf die Natur, als auch deren Stellenwert in der Treibhausthematik, wenn auch aus einer anderen Perspektive, zu leisten. Das Ziel der vorliegenden Arbeit besteht darin, eine breite empirische Basis für ein Land (Österreich) zu einem bestimmten Zeitpunkt (Anfang der 90er Jahre) in tiefer regionaler Gliederung (Österreichs Gemeinden) zu schaffen.

1.2 Begriffe

1.2.1 Standing Crop und Turnover als ökologische Parameter

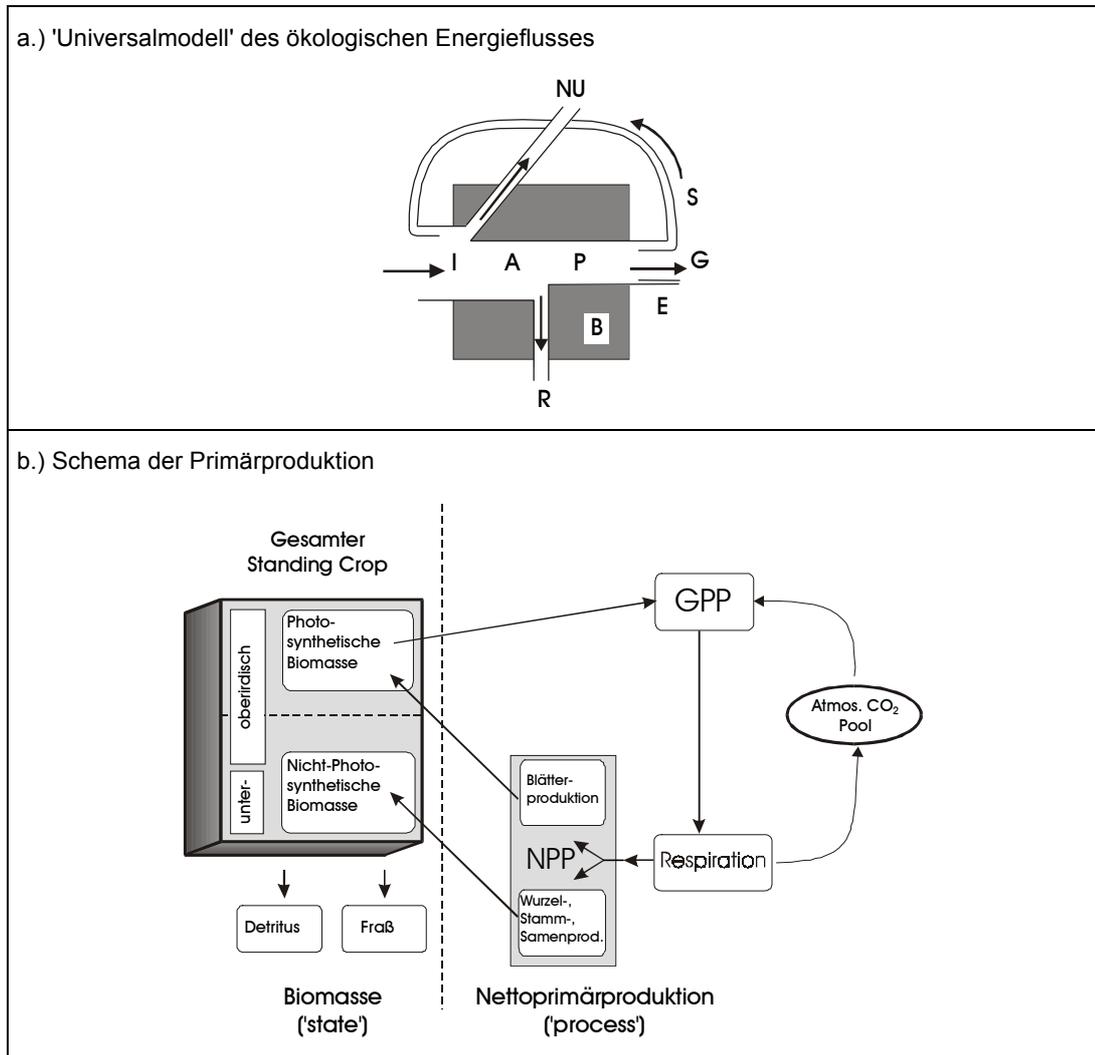
Gegenstand dieser Untersuchung ist der Standing Crop, also die Biomasse, welche auf einer Flächeneinheit 'stehend', d.h. lebend, vorhanden ist. Dieser Begriff stammt aus der Systemökologie, die versucht, Ökosysteme als Gesamtheit unter funktionalen Gesichtspunkten zu analysieren. Kompartimentenmodelle stellen hier einen wichtigen Ansatz dar, und die Stoffkreisläufe und Energieflüsse zwischen den Kompartimenten sind Gegenstand der Betrachtungen. Alle biologischen Einheiten, seien es Zellen, Gewebe, Individuen, Populationen oder Gemeinschaften, Ökosysteme bis hin zur Biosphäre, sind einerseits an Materie gebunden, und benötigen andererseits Energie zur Erhaltung der Lebensfähigkeit. Im Gegensatz zur Materie, welche 'unzerstörbar' in Kreisläufen innerhalb der Biosphäre geführt wird, 'durchläuft' die Energie im Sinne der Hauptsätze der Thermodynamik kaskadenartig die verschiedenen Ebenen der Ökosysteme ('flow'). Energie hohen Nutzwertes (z.B. Licht) wird fortwährend in Energie geringeren Nutzwertes (z.B. Wärme) umgewandelt und erreicht so eine geringe Entropie. Dieser Energiedurchsatz gewährleistet alles Leben auf der Erde, indem es Ordnungsmuster aufrecht erhält. Die Aufrechterhaltung der 'Ordnung' im Ökosystem, die Struktur der komplexen Biomasse, wird durch die Atmung der gesamten Gemeinschaft gewährleistet. Die Energie muß von Organismen gespeichert werden, um verfügbar zu bleiben. Diese Speicherung erfolgt in Form von Materie, von organischen Verbindungen. Daher wird die Energie in der sogenannten 'Produktionsökologie', in Analogie zur menschlichen Gesellschaft, auch als 'Währung' der Ökosysteme betrachtet (ODUM 1983).

Die Beschreibung der ökosystemaren Zusammenhänge auf Basis von Energieflußbetrachtungen hat lange Tradition, und geht vor allem auf LINDEMANN (1942) zurück, der den Grundstein zu einer 'energetischen Ökologie' (energetic ecology) legte. Seine Schlüsselbegriffe 'Transfer' zwischen den Gliedern von 'Nahrungsketten' und die 'Effizienz' des Austausches prägen im folgenden den Begriff

des 'Ökosystems'. In den 70er Jahren, im Licht der Bevölkerungsexplosion und der 'Knappheit von Ressourcen', wird die 'Produktionsökologie' vorangetrieben, besonders in dem International Biological Program (IBP) zur Erforschung der "biologischen Basis der Produktivität und des gesellschaftlichen Wohlstandes". Die meisten Primärdaten zu Produktion und Standing Crop stammen immer noch von Studien dieses Programmes (siehe Kapitel 2 'Datengrundlage').

Die Pflanzen sind mit Ausnahme einiger Mikroorganismen die einzigen Organismen, die mit Hilfe der Sonnenenergie lebende organische Substanz (Biomasse) aus anorganischen Stoffen aufbauen können. Diese 'Produktion' steht - bis auf Ausnahmen - am Anfang aller Nahrungsketten und ist die energetische Grundlage aller heterotrophen Lebewesen. Aber nicht die gesamte Produktion (die Bruttoprimärproduktion, GPP - 'Gross Primary Production') ist den Folgegliedern der Nahrungsketten zugänglich, sondern nur jener Teil, welcher um die eigene Respiration der Pflanzen vermindert ist, die Nettoprimärproduktion (NPP - 'Net Primary Production'). Nach Abzug der heterotrophen Respiration verbleibt im Ökosystem die Netto-Ökosystem-Produktion (NEP - 'Net Ecosystem Production'). Das ist jene Menge an organischer Substanz, die von heterotrophen Organismen nicht verbraucht wird. Dieser Sachverhalt ist in Abbildung 1.2.1 dargestellt. Die Rate der Energiespeicherung auf der Ebene der Konsumenten wird als Sekundärproduktion bezeichnet. Diese stellt die Umwandlung bereits produzierter Nahrungsstoffe (mit den entsprechenden Atmungsverlusten) dar, und wird daher auch als 'Assimilation' bezeichnet (ODUM 1983). Da die Sekundärproduktion von der Brutto- bzw. Nettoproduktion abhängig ist, wird sie in dieser Untersuchung nicht berücksichtigt. Die Sonnenenergie wird mit Hilfe der Photosynthese von den Pflanzen gebunden, wodurch Biomasse aufgebaut wird. Diese wird von den Pflanzen selbst teilweise veratmet, und nur mehr ein geringerer Teil steht den folgenden Gliedern der Nahrungskette (Herbivore, Carnivore 1., 2. Ordnung, etc.) zur Verfügung. Diese veratmen nun Teile dieser Biomasse und bauen teilweise selbst Biomasse mit dieser freigesetzten Energie auf. Am Ende dieser Kette stehen die Destruenten, welche die komplexen organischen Bindungen unter Gewinnung von Energie zerlegen, und die Materie wieder der Primärproduktion in anorganischer Form zur Verfügung stellen.

Abbildung 1.2.1 Schema des ökologischen Energieflusses



Quelle: ODUM 1983, DYE 1998

a.) Der Energiefluß einer Trophiestufe. Durch Aneinanderreihung mehrere solcher 'Komponenten' kann der Energiefluß durch Nahrungsketten dargestellt werden. Zu beachten ist, daß dabei der Durchfluß an der Energie stets geringer werden muß. Die Biomasse ist als 'black box' gefaßt. I = Eintrag, aufgenommenen Energie; NU = nicht verbraucht; A = assimilierte Energie; P = Produktion; R = Atmung; B = Biomasse; G = Wachstum; S = gespeicherte Energie; E = ausgeschiedene Energie.

b.) Flußdiagramm der Primärproduktion, mit Darstellung der Kompartimente der Biomasse, der Produktion und der Trennung von Zustands- und Flußgröße. Durchgezogene Pfeile stellen den Weg des Kohlenstoffs dar; dieser ist zum größten Teil ident mit dem der Energie.

Die Abbildung 1.2.1 a.) stellt ein 'Universalmodell' des Energieflusses dar, welches auf alle lebenden Systeme angewandt werden kann. Miteinander kombiniert (Hintereinanderreihung) können so einzelne Nahrungsketten oder die Bioenergetik eines ganzen Ökosystems veranschaulicht werden. Darunter ist der Pfad des Energie-

flusses der Primärproduzenten dargestellt. Alle Produktion wird in Biomasse festgelegt, und diese steht den nachfolgenden Trophiestufen zur Verfügung.

Die einzelnen Parameter stehen nicht in einem fixiertem quantitativen Verhältnis zueinander, sondern zeigen im Laufe der Entwicklung der Ökosysteme bestimmte Muster. Dieser Umstand wird weiter unten diskutiert (Abbildung 1.2.2).

Unter 'Biomasse' versteht man die Masse der lebenden Organismen innerhalb einer Flächeneinheit. Diese wird entweder in Energieeinheiten (z.B. Joules m^{-2}) oder als Trockengewicht pro Flächeneinheit (z.B. in Tonnen ha^{-1}) angegeben. Biomasse ist die Gesamtheit der lebenden Organismen, auch wenn Teile von ihnen abgestorben sein können. Folglich besteht die Biomasse aus '*Necromasse*' (die abgestorbenen Teile eines lebenden Organismus', wie z.B. der größte Teil der Stützstrukturen oder die Borke), und aus der lebenden, aktiven Fraktion der Biomasse. Letztere stellt das 'aktive Kapital' der Biomasse dar, welches in Form von Zuwachs (Nettoprimärproduktion, NPP) weiteres 'Kapital' anhäuft. Die Necromasse ist nicht zur Primärproduktion befähigt. In der Praxis zählt zur Biomasse jedoch alles, lebend oder abgestorben, was mit dem lebenden Organismus eine Einheit bildet (BEGON ET AL. 1990).

Die Primärproduktion ist jene Rate, mit welcher Biomasse pro Flächen- und Zeiteinheit gebildet wird. Die Nettoprimärproduktion ist der Zuwachs an Biomasse pro Flächeneinheit inklusive Fraß- und Detritusverluste, also die gesamte Bildung von Biomasse (Bruttoprimärproduktion) vermindert um die bei der Respiration der Primärproduzenten selbst verbrauchten organischen Stoffe. Beide stellen Flußgrößen dar. Akkumuliert der Zuwachs (d.i. die Nettoprimärproduktion ohne Fraß- und Detritusverluste) und bildet einen 'Bestand' über die Zeit, so spricht man von 'Standing Crop der Biomasse' ("*Standing crop of biomass*" BEGON et al. 1990)². Dies ist nun keine Flußgröße mehr, sondern eine Zustandsgröße. Der 'Standing Crop' ist also die Gesamtheit der lebenden Organismen innerhalb einer bestimmten Flächeneinheit und zu einem bestimmten Zeitpunkt. Innerhalb des Ökosystems verbleibt diese Biomasse lebend, bildet Strukturmechanismen, wird von Herbivoren direkt konsumiert oder wird zu Detritus.

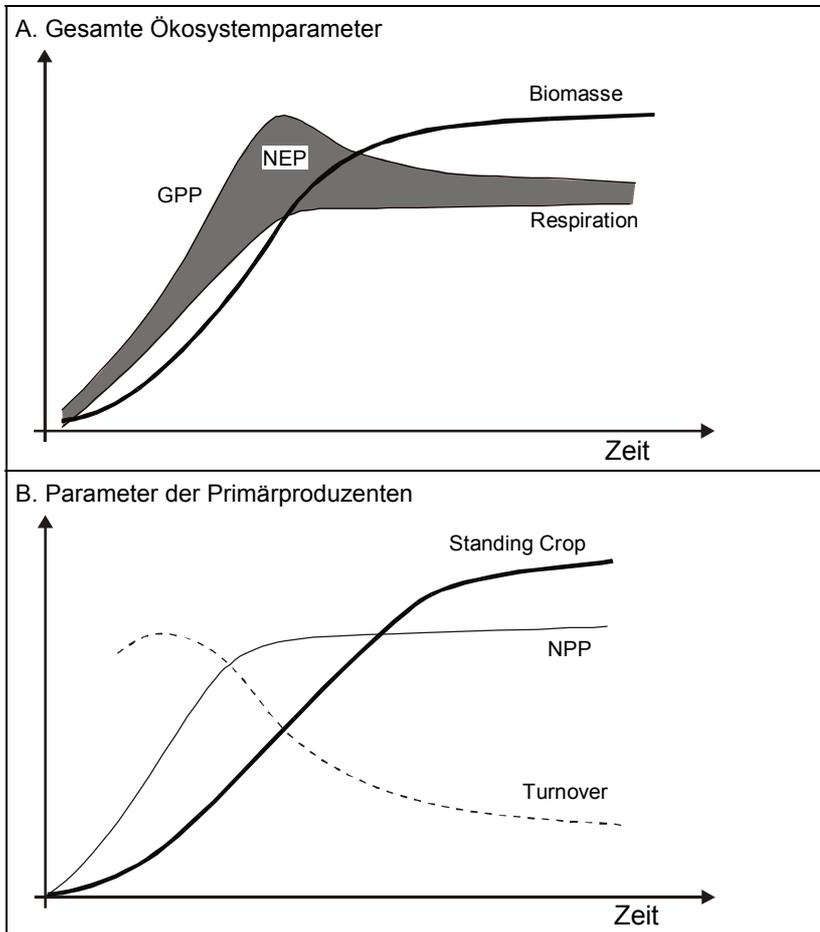
² Im deutschen Sprachgebrauch werden 'Standing Crop' und 'Biomasse' als Synonyme gebraucht.

Somit ist der gesamte Standing Crop die Summe allen organischen Materials der lebenden Organismen - also mit 'stehender' Necromasse, einschließlich sowohl die oberirdische als auch die unterirdische Biomasse. Der größte Teil der Biomasse von terrestrischen Lebensgemeinschaften wird von den Pflanzen gebildet, welche durch die Photosynthese die (beinahe) einzigen Primärproduzenten von Biomasse sind. Häufig wird 'Standing Crop' deshalb auch nur auf die Biomasse der Vegetation bezogen (WARING & SCHLESINGER 1985). Die Akkumulation von lebender Biomasse ist besonders in Wäldern eine Form der Energiespeicherung (RYSZKOWSKI 1975). Und dieses 'Energiereservoir' ist notwendig, um Störungen zu puffern, als eine Investition gegen Katastrophen und um essentielle Nährstoffe verfügbar zu halten. So erfüllt Standing Crop unter anderem zwei Funktionen: Speicherung von Energie und Speicherung von Nährstoffen (REICHLER ET AL. 1975)

Während die Nettoprimärproduktion sehr stark mit klimatischen Bedingungen korreliert ist ('Miami-Modell', LIETH 1973), trifft dies auf den Standing Crop nicht zu. Im allgemeinen scheint der Standing Crop zwar mit der Produktivität auch quantitativ korreliert zu sein, diese Korrelation ist jedoch nicht sehr gut (WHITTAKER & LIKENS 1973a). Unterschiede in der Trophiestruktur von Lebensgemeinschaften können durch dieses Verhältnis jedoch aufgezeigt werden. Korrelationen von Standing Crop und Produktion verschiedener Gemeinschaften zeigen deutlich eine Trennung von aquatischen und terrestrischen Ökosystemen. Während in aquatischen Ökosystemen die Produktion pro Biomasse sehr hoch ist, trifft dies für die terrestrischen Standorte nicht zu. Dort kommt es zum Aufbau eines 'Bestandes'. Verdeutlicht kann dieser Sachverhalt auch durch die sog. 'Biomassepyramide' werden (ODUM 1983). Während terrestrische Lebensgemeinschaften in der Regel keine bedeutenden Größenunterschiede der Organismen in den einzelnen Trophiestufen aufweisen, und deshalb einen höheren Standing Crop in den unteren Stufen als in den höheren erreichen müssen, kann dieser Sachverhalt in aquatischen Lebensgemeinschaften 'umgekehrt' sein (durch die extrem geringe Größe der Primärproduzenten). Die Energiepyramide jedoch muß sich stets nach oben hin verjüngen.

Das Verhältnis von Biomasse (Bestand, Standing Crop) zu Produktion ('Durchsatz' an Energie), wird als 'Turnover' oder als 'biomass accumulation ratio' (BAR) beschrieben. Diese Rate ist besonders zur Erfassung der Austauschraten zwischen Organismen und Umwelt wichtig (ODUM 1983). In terrestrischen Ökosystemen ist der Turnover ein Maß für die Akkumulation von (vorwiegend) holzigem Material, aber auch ein Parameter für die 'Härte' der Umweltbedingungen oder für das potentielle Alter der dominanten Arten. Der Turnover (oder die 'Akkumulations-Rate') drückt entweder die Zeitspanne aus, wie lange organisches Material in verschiedenen Geweben verbleibt, oder die 'Umsatzrate', also den Anteil von Aufnahme und Ausscheidung an der Gesamtmenge. Beide Werte sind reziprok zueinander. Die BAR kann somit als mittlere 'Verweildauer' aufgefaßt werden (z.B. in Jahren für Kohlenstoff in der Pflanzengesellschaft). Für verschiedene Ökosysteme sind verschiedene BAR typisch, wenn auch mit sehr hohen Überlappungen und starken Schwankungen (BARBOUR ET AL. 1987). Zusätzlich stellt sie auch einen wichtigen Parameter der autogenen Sukzession von Ökosystemen dar. Das Verhältnis Produktion/Biomasse ist in Pionierstadien hoch, und sinkt später (durch Akkumulation von Biomasse innerhalb des Ökosystems) ab. Biomasse und Respiration sind proportional zueinander: viel Biomasse fordert hohe 'Instandhaltungskosten' (d.h. eine hohe Respirationsrate). Infolgedessen darf der Standing Crop nicht mit Produktivität verwechselt werden.

Wie oben angesprochen, zeigen diese metabolischen Parameter der Ökosysteme unterschiedliche Entwicklungen im Laufe der Alterung der Ökosysteme selbst. In Abbildung 1.2.2 ist das Verhalten dieser im Laufe der Sukzession eines Ökosystems dargestellt.

Abbildung 1.2.2 Ökosystemparameter im Laufe der Sukzession

Quelle: ODUM 1983, Woodwell & Whittaker 1968; eigene Darstellung

Ein Charakteristikum der autogenen Sukzession ist das schnelle Wachstum der Pionierstadien. Daher ist in diesen Stadien das Verhältnis von Produktion zu Biomasse hoch. Arten, welche in fortgeschrittenen Stadien der Sukzession dominieren (v.a. Wälder), zeigen ein langsames Wachstum. Die NPP jedoch ist in den älteren Stadien der Sukzession in der Regel höher als in den jungen. Im älteren Bestand kommt es aber, durch den höheren respiratorischen Bedarf der langlebigen, nicht photosynthetisch aktiven Gewebe (Stamm, Äste, Wurzeln), zu einer Verlangsamung des Wachstums des Stammes und der Äste. Die Turnoverrate zeigt hier einen Rückgang. Dies könnte jedoch nach BEGON ET AL (1990) auf die Definition des Standing Crop zurückzuführen sein, der ja die Necromasse mit einbezieht. Die

NEP hingegen, also die gesamte Ökosystemproduktion, nimmt im Laufe der Alterung immer mehr ab, und ist im - hypothetischen - Klimaxstadium gleich Null. Dies ist einerseits auf den - altersbedingten - Rückgang der gesamten Produktion, und andererseits auf die Zunahme der gesamten Respiration zurückzuführen. Im Verlauf dieser Entwicklung akkumuliert Biomasse, und diese kann sehr hohe Werte erreichen. Doch auch hier wird - bei entsprechend großen Flächen - ein Höchstwert (asymptotisch) erreicht, welcher auf den Ausgleich von Mortalitäts- und Wachstumsrate basiert. Das Muster der Biomasseakkumulation ganzer Landschaften ist für die vorliegende Studie von besonderer Bedeutung und wird im Kapitel 3.1, 'Methodik: Standing Crop der hypothetischen natürlichen Vegetation', diskutiert.

Unter Standing Crop wird sowohl die unterirdische als auch die oberirdische Biomasse verstanden. Der Standing Crop der Wurzeln variiert sehr stark im Laufe der Jahreszeiten, und ist *in situ* nicht meßbar, da bei Berechnungen auf Basis von Austauschraten auch die Aktivität der Heterotrophen mitgemessen wird. Und eine vollständige Freilegung der Wurzeln, besonders der Feinwurzeln, ist praktisch unmöglich. So ist die Datenlage bzgl. des unterirdischen Standing Crop äußerst unsicher. Schon in Untersuchungen des IBP wird auf die Schwierigkeiten und beinahe Unmöglichkeit der Ermittlung der unterirdischen Biomasse hingewiesen (ULRICH ET AL. 1981, SOLLINS ET AL. 1981). Sehr häufig wird Standing Crop aber als oberirdische Biomasse ('aboveground biomass') definiert, und häufig sind auch nur solche Daten verfügbar. Der 'Wissenschaftliche Beirat der Bundesregierung (Deutschland) für Globale Umweltveränderungen' (WBGU) betont 1998, daß immer noch keine *nachprüfbaren* Methoden zur Abschätzung der unterirdischen Biomasse (Kohlenstoffgehalte) existieren, und besonders Prozesse des Bodens bei der Erstellung von Kohlenstoffinventaren der Vegetation nicht angemessen berücksichtigt werden (vgl. WBGU 1998). Die Standardverfahren des IPCC ('Intergovernmental Panel of Climate Change') zur Ermittlung der nationalen Kohlenstoffinventare berücksichtigen z.B. auch in den Jahren nach Aufforstungen nicht Änderungen im Kohlenstoffbestand der Böden, und auch nicht Verluste an Bodenkohlenstoff durch Nutzungsänderungen (ebda.)

Vorliegende Untersuchung beschränkt sich daher auf die terrestrische, oberirdische Biomasse der Vegetation Österreichs.

1.2.2 Hypothetische natürliche Vegetation

Im Rahmen dieser Untersuchung soll der Einfluß des Menschen auf die Natur und somit auf die Ökosysteme quantifiziert werden. Daher ist es notwendig, neben der Erhebung des Standing Crop der aktuellen, tatsächlich vorhandenen Vegetation, auch die eines Referenzwertes zu stellen. Diesen Referenzwert soll die 'hypothetische natürliche Vegetation' bilden.

Unter der hypothetischen natürlichen Vegetation wird hier jene Pflanzendecke verstanden, welche sich ohne jegliche menschliche Einflußnahme auf einer geographischen Einheit gebildet bzw. erhalten hätte. Es ist dies jene Vegetation, welche vor der menschlichen Einflußnahme in Österreich vorgeherrscht hätte, unter der Annahme, daß zu jener (prähistorischen) Zeit die selben klimatischen Bedingungen geherrscht hätten wie heute. So steht die Beschreibung einer 'ursprünglichen' Vegetation im Vordergrund, welche der Natur, wie sie heute real existiert, gegenübergestellt ist. Während die aktuelle Vegetation als durch die Summe der natürlichen und der anthropogenen Bedingungen bedingt verstanden werden kann, ist die hypothetische natürliche Vegetation nur durch 'natürliche' Gegebenheiten bedingt. Diese würde also hypothetisch, ohne Eingriff bzw. Einflußnahme der Gesellschaft, existieren. Somit stellt das hier verwendete Konzept sowohl einen vergleichenden Ansatz (hypothetisch versus aktuell), als auch einen historischen dar.

Diese Definition unterscheidet sich im Ansatz von der in der Vegetationsgeographie gängigen Definition, welche in erster Linie auf TÜXEN (1956) zurückzuführen ist. Dort wird als 'potentiell-natürliche' Waldgesellschaft jene Pflanzengesellschaft bezeichnet, welche sich auf dem jeweiligen Standort nach Aufhören jeder menschlichen Einflußnahme einstellen würde. Dies stellt einen aktualistischen Ansatz dar (KOWARIK 1987), welcher bewußt jene irreversiblen Standortsveränderungen mit einschließt, welche auf menschliche Tätigkeit zurückzuführen ist. Verwendung findet dieses Konzept besonders bei der Beschreibung der Naturnähe von Ökosystemen, dem Konzept der *Hemerobie* (SUKOPP 1969, 1972, BLUME & SUKOPP 1976), und auch in der forstwirtschaftlichen Erhebung von Standortpotentialen (vgl. ÖSTERREICHISCHES STATISTISCHES ZENTRALAMT & FORSTLICHE BUNDESVERSUCHSANSTALT WIEN 1995). Aus theoretischer Sicht enthält die Beeinflussung des Standing Crop aber auch eine historische Komponente und muß irreversible Störungen miteinschließen (als

Zustände, welche auf menschliche Eingriffe ['pressures on the environment'] folgen). Das aktualistische Konzept der potentiell-natürlichen Vegetation wäre als Bezugswert dazu weniger geeignet.

Die Unterschiede, welche sich aus den beiden unterschiedlichen Ansätzen ergeben, sind jedoch eher theoretischer Natur, als daß sie wirklich das Ergebnis der Untersuchung beeinflussen würden. Diskussionspunkt stellen dabei die 'Ersatzgesellschaften' dar, welche aber im Rahmen der vorliegenden Untersuchung keine Rolle spielen. Ersatzgesellschaften sind jene Gesellschaften, welche bei irreversiblen Standortveränderungen die Klimaxgesellschaft 'vertreten' ÖSTERREICHISCHES STATISTISCHES ZENTRALAMT & FORSTLICHE BUNDESVERSUCHSANSTALT WIEN 1995).

Das im Rahmen dieser Untersuchung eingesetzte Konzept der hypothetischen natürlichen Vegetation beschreibt die Summe der Schlußwald- und Dauergesellschaften, also der Klimaxgesellschaften, des zu untersuchenden Gebietes. Die Klimaxvegetation repräsentiert über weite Flächen ein Mosaik von Schlußwäldern, und ist einerseits großklimatisch und durch die Höhenstufen bedingt (zonale Vegetation), andererseits von lokalklimatischen, edaphischen und Grundwasser-Bedingungen abhängig (azonale Vegetation; WAGNER 1984). Die azonale Vegetation erreicht nur kleinräumige Ausdehnungen.

2 Datengrundlagen

Der oberirdischen Standing Crop der Gemeinden Österreichs kann nicht direkt gemessen werden, sondern muß anhand von Modellen geschätzt werden. Die Erstellung eines Biomasse-Inventars für eine vielgestaltige Landschaft muß in zwei Schritten erfolgen, wenn auf funktionale Modelle nicht zurückgegriffen werden kann:

- a) in der Aufteilung der Landfläche in Flächenkategorien mit ähnlichem vegetations-ökologischen Charakter (für Methoden siehe Z.B. FINK ET AL. 1989), und
- b) in der Quantifizierung des Inventars für diese Fläche.

Somit sind auch zwei verschiedene Datensätze für die Erhebung des oberirdischen Standing Crop von Bedeutung: a) Ermittlung von Standing-Crop-Werten von Vegetationseinheiten, und b) Aufteilung der Fläche Österreichs in homologe Flächeneinheiten bezüglich der Vegetationstypen. Diese zwei Schritte, und damit auch Datensätze, müssen jeweils für die hypothetisch natürliche und für die aktuelle Vegetation angewandt bzw. gewonnen werden. Im folgenden sollen die Quellen dieser Datensätze vorgestellt werden. Zu bemerken ist, daß nicht Primärdaten selbst erhoben wurden, sondern daß sich die vorliegende Untersuchung auf schon erhobene Daten stützt, diese unter den relevanten Gesichtspunkten verarbeitet, und so 'Sekundärdaten' produziert. Die Abschätzung des Standing Crop der aktuellen Vegetation bezieht sich in Anlehnung an HABERL (1995) auf das Jahr 1990. Für diesen Zeitpunkt sind vor allem flächenstatistische Daten relativ leicht verfügbar, und durch die Wahl dieses Zeitpunktes ist die Vergleichsmöglichkeit mit der Erhebung der Aneignung von Nettoprimärproduktion in Österreich (ebda.) gewährleistet.

2.1 Flächenstatistische Grundlagen

Im ersten Schritt muß die Fläche Österreichs in homogene Flächen aufgeteilt werden. Dabei dient die Gemeinde als Basis der Einteilung. Dies bedeutet, daß die Berechnungen für alle ca. 2300 österreichischen Gemeinden durchgeführt wurden. Die Darstellung hingegen erfolgt aggregiert auf Bezirksniveau und auf dem Niveau der Bundesländer und des gesamten Bundesstaates. In Österreich gab es am 1.1.1986 2305 Gemeinden, welche in 99 Bezirken zusammengefaßt sind (davon 15 Statutarstädte und 84 'Landbezirke'. Diese werden wiederum zu 9 Bundesländern zusammengefaßt. Die Darstellung der Gemeindedaten ist aufgrund von methodischen Schwierigkeiten nicht repräsentativ, und soll nur in Form von Karten veranschaulicht werden (siehe Farbtafeln 1 bis 5).

2.1.1 Hypothetische natürliche Vegetation

Dem untersten Aggregationsniveau, den Gemeinden, wurde anhand einer Auswertung des Österreichischen Forschungszentrum Seibersdorf, Hauptabteilung Umweltplanung, eines geographischen Informationssystems (Raster 1 mal 1 km) die Anteile der einzelnen Höhenstufen zugewiesen. Die Höhengrenzen sind darin wie folgt gegeben: 600m, 1400m, 1800m, 2200m, 2800m. Diese Grenzen entsprechen dabei zum größten Teil den ökologischen Höhenstufen. Details zu dieser Vorgangsweise finden sich im Kapitel 3.1 'Methodik: Standing Crop der hypothetischen natürlichen Vegetation'. Die Gewässerflächen wurden bei der Aufteilung der Fläche Österreichs nicht mit einbezogen. Diese finden in der Berechnung des oberirdischen Standing Crop keine Berücksichtigung, und daher wird deren Flächenanteil 'ausgeklammert'. Im Sinne der Ermittlung des Standing Crop für die hypothetische natürliche Vegetation wurde dabei auf die aktuelle Gewässerfläche zurückgegriffen.

2.1.2 Aktuelle Vegetation

Zur Ermittlung von homogenen Flächenanteilen der aktuellen Vegetation wurden flächenstatistische Daten herangezogen. Maßgebend für die Erhebung ist die Bodennutzungserhebung für das Jahr 1990 (ÖSTAT 1990). Tabelle 2.1.1 zeigt die vorgenommene Untergliederung der Fläche Österreichs bzw. der Gemeinden. Verknüpft werden diese Angaben mit dem vom ÖFZS errechneten Gemeindeanteil an den Höhenstufen, diesmal im Unterschied zur Berechnung des Standing Crop der hypothetischen natürlichen Vegetation mit den Grenzen 600m, 1700m, 2200m, 2800m. Die Grenze 1700m (Beginn der Höhenstufe 4, H4) liegt unter der ökologischen Höhenstufe (s.o.) Dieser Fehler wird im folgenden korrigiert (siehe Kapitel 3.2 'Methodik: Standing Crop der aktuellen Vegetation').

Tabelle 2.1.1.: Untergliederung der Fläche Österreichs zur Ermittlung des aktuellen Standing Crop

Bodennutzungskategorie	statistische Quelle
1. Landwirtschaft Ackerland Gärten Weingärten Obstanlagen	Bodennutzungserhebung
2. Grünländer Wiesen, ein- und mehrschnittig, Streuwiesen, Grünlandbrachen Kulturweiden, Hutweiden Almen: Niederalmen, Mittelalmen, Hochalmen	Bodennutzungserhebung Sonderauswertung Almerhebung
3. Verbaute Fläche Bauflächen Verkehrsflächen	Häuser- und Wohnungszählung; Grundstückdatenbank
4. Wald	Restfläche (s. Text)
5. alpine Urvegetation	H4, H5 (ÖFZS) minus Hochalmen
6. Gewässer	Bodennutzungserhebung

Die unterste Höhenstufe wurde, wie bei den flächenstatistischen Daten zur Berechnung des Standing Crop der hypothetischen natürlichen Vegetation, um die

Gewässerfläche vermindert, da diese bei der Berechnung des Standing Crop nicht berücksichtigt wird. Die Waldfläche stellt eine Restfläche dar, welche sich aus der methodischen Vorgangsweise ergibt (vgl. Kapitel 3.2 'Methodik: Standing Crop der aktuellen Vegetation' - siehe dazu auch HABERL 1995).

Wichtigste Grundlage für die Ermittlung der Flächenanteile der aktuellen Vegetation stellt die Bodennutzungserhebung 1990 dar. Diese enthält flächenstatistische Daten auf Gemeindeebene für die folgenden Kategorien:

- Ackerland, mit zwei Untergruppen:
 - Ackerland 1: Weizen, Roggen Gerste, Hafer, Winter-, Sommergetreide, Körnermais, Silo- und Grünmais, Kartoffeln, Rüben, Raps/Rübsen, Sonnenblumen, Rotklee, Luzerne und Klee gras
 - Ackerland 2: sonstiger Feldfutterbau, Feldgemüse, Handelsgewächse, Heil- und Gewürzpflanzen, sonstige Ölfrüchte, Hülsenfrüchte, sonstige Körnerfrüchte und Erdbeeren
- Gartenland: Obstanlagen, Haus-, Erwerbsgärten, Weingärten
- Grünland: einschnittige Wiesen, mehrschnittige Wiesen, Kulturweiden, Hutweiden, Streuwiesen, Egart, Acker- und Grünlandbrache

Die Bodennutzungserhebung nimmt jedoch nicht alle Flächen in die Statistik auf, sondern nur solche mit einer 'relevanten Mindestfläche' von 0.5 ha. Aufgenommen werden die Daten nach dem Wirtschaftsprinzip, welches besagt, daß die Fläche einer Gemeinde zugesprochen wird, aus welcher der Besitzer stammt. Dies führt in Folge zu flächenstatistischen Fehlern.

Die versiegelten Flächen werden anhand von verschiedenen Datenquellen ermittelt, welche teilweise recht große Fehler beinhalten. Eine ausführliche Diskussion dazu findet sich bei HABERL (1995). In Ermangelung besserer Datengrundlagen wird jedoch auf diese Quellen zurückgegriffen.

2.2 Standing Crop - Werte

2.2.1 Hypothetische natürliche Vegetation

Wie bereits im Kapitel 1.2 'Begriffe' angesprochen, stammen die meisten Daten zur Ermittlung des Standing Crop der hypothetischen natürlichen Vegetation aus dem 'International Biological Programm' der 70er Jahre. Die wohl umfangreichste Zusammenstellung von Daten findet sich bei CANNELL (1982), welcher in standardisierter Form produktionsökologische Daten der Wälder der Untersuchungen des IBP bis 1982, und zwar weltweit, beinhaltet. Und die hypothetische natürliche Vegetation Österreichs wird hauptsächlich von Wäldern gebildet. Da dort nur wenige Angaben über Wälder in Österreich zu finden sind, wurden auch aktuellen Daten aus Erhebungen der Universität für Bodenkultur, Wien, zur Vervollständigung des Datensatzes aufgenommen (SCHOPFHAUSER 1992, PERTLIK 1982, BLAY 1989). Alle diese Daten sind vollständige Biomasseaufnahmen von Wäldern bzw. Bäumen, und nicht nur 'Forstinventare' im herkömmlichen Sinne. Denn diese beschränken sich auf bestimmte Kompartimente - wie z.B. die *Dendromasse*, also die reine Stammasse – und sind für die vorliegende Untersuchung nicht unmittelbar verwendbar.

Alle Methoden zur Ermittlung des oberirdischen Standing Crop stützen sich auf Daten aus Felduntersuchungen, wobei mehrere Methoden und Techniken zum Einsatz kommen. Als primäres Ziel des IBP galt nicht so sehr die Aufnahme und Quantifizierung des Standing Crop, sondern eher die der Produktivität. Diese wurde zumeist aus dem Vergleich von Biomassewerten verschiedener Vegetationsperioden gewonnen, und so ergaben sich die Standing Crop-Daten als 'Nebenprodukt'. Der Vergleich der verschiedenen Aufnahmetechniken (vgl. CANNELL 1982) hingegen bereitet einige Probleme, welche jedoch durch die standardisierte Form der Präsentation beseitigt zu sein scheinen.

Vier Formen der Datenaufnahme zur energetisch/ökologischen Quantifizierung von Wäldern sind bei CANNELL (1982) beschrieben:

- a) Kahlschlag der gesamten Probefläche und Messung der Masse der einzelnen Kompartimente.
- b) Entwicklung von Regressionsgleichungen zwischen bestimmten Dimensionen und Größen von Probeexemplaren und der Trockenmasse von einzelnen Kompartimenten. Diese Gleichungen wurden in Folge auf alle Bäume des Untersuchungsgebietes angewandt. Gängigste Größen sind der Brusthöhendurchmesser (BHD oder DBH – 'Diameter at breast height') und die absolute Baumhöhe.
- c) Berechnungen unter der Annahme, daß das Verhältnis der Grundfläche von geernteten Bäumen ('basal area') zu deren Biomasse gleich ist wie die Summe aller Grundflächen aller Bäume zu deren gesamter Biomasse.
- d) Die Trockenmasse von durchschnittlichen Bäumen (bzgl. BHD und Höhe) wurde mit der Anzahl der Bäume auf der Probefläche multipliziert.

Daraus ist ersichtlich, daß zur Erhebung von produktionsökologischen Daten zumeist der Standing Crop gemessen wird. Aus der Differenz im Standing Crop zweier aufeinanderfolgender Vegetationsperioden kann die NPP abgeschätzt werden. Die Nettoprimärproduktion könnte zwar auch aus der Photosynthese und der Respirationsrate errechnet werden, beide Parameter sind jedoch für ganze Ökosysteme sehr schwierig zu erheben. So wird die NPP häufig über Messungen der Biomasseveränderung verschiedener Gewebe im Laufe eines Jahres ermittelt. Folgende Annahme wird bei solchen Abschätzungen zugrundegelegt:

$$\mathbf{NPP = \Delta B + D + C}$$

ΔB = Änderung der Biomasse

D = Detritus (Feinlaub-turnover), im Laufe eines Jahres

C = Konsum von Biomasse durch Tiere innerhalb eines Jahres

Alle diese Methoden sind statistisch gut abgesichert. Da die Erhebung der NPP sich als um vieles schwieriger herausstellt als jene des Standing Crop, sind diese Daten besonders detailliert und können als belastbar erachtet werden. Daher können die IBP-Daten, trotz allen ihnen inhärenten Fehlern und Ungenauigkeiten, für die Abschätzung von oberirdischen Standing Crop-Daten durchaus herangezogen werden. Durch den definitionsgemäßen Ausschluß der subterrestrischen Vegetation (siehe Kapitel 'Begriffe und Definitionen'), welche als größter Unsicherheitsfaktor angesehen wird, können sie als repräsentativ und belastbar gelten.

2.2.2 Aktuelle Vegetation

Zur Ermittlung von Standing Crop-Werten der aktuellen Vegetation mußten mehr Kategorien berücksichtigt werden, als dies bei der hypothetisch natürlichen Vegetation der Fall war. Grundlage zur Ansprache von homogenen Einheiten war die Flächenaufteilung und die dazu verwendeten statistischen Quellen (s.o.). In Tabelle 2.2.1 sind die verwendeten Kategorien der aktuellen Vegetation und die Methode zur Abschätzung der jeweiligen Standing Crop-Werte aufgeführt. Detaillierte Beschreibungen der Methoden finden sich im Kapitel 3 'Methodik'.

Tabelle 2.2.1.: Flächenkategorien der aktuellen Vegetation und Methodik der Ermittlung von repräsentativen Flächenwerten des oberirdischen Standing Crop

Kategorien	Regionale Gliederung	Methode zur Ermittlung von Flächenwerten des oberirdischen Standing Crop
Bebaute Flächen	Bund	einheitlicher Flächenwert
Ackerland	pol. Bezirk	Erntestatistik 1990
Gärten	Bund	einheitlicher Flächenwert
Grünland	Bund	einheitlicher Flächenwert
Hochalmen	Bund	einheitlicher Flächenwert
Wald	pol. Bezirk	Bundesforstinventur 1986/90
Bau-, Verkehrsflächen	Bund	einheitlich Null
alpine Urvegetation	Bund	einheitlicher Flächenwert

Die Bundesforstinventur

Wichtig bei der Abschätzung von repräsentativen Werten für die aktuelle Vegetation ist unter anderem die Auswertung der Bundesforstinventur (BFI), welche in Fünfjahresschritten für Österreich von der Forstlichen Bundesversuchsanstalt durchgeführt wird. Die Erhebung der österreichischen Forstinventur beruht auf einem systematischen Stichprobenverfahren, dessen Erhebungseinheiten, sowohl permanente als auch temporäre Trakte, über das gesamte Bundesgebiet verteilt sind. Schwerpunkt liegt dabei auf den Zustandsveränderungen bezüglich Betriebs- und Eigentumsart, Waldfläche, Vorrat, Zuwachs und Nutzung, Baumartenanteile, Stammzahl, Alters- und Durchmesserklassen, Waldschäden, Erschließung und Pflegemaßnahmen.

Für die vorliegende Untersuchung von Bedeutung ist die Forstinventur von 1986/90 (SCHIELER et al. 1996). Diese enthält Daten über Bestockung und Zuwachs der Wälder, getrennt nach Baumart und Altersklasse, die Flächen der verschiedenen Wälder nach Betriebsart (Hochwald [=Wirtschaftswald, Schutzwald im Ertrag, Schutzwald außer Ertrag] und Ausschlagwald; wobei im Schutzwald a. E. keine Vorratsdaten aufgenommen werden, und dieser dem Ertragswald gegenübergestellt ist) und Flächenverteilung der Waldtypen (Nadel-, Laub- und Mischwald). Auch werden Blößen und Lücken, sowie Strauchflächen und Sträucher im Bestand, aufgenommen. Hier sind ebenfalls nur die Flächen erhoben.

Die Bundesforstinventur liefert Daten auf 3 verschiedenen Aggregationsniveaus. Niedrigste Einheit ist die Bundesforstinspektion oder -bezirk, welche allerdings nicht mit der Einteilung Österreichs in politische Bezirke übereinstimmt. Durch Zusammenfassung von Bezirken bzw. Forstbezirken ist es jedoch möglich, deckungsgleiche Einheiten zu erhalten. Nächstes Niveau sind die Bundesländer, welche mit den politischen Untergliederung in Einklang sind, und als letzte Ebene der gesamte Bund, also ganz Österreich.

Die Bundesforstinventur erhebt sowohl Zustandswerte als auch -veränderungen. Je nach Aggregationsniveau werden unterschiedliche Ansätze der Aufnahme verfolgt, welche in den Zwischensummen und in der Endsumme zu Unterschieden führen. Während bei der kleinsten Aggregationsebene, den Bundesforstinspektionen, sowohl permanente als auch temporäre Aufnahmestandorte in die Bilanz einfließen, beziehen

sich die höheren Niveaus (Bundesländer bzw. Bund) ausschließlich auf die permanenten Standorte. Dies ist ein Grund für die Unterschiede bezüglich der verschiedenen Auswertungsergebnisse.

Der Vorrat wird in Vorratsfestmetern [Vfm], also dem Volumen der stehenden Schaftmasse inklusiv der Rinde, aufgenommen, und zwar getrennt nach Baumarten und Altersklassen, und zwar nur für den Ertrags- und Ausschlagwald. Wald als solcher wird nur mit einer Mindestfläche von 500m² angesprochen. Der Schutzwald außer Ertrag wird nur flächenmäßig erhoben.

Aufgenommen wird nach dem Prinzip des Umfanges auf Brusthöhe (Brust-Höhen-Durchmesser - BHD; oder 'diameter breast height - DBH'), eine etablierte Technik der Forstwirtschaft, welche auch gute Korrelationen bzgl. des Standing Crop ergibt (WARING & SCHLESINGER 1985). Das Stichprobenverfahren folgt der 'Winkelzählprobe' (WZP). Die Aufnahme nach Altersklassen erfolgt in 20-Jahres-Schritten, wobei nur Bäume mit einem BHD von mindestens 5 cm, der sog. 'Kluppschwelle', aufgenommen werden.

Diese Altersklassen beschreiben das absolute Bestandesalter und sind in Zwanzig-Jahresschritten gestaffelt, also von 1-20 Jahren, 21-40, 41-60, 61-80, 81-100, 101-120, über 121 Jahren, und Überhälter bzw. Vorwuchs (Bestockungsglieder, welche im Vergleich zu dem sie umgebenden Hauptbestand einen erheblichen Wuchsvorsprung haben).

Die Forstinventur weist jedoch nicht 'Wälder' als solche aus, sondern 'Baumartenareale'. Das heißt, es wird der prozentuelle Anteil der einzelnen Baumarten in einer Erhebungsfläche ermittelt, und diese Anteile werden separat für jede Baumart addiert. So wird die Summe von Baumarten in Rein- und in Mischbeständen angegeben. Die Ansprache erfolgt also nicht nach Gesellschaften im vegetationsökologischen Sinn. Mischbestände werden nur auf Flächenbasis verarbeitet.

Die Erntestatistik

Zur Berechnung des Standing Crop auf den landwirtschaftlich genutzten Flächen wurde die Erntestatistik herangezogen. In Österreich ist die landwirtschaftliche Ernte aller relevanten Ackerbauprodukte sowie die Klee- und Heuernte auf dem Ackergrünland, auf Egärten und auf Dauer- und Streuwiesen erfaßt. Die Daten liegen auf Ebene der Bezirke vor und stammen von jährlichen Schätzungen. Während sich bei landwirtschaftlich genutzten Flächen die Ernte mit der NPP und damit auch mit dem Standing Crop über geeigneten Faktoren (z.B. 'harvest indices') korrelieren lassen (annuelle Pflanzen mit einmaliger Ernte), trifft dies nicht für das Grünland im allgemeinen zu (mehrmalige Ernte). Die Erntestatistik kann als belastbar betrachtet werden, da die Ernte ein seit jeher wichtigen wirtschaftlichen Faktor darstellt, und die Ernte somit entsprechend 'genau' erhoben wird. Für Details siehe Kapitel 3.2 'Methodik: Standing Crop der aktuellen Vegetation'.

2.3 Umrechnung von Masse- in Energieeinheiten und in Kohlenstoffgehalte

In dieser Arbeit sollen die Werte letztendlich in drei Einheiten angegeben werden: In Trockenmasse, in Energieeinheiten, und in Kohlenstoffgehalt. In der Literatur finden sich Daten zum Standing Crop im allgemeinen in Masseeinheiten (Trockensubstanz) oder, vor allem in letzter Zeit auch als Kohlenstoffgehalte. Daher ist eine Umrechnung innerhalb dieser drei Einheiten notwendig.

Umrechnung in Energiegehalt

Die Umrechnung von Masse in Energieeinheiten geschieht hier auf der Basis von kalorimetrischen 'Brennwerten'. Eine Zusammenfassung findet sich bei HABERL (1995, S. 22), in Tabelle 2.3.1 finden sich daher nur die wichtigsten Schätzungen.

Tabelle 2.3.1.: Brennwerte verschiedener pflanzlicher Materialien

Material/Arten	Quelle	Brennwert Trockensubstanz [MJ/kgDM]
Sommergrüner Laubwald	Lieth 1975b	19,3
Warm-temperierter Mischwald	Lieth 1975b	19,7
Borealer Wald	Lieth 1975b	20,1
Temperates Grasland	Lieth 1975b	16,8
Krautige Pflanzen auf brachliegendem Feld	Golley 1961	17,5
Weltdurchschnitt Pflanzenbiomasse	Whittaker et al. 1975	17,8
Durchschnitt pflanzliche Substanz	Odum 1983	18,8
Alpine Flechten	Schmidt 1974	18,2
Alpine krautige Pflanzen	Schmidt 1974	19,7
Alpine Zwergsträucher	Schmidt 1974	22,4

Quelle: HABERL (1995)

Diese Umrechnungsfaktoren stellen Richtzahlen dar, da die Energiegehalte von pflanzlichen Materialien saisonalen Schwankungen bis zu 5% unterworfen sind (KLUG-PÜMPEL 1989). Der Energiegehalt der Vegetations-Biomasse steigt im allgemeinen mit der Höhenlage und ist in kühlen, niederschlagsreichen Jahren höher als in warmen, trockenen (CERNUSCA ET AL. 1989).

Umrechnung in Kohlenstoffgehalt

Biologische Trockenmasse besteht etwa zur Hälfte aus organisch gebundenem Kohlenstoff. Dieser Kohlenstoff wird aus der Atmosphäre in Form von CO₂ aufgenommen und im Laufe der Photosynthese in organischen Verbindung gespeichert. Die Speicherung erfolgt hauptsächlich in Form von Kohlenhydraten. Diese erreichen 60% oder mehr an der Trockensubstanz von höheren Pflanzen (LARCHER 1984). Damit ist Kohlenstoff quantitativ die größte Fraktion von Biomasse.

Als Kohlenstoffgehalt von Holz werden von WOODWELL & WHITTAKER (1968) 47%, und für Blätter krautiger Pflanzen 45% angenommen. KIMURA (1963, zit. in AJTAY ET AL. 1979) gibt für Blätter von Holzpflanzen einen Kohlenstoffgehalt von 41,5% an. THÖRNQUIST (1985, zit. in HAKKILA 1989) unterscheidet nach Kompartimente der

Bäume in Stamm, Rinde, Zweige und Blätter. Die angegebenen Werte lauten hierfür 50,2%, 49,8%, 50,2% und 49,8%. Für die Berechnungen in vorliegender Arbeit wurde in Übereinstimmung mit KÖRNER ET AL. (1993) einheitlich ein Wert von 45% verwendet. Dieser deckt sich mit Angaben von LARCHER (1984) und LIETH & WHITTAKER (1975) für den Gehalt an Kohlenstoff von Phytomasse bzw. den für den Mittelwert von Ökosystemen. Die globalen Kohlenstoffinventare von AJTAY ET AL. (1979) und OLSON ET AL. (1983) wurden ebenfalls auf Basis dieses Wertes errechnet.

3 Methodik

3.1 Standing Crop der hypothetischen natürlichen Vegetation

Wie eingangs erwähnt, stellt die hypothetische natürliche Vegetation jene Pflanzendecke dar, welche sich ohne jegliche menschliche Einflußnahme auf einer geographischen Einheit gebildet bzw. erhalten hätte. Sie stellt somit den 'Urzustand' dar, in welchem die Natur ohne Menschen wäre, oder einen Zustand prähistorischer Zeit, vor jeder menschlichen Nutzung, jedoch mit gegenwärtigen klimatischen Bedingungen. In dieser Untersuchung stellt die hypothetische natürliche Vegetation den Vergleichswert zur aktuellen Vegetationsbedeckung dar. Aus diesem Vergleich sollte der Einfluß des Menschen auf die terrestrischen Ökosysteme quantifiziert werden.

Bei der Ermittlung des Standing Crop der hypothetischen natürlichen Vegetation wird nur die zonale Vegetation Österreichs berücksichtigt. Die azonale Vegetation erreicht nur kleinräumige Ausdehnungen und fällt so im Rahmen der angestrebten Genauigkeit kaum ins Gewicht. Daher schließt vorliegende Arbeit die Erhebung der azonalen Vegetation, und damit auch der Ersatzgesellschaften, aus.

Vegetationseinheiten der hypothetischen natürlichen Vegetation sind Wälder, und, über der Waldgrenze, alpine Grasländer und Matten. Die Wälder unterscheiden sich in bezug auf Artenzusammensetzung und geographische Verbreitung. Beides wird durch großklimatische Faktoren bestimmt. Dies führt zur Ausbildung von 'Wuchsbezirken' und, im Bereich der Alpen, zu den 'Höhenstufen'. Zur Ermittlung des Standing Crop der potentiellen Vegetation ist folglich eine Unterscheidung von Arealen notwendig, welche von jeweils einem Vegetationstyp charakterisiert sind. In Folge müssen für alle unterschiedenen Vegetationseinheiten Werte für den Standing Crop der potentiellen Vegetation gefunden werden.

3.1.1 Standing Crop-Werte für die Vegetationseinheiten der hypothetischen natürlichen Vegetation

3.1.1.1 Wälder

Die potentiellen Vegetation Österreichs wird vornehmlich von Wäldern aufgebaut. Es handelt sich dabei um Klimax- und Schlußwaldgesellschaften, da alle menschlichen Störungen des ökologischen Gleichgewichts ausgeschlossen werden. Die Standing Crop-Werte wurden aus Primärquellen entnommen und entstammen zum größten Teil dem Internationalen Biologischen Programm (IBP) der 70er Jahre (zusammengestellt in CANNELL 1982) und Daten aus Erhebung der Universität für Bodenkultur, Wien (zur detaillierteren Beschreibung siehe Kapitel 2 'Datengrundlage'). Aus den Daten des IBP wurden nur jene berücksichtigt, welche in klimatisch ähnlichen Regionen wie Österreich aufgenommen wurden, also Daten aus Untersuchungen in Belgien, Bulgarien, Kanada, Dänemark, Finnland, Frankreich, Deutschland, Ungarn, Irland, Italien, Nepal, Niederlande, Polen, Rumänien, Schweden, in der Schweiz, Großbritannien, in den U.S.A., und in der ehemaligen U.d.S.S.R. Auch wurden zunächst Daten aus Japan aufgenommen; diese fanden jedoch im weiteren aufgrund der mangelnden taxonomischen Vergleichbarkeit nicht Eingang in die Analysen.

Aus diesen Primärdaten wurden folgende Angaben aufgenommen:

- Alter des Bestandes
- Pflanzung/natürlicher Bestand
- Laubwald/Nadelwald
- Biomasse als Summe der einzelnen Kompartimente:
 - Stamm
 - Borke
 - Zweige
 - Blätter
 - Früchte
 - Unterwuchs

- Seehöhe
- geographische Lage.

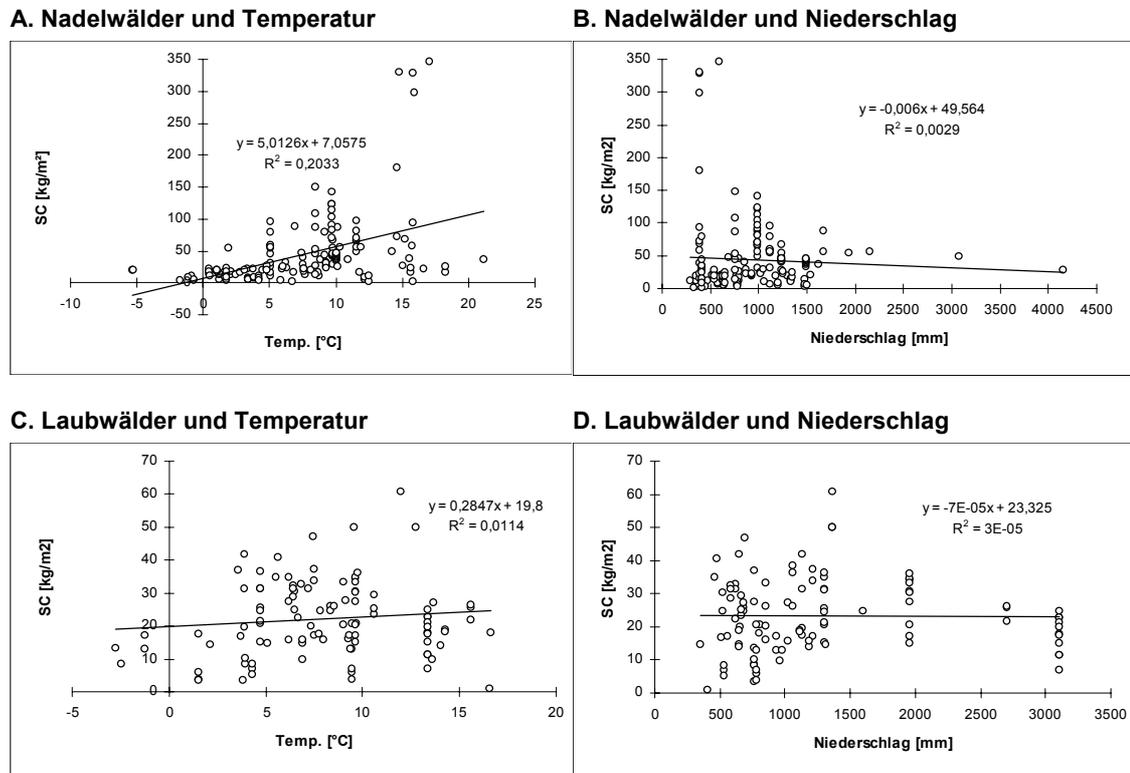
Anhand des 'Klimadiagramm-Weltatlas' von WALTER & LIETH (1960) wurden aus der geographischen Lage und der Seehöhe die durchschnittliche Jahrestemperatur und der Niederschlag des Ortes der jeweiligen Aufnahme ermittelt.

Korrelation des Standing Crop mit großklimatischen Bedingungen

Die Abhängigkeit der einzelnen Variablen voneinander wurde mittels des Pearson-Tests ermittelt. Dabei zeigte sich, daß der Standing Crop besonders vom Alter des Bestandes abhängig ist (Pearson 0,72). Alle anderen Korrelationen sind nicht signifikant. Auffallend ist, daß kein statistischer Unterschied zwischen Pflanzungen und natürlichen Beständen, und kaum zwischen Laub- und Nadelwäldern in Hinsicht auf den Standing Crop gefunden wurden (Pearson -0,03 bzw. 0,24).

Auch wurde keine Abhängigkeit des Standing Crop von großklimatischen Bedingungen gefunden. Regressionsrechnungen aufgrund von Klimawerten (z.B. der einzelnen Höhenstufen) kamen wegen der zu geringen Korrelationen nicht zustande. Um das Alter als intervenierende Variable zu eliminieren, wurden nur Bestände mit mindestens 60 Jahren Alter ausgewählt. Trotzdem wurden keine signifikanten Korrelationen gefunden. Dies galt sowohl für die Jahresdurchschnittstemperatur als auch für den mittleren Jahresniederschlag. In Abbildung 3.1.1 ist eine dieser Korrelation an den Nadel- und Laubwäldern dargestellt. Infolgedessen war es nicht möglich, funktionale Modelle zu verwenden. Dabei hätten für die Höhenstufen österreichweite Mittelwerte der klimatischen Bedingungen festgesetzt, und anhand von Regressionen mittlere Standing Crop Werte für diese Höhenstufen verwendet werden sollen. Ein alternatives Höhenstufenmodell mußte gefunden werden (s.u.)

Abbildung 3.1.1 Beziehung zwischen Standing Crop und Klima bei Nadel- und Laubwäldern



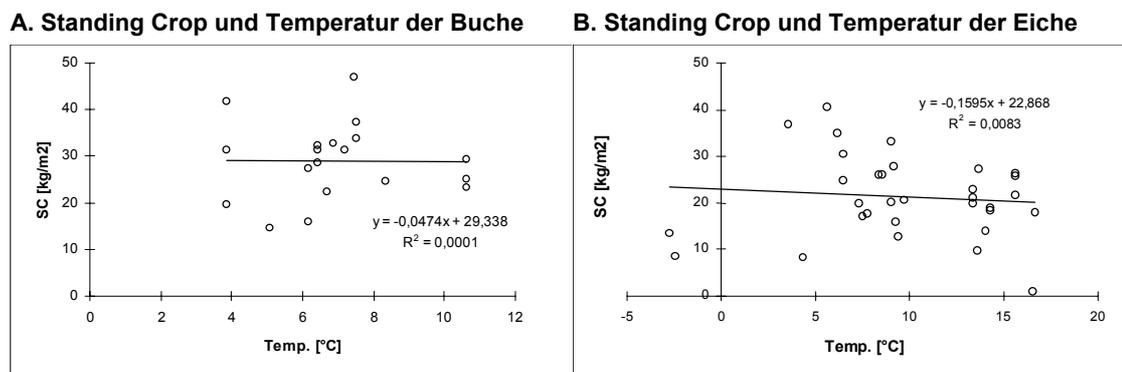
Quelle: verschiedene Autoren zit. nach CANNELL (1982), Klimadaten WALTER & LIETH (1960) , eigene Berechnungen

Die einzelnen Datenpunkte stellen Primärdaten dar, mit einem Mindestalter des Bestandes von 60 Jahren. Die 'Ausreißer' der Abbildungen A. und B. sind *Sequoia sempervirens*-Bestände.

Die 'Ausreißer' der Nadelwälder (vgl. Abbildung 3.1.1 A. und B.) sind dabei die *Sequoia sempervirens*- Bestände, welche bei ähnlicher klimatischer Grundbedingung entscheidend höhere Standing Crop Werte erreichen.

Daraufhin wurde versucht, Regressionen für die einzelnen, in Österreich heimischen Arten durchzuführen. Doch auch hier liegt das Bestimmtheitsmaß jeweils unter 1%, also zeigt sich keine signifikante Korrelation. Als Beispiel seien hier die Beziehung des Standing Crop der Buche (*Fagus sylvatica*) und der Eiche (*Quercus sp.*) von der Jahresdurchschnittstemperatur aufgeführt. Man könnte annehmen, daß in Zonen mit höherer Temperatur auch ein größerer Standing Crop vorhanden sei. Doch wie Abbildung 3.1.2 A. und B. zeigt, findet sich eine solche Beziehung auch nicht annähernd.

Abbildung 3.1.2 Beziehung zwischen Standing Crop und Jahresdurchschnittstemperatur von in Österreich heimischen Baumarten

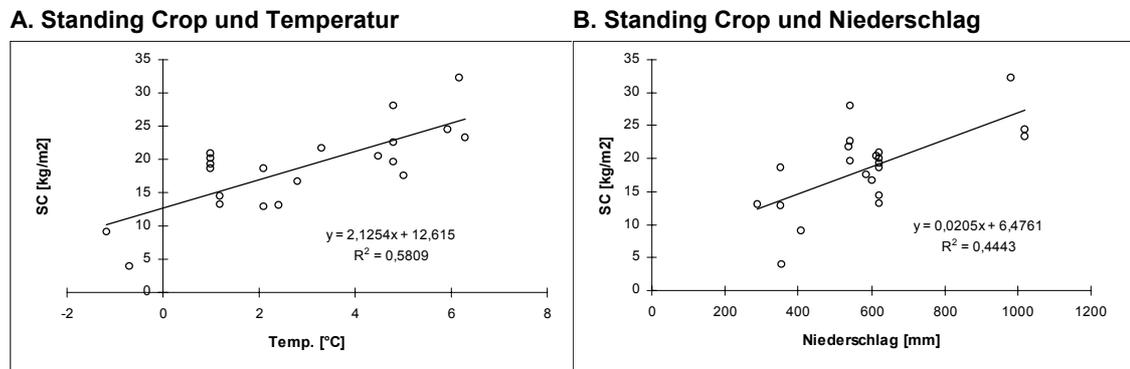


Quelle: verschiedene Autoren, eigene Darstellung

Die einzelnen Datenpunkte stellen Primärdaten dar mit einem Mindestalter des Bestandes von 60 Jahren.

Eine Ausnahme stellt dabei die Fichte dar (vgl. Abbildung 3.1.3). Hier zeigten sich relativ 'gute' Korrelationen (Bestimmtheitsmaß von 58% bzw. 44% für Temperatur bzw. Niederschlag). Ihr Areal reicht über mehrere Klimazonen, dies könnte ein Grund für die relativ signifikanten Klimakorrelationen sein. Deshalb wurden bei der Fichte auch zwei verschiedene Typen aufgenommen: temperate Aufnahmen für die montane Fichte und boreale für die subalpine (siehe unten).

Abbildung 3.1.3 Beziehung zwischen Standing Crop der Fichte (*Picea abies*) und Klima



Quelle: verschiedene Autoren, eigene Darstellung

Die einzelnen Datenpunkte stellen Primärdaten dar mit einem Mindestalter des Bestandes von 60 Jahren.

Während die NPP innerhalb einer Formation kaum von der Spezies, jedoch stark von den großklimatischen Bedingungen abhängt (vgl. das "MIAMI-Modell" von LIETH 1973, 1975), zeigt sich eine solche Beziehung bei der Ausbildung des Standing Crop nicht. Die Betrachtung der Daten zeigt deutlich die Abhängigkeit der oberirdischen Biomasse von der Art selbst. *Sequoia sempervirens* z.B. baut bei ähnlicher ANPP wie die der europäischen Wälder erheblich höhere Bestockungswerte auf (siehe Abbildung 3.1.1).

Korrelation des Standing Crop mit dem Alter des Bestandes

Die 'Pearson'-Analyse des Datensatzes zeigt deutlich eine Abhängigkeit des Standing Crop vom Alter des Bestandes. Für diese Analyse ergab sich ein Pearsonindex von 0,72 für alle Arten gemeinsam. Zur Ermittlung von repräsentativen Standing Crop-Werten der Vegetationseinheiten ist es notwendig, einen maximalen Standing Crop abzuschätzen, welcher sich im Laufe der Alterung von Beständen einstellt und auch aufrecht erhalten bleibt. Der Verlauf der Sukzession, der 'Reifung' von Ökosystemen, ist bei dieser Betrachtung von entscheidender Bedeutung.

Im Verlauf der Sukzession von Pionierstadien bis hin zum (hypothetischen) Klimaxstadium wird Biomasse akkumuliert, bis ein bestimmter Höchstwert erreicht ist. Jedoch wird diese 'maximale potentielle Biomasse' nie erreicht, sondern durch

Störungen und Katastrophen herabgesetzt und oszilliert dann um einen Wert, die sog. 'maximalen persistenten Biomasse' (REICHLE ET AL. 1975, S.29). Je härter die Bedingungen oder größer die Frequenz der Störungen, desto mehr wird die maximale Biomasse herabgesetzt.

Laut SPRUGEL (1985, S. 337) erfolgt die Sukzession von Ökosystemen in 4 Stadien:

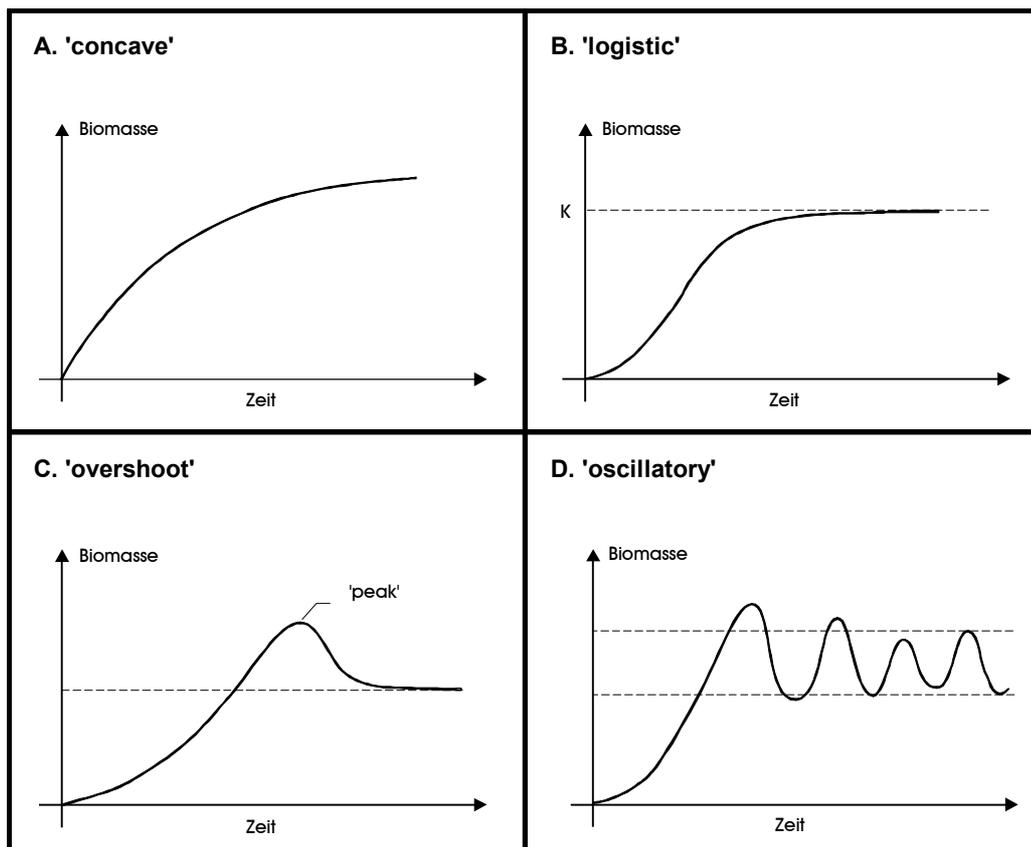
1. **'Stand reinitiation'** (reorganization phase): Kräuter, Sträucher dominieren für 1-10 Jahre, Baum- und Strauchkeimlinge etablieren sich ebenfalls, bis sie den Standort dominieren.
2. **'Aggradation phase – Anfang'**: die holzigen Arten dominieren den Standort, weitere Invasion von Keimlingen hört auf. 'Kronenschluß' ('crown closure') wird erreicht (Licht muß nicht der limitierende Faktor sein). Kräuter und Gräser sind reduziert oder fehlen.
3. **'Understory reinitiation stage'** (aggradation phase - Fortsetzung): die dominanten Arten verlieren an Dominanz, Unterwuchs kann sich etablieren (schatten-tolerante Arten und/oder Baumkeimlinge).
4. **'Old-growth stage'** (transition phase): die Bäume der ersten Generation (wenn keine Störung eintritt) altern und sterben ab. Sie werden durch Bäume der nächsten Generation ersetzt.

Der Verlauf der Standing Crop-Akkumulation im Ablauf dieser 4 Stadien ist für diese Arbeit von besonderem Interesse. Zentral ist dabei die Ermittlung der 'maximalen persistenten Biomasse'. Da der Standing Crop als eine Funktion des Alters beschrieben werden kann (SATO 1970, S. 60; vgl. SPRUGEL 1984), muß ein Modell für die Entwicklung über die Zeit gefunden werden. Besonders in Wäldern, deren Standing Crop sehr langsam aufgebaut wird, und die das Klimaxstadium erst spät erreichen, folgt diese Entwicklung einem bestimmten Muster (ODUM 1983; SHUGART 1984).

Dabei ist zu beachten, daß ein solcher Wert nur für große räumliche Einheiten wie z.B. für ganze Landschaften ermittelt werden kann. In kleineren Einheiten unterliegt die Biomasse durch Störungen und Katastrophen extremen Schwankungen. Diese Voraussetzung ist bei der Erhebung des Standing Crop der potentiellen Vegetation gegeben, da laut Annahme nur die zonale Vegetation berücksichtigt wird.

SHUGART (1984, S. 335ff) beschreibt vier Modelle der Biomasseentwicklung von ganzen Landschaften. Dabei handelt es sich nicht um vier verschiedene Muster der Biomasseakkumulation, sondern vielmehr um vier verschiedene Modelle, welche unterschiedliche Beschreibungen des selben Phänomens darstellen. Die vier verschiedenen Ansätze sind in Abbildung 3.1.4 A. bis D., dargestellt.

Abbildung 3.1.4 Modelle der Akkumulation von Biomasse im Laufe der Sukzession



Quelle: SHUGART (1984), eigene Darstellung
Für Erklärungen siehe Text.

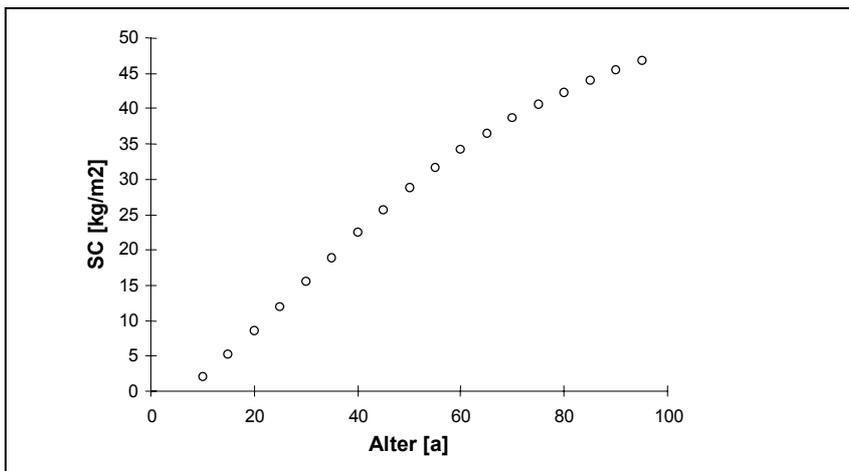
- A. Der Biomasseaufbau folgt einer **konkaven Kurve**. Dieses Modell nimmt einen konstanten Biomassezuwachs an. Der Verlust an Biomasse (z.B. Respiration, Mortalität) ist prozentuell zur Biomasse, also eine lineare Funktion. Ein Beispiel dieses Modells ist die logarithmische Funktion (z.B. natürlicher Logarithmus), welche einen monotonen Biomassezuwachs ohne Annäherung an eine konstante Asymptote annimmt. So kann durch diese Funktion kein Höchstwert definiert werden, sondern ein stetiger, wenn auch abnehmender Zuwachs wird angenommen. Die Benennung eines Höchstwertes, welcher sich schließlich durch das Zusammenspiel von Mortalität und das Nachwachsen junger Individuen einstellen würde, ist nicht Schwerpunkt dieses Ansatzes.
- B. **"logistic"**: Produktivität ist eine positive lineare Funktion der Biomasse. Die Respiration ist mit der Biomasse ebenfalls positiv, jedoch in einer 'quadratischen' Funktion korreliert. Wenn die Biomasse einen bestimmten Wert erreicht, balanciert die Respiration die Produktion. Ein Gleichgewicht stellt sich ein, der Wert K (Carrying Capacity). Dieser Wert liegt im zentralen Interesse der Untersuchung. Es handelt sich hier um eine einfache Form der logistischen Gleichung. Dieses Modell nimmt eine asymptotische Biomasse-Akkumulation an und folgt einer sigmoiden Kurve. Der Höchstwert (K für Carrying Capacity) wird angenähert, aber nie erreicht.
- C. **"overshoot"**: Biomasse akkumuliert bis zu einem Höchstwert und wird dann wieder reduziert. Einem 'Peak' folgt ein Einbruch, welcher sich asymptotisch einem Wert (steady state) nähert. Dieser Einbruch wird durch das mosaikartige Verhalten von Ökosystemen (asynchrone Zusammenbrüche) verursacht. Vertreter dieser Theorie sind v.a. BORMAN und LIKENS.
- D. **"oscillatory"**: Dieses Modell ist ähnlich dem 'overshoot' - Modell. Jedoch wird nach dem Peak nicht ein 'steady state' Zustand erreicht, sondern die Biomasse beginnt um einen best. Wert zu pendeln. Die Oszillationen können durch Störungen in den einzelnen Mosaiken und darauffolgende Zusammenbrüche zustande kommen.

Für vorliegende Untersuchung soll der zweite Ansatz verwendet werden. Es handelt sich dabei um die einfachste Form der logistischen Funktion. Von zentraler

Bedeutung bei diesem Modell ist, daß sie einen 'Höchstwert', K , enthält. Dieses K ist die 'maximale persistente Biomasse'.

Ein weiterer Hinweis deutet auf das Ausreichen der logistischen Funktion zur Beschreibung des Musters der Biomasseakkumulation hin. Bestimmte Untersuchungen in CANNELL 1982 hatten als zentralen Forschungsschwerpunkt die Entwicklung der Biomasse und der Produktivität im Laufe der Sukzession. Diese sog. 'age series' (Altersserien) zeigen deutlich, daß die Biomasseakkumulation einem Muster folgt, welches durch die logistische Funktion beschrieben werden kann. Die untenstehende Abbildung (3.1.5) stammt von einer Untersuchung der Tanne in der Vallombrosa-Region in Italien (CANTIANI 1974, HELLRIGL 1974). Die logistische Regression ergab hier bei einem Bestimmtheitsmaß von 0,994 einen Wert für K von 47,4. kg/m^2 .

Abbildung 3.1.5 Beziehung zwischen Standing Crop und Bestandesalter der Tanne (*abies alba*). Altersserie in Italien



Quelle: CANTIANI 1974, HELLRIGL 1974, eigene Darstellung

Die Abbildung stellt das Verhältnis von Standing Crop und Alter eines Bestandes dar

Weil solche Altersserien nur an einem Standort durchgeführt wurden, liefern sie keine repräsentativen Werte zur Ermittlung des Standing Crop der Klimaxgesellschaften Österreichs. Sie zeigen jedoch den Verlauf der Biomasseakkumulation im Laufe der Sukzession. Mit Hilfe des logistischen Modells (Abbildung 3.1.4 B.) können jedoch repräsentative Werte ermittelt werden, da diese Methode Mittelwerte verschiedenster Primärdaten liefert.

Zwar wird bei dem logistischen Modell dem Auftreten des 'peaks' nicht Rechnung getragen, dies scheint jedoch auch nicht unbedingt erforderlich, da eine Regression anhand von Daten vieler verschiedener Erhebungen durchgeführt werden soll. Daher steht die Bestimmung eines 'Mittelwertes' all dieser Daten im Vordergrund. Sowohl lokalstandörtliche Unterschiede wie 'Bonität' als auch Störungsfrequenz bzw. -Intensität werden durch diesen nivelliert. Aufgrund dieser Untersuchungen scheint die Näherung der Standing Crop Werte aufgrund einer logistischen Regression als die beste Alternative. Der logistische Ansatz scheint auszureichen, um die oberirdische Biomasse von Klimaxgesellschaften zu bestimmen.

Kurvenanpassung

Anhand des oben erwähnten Modells soll der maximale Standing Crop der dominierenden Wälder Österreichs (aufgenommen als Spezies, bei CANNELL 1982) abgeschätzt werden. Der Standing Crop wird dabei als Funktion des Alters des Bestandes betrachtet. Es handelt sich dabei um die logistische Funktion, dessen Asymptote K den Höchstwert des Standing Crop darstellt.

Als einfache Lösung der logistischen Gleichung wurde dabei folgende Funktion herangezogen (RICKLEFS 1990):

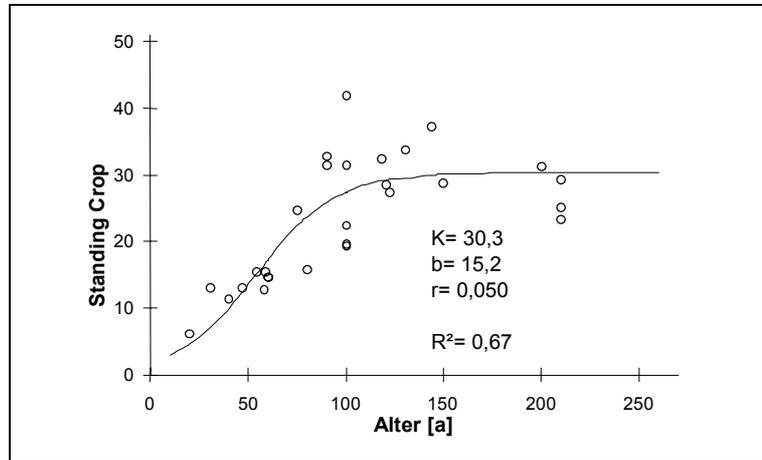
$$f(t) = \frac{K}{1 + be^{-rt}}$$

K= max. erreichbarer Standing Crop;
'Carrying Capacity'
b= Zustandsgröße
r= Wachstumsfaktor
t= Zeit (Alter)

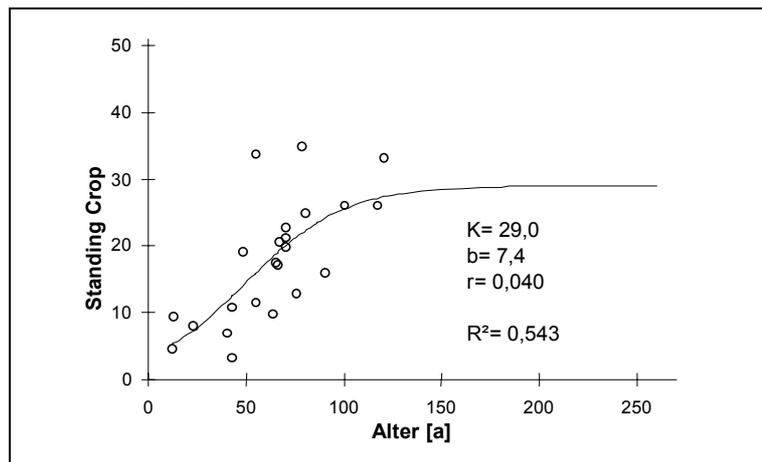
Mit Hilfe dieser Funktion wurde eine logistische Regression an den Daten (Standing Crop gegen Alter) durchgeführt. Die einzelnen Datenpunkte sind jeweils Primäraufnahmen der einzelnen Waldarten (Buche, Eiche, Tanne, Fichte, Kiefer, sonstige Laubwälder). Ausgewählt wurden nur Aufnahmen, welche in einem klimatisch ähnlichen Gebiet wie Österreich stattfanden. Diese Selektion betraf die Jahresdurchschnittstemperatur (zwischen 4°C und 14°C) und den durchschnittlichen Niederschlag (über 450mm). Die Kurvenanpassung erfolgte dabei durch Minimierung der Summen-Abstands-Quadrate ('Least square fit') und ist in Abbildung 3.1.6 dargestellt.

Abbildung 3.1.6 Logistische Regression für den Standing Crop der Wälder der potentiellen Vegetation als Funktion des Alters

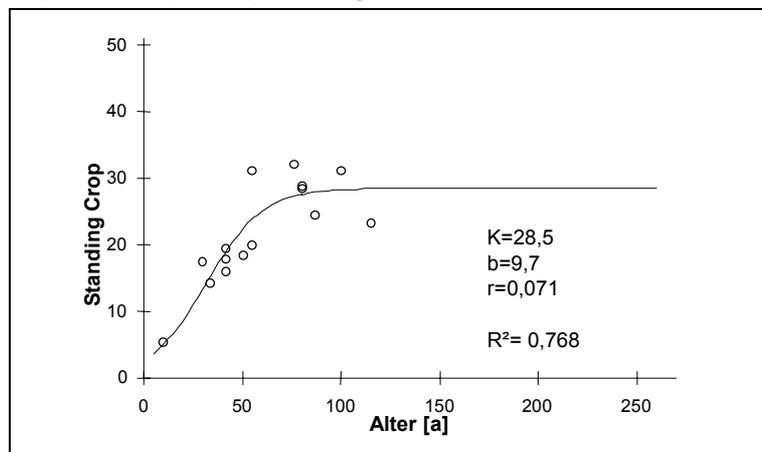
A. Buche (*Fagus sylvatica*)



B. Eiche (*Quercus spp.*)

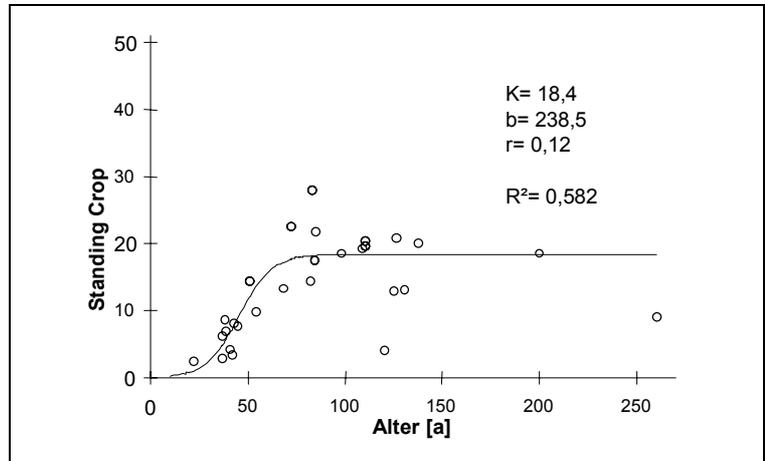


C. Fichte (*Picea abies*) – temperate Region

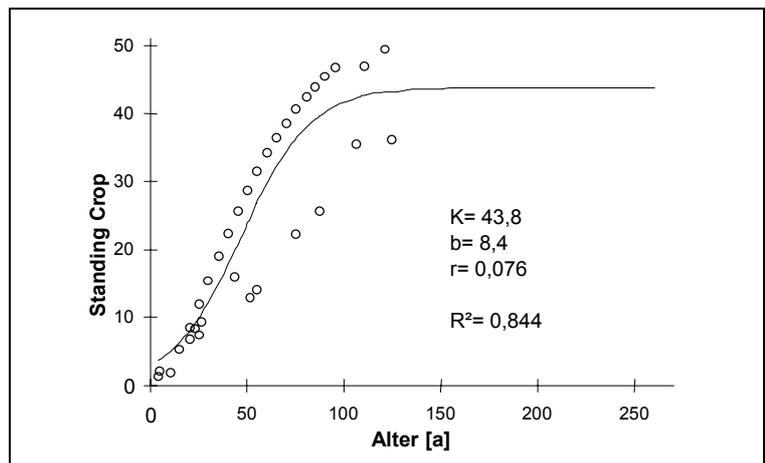


Fortsetzung Abbildung 3.1.6

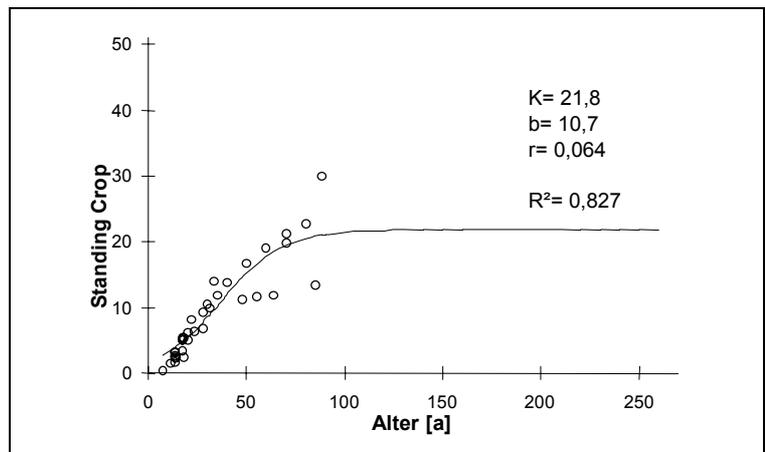
D. Fichte (*Picea abies*) – boreale Region



E. Tanne (*Abies alba*)

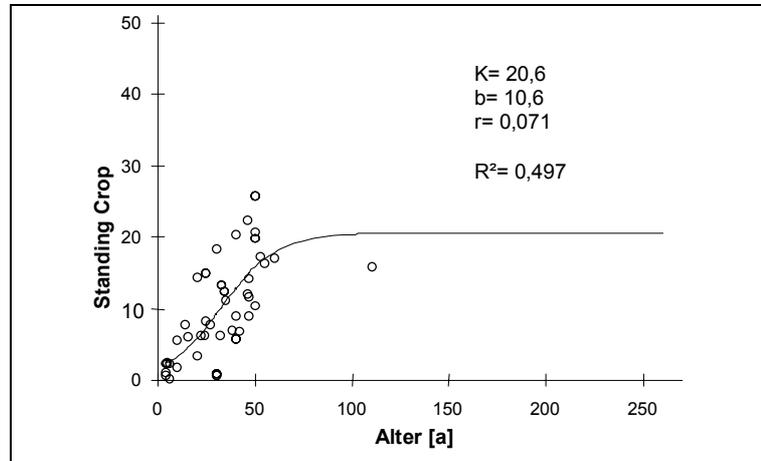


F. Kiefer (*Pinus ssp.*)



Fortsetzung Abbildung 3.1.6

G. sonstige Laubwälder



Quelle: eigene Berechnung
Für Details siehe Text

Die Werte des IBP sind alle in Trockenmasse angegeben. Im Rahmen der Untersuchung ist es jedoch notwendig, diese Trockenmassenwerte auf Energiegehalte bzw. Kohlenstoffgehalt umzurechnen. (siehe Kapitel 2.3 'Umrechnung vom Masse- in Energieeinheiten und in Kohlenstoffgehalte').

Für Nadelwälder wurde nach LIETH (1975b) der Wert von 19,7 MJ/kg gewählt, für subalpine Nadelwälder 20,1 MJ/kg und für Laubwälder 19,3 MJ/kg. Der Umrechnungsfaktor zu Kohlenstoffgehalt beträgt 45% für beide Großgruppen. In Tabelle 3.1.1 sind die Werte der Wälder der potentiellen Vegetation zusammengefaßt.

3.1.1.2 Alpine Rasen

Oberhalb der hochsubalpinen Höhenstufe, welche die Waldgrenze bildet, liegt die alpine Höhenstufe. Die Vegetation dieser Zone wird vor allem durch Zwergstrauchgesellschaften und alpinen Rasen gebildet. In den unteren Bereichen der Höhenstufe dominieren die Zwergsträucher mit deutlich höherem Standing Crop. Die Ermittlung von repräsentativen Standing Crop-Werten bereitet einige Schwierigkeiten, da Daten für diese Einheit nur spärlich vorhanden sind. Zudem sind Gesellschaften der alpinen Stufe häufig auch in der darunterliegenden typisch, so daß eine Charakterisierung schwerfällt. Dazu kommt noch der mosaikartige Aufbau der Vegetation dieser Stufe.

Aufgrund der Annahme von Ähnlichkeiten zu arktischen Vegetationstypen (FRANZ 1979) wurden jedoch auch solche Erhebungen zum Vergleich herangezogen. Der Standing Crop der typischen Gesellschaften ist im Vergleich mit dem der Wälder sehr gering und die Flächenausdehnung der Höhenstufe selbst vergleichsweise klein, so daß die im Rahmen der vorliegenden Untersuchung unvermeidbaren Ungenauigkeiten kaum ins Gewicht fallen.

Zur Bestimmung eines Standing Crop Wertes für alpine Rasen und Matten wurde eine Literaturrecherche durchgeführt, deren Ergebnis im Appendix A.1 dargestellt ist. Die Werte für den Standing Crop der verschiedenen Gesellschaften und Untersuchungen weisen extreme Schwankungen auf und belaufen sich auf wenige Gramm pro m^2 und einigen Kilogramm pro m^2 . Es scheint daher nicht sehr sinnvoll, durch Mittelwertbildung einen repräsentativen Wert zu bestimmen. Die Mosaikstruktur der alpinen Zone läßt auch keine Gewichtung zu. Im folgenden wird daher in Anlehnung an PAULSEN (1995, S. 59; Wert für alpine Primärvegetation) der Standing Crop auf $1,0 \text{ kg/m}^2$ gesetzt. Dies entspricht einem Energiegehalt von $19,7 \text{ MJ/m}^2$ und einem Kohlenstoffgehalt von $0,45 \text{ kgC/m}^2$. Der Wert scheint auch im Vergleich mit der Literatur für Tundravegetation als Mittelwert gerechtfertigt.

3.1.1.3 Nival- und Felsvegetation

Über der alpinen Vegetationszone liegt die Zone der Nival- und Felsvegetation. Dieser Vegetationsgürtel beginnt bei 2800m N.N. und ist durch das Vorkommen von Gletschern charakterisiert. Trotzdem dürfte auch hier eine Vegetationsdecke gefunden werden. Aufgrund des geringen Flächenanteils dieses Vegetationstyps und der extrem geringen oberirdischen Biomasse, welche diese ausbildet, wird der Standing Crop dieser Höhenstufe auf Null kg/m^2 gesetzt.

3.1.1.4 Zusammenfassung

Die Höchstwerte des Standing Crop der einzelnen Vegetationstypen der potentiellen Vegetation sind in Tabelle 3.1.1 dargestellt. Bei den Wäldern handelt es sich um Reinbestände, welche in dieser Form nicht oder selten in der Natur vorkommen. Eine Umrechnung in tatsächliche Vegetationseinheiten findet im nächsten Kapitel (3.1.2 'Flächenmodell der hypothetischen natürlichen Vegetation') statt.

Tabelle 3.1.1.: Standing Crop der Vegetationstypen der hypothetischen natürlichen Vegetation

Vegetationstyp	Standing Crop		
	[kg/m ² DM]	[kg C/m ²]	[MJ/m ²]
Eiche	29,0	13,05	559,7
Buche	30,3	13,64	584,8
Tanne	43,8	19,71	862,9
Fichte, montan	28,5	12,83	561,5
Fichte, subalpin	18,4	8,28	369,8
alpine Rasen und Matten	1,0	0,45	19,7
Nival-, Felsvegetation	-	-	-

Quelle: eigene Berechnung

3.1.2 Flächenmodell der hypothetischen natürlichen Vegetation

Zur Abschätzung des regionalen Standing Crop müssen die oben gefundenen mittleren Klimax-Werte der Vegetationstypen (pro Flächeneinheit) auf die gesamte Fläche dieser einzelnen Typen hochgerechnet werden. Dies erfordert eine Einteilung der Gesamtfläche Österreichs in solche Untereinheiten, welche nur durch einen Vegetationstyp charakterisiert sind. Üblicherweise folgt die Einteilung der Vegetation Österreichs in biogeographische Einheiten auf zwei verschiedenen Wegen. Diese Einteilungen sind vornehmlich klimatischer Natur, unterscheiden sich aber in der

Richtung der Gliederung. Die eine Gliederung erfolgt auf horizontaler Ebene und teilt Österreich in verschiedene geographische Wuchsgebiete ein. Da ein großer Teil der Fläche Österreichs in den Alpen liegt, ist jedoch auch eine Einteilung vertikaler Ausrichtung notwendig. Dies ist die Einteilung in Höhenstufen. Klassifizierungsgrundlage stellt dabei zumeist die Vegetation selbst dar, da sie als 'Bioindikator' der abiotischen Verhältnisse verstanden werden kann (SCHUBERT 1991).

3.1.2.1 Gliederung Österreichs

3.1.2.1.1 Höhenstufen

Innerhalb des Gebirgszuges der Alpen und der Hügellandschaften der Vorländer bildet sich ein Gefüge der Vegetation aus, welches vertikal gegliedert ist. Es sind dies die Höhenstufen, welche charakteristische Vegetationseinheiten tragen. Die Einteilung erfolgt in bestimmten Alpenbereichen oder Waldgebieten am besten durch das Vorkommen von charakteristischen klimabedingten Schlußwaldgesellschaften. Die Angabe von schematischen Höhengrenzen stößt auf methodische Probleme. Aus abiotischer Sicht ist die Stufe nämlich nicht einer Höhenlage, sondern einem Temperaturintervall zugeordnet (OZENDA 1988). Daher bilden die Höhengrenzen Kontinua, je nach Kontinentalität, und führen so zu Unterschieden innerhalb der vier Großeinheiten. Prinzipiell wird von 6 Höhenstufen ausgegangen, deren Vegetation charakteristisch ist:

- *Nivale Höhenstufe*, mit nivaler- und Felsvegetation an Graten und Felswänden; im ewigen Schnee Kryoplankton.
- *Alpine Stufe*, mit alpinen Matten und Rasen; unten dominieren die geschlossenen Zwergstrauchheiden, oben die Rasen.
- *Hoch- und tiefsubalpine Stufen* (Kampfwald und Krummholzstufe) mit subalpinen Nadelwäldern (Lärchen-Zirbenwald, Lärchenwald, Bergkieferwald, subalpiner Fichtenwald); heute infolge der Almwirtschaft oft Zwergstrauchheiden und Viehweiden.
- *Montane Stufe* (Bergwaldstufe) mit montanen Mischwäldern (montaner Fichtenwald, Fichten-Tannenwald, unter ozeanischen Bedingungen montaner Fichten-

Tannen-Buchenwald, Buchenwald, Bergahornwald); mäßig verändert durch Rodung und Forstkultur.

- *Submontane Stufe*, die unterste Bergwaldstufe (-Übergangsstufe). Ursprüngliche Buchenwälder, aber auch Eichen- und Hainbuchenwälder. Heute z.T. in Fichtenforste umgewandelt, vielfach noch Ackerbau.
- *Kollin-planare Stufe*, die Ebenen- und Hügellandstufe, ursprünglich mit Laubmischwälder (Eichen-Hainbuchenwald, bodensaurer Eichenwald, Zerreichen-Mischwald, Flaumeichenwald, Hopfenbuchenwald); heute vorherrschend Kulturland, stellenweise Landbau.

Jede Stufe wird somit zu einem typisch aufgebauten Ökosystemkomplex. Die Vegetationsstufen der Alpen erstrecken sich über einen mittleren Höhenumfang von rund 700m. Die Grenzen der einzelnen Höhenstufen schwanken innerhalb der Alpen, unter anderem sogar bei veränderter Himmelslage (höhere Lagen an südexponierten Hängen). Auch verändert sich die Artencharakteristik von den Rändern der Alpen bis zu deren zentralen Bereichen. Gegen die zentraleren Teile verlieren die Laubbäume an Gewicht, Nadelbäume gewinnen die Herrschaft (EHRENDORFER 1983, S. 1029). Diese Unterschiede, z.T. in der Artencharakteristik, z.T. durch eigene, charakteristische Höhengrenzen der Höhenstufen, führt zur nächsten Gliederung Österreichs: der Einteilung in Wuchsgebiete.

3.1.2.1.2 Wuchsgebiete

Die horizontale Gliederung erfolgt durch die Einteilung der Fläche in sog. Wuchsbezirke oder -gebiete. Hier wird die Fläche anhand großklimatischer Kontinua (z.B. Ozeanität-Kontinentalität, vgl. 'Kontinentalitätsindex' von GAMS 1922 in OZENDA 1988) aber auch durch besondere kleinräumige Bedingungen (z.B. edaphische Faktoren) in homogene Gebiete aufgeteilt.

Allgemein kann man in Österreich ein Abfallen der Ozeanität (Ausgeglichenheit von jahres- und tageszeitlichen Schwankungen von Feuchtigkeit und Temperatur) von Westen nach Osten feststellen (ELLENBERG 1996). Somit wird das Klima von Westen nach Osten immer trockener und extremer. Da andererseits Österreich zum großen Teil von den Alpen eingenommen wird, bildet sich ein weiteres Kontinuum aus. Vom Rand der Alpen bis zu deren Zentrum findet man eine Zunahme der Kontinentalität,

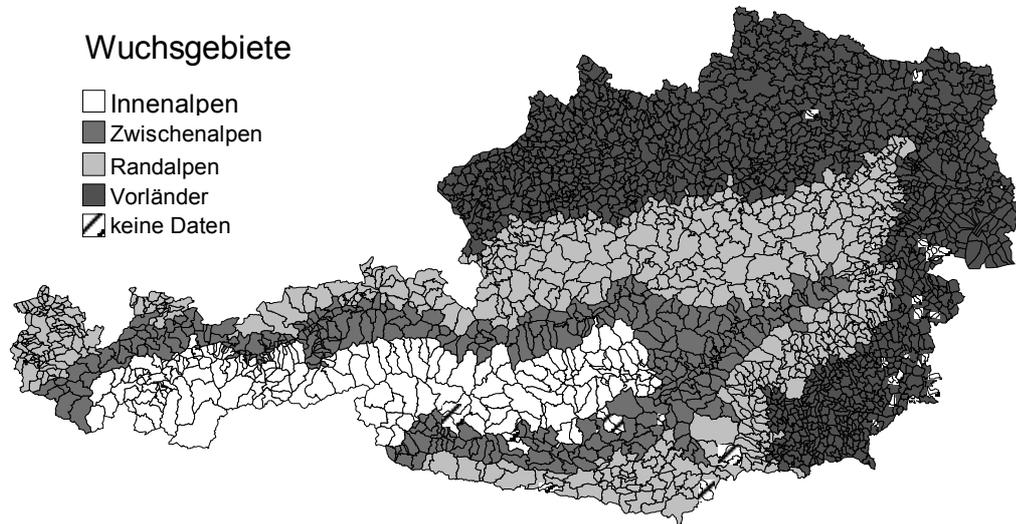
also wiederum ein Abfallen der Ozeanität. Dies bedeutet hier sommerwärmeres und niederschlagsärmeres Klima, welches zum Ausschluß der Laubbäume und zu einer Dominanz von Fichte, Lärche und Zirbe führt.

Die einzelnen Wuchsgebiete zeichnen sich durch relativ einheitliche abiotische Faktoren aus. Die Vegetation dient dabei selbst als Klassifizierungsgrundlage (z.B. Buchenausschluß in den kontinentaleren Inneralpen). Aus ökologischer Sicht stellen die Waldgebiete auch den verlässlichsten Indikator der abiotischen Faktoren dar. Innerhalb eines Waldgebietes besteht bei vorherrschender einheitlicher Leitgesellschaft weitgehende Ähnlichkeit hinsichtlich Waldgesellschaftskomplex, Klimacharakter, waldgeschichtlicher Entwicklung, waldbaulicher und forstgenetischer Ausgangssituation (MAYER 1974, S. 284). Es existieren allerdings verschiedene Schemata der Einteilung, welche abhängig von den unterschiedlichen Ansätzen der einzelnen AutorInnen sind. Allgemein werden jedoch 4 Großeinheiten unterschieden: Inneralpen, Zwischenalpen, Randalpen und Vorländer (vgl. MAYER 1974, OZENDA 1988, ÖSTERREICHISCHES STATISTISCHES ZENTRALAMT & FORSTLICHE BUNDESVERSUCHSANSTALT 1995). Unterschiede ergeben sich besonders in den Untereinteilungen. Diese sind im Rahmen der vorliegenden Untersuchung, welche nur die zonale Vegetation behandelt, nicht von Bedeutung.

Die Einteilung Österreichs in vier Wuchsgebiete ist in Abbildung 3.1.7 dargestellt. Den vier Wuchsbezirken werden die rund 2300 Gemeinden Österreichs zugeteilt. Die Wuchsgebiete stellen Vereinfachungen dar, wobei mehrere, sich aufgrund der vorherrschenden potentiellen Vegetation ähnelnde Wuchsbezirke zusammengefaßt wurden:

- **Inneralpen:** Kontinentale Kernzone, Subkontinentaler West- und Ostteil.
- **Zwischenalpen:** Nördliche Zwischenalpen West- und Ostteil, Östliche Zwischenalpen Nord- und Südteil, südliche Zwischenalpen.
- **Randalpen:** nördliche Randalpen West- und Ostteil, Niederösterreichischer Alpenostrand, Bucklige Welt, Steirisches Bergland Ost-, Mittel- und Westteil, Südliche Randalpen, Klagenfurter Becken.
- **Vorländer:** Nördliches Alpenvorland West- und Ostteil, Pannonisches Tief- und Hügelland, subillyrisches Hügel- und Terrassenland, Mühlviertel, Waldviertel.

Abbildung 3.1.7 Wuchsgebiete Österreichs



Quelle: eigene Darstellung

Tabelle 3.1.2.: Wuchsgebietsanteile der Bundesländer

	Inneralpen	Zwischenalpen	Randalpen	Vorländer
Burgenland	-	-	13%	87%
Kärnten	20%	38%	42%	-
NÖ	-	-	31%	69%
OÖ	-	-	29%	71%
Salzburg	43%	20%	28%	9%
Steiermark	9%	32%	39%	20%
Tirol	49%	34%	17%	-
Vorarlberg	-	31%	69%	-
Wien	-	-	-	100%
Österreich	15%	18%	31%	35%

Quelle: eigene Berechnung

3.1.2.2 Höhenmodell

Die vier Wuchsgebiete sind durch eine jeweils eigene Abfolge der Vegetation der Höhenstufen charakterisiert. Die Verbindung der horizontalen mit der vertikalen Gliederung Österreichs liefert die Möglichkeit für eine dreidimensionale Darstellung des Vorkommens von verschiedenen Vegetationstypen. Bei diesen Vegetationstypen handelt es sich um die Klimaxgesellschaften der jeweiligen Regionen. Durch die Zuteilung der Gemeinden zu den Wuchsgebieten ist diese Darstellung auch auf den Aggregationsniveaus der politischen Einheiten möglich. In Tabelle 3.1.1 sind die Höhenstufenabfolgen und deren typische potentiellen Vegetation für alle 4 Wuchsgebiete dargestellt.

Tabelle 3.1.3.: Höhenstufenabfolge und deren potentielle Vegetation der Wuchsbezirke

Höhenstufen	I. Inneralpen	II. Zwischenalpen	III. Randalpen	IV. Vorländer
Nival	Nival-, Felsvegetation	Nival-, Felsvegetation		
Alpin	alpine Rasen und Matten	alpine Rasen und Matten	alpine Rasen und Matten	
Hochsubalpin	Lärchen-Zirben- Wald	Lärchen-Zirben- Wald	Latschenbusch- wälder	
Tiefsubalpin	Fichtenwälder	Fichtenwälder	Fichtenwälder, Latschenbusch- wälder	
Montan	Fichtenwälder	Fichten-Tannen- Wälder	Fichten-Tannen- Buchen-Wälder	Fichten-Tannen- Buchen-Wälder
submontan	Kiefern-, Eichen-, Fichtenwälder	Fichten-Tannen- Wälder	Eichen-Buchen- Mischwälder	Buchenwälder
kollin-planar	Eichen- mischwälder	Eichen- mischwälder	Eichen-, Hainbuchen-, Kiefernwälder	Eichen-, Hainbuchen-, Kiefernwälder

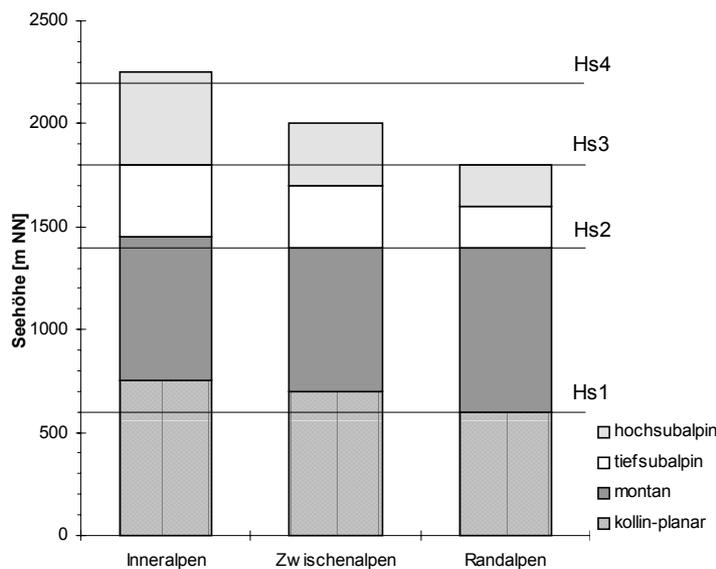
Quelle: Vereinfacht nach MAYER (1974) und ÖSTAT & FBVA (1995)

Die Grenzen der Höhenstufen sind, wie eingangs erwähnt, fließend. Je nach Höhenstufen treten Unterschiede auf. So liegen in den kontinentalen Inneralpen die Grenzen, und damit auch die Waldgrenze (Obergrenze der hochsubalpinen Zone) bis zu 500m höher als in den Randalpen. Bei den Alpenvorländern kommt es zu keiner

Ausprägung der Waldgrenze. Auch fehlt die tiefsubalpine Höhenstufe. Die gesamte Fläche ist bewaldet.

Die Aufteilung der Gemeindefläche nach Höhenstufe ist Grundlage für die Berechnung des Standing Crop. Die Flächenanteile der einzelnen Höhenstufen wurden vom Österreichischen Forschungszentrum Seibersdorf, Hauptabteilung Umweltplanung (Dr. W. LOIBL) anhand eines geographischen Informationssystems (1x1km-Raster) ermittelt (vgl. HABERL 1995, S.38). Die Höhengrenzen sind darin wie folgt gegeben: 600m, 1400m, 1800m, 2200m, 2800m. Abbildung 3.1.8 zeigt die Höhengrenzen der einzelnen Höhenstufen der drei alpinen Wuchsgebiete und die Grenzen des Flächenrasters.

Abbildung 3.1.8 Höhengrenzen der Höhenstufen der Wuchsgebiete und Grenzen des verwendeten Höhenrasters



Quelle: MAYER (1974), eigene Darstellung

Wie aus der Darstellung (Abbildung 3.1.8) ersichtlich ist, deckt sich das Rastermodell nicht mit den ökologischen Höhenstufen. Diese Unterschiede von realen Höhenstufen und dem vorhandenen Datensatz erfordern eine Anpassung. Auch sind die Vegetationseinheiten nicht nur solche, deren Standing Crop mit Hilfe der logistischen

Regression gewonnen wurde. Für die tatsächlichen Ökosysteme müssen aber repräsentative Werte gefunden werden. Folgende Probleme treten dabei auf:

- **Mischwälder.** Die Literatur behandelt kaum Mischwälder als solche (s.o.), folglich müssen Mittelwerte für diese Wälder gefunden werden. Die Zusammensetzung dieser Wälder (Fichte-Tanne und Fichte-Tanne-Buche) schwankt erheblich (vgl. MITSCHERLICH 1970). Es ist nicht zu eruieren, ob bei ungestörten Verhältnissen eine Baumart österreichweit überwiegen würde. Daher wird von einer gleichmäßigen Verteilung der Baumarten ausgegangen. Zudem weichen die Standing Crop-Werte der einzelnen Baumarten kaum voneinander ab. Eine genauere Auflistung würde hier möglicherweise zu Scheingenauigkeiten führen.
- **Fichte.** Die Fichte zeigt als einzige Baumart schon bei der vorliegenden Datenbasis eine relativ starke Abhängigkeit von klimatischen Bedingungen (siehe Kapitel 3.1.1 'Standing Crop-Werte für die Vegetationseinheiten der hypothetischen natürlichen Vegetation'). Dies ist darauf zurückzuführen, daß die Fichte eine Baumart mit extrem großen Areal ist (von temperaten bis borealen Klimazonen). Um diesen Umstand gerecht zu werden, wurde für montane Fichtenbestände der zentralen Alpen Aufnahmen aus temperaten Zonen (Mitteleuropa) verwendet (Standing Crop von 28,5 kg/m² bzw. 561,5 MJ/m² oder 12,83 kgC/m²). Für subalpine Bestände wurden Aufnahmen aus dem Boreal herangezogen (vgl. Kapitel 3.1.1.1 'Standing Crop-Werte für die Vegetationseinheiten der hypothetischen natürlichen Vegetation - Wälder'). Theoretischer Hintergrund hierfür ist, daß die subalpine Höhenstufe der borealen Zone klimatisch sehr ähnlich ist (bis auf die Länge der Vegetationsperiode). Analoges gilt für die Vegetation der alpinen Höhenstufe. Auch hier wurden Werte der Tundravegetation herangezogen (vgl. EHRENDORFER 1983, FRANZ 1979).
- **Lärchen und Zirbenzone.** Für diese Vegetationseinheit wurden keine Daten gefunden. Daher wird hier der Mittelwert für die subalpine Fichte und den Latschenbuschwäldern (7 kg/m²) eingesetzt³. Es ergibt sich ein Wert von 12,7

³ Der Wert für die Latsche wurde aus Daten der hochsubalpinen Wälder (CANNEL 1982), insbesondere aus *Rhododendron*-, *Pinus cembra*- und *Larix leptolepis*- Beständen ermittelt. Dieser Wert deckt sich relativ gut mit Werten für Strauchvegetation, welche bei DÖRFLINGER et al. (1995) mit 6 kg/m² angegeben wird.

kg/m^2 ($255,3 \text{ MJ/m}^2$ und $5,72 \text{ kgC/m}^2$) Derselbe Wert wird auch für die Latschenzone der Randalpen herangezogen.⁴

Für die Unterschiede bezüglich des Rastermodells und der realen Höhenstufen dürften die Ungenauigkeiten, welche sich für die Inneralpen ergeben, im Rahmen der insgesamt möglichen Genauigkeit der Abschätzung kaum zu Problemen führen. Hier decken sich die tatsächlichen Höhengrenzen und die Grenzen des Rasters. Dasselbe gilt jedoch nicht für die beiden anderen Wuchsgebiete.

In den Zwischenalpen wird die Vegetation der Rasterstufe 4 (1800-2200m) teils von hochsubalpinen Wald, teils von alpinen Matten und Rasen gebildet. Für diese Zone muß also ein Mittelwert gefunden werden. Zur Gewichtung der Werte wird angenommen, daß die Flächenanteile an der Höhenstufe mit steigender Höhe nicht gleichmäßig verteilt sind, sondern daß in den unteren Zonen der größere Teil der Fläche liegt. Der Mittelwert wird daher aus 2/3 Wald, hier Lärche-Zirbe, und 1/3 alpine Vegetation gebildet. Es ergibt sich daraus der Standing Crop Wert von $8,8 \text{ kg/m}^2$ ($176,9 \text{ MJ/m}^2$, $3,96 \text{ kgC/m}^2$)

In den Randalpen hingegen liegt die natürliche Waldgrenze durchschnittlich schon bei 1800m (MAYER 1974). Dies bedeutet, daß für die Höhenstufe 3 (1400-1800m) ein Mittelwert aus subalpinen Fichtenwald und Latschenbuschwald gebildet werden muß. Die Gewichtung erfolgt dabei wie für die Zwischenalpen. So ergibt sich ein Wert von $14,6 \text{ kg/m}^2$ (das sind $193,5 \text{ MJ/m}^2$ oder $6,57 \text{ kgC/m}^2$). Die alpine Höhenstufe beginnt bereits in der Stufe 4 des Datensatzes (1800-2200m). Dort wird der Wert für alpine Rasen und Matten eingesetzt: 1 kg/m^2 , $19,7 \text{ MJ/m}^2$ oder $0,45 \text{ kgC/m}^2$. Derselbe Wert wird in diesem Wuchsgebiet auch für die Höhenstufe 5 (2200-2800m) verwendet. Dies führt zwar zu einer hypothetischen Ausdehnung der alpinen Stufe, welche jedoch aufgrund des geringen Flächenanteils an diesem Wuchsgebiet nicht ins Gewicht fällt.

⁴ Dieser Wert erscheint relativ hoch. Da aber angenommen wird, daß die Diskrepanz zwischen Baum- und Waldgrenze anthropogenen Ursprungs ist und die Waldgrenze der hypothetischen natürlichen Vegetation als mindestens so hoch wie die heutige Baumgrenze angenommen werden kann (ELLENBERG 1996), erscheint der Wert gerechtfertigt.

In Tabelle 3.1.4 sind die Werte zur Ermittlung des Standing Crop der potentiellen Vegetation für die Wuchsgebiete und die zugehörigen Höhenstufen zusammengefaßt.

Tabelle 3.1.4.: Vegetationseinheiten der Wuchsgebiete und Höhenstufen Österreichs und deren Standing Crop der hypothetischen natürlichen Vegetation

	bis 600m	600-1400m	1400-1800m	1800-2200m	2200-2800m	über 2800m
	kölline bis submontane Stufe	sub-, tief- bis hochmontane Stufe	tiefsubalpine Stufe	hoch-subalpine Stufe	alpine Stufe	nivale Stufe
Anteil an Österreich	HS1 40,4%	HS2 34,5%	HS3 10,6%	HS4 7,3%	HS5 5,0%	HS6 0,9%
Inneralpen 15,2% SC	Eichenmischwälder 29,0 kg/m ²	Fichtenwälder 28,5 kg/m ²	Fichtenwälder 18,4 kg/m ²	Lärche-Zirbe 12,7 kg/m ²	alpine Rasen 1 kg/m ²	ohne Vegetation 0 kg/m ²
Zwischenalpen 18,3% SC	Eichenmischwälder 29,0 kg/m ²	Fichten-Tannenwälder 36,1 kg/m ²	Fichtenwälder 18,4 kg/m ²	Lärche-Zirbe, alpine Rasen 8,8 kg/m ²	alpine Rasen 1 kg/m ²	ohne Vegetation 0 kg/m ²
Randalpen 31,3% SC	Eichenmischwälder, Buche 29,7 kg/m ²	Fichten-Tannen-Buchenwälder 34,2 kg/m ²	Fichtenwälder, Latsche 14,6 kg/m ²	alpine Rasen 1 kg/m ²	alpine Rasen 1 kg/m ²	 0 kg/m ²
Vorländer 35,2% SC	Eichenmischwälder, Buche 29,7 kg/m ²	Fichten-Tannen-Buchenwälder 34,2 kg/m ²				

Quelle: eigene Berechnungen, Literaturrecherche siehe Text.

Die Tabelle zeigt die schlußendliche Einteilung Österreichs in Wuchsgebieten und zugehörige Höhenstufen als Anpassung der tatsächlichen Vegetation an das vorhandene Rastermodell. Die Prozentwerte sind die Flächenanteile der Ökologischen Zone an Österreichs Gesamtfläche. Der Standing Crop ist hier nur in Trockenmasse angegeben. Für Angaben bzgl. Energie- und Kohlenstoffgehalt siehe Text. SC: Standing Crop

In Tabelle 3.1.5 sind die einzelnen zonalen Vegetationstypen und deren Flächenanteil an Österreich dargestellt. Größte Vegetationseinheit sind die Eichen-Buchen-Mischwälder mit rund 40%, gefolgt von den Fichten-Tannen-Buchenwälder

mit rund 20%. Knapp 10% erreichen Fichten-Tannen-Wälder und die subalpinen Fichtenwälder. Alle anderen Vegetationseinheiten liegen zwischen 1 und 5% der Fläche Österreichs.

Tabelle 3.1.5.: Zonale Vegetationstypen und deren Flächenanteil an Österreich

Vegetationstyp	Flächenanteil [%]
Eichen/Buchen-Mischwälder	40,6%
Fichten-Tannen-Buchenwälder	21,4%
Fichten-Tannenwälder	9,9%
Fichtenwälder, subalpin	7,4%
alpine Rasen und Matten	6,1%
Lärchen-Zirbenwälder	3,9%
Fichtenwälder, montan	3,4%
Fichte und Latsche Randalpen	3,2%
Lärche-Zirbe und alpine Rasen	2,4%
Eichenmischwälder	0,9%
Nival- und Felsvegetation	0,9%

Quelle: eigenen Berechnung

3.2 Standing Crop der aktuellen Vegetation

Die aktuelle Vegetation Österreichs besteht aus einem Mosaik von Vegetationstypen, von denen nur noch wenige vom Menschen unberührt sind. Man findet eine Fülle von 'Kulturlandschaften', während Reste unberührter Vegetation sich mit wenigen und flächenmäßig unbedeutenden Ausnahmen nur dort finden, wo eine Nutzung durch die lange Zeit der Besiedlung hindurch nicht möglich oder nicht rentabel war.

Standing Crop ist eine Zustandsgröße, deren Wert im Lauf der Zeit Schwankungen unterlegen ist. Kurz- und längerfristige Fluktuationen sind typisch für die Entwicklung des Standing Crop innerhalb einer Region oder räumlichen Einheit (wie z.B. den einzelnen Vegetationstypen selbst; KÖRNER ET AL. 1993). Die Erhebung des aktuellen Standing Crop in Österreich erfordert somit, da es sich um ein Biomasse-Inventar handelt, eine Begrenzung auf einen Zeitpunkt. In der hier vorliegenden Arbeit wurde das Jahr 1990 für die Erhebung gewählt, da hierfür Daten vorhanden sind (siehe Kapitel 2 'Datengrundlage'), und zudem Vergleichbarkeit mit anderen Indikatoren (wie die NPP-Aneignung, vgl. HABERL 1995) gewährleistet ist. Kurzfristigen Schwankungen wie z.B. die Dynamik des Standing Crop im Laufe einer Vegetationsperiode, reichen im Extremfall von vegetationslos bis zur Ausbildung eines 'peaks', der maximalen oberirdischen Biomasse im Laufe des Jahres. Die Erhebung der aktuellen oberirdischen Biomasse wird auf Berechnung dieses 'peaks' beschränkt⁵. Implizit wird dabei angenommen, daß alle Kategorien (s.u.) diese 'Spitze' gleichzeitige erreichen. Da dies jedoch nicht der Fall ist, führt dieser Ansatz zu einer tendenziellen Überschätzung des Standing Crop. Die vorliegende Berechnung bestimmt somit einen maximalen Wert der aktuellen Vegetationsdecke.

⁵ Dies entspricht nicht der gängigen Praxis bei der Erstellung von Kohlenstoffinventaren (vgl. KÖRNER ET AL. 1993), bei welcher die saisonalen Schwankungen im Standing Crop auf das ganze Jahr aufgeteilt werden. Die vorliegende Untersuchung bezieht sich jedoch nicht nur auf die Erstellung eines Inventars, sondern auch auf die Quantifizierung des menschlichen Einflusses auf terrestrische Ökosysteme.

Wie oben schon angesprochen (Kapitel 2 'Datengrundlage') erfolgt die Erstellung des Biomasse-Inventars in den zwei Schritten: a) Aufteilung der Fläche in homologe Einheiten, b) Quantifizierung des Inventars für diese Fläche.

Erstellt wurde das Inventar für alle Gemeinden Österreichs. Dies führt jedoch zu Fehlerquellen. Der größte Fehler tritt wohl durch die Art der Erhebung von statistischen Daten auf. Durch das 'Wirtschaftsprinzip' werden einzelne Kategorien immer der Gemeinde zugeordnet, aus der der Besitzer stammt, und nicht der, in welcher sich die Fläche befindet. Die Darstellung auf höheren Aggregationsniveaus (politischer Bezirk, Bundesländer) hebt diese Fehlerquelle jedoch weitgehend auf (vgl. Kapitel 5.1.1 'Fehlerabschätzung').

Methodischer Ausgangspunkt der Erhebung des Standing Crop der aktuellen Vegetation ist einerseits die NPP-Ermittlung von HABERL 1995, und andererseits die im Rahmen der Treibhausdiskussion errechneten Kohlenstoffinventare, wie die der Schweiz (PAULSEN 1995) und Österreichs (KÖRNER ET AL. 1993). Im Vordergrund deren Berechnungen steht zwar die Ermittlung des Kohlenstoffgehalts der Vegetation. Dieser ist jedoch sehr eng mit der Biomasse selbst korreliert (vgl. Kapitel 2.3 'Umrechnung von Masse- in Energieeinheiten und Kohlenstoffgehalte').

3.2.1 Flächenmodell der aktuellen Vegetation

Ausgangspunkt der Standing Crop-Erhebung stellt die Einteilung der Fläche Österreichs in Flächennutzungskategorien, oder 'Subsystemen', dar. Diese Unterteilung ist nur dann sinnvoll, wenn dafür sowohl Flächendaten als auch Daten über den Standing Crop vorhanden sind. Maßgebend für die Erhebung ist die Bodennutzungserhebung Österreichs für das Jahr 1990. Tabelle 2.1.1 zeigt die vorgenommene Untergliederung der Fläche Österreichs bzw. der Gemeinden und deren statistischen Quellen. Verknüpft werden diese Angaben mit dem vom ÖFZS errechneten Gemeindeanteil an den Höhenstufen mit den Grenzen 600m, 1700m, 2200m, 2800m. Die Grenze 1700m (Beginn der Höhenstufe 4) liegt unter der ökologischen Höhenstufe (siehe Kapitel 3.1.2 Methodik: 'Flächenmodell der hypothetischen natürlichen Vegetation'). Dieser Fehler wird im folgenden korrigiert (s.u.). Die

Gewässerfläche wird, so wie bei der Berechnung des Standing Crop der hypothetischen natürlichen Vegetation, von der Erhebung ausgeschlossen.

3.2.1.1 Vegetationstypen der aktuellen Vegetation

Die Bodennutzungserhebung (ÖSTAT 1990) liefert eine Vielzahl von Kategorien und deren Flächen auf Gemeindeebene. Aus anderen statistischen Quellen (vgl. Kapitel 2 'Datengrundlage') wurden die restlichen Flächen gewonnen, so daß nur mehr der Wald und die alpine Vegetation als Restflächen bestanden (s.u. 'Berechnung der Flächen der aktuellen Vegetationseinheiten'). Unterschieden wurden folgende Kategorien:

- Ackerland
- Gartenland
- Grünland
- Hochalmen
- Versiegelte Flächen: Bau- und Verkehrsflächen
- Gewässer
- Höhenstufe 6 (über 2800m N.N.) als vegetationslose Gletscher und Felsregion (vgl. Kapitel 3.1 'Standing Crop-Werte für die Vegetationseinheiten der hypothetischen natürlichen Vegetation')

Für all diese Kategorien liegen getrennte Flächenangaben auf Gemeindeebene vor. Für die Ermittlung der charakteristischen Standing Crop-Werte für diese Kategorien siehe Kapitel 3.2 ('Standing Crop-Werte für die Vegetationseinheiten der aktuellen Vegetation'). Unterschieden wurden dabei 8 Kategorien, nämlich Wald, Acker (als Summe der Kategorien Acker1 und Acker2), Grünland (Wiesen, Weiden, Nieder- und Mittelalmen), Gartenland, Hochalmen, alpine Rasen und Matten, Bau-, und Verkehrsflächen. Wald und alpine Rasen und Matten, die Reste der Urvegetation der alpinen Stufe, scheinen als Flächenkategorien nicht auf. Die Flächen dieser Kategorien werden errechnet, und nicht aus statistischen Quellen gewonnen. Dies dient der Minimierung der Fehler, welche sich bei der Flächenaufteilung durch

verschiedene statistische Quellen ergeben. Erläutert wird das Vorgehen im nächsten Abschnitt.

3.2.1.2 Berechnung der Flächen der aktuellen Vegetationseinheiten

Wie schon im Kapitel 2 ('Datengrundlage') angesprochen, werden die Flächen der Bodennutzungskategorien nach dem Wirtschaftsprinzip erhoben. Dies führt zu Fehlern, welche erst auf höheren Niveaus (Aggregationsstufen) bereinigt werden können. Auf Gemeindeniveau und auch noch auf dem Bezirksniveau bleibt dieser Fehler bestehen. Diese Korrektur erfolgt nach einer Methode von HABERL (1995).

Diese Methode erlaubt eine Verknüpfung von naturräumlichen (Höhenstufen) und statistischen (Bodennutzung) Informationen. Als naturräumliche Gliederung dient eine Auswertung des ÖFZS, welche die Flächenanteile der Höhenstufen an den Gemeinden Österreichs enthält. Die Grenzen dieses Datensatzes sind 600m, 1700m, 2200m, 2800m. Die Grenze 1700m (Beginn der Höhenstufe 4) ist dabei nicht eine natürliche ökologische Grenze. Da die Hochalmen aber definitionsgemäß über 1700m N.N. liegen, muß diese beibehalten werden, um die Hochalmen als Flächennutzungskategorie berücksichtigen zu können.

Folgendermaßen wird bei der Berechnung der aktuellen Flächen vorgegangen:

Die Bodennutzungskategorien Ackerland, Grünland und versiegelte Flächen werden 'von unten nach oben' in den Höhenstufen eingefügt, d.h. es wird angenommen, daß Bau-, Acker-, Gärten- und Grünlandflächen unterhalb des Waldes liegen. Der Restbetrag in den Höhenstufen 1-3 wird als Waldfläche angenommen. So stellt die Waldfläche eine Restfläche dar, welche auftretende Flächenfehler korrigiert. Für die Ermittlung der Waldfläche der Höhenstufe 4 mußte diese 'Methode' erweitert werden.

3.2.1.2.1 Flächenaufteilung der Höhenstufe 4 der aktuellen Vegetation

Die Höhenstufe 4 erstreckt sich nach dem Raster der Auswertung des ÖFZS von 1700m bis 2200m N.N. und ist nicht mit der Höhenstufe 4 bei der Berechnung der potentiellen Vegetation ident. Diese beginnt bei 1800m und endet mit 2200m N.N., und deckt sich zum größten Teil mit den natürlichen ökologischen Höhenabstufungen

(vgl. Kapitel 3.1.2 'Methodik: 'Flächenmodell der hypothetischen natürlichen Vegetation').

Die Höhenstufe 4 ist die Höhenstufe der alpinen Baumgrenze, welche, je nach Wuchsgebiet, unterschiedlich hoch liegt, sich jedoch durchwegs innerhalb dieser Höhenamplitude befindet. Schon unterhalb der Baumgrenze beginnt der Wald sich aufzulockern und bildet ein lückigeres Kronendach als die Wälder der tieferen Stufen.

Der Einfluß des Menschen in dieser Stufe ist nicht so stark wie in den darunterliegenden, da – klimabedingt – die meisten Arten menschlicher Nutzung wie Landwirtschaft und Besiedlung hier nicht mehr möglich sind. Dennoch hat der Einfluß des Menschen, in Form einer extensiven Nutzung diese Höhenstufe geprägt. Während die subalpinen Nadelwälder ohne menschlichen Einfluß relativ dicht geschlossen bleiben, also Baum- und Waldgrenze eine Einheit bilden, wird durch extensive Vieh- und Holzwirtschaft "...eine Sukzession ausgelöst, welche vom dichtgeschlossenen Wald über parkartige Stadien zu freier Trift führt" (ELLENBERG 1996, S. 45). Das ohnehin schon bestehende Mosaik der Vegetation in der subalpinen Stufe wird somit verstärkt. Die wohl bedeutsamste Folge der menschlichen Nutzung ist die Absenkung der Waldgrenze durch die Ausweitung der alpinen Rasen talwärts. Die extensive Nutzung erfolgt vor allem durch das Anlegen von Hochalmen.

Somit liegen in der Höhenstufe 4 drei verschiedene Vegetationstypen, deren Verteilung und Anteil auf den menschlichen Einfluß zurückzuführen ist: Subalpiner Wald, Hochalmen und alpine Rasen und Matten. Letztere sind die alpinen Urweiden, die sowohl Reste der potentiellen Vegetation darstellen, als auch sich nach Aufgabe der Hochalmenutzung wieder einstellende naturnahe Vegetationseinheiten.

Ermittlung des Flächenanteils des Waldes

Zur Ermittlung der Flächenanteile dieser drei Vegetationseinheiten war es notwendig, den Anteil des Waldes an der Höhenstufe zu bestimmen. Da der menschliche Einfluß die Waldgrenze absenkte, und der Höhenraster der aktuellen Vegetation ein anderer ist, wurde aus Literaturdaten die aktuelle Waldgrenze bestimmt, und zwar getrennt nach den verschiedenen Wuchsgebieten. Denn auch in der aktuellen Vegetation treten Unterschiede der Waldgrenze innerhalb der

Wuchsgebiete auf. Aufgrund der Lage der Baum- bzw. Waldgrenze innerhalb der Höhenstufe wurde prozentuell der Anteil des Waldes an der Höhenstufe bestimmt.

Die Zurückdrängung der Waldgrenze talwärts ist beträchtlich, und beträgt oft mehrere hundert Meter, so in der gesamten Schweiz etwa 300m, in Tirol 208m. Aus mehreren Angaben über die aktuellen Waldgrenzen (vgl. ELLENBERG 1996, MAYER & OTT 1991, ZWITTKOVITZ 1974) wurden diese, wie aus Tabelle 3.2.1 hervorgeht, auf 1700, 1800 bzw. 2000m für die Rand-, Zwischen- und Inneralpen festgelegt. Dabei wurden, wenn angegeben, die Baumgrenzen berücksichtigt, da die Forstinventur, welche die Daten für den Standing Crop liefert, auch Zwergstrauchgesellschaften zumindest teilweise mit einschließt (BÜCHSENMEISTER, pers. Kommunikation). Daraus wurden die Flächenanteile des Waldes der Höhenstufe 4 abgeleitet.

Tabelle 3.2.1: Potentielle und aktuelle Waldgrenze der alpinen Wuchsgebiete und angenommener Flächenanteil des Waldes an der Höhenstufe 4

	potentielle Waldgrenze	aktuelle Waldgrenze	Flächenanteil des Waldes an H4
Inneralpen	2250m	2000m	40%
Zwischenalpen	2000m	1800m	20%
Randalpen	1800m	1700m	0%

Quelle: MAYER 1974, ELLENBERG 1996, MAYER & OTT 1991, ZWITTKOVITZ 1974, eigene Annahme
Die Höhenstufe 4 (H4) reicht von 1700m bis 2200m N.N..

Aufgrund dieser Annahmen beläuft sich die Waldfläche der Höhenstufe 4 auf 2.135 km², und österreichweit nimmt der Wald somit 39.790 km² ein. Diese Fläche ist rund 1.000 km² größer als jene, welche von der Forstinventur 1986/90 angegeben ist. Da die hier verwendete Methode den Wald jedoch als Restfläche behandelt, ist diese Überschätzung durchaus im Rahmen der angestrebten Genauigkeit. Bezüglich der Waldfläche existieren jedoch keine wirklich gesicherten Daten. So gibt das Satelliteninformationssystem CORINE eine Fläche von 36.851 km² für den reinen Wald, und 38.955 km² für den Wald inklusive Latschen an, und die Satellitenauswertung des ÖFZS ermittelt 41,377 km² als Waldfläche. Die Angabe der Forstinventur mit 38.780 km² Waldfläche für 1986/1990 wird als die sicherste Quelle angesehen (SCHIDLER 1998).

Ermittlung des Flächenanteils der Hochalmen

Nach Abzug der Waldfläche von der Höhenstufe 4 verbleibt eine Restfläche, welche von den Hochalmen und der alpinen Urvegetation eingenommen wird. Hochalmen liegen, wie die alpinen Rasen und Matten, jedoch auch in der Höhenstufe 5 (2200-2800m), wenn auch zu einem geringeren Anteil (ZWITTKOVITZ 1974). Daher werden die Hochalmen ebenfalls 'von unten nach oben' in H4 und H5 eingefüllt. Aufgrund des Wirtschaftsprinzips kommt es dabei zu Auftreten von negativen Flächen, d.h. die Katasterfläche der Hochalm ist größer als der Flächenanteil der zwei Höhenstufen an der Gemeinde. Bei diesen Gemeinden wurde die Hochalmfläche gleich dem Flächenanteil der Höhenstufen 4 und 5 festgesetzt, also flächendeckende Bewirtschaftung angenommen. Die restliche, überschüssige Hochalmfläche wurde null gesetzt. Österreichweit gingen hierdurch 169 km² Hochalmfläche verloren und gehen als alpinen Rasen in die Rechnung ein. Daraus resultiert eine Fläche der Hochalmen von 4600 km² österreichweit.

Ermittlung des Flächenanteils der alpinen Rasen und Matten.

Jene Fläche der Höhenstufen 4 und 5 (1700-2800m), welche weder von Wald noch von Hochalmen eingenommen wird, stellt die Fläche der alpinen Urvegetation dar. Sie beläuft sich auf 5600 km² österreichweit, ist also um rund 400 km² größer als die Fläche der alpinen Rasen und Matten der potentiellen Vegetation Österreichs. Diese Ausweitung der Fläche der alpinen Vegetation ist eine Folge der gesellschaftlichen Nutzung der alpinen Vegetationseinheiten (vgl. ELLENBERG 1996, S. 563).

In Tabelle 3.2.2 sind die sowohl die Flächenangaben aus statistischen Quellen als auch die errechneten Flächen pro Bundesland dargestellt.

Tabelle 3.2.2.: Flächen der aktuellen Nutzungskategorien der Bundesländer

	gesamt	Wald	Acker	Grün- land	Garten -land	Hoch- almen	alpine Rasen	Bau- fläche	Verkehr -fläche	Ge- wässer	H6
	[km ²]										
Burgenland	3.966	1.604	1.404	275	238	-	-	73	128	242	-
Kärnten	9.533	5.338	594	1.688	28	745	687	50	166	148	89
NÖ	19.174	8.638	6.862	2.301	425	6	7	205	522	208	-
OÖ	11.980	5.433	2.871	2.803	83	6	161	102	292	229	-
Salzburg	7.154	3.027	49	2.070	8	763	965	24	80	88	80
Steiermark	16.388	10.038	1.445	3.086	163	537	618	125	277	99	-
Tirol	12.648	4.645	84	2.213	7	2.127	2.815	36	106	81	535
Vorarlberg	2.601	866	20	826	2	400	354	18	40	60	15
Wien	415	202	56	26	14	-	-	55	48	14	-
Österreich	83.859	39.789	13.384	15.288	969	4.584	5.607	689	1.660	1.169	719
		47,4%	16,0%	18,2%	1,2%	5,5%	6,7%	0,8%	2,0%	1,4%	0,9%

Quelle: Bodennutzungserhebung ÖSTAT, eigene Berechnung

Die Gewässerfläche wurde bei der Ermittlung des Standing Crop nicht berücksichtigt.

3.2.2 Standing Crop-Werte für die Vegetationseinheiten der aktuellen Vegetation

3.2.2.1 Wälder

Zur Ermittlung relativer Werte für den aktuellen Standing Crop der Wälder diente als statistische Grundlage die Forstinventur der Forstlichen Bundesversuchsanstalt (SCHIELER ET AL. 1996). Wichtig für die Auswertung waren die Daten bzgl. der Flächen für die einzelnen Baumarten der Forstbezirke, die Flächenanteile der verschiedenen Betriebsarten (Ertragswald, Ausschlagwald, Schutzwald außer Ertrag), und besonders die Daten über den Holzvorrat (in Vorratsfestmetern [Vfm]).

Enthalten sind auch Flächenangaben über den Anteil von Reinbeständen und Mischwäldern. Die Forstinventur weist jedoch, wie bereits angesprochen, 'Wälder' nicht als solche aus, sondern 'Baumartenareale'. Dies führt besonders bei der Ermittlung der Expansionsfaktoren (s.u.) zu Ungenauigkeiten. Details zur Forstinventur finden sich im Kapitel 2 'Datengrundlage')

Die Einheit 'Vorratsfestmeter' (Vfm) bezeichnen die mit Hilfe von Ertrags- oder Massentafeln stehend gemessenen bzw. geschätzten Schaftholzvolumina (inkl. Rinde). Da für diese Studie jedoch die gesamte oberirdische Biomasse der Wälder zu ermitteln ist (und nicht nur das Schaftholz, d.h. die Stammmasse), mußte die Daten noch mit Hilfe von Expansionsfaktoren in Biomasse umgerechnet werden. Dabei wurde wie folgt vorgegangen.

1. Umrechnung von Vorratsfestmeter Holz in Tonnen Trockenmasse. Mit Hilfe von Raumdichtezahlen wird die Stammmasse des Holzes von Vorratsfestmetern [Vfm] in Trockenmasse [t bzw. kg] umgerechnet. Die Werte sind in Tabelle 3.2.3 zusammengefaßt

Tabelle 3.2.3.: Trockensubstanz pro Vorratsfestmeter der einzelnen Baumarten.

Raumdichtezahlen	t/Vfm
Fichte	0,43
Tanne	0,41
Kiefer	0,54
Lärche	0,55
sonst. Nadelbäume	0,44
Buche	0,68
Eiche, Esche, Hainbuche	0,68
sonst. Laubbäume	0,49

Quelle: ÖNORM B 3011 (zit. in HABERL 1995, S. 67)

2. Ermittlung von Expansionsfaktoren zur Umrechnung von Schaftholzmasse (=Stamm) zu Gesamtbiomasse (=Stamm + Äste + Zweige + Blüten + Früchte + Blätter). Aus den zur Ermittlung des Standing Crop der hypothetischen natürlichen Vegetation erhobenen Daten (vgl. Kapitel 3.1 'Methodik: Standing Crop-

Werte für die Vegetationseinheiten der hypothetischen natürlichen Vegetation'), wurde, nach Baumart, der prozentuelle Anteil der einzelnen Kompartimente ermittelt, und zwar getrennt für alle Altersklassen und für die Überhälter und den Vorwuchs. Die Bundesforstinventur arbeitet mit einer Kluppschwelle von 5 cm, d.h. kleinere Bäume werden nicht erfaßt. Dies ist besonders bedeutsam bei der Altersklasse zwischen 1 und 20 Jahren, da hier der Bestand noch jung ist und nur wenige Bäume im Stammdurchmesser die Weite der Kluppschwelle erreichen. Die Reisigmenge am sehr schwachen Derbholz ist in dieser Altersklasse wesentlich größer als die Derbholzmenge selbst. Daher wurde in dieser Altersklasse (1-20 Jahre) der Faktor auf 200% gesetzt (BURSCHEL ET AL. 1993). Die ermittelten Expansionsfaktoren sind in Tabelle 3.2.4 dargestellt. Die Expansionsfaktoren sollten im Laufe der Alterung exponentiell abnehmen (durch die zunehmende Speicherung von Biomasse in den Schäften wird der Anteil der Blätter und Äste immer geringer; MITSCHERLICH 1975, S. 247). Auf eine mathematische Beschreibung dieser Entwicklung wurde jedoch in Anbetracht der sonstigen Fehlerquellen (z.B. Schwankungen der Holzdichte; PAULSEN 1995) verzichtet. Für Lärche und die Summe der sonstigen Nadelwälder wurde aus Datenmangel der Wert für Fichte verwendet. Die Werte für die Überhälter und den Vorwuchs sind Mittelwerte aller Altersklassen.

Tabelle 3.2.4.: Expansionsfaktoren zur Berechnung der Baumbiomasse aus der Schaftholzmasse (=Baumstamm + Rinde) über die Altersklassen

Altersklassen	1-20	21-40	41-60	61-80	81-100	101-120	121-140	>140	Überhälter +Vorwuchs
Fichte	2,00	1,29	1,27	1,20	1,22	1,20	1,20	1,20	1,23
Tanne	2,00	1,23	1,18	1,16	1,15	1,15	1,16	1,16	1,17
Kiefer	2,00	1,33	1,25	1,23	1,13	1,15	1,15	1,15	1,20
Lärche	2,00	1,29	1,27	1,20	1,22	1,20	1,20	1,20	1,23
sonst. Nadelbäume	2,00	1,29	1,27	1,20	1,22	1,20	1,20	1,20	1,23
Buche	2,00	1,46	1,29	1,29	1,21	1,21	1,28	1,21	1,28
Eiche, Esche, Hainbuche	2,00	1,31	1,31	1,31	1,31	1,31	1,31	1,31	1,31
sonst. Laubbäume	2,00	1,22	1,23	1,28	1,28	1,39	1,28	1,28	1,28

Quelle: eigene Berechnung
Lärche und sonst. Nadelbäume erhalten den Wert der Fichte.

3. Erweiterung der Baumbiomasse zur Waldbiomasse. Durch diese Expansionsfaktoren beziehen sich jedoch nur auf die Bäume als solche. Für den Standing Crop der Wälder muß daher noch der Anteil des Unterwuchses miteinbezogen werden. Der Anteil des Unterwuchses am gesamten Standing Crop von Wäldern wird aus den selben Literaturdaten wie die Expansionsfaktoren ermittelt. Daraus werden Faktoren zur Umrechnung der Biomasse der Bäume zur Biomasse der Wälder gewonnen. Tabelle 3.2.5 zeigt die Ergebnisse dieser Auswertung.

Tabelle 3.2.5.: Expansionsfaktoren zur Berechnung des Unterwuchses der Baumarten

Unterwuchs	Faktor
Fichte (11)	1,02
Tanne (4)	1,09
Kiefer (7)	1,03
Lärche	1,02
sonst. Nadelbäume	1,02
Buche (3)	1,03
Eiche, Esche, Hainbuche (22)	1,07
sonst. Laubbäume (15)	1,13

Quelle: Berechnung aus Daten von CANNELL 1982. In Klammer steht die Anzahl der aufgenommenen Untersuchungen. Lärche und sonst. Nadelbäume erhalten den Wert der Fichte.

Die Ergebnisse der Forstinventur in Vfm werden nun mit diesen 3 Faktorenbündeln multipliziert, um dem Standing Crop zu errechnen. Für die forstwirtschaftlich nicht genutzten Wälder, die 'Schutzwälder außer Ertrag', sind keine statistischen Angaben verfügbar. Dieser erreicht laut Forstinventur rund 12% der aktuellen Waldfläche. Hier wurde daher mit durchschnittlichen Standing Crop-Werten gerechnet. Als Mittel wurde der durchschnittliche potentielle Standing Crop Österreichs gewählt (26 kg/m², 515 MJ/m², 11,7 kgC/m²). Dabei war folgende Überlegung ausschlaggebend: Schutzwälder außer Ertrag sind von der wirtschaftlichen Nutzung ausgeschlossen, da sie entweder in schwer oder nicht begeharen Lagen vorkommen, oder Bestände mit naturbedingt äußerst geringer Wuchsleistung sind. Aus letzterem Grund sollte der Standing Crop dieser Standorten auch eher gering sein. Da diese Wälder jedoch auch als vom Menschen ungestört angenommen werden können, sollte das Klimaxstadium annäherungsweise erreicht sein. Daher müßte der Standing Crop wiederum höher

sein. Als Kompromiß wurde der Wert des Standing Crop der potentiellen Vegetation Österreichs gewählt. Dieser ist etwas geringer als jener von den Wäldern im allgemeinen.

Für die im Waldbestand erhobenen Blößen, Lücken und Strauchflächen wurden ebenfalls Schätzwerte herangezogen, und zwar $0,47 \text{ kg/m}^2$ für Blößen und Lücken (MILLBACHER 1987, SATTLER 1990, HÖHNE 1962, RODENKIRCHEN 1982), und $6,0 \text{ kg/m}^2$ für Sträucher (DÖRFLINGER ET AL. 1995).

Diese Expansionsfaktoren wurden auf die statistischen Daten der Bundesforstinventur aller 84 Forstinspektionen angewandt. Da die Forstinspektionen jedoch nicht den politischen Bezirken entsprechen (Anzahl 99), wurden für jeden Forstbezirk nur die Flächenwerte, also der relative Standing Crop, bestimmt (in kg/m^2 , MJ/m^2 und kgC/m^2). Dies war möglich, da die Forstinventur auch Angaben über die Flächen der einzelnen Baumarten enthält. Die Werte wurden daraufhin, nach Waldfläche gewichtet, von den Forstinspektionen zu den einzelnen politischen Bezirken umgerechnet. Zur Berechnung des Standing Crop wurden die so ermittelten relativen Werte der Bezirke mit der als Restfläche angenommenen Waldfläche (siehe Kapitel 3.2.1 'Flächenmodell der aktuellen Vegetation') der politischen Gemeinden in diesen Bezirken multipliziert.

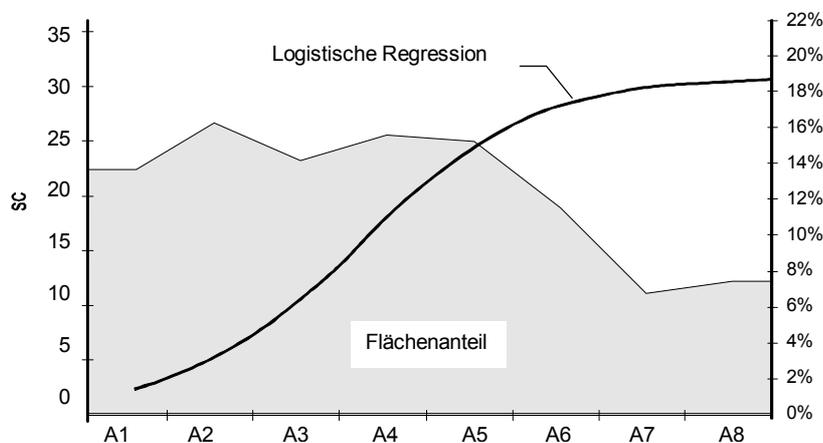
3.2.2.1.1 Alternative Berechnung des aktuellen Standing Crop der Wälder

Die Österreichische Bundesforstinventur (BFI) enthält auch Angaben über die Flächen der einzelnen Baumarten nach Altersklassen geordnet. Diese Daten sind jedoch nur auf Bundesländerebene verfügbar, und nicht auf der Aggregationsstufe der Forstbezirke.

Anhand der im Kapitel 3.1.1 ('Standing Crop-Werte für die Vegetationseinheiten der hypothetischen natürlichen Vegetation – Wälder') ermittelten logistischen Regressionen für die einzelnen Baumarten und der aus der BFI gewonnenen Flächenangaben über die Altersklassen dieser Baumarten wurde der aktuelle Standing Crop der Wälder berechnet.

Implizite Annahme dabei ist, daß die Wälder immer noch unter hypothetischen natürlichen Grundbedingungen wachsen, jedoch in juvenilen Stadien 'gehalten' werden. Durch die Flächenangaben der Baumarten nach Altersklassen ist festlegbar, wo 'auf' der Kurve der logistischen Regression sich der aktuelle Wald 'befindet'. Exemplarisch sei dieser Sachverhalt in Abbildung 3.2.1 am Beispiel der Buche illustriert.

Abbildung 3.2.1 Flächenanteile der Altersklassen der Buche (*Fagus sylvatica*) im Vergleich mit der potentiellen logistischen Wachstumskurve



Quelle: BFI, eigene Berechnung. Eigene Darstellung.

Auf der linken Ordinate findet sich der Standing Crop der logistischen Regression in kg/m² Trockenmasse (DM), auf der rechten der prozentuelle Anteil der Altersklassen an der aktuellen Gesamtfläche der Buche in Österreich. Die logistische Kurve ist deckungsgleich bzgl. des Alters des Bestandes darübergelegt. A1 – A8 sind die Altersklassen.

Die Abbildung zeigt deutlich den Einfluß des Menschen auf die Wälder durch die forstwirtschaftliche Nutzung. Während in einer Klimaxgesellschaft die Altersverteilung ausgeglichen ist (LOTKA 1925, zit. in ODUM 1983), findet sich in forstwirtschaftlich genutzten Buchenwäldern einen hohen Prozentanteil an jungen Individuen. Eindeutig überwiegen flächenmäßig die Altersklassen 1 bis 5 (1-100 Jahre), während der Anteil der 'reifen' Bestandsmitglieder bei rund 10% liegt. Bei den anderen Waldarten ergibt sich noch ein viel extremeres Bild. Nur bei der Tanne (*Abies alba*) überwiegen die 'alten' Bestandsmitglieder. Aus Platzgründen beschränkt sich aber die Präsentation auf die Buchenwälder.

Die Flächenanteile der Altersklassen der Wälder Österreichs sind in Tabelle 3.2.6 dargestellt. Diese Angaben waren für alle in der Forstinventur erhobenen Waldarten verfügbar. Anhand dieser Flächenaufteilung konnte der Standing Crop mit Hilfe Funktion der logistischen Regression von Standing Crop gegen Bestandsalter ermittelt werden.

Tabelle 3.2.6.: Anteile der Altersklassen Österreichs Wälder am Ertragswald

Altersklasse	Fläche [km ²]	Anteil [%]
1-20	6.0351	20%
21-40	6.523	22%
41-60	4.232	14%
61-80	3.961	13%
81-100	3.365	11%
101-120	2.369	8%
121-140	1.594	5%
>140	2.181	7%
Summe	30.260	100%

Quelle: BFI. Die Flächenangaben beziehen sich ausschließlich auf den Ertragswald

Zu beachten ist, daß diese Flächenangaben nur für den Ertragswald zur Verfügung standen. Für die Schutzwälder außer Ertrag mußte, wie bei der Berechnung des Standing Crop der aktuellen Wälder mittels Expansionsfaktoren, ein Flächenwert gefunden werden. Hier wurde der selbe Wert wie bei jener Berechnungsmethode gewählt: 26 kg/m², 515 MJ/m² oder 11,7 kgC/m².

Diese alternative Berechnungsmethode liefert für Österreich einen Gesamtwert von 711 Mio. Tonnen Trockenmasse. Da diese Berechnungsmethode aber die Waldfläche der Bundesforstinventur zu Grundlage hat, ist dieser Wert nicht unmittelbar vergleichbar. Zum Vergleich eignet sich besser der flächenbezogene Standing Crop. Dieser beläuft sich auf 18,33 kg/m² (359,3 MJ/m² oder 8,26 kgC/m²) und ist um rund 5% geringer als der der Berechnungsmethode anhand der Expansionsfaktoren (19,36 kg/m², 379,4 MJ/m² oder 8,71 kgC/m²).

Da die Forstinventur Flächendaten der Altersklassen nach Baumarten nur auf Bundesländerebene zur Verfügung stellt, die Vorratsangaben jedoch auf Ebene der Forstinspektionen vorhanden sind, wird im weiteren auf die Berechnungsmethode anhand der Expansionsfaktoren zurückgegriffen. Auch liegt der Schwerpunkt der Erhebungen der Forstinventur auf dem Vorrat in Vfm und nicht so sehr auf der Fläche. Dies bedeutet, daß die Angaben über den Holzvorrat als verlässlicher anzusehen sind als jene über die Flächenanteile.

3.2.2.2 Äcker

Bei den in der Landwirtschaft angebauten Pflanzen handelt es sich in erster Linie um Gräser, also um annuelle Pflanzen. Der Standing Crop der Äcker wird deshalb jedes Jahr aufs Neue aufgebaut, und unterliegt folglich starken saisonalen Schwankungen, nämlich von \emptyset kg/m² bis zu einer 'peak-Biomasse'. In dieser Untersuchung wird mangels besserer Daten der maximale Standing Crop der Äcker der ANPP dieses Vegetationstyps gleichgesetzt (vgl. KÖRNER ET AL. 1993, MAIER ET AL. 1997). Dies führt zu einer tendenziellen Überschätzung des Standing Crop, da Fraß und ähnliche Verluste dem Standing Crop aufgerechnet werden. Für diese Faktoren existieren jedoch keine geeigneten Abschätzungsmethoden. Die Werte der oberirdischen Nettoprimärproduktion entstammen der NPP-Ermittlung für Österreich von HABERL (1995), bzw. der Zeitreihe der Aneignung der NPP nach KRAUSMANN (in prep.).

Die ANPP des Ackerlandes wird bezirksweise anhand von Erntefaktoren auf Basis der Ernte laut Statistik der Agrarwirtschaft gewonnen. Analog zur Berechnung des Standing Crop der Wälder mittels Expansionsfaktoren wird aus der Ernte mit Hilfe von Erntefaktoren (Tabelle 3.2.7) die ANPP, und somit auch der Standing Crop, erhoben. Auch hier sind nur Daten auf Bezirksniveau vorhanden. Durch die unsichere Datenlage der Ernte für die Kategorien, welche unter dem Ackerland 2 zusammengefaßt sind, wurden für sie keine eigenen Relativwerte erhoben, sondern die ermittelten Werte des Ackerland 1 verwendet. In Folge wurden hier relative Werte für die einzelnen Bezirke mit den Flächenanteilen der zugehörigen Gemeinden multipliziert. Auf tieferer Ebene liefert die Landwirtschaftsstatistik keine Primärdaten.

Manche Ernteprodukte stellen unterirdische Organe dar (z.B. Kartoffel und Rüben). Deren Biomasse wird dieser Mangel besserer Daten der oberirdischen Biomasse aufgerechnet. Der Fehler, der sich daraus ergibt, dürfte aufgrund der geringen Flächenausdehnung dieser Kulturarten nur unbedeutend sein.

Tabelle 3.2.7.: Erntefaktoren zur Ermittlung des Standing Crop aus der Ernte der landwirtschaftlich genutzten Fläche

	Wasser- gehalt Ernte- produkte [%]	Brennwert Ernte- produkte [MJ/kg]	Brennwert Rest TM [MJ/kg]	Harvest Index	Erntefaktor Energie inkl. Ernte- produkte	Erntefaktor Trocken- masse inkl. Ernte- produkte
Weizen	14	18,30	17,80	0,53	29,31	1,62
Roggen	14	17,90	18,40	0,48	32,54	1,79
Gerste	14	18,05	18,20	0,53	29,40	1,62
Hafer	14	18,80	18,00	0,48	32,94	1,79
Wintermenggetreide	14	18,10	18,10	0,51	30,52	1,69
Sommernenggetreide	14	18,10	18,10	0,51	30,52	1,69
Körnermais	14	18,50	18,10	0,52	30,28	1,65
Silomais	14	18,50	18,10	0,5	31,48	1,72
Kartoffel	78	16,80	17,30	0,81	4,59	0,27
Rüben	77	16,00	17,30	0,72	5,23	0,32
Raps	12	27,00	17,30	0,35	52,03	2,51
Sonnenblume	7	28,90	17,30	0,32	61,07	2,91
Klee	14	18,60	18,60		23,90	1,30

Quelle: KRAUSMANN (in prep.)

Als Erntefaktoren für Luzerne und Klee gras wurden jene des Klees gewählt. Die relative Ernte pro Bezirk wurde aus der Division von Anbaufläche und geernteten Mengen für die Arten des Ackerlandes 1 der Landwirtschaftlichen Statistik berechnet. Für eine detaillierte Darstellung der Literatur für die Erntefaktoren siehe HABERL (1995, S. 60) und KRAUSMANN (in prep.)

3.2.2.3 Gartenländer

Weingärten, Erwerbsgartenland, Hausgärten werden mangels besserer Angaben als Mischwerte von Bäumen und Wiesen berechnet. Einzig für die Weingärten sind Literaturwerte für den Standing Crop verfügbar.

Für Weingärten wurde in Anlehnung an KÖRNER ET AL. (1993) der Wert einheitlich auf $3,33 \text{ kg/m}^2$ ($64,3 \text{ MJ/m}^2$ oder $1,5 \text{ kgC/m}^2$) gesetzt.

Bei Obstanlagen, Haus und Erwerbsgärten wurde angenommen, daß sie aus $\frac{2}{3}$ Wiese und $\frac{1}{3}$ Wald bestehen. Ihr Standing Crop beläuft sich somit auf $6,9 \text{ kg/m}^2$ (134 MJ/m^2 oder $3,1 \text{ kgC/m}$).

Diese Werte stellen grobe Annahmen dar, welche jedoch aufgrund der geringen Flächenausdehnung der Kategorien als annehmbar erscheinen.

Aufgrund dieser Werte wurde der Standing Crop der Kategorie 'Gartenländer' auf Gemeindeebene errechnet.

3.2.2.4 Grünländer

Der überwiegende Teil des Grünlandes Österreichs wird als ein- oder mehrschnittige Wiese genützt, die Bodennutzungserhebung unterscheidet jedoch auch weitere Kategorien. Für Wiesen liegen Erntestatistiken vor, nicht jedoch für Weiden. Eine Literaturrecherche hat jedoch gezeigt, daß es nicht sinnvoll ist, aufgrund von Erntedaten den Standing Crop zu errechnen. Die Ernte beschreibt viel mehr die Produktion als den Standing Crop, welcher eine Zustandsgröße darstellt.

Zwar handelt es sich bei Grünländern ebenfalls um annuelle Pflanzen, und der oberirdische Anteil der Vegetation wird jedes Jahr neu aufgebaut, so daß ANPP und Standing Crop gleichgesetzt werden könnten. ODUM (1960) argumentiert hierzu, daß der Standing Crop des Graslandes stets kleiner sein muß als die ANPP, da die einzelnen Grasarten ihren 'Peak', also den Höchstwert des Standing Crop, im Jahresverlauf, nicht gleichzeitig erreichen. Bei Grasland handelt es sich im Gegensatz zum Ackerland nicht um eine einzige Kohorte (Altersklasse; vgl. OVERTON 1975), und der Turnover muß größer als 1 a^{-1} sein.

Die Werte für die ANPP werden auf Basis der Ernte berechnet. Für einschnittige Wiesen könnte mit Hilfe geeigneter Umrechnungsfaktoren aus der ANPP auf den Standing Crop geschlossen werden. Dies gilt jedoch nicht für Mehrschnittige Wiesen. Diese werden 2 bis 3 mal geerntet, und trotz hoher ANPP wird der Standing Crop gering gehalten (sozusagen in einem juvenilen Stadium, um die Produktion zu fördern). Dies bedeutet folglich, daß der Turnover der mehrschnittigen Wiesen bedeutend größer als 1 a^{-1} ist. Da aber nicht zu eruieren ist, wie oft mehrschnittige Wiesen nun tatsächlich geerntet werden, oder wie hoch die Ernte pro Schnitt ist, ist die Festlegung von Erntefaktoren ähnlich wie beim Ackerland nicht möglich. Eine Gleichsetzung des Standing Crop mit der ANPP würde zu einer erheblichen Überschätzung des Standing Crop führen.

Auch Korrelationen des Standing Crop der Wiesen mit klimatischen Faktoren führen nicht zum Ziel. Zwar zeigt sich bei natürlichen Grasländern eine Abhängigkeit, besonders vom Niederschlag (siehe COUPLAND 1979). Graslandschaften in Österreich sind jedoch nicht natürliche Landschaften, sondern von menschlichen Eingriffen abhängig. Die Anwendung solcher Korrelationen wäre daher unzulässig.

Aufgrund dieser Argumentation wurde zur Findung eines geeigneten Wertes für den Standing Crop der Grasländer eine Literaturrecherche durchgeführt, welche im Anhang (Appendix A.2) dokumentiert ist. Dabei zeigt sich, daß kaum Unterschiede von Wiesen und Weiden auftreten, und diese auch häufig als gemeinsame Kategorien behandelt werden. Daher werden Wiesen und Weiden gleichgesetzt. Zu beachten ist, daß extensivere Nutzung einen höheren Standing Crop bedingt. Extensive Nutzung hat höhere Verbuschung zur Folge. Da aber die ANPP der extensiv genutzten Gebiete relativ niedrig ist (schlechte Nährstoffversorgung, vgl. HABERL 1995), wird vermutlich ein geringerer Standing Crop ausgebildet. In Summe werden daher alle Grünländer gleichgesetzt. Ausnahme bilden hier die Brachen, welche einen geringere oberirdische Biomasse aufweisen. Eine Darstellung der Literaturrecherche findet sich im Appendix A.2.

Auch die Nieder- und Mittelalmen werden bezüglich ihres Standing Crop als Grünland angesprochen. Gemäß ihrer Nutzung stellen sie Weiden dar, die sich nur durch ihre Lage (in Höhenstufe 2 bis 4) von den 'wirklichen' Weiden unterscheiden.

In Summe ergibt sich für die Wiesen, Weiden, Nieder- und Mittelalmen ein Standing Crop von 0,55 kg/m² (0,25 kgC/m² oder 9,7 MJ/m²). Für die Brachen (Acker- und Grünlandbrachen) wurde ein Mittelwert von 0,38 kg/m² (0,17 kgC/m² oder 6,6 MJ/m²) ermittelt. Diese Werte wurden mit den Flächen der Grünländer der einzelnen Gemeinden multipliziert, und so der Standing Crop ermittelt. Dadurch daß es sich hier um einen bundesweiten Faktor für Österreich handelt, ist die regionalisierte Analyse des Standing Crop des Grünlandes nicht wirklich aussagekräftig (siehe Kapitel 5.1.1 'Fehlerabschätzung').

3.2.2.5 Hochalmen

Hochalmen liegen über 1700m Seehöhe. Für sie liegen einige Literaturwerte vor. In Tabelle 3.2.8 sind die Ergebnisse der Literaturrecherche dargestellt. Zu beachten ist, daß Hochalmen auch in H5 vorkommen. Dies hat Auswirkungen auf die Fläche des Waldes und der alpinen Rasen und Matten (s.o.) Für den Standing Crop der Hochalmen wurde der Mittelwert der einzelnen Aufnahmen verwendet, nämlich 0,42 kg/m², das sind 8,26 MJ/m² oder 0,19 kgC/m².

Tabelle 3.2.8.: Ermittlung des Standing Crop der Hochalmweiden

Beschreibung	Mittel [g/m ²]	Referenz
Silikatalpen, Obergurgl	384	GRABHERR 1987
Zentralalpen, Hoher Nebelkogel	32,4	MOSER ET AL. 1977
Curvuletum, Hohe Tauern	774,8	PÜMPEL 1976
Curvuletum, Hohe Tauern	796,1	PÜMPEL 1976
feuchte Mulde' <i>Descampia caespitosa</i> , Hohe Tauern	383,4	PÜMPEL 1976
Schneetälchen' <i>Curvuletum</i> , <i>Salix herbaceae</i> , Hohe Tauern	199,9	PÜMPEL 1976
Curvuletum, Hohe Tauern	786	CERNUSCA 1989
Almweide	398,6	KLUG-PÜMPEL 1978
Alpenampferflur	263,6	KLUG-PÜMPEL 1978
<i>Descampsia</i> (Langrasflur)	261,2	KLUG-PÜMPEL 1978
Schmielenrasen/Zwergstrauchheide	329,8	KLUG-PÜMPEL 1978
Mittelwert	419,1	

3.2.2.6 Alpine Urvegetation

Aus der Differenz von H4 und H5 (1700m - 2800m) und den Hochalmen, abzüglich der als Wald angenommenen Fläche in H4 (s.o.) ergibt sich die Fläche der alpinen Urvegetation. Diese wird als vom Menschen unberührt angenommen und erhält den selben Wert wie die potentiellen Urvegetation dieser Höhenstufe, nämlich 1 kg/m^2 ($19,7 \text{ MJ/m}^2$, $0,45 \text{ kgC/m}^2$).

3.2.2.7 Verbaute Flächen

Die Bauflächen und Verkehrsflächen werden anhand verschiedener Datenquellen ermittelt, welche unterschiedliche Qualität aufweisen (vgl. Kapitel 2 'Datengrundlage'). In Ermangelung besserer Quellen wurden jedoch diese verwendet. Die Ausdehnung der verbauten Flächen erreicht ungefähr 3% von Österreichs Fläche. Aufgrund dieses geringen Anteils scheinen die Ungenauigkeiten in Hinsicht auf den Standing Crop kaum ins Gewicht zu fallen. Der verbauten Fläche wurde einheitlich ein Standing Crop von Null kg/m^2 zugewiesen.

3.3 Turnover des Biomassevorrats

Standing Crop ist nur eine Komponente der energetischen Beschreibung von Ökosystemen. Eine andere wichtige Komponente stellt die Nettoprimärproduktion dar. Diese ist, im Gegensatz zum Standing Crop, welcher eine Zustandsgröße darstellt, eine Flußgröße ('Durchsatz' oder '-fluß' an Energie). Die Nettoprimärproduktion ist jene Rate, mit welcher Biomasse pro Flächeneinheit gebildet wird. Dieser Zuwachs an Biomasse zusammen mit Fraß- und Detritusverlusten (eben die Nettoprimärproduktion) ist die 'Bruttoproduktion', vermindert um die bei der Respiration der Primärproduzenten selbst verbrauchten organischen Stoffe (siehe Kapitel 1.2 'Begriffe').

Das Verhältnis von Standing Crop zur Nettoprimärproduktion wird als 'turnover' oder als 'biomass accumulation ratio' (BAR) beschrieben: es ist also das Verhältnis von Biomasse in lebenden Pflanzen zu der jährlichen Nettoprimärproduktion.

Der Turnover der Biomasse kann für alle einzelnen Kompartimente einer Spezies, aber auch eines Ökosystems, erhoben werden. Er drückt die Zeit aus, wie lange organisches Material in verschiedenen Geweben verbleibt. In der vorliegenden Arbeit ist es nur möglich, 'overall'-Turnoverraten zu ermitteln. Doch auch diese sind aussagekräftig, können sie doch als mittlere 'Verweilzeit' ('residence time'), z.B. von Kohlenstoff in Biomasse, aufgefaßt werden (WHITTAKER & LIKENS 1973a).

Durch die oben beschriebene Ermittlung des Standing Crop und bereits erhobene Daten zur Aneignung der Nettoprimärproduktion (HABERL 1995, SCHULZ in prep., KRAUSMANN in prep.) ist es möglich, den Turnover der politischen Einheiten und Vegetationstypen, beide jeweils der hypothetischen natürlichen und der aktuellen Vegetation, zu ermitteln. Durch die Beschränkung des Standing Crop auf die oberirdische Biomasse (siehe Kapitel 1.2 'Einleitung: Begriffe') kann auch nur der oberirdische Turnover berechnet werden.

Ausgedrückt wird der Turnover in Zeiteinheiten, also in Jahren [a]. Die Angabe pro Zeiteinheit in [a⁻¹] ist dessen Reziprokwert, und drückt nicht die 'Verweil- oder Residenzzeit' sondern die 'Durchgangssrate' aus.

Die Ermittlung des Turnover bezieht sich auf die Berechnungen des Standing Crop und der ANPP in Energieeinheiten. Somit wird eine energetische Verweilzeit ausgedrückt.

Zur Berechnung des Turnover wurden die von SCHULZ (in prep.) ermittelten ANPP-Daten verwendet. Diese Daten wurden mit ähnlichen Flächenmodellen wie bei der Ermittlung des Standing Crop der potentiellen und der aktuellen Vegetation erhoben. Dies ist Voraussetzung für eine Verschneidung beider Datensätze. Die verwendeten Daten finden sich im Kapitel 4.4 'Ergebnisse: Turnover'.

Die aktuelle Nettoprimärproduktion bezieht sich auf die oberirdische Produktion der aktuellen Vegetationseinheiten, also inklusive der Produktion von Ernteprodukten. Die Erhebung von SCHULZ (in prep.) enthält auch Angaben über die tatsächlich in der Natur verbleibende ANPP. Diese ist die ANPP der aktuellen Vegetation vermindert um die durch die gesellschaftliche Ernte den Ökosystemen entzogene Produktion. Diese nach der Ernte verbleibende Produktion ist jedoch nicht aussagekräftig bezüglich des Turnover.

4 Ergebnisse

4.1 Standing Crop der hypothetischen natürlichen Vegetation

Der Standing Crop der hypothetischen natürlichen Vegetation wurde mit Hilfe eines Höhenmodells errechnet. Dabei wurde die Fläche Österreichs auf Gemeindeebene in 4 Wuchsbezirke unterteilt (Inneralpen, Zwischenalpen, Randalpen und Vorländer) und eine Höhenstufenabfolge getrennt für jeden dieser Bezirke ermittelt. Die 6 Höhenstufen folgen dabei zum größten Teil der ökologischen Zonierung und stellen somit zugleich Vegetationseinheiten dar. Diese sind vornehmlich Wälder (Laub-, Nadel- und Mischwälder). Alpine Rasen und Matten spielen eine untergeordnete Rolle. Die Standing Crop Werte schwanken je nach Waldtyp zwischen 36,1 und 18,4 kg/m² (845 und 355 MJ/m²), die alpinen Rasen und Matten erreichen nur 1 kg/m² (19,7 MJ/m²). Deren oberirdische Biomasse pro Flächeneinheit stellt also nur etwa 2-3% der oberirdischen Waldbiomasse dar.

4.1.1 Auswertung nach politischen Einheiten

Die Verteilung des Standing Crop innerhalb der einzelnen Höhenstufen und der Bundesländer ist in den Tabellen 4.1.2 und 4.1.4 dargestellt. Der potentielle Standing Crop für Österreich beläuft sich auf 2,21 Mrd. Tonnen Trockenmasse ($2,21 \cdot 10^{15}$ g), dies entspricht 43,203 EJ ($43,203 \cdot 10^{18}$ J) an gebundener Energie.

Bedeutsamster Faktor des absoluten Standing Crop ist die Fläche der jeweiligen politischen Region. Daher sind in Tabelle 4.1.1 die Flächen der einzelnen Bundesländer und deren Anteil an Österreichs Fläche dargestellt.

Tabelle 4.1.1.: Flächen der Bundesländer und deren 'Nullflächen'

	Fläche		Gewässer- fläche [km ²]	H6 (über 2800m) [km ²]
	[km ²]	[%]		
Burgenland	3.965,5	4,7%	242,4	-
Kärnten	9.533,1	11,4%	148,3	88,66
NÖ	19.173,7	22,9%	207,7	-
OÖ	11.979,7	14,3%	229,3	-
Salzburg	7.154,1	8,5%	88,1	80,14
Steiermark	16.388,1	19,5%	98,7	-
Tirol	12.648,0	15,1%	80,7	534,84
Vorarlberg	2.601,4	3,1%	59,7	14,97
Wien	415,0	0,5%	14,1	-
Österreich	83.858,6	100,0%	1.169,0	718,60

Quelle: ÖSTAT, Auswertung des ÖFZS.

Größtes Bundesland Österreichs ist Niederösterreich, gefolgt von der Steiermark. Hier finden sich auch die höchsten Werte des Standing Crop (siehe unten). Die Gewässer umfassen in Österreich rund 1.200 km², das sind knapp 2% der Gesamtfläche. Diese Fläche wurde bei der Ermittlung des Standing Crop nicht berücksichtigt. Die Höhenstufe 6 (über 2800m NN) hingegen wurde als Teil der Vegetationsfläche angesehen, obwohl dort keine Vegetation angenommen wurde. Deren Flächenverteilung variiert stark innerhalb der Bundesländer. Von den knapp 1% der Gesamtfläche Österreichs entfallen 530 km² auf das Bundesland Tirol, das sind 4% von dessen Fläche. Zum Vergleich zwischen den Bundesländern eignen sich am besten die flächenbezogenen Werte des Standing Crop, da hier die Fläche als Faktor nicht ins Gewicht fällt.

Tabelle 4.1.2.: Standing Crop der hypothetischen natürlichen Vegetation nach Bundesländern

	SC _{pot}				SC je m ²		
	[Mio. t DM]	[Mio. t C]	[EJ]	[%]	[kg/m ²]	[kgC/m ²]	[MJ/m ²]
Burgenland	111,0	50,0	2,14	5,0%	29,82	13,42	576,0
Kärnten	243,6	109,6	4,79	11,0%	25,95	11,68	510,2
NÖ	581,0	261,5	11,28	26,3%	30,63	13,79	594,5
OÖ	359,8	161,9	7,00	16,3%	30,62	13,78	596,0
Salzburg	157,9	71,0	3,12	7,1%	22,34	10,05	441,2
Steiermark	472,5	212,6	9,27	21,4%	29,01	13,05	569,2
Tirol	216,1	97,3	4,28	9,8%	17,20	7,74	340,9
Vorarlberg	55,2	24,9	1,09	2,5%	21,73	9,78	428,3
Wien	11,9	5,4	0,23	0,5%	29,70	13,37	573,2
Österreich	2.209,1	994,1	43,20	100,0%	26,72	12,02	522,5

Quelle: eigene Berechnung und ÖSTAT (Flächen).

Die Relativwerte beziehen sich auf die Gesamtfläche ohne der Gewässerfläche. Prozentwerte sind bezüglich der Trockenmassen. SC: Standing Crop

Die Anteile der einzelnen Bundesländer am absoluten Standing Crop sind in erster Linie abhängig vom Flächenanteil an der gesamten Bundesfläche. Hier erreicht Niederösterreich den höchsten Wert, und Wien - als Resultat der geringen Flächenausdehnung - den niedrigsten Wert. Als durchschnittlicher Standing Crop ergeben sich 26,7 kg/m², das sind rund 523 MJ/m² für ganz Österreich (ohne Gewässerflächen). Der Standing Crop pro Flächeneinheit schwankt zwischen 17,2 kg/m² in Tirol und 30,6 kg/m² in Nieder- und Oberösterreich. Weniger als die Unterschiede im Standing Crop der verschiedenen Waldtypen wirkt sich hier die Verteilung von Vegetationstypen, also von Wäldern und alpinen Gesellschaften, auf den Standing Crop der politischen Einheiten aus. Der hohe Flächenanteil der alpinen Zonen am Bundesland Tirol ist in erster Linie ausschlaggebend für den relativ niedrigen potentiellen Standing Crop dieses Bundeslandes. Eine Darstellung des Standing Crop der hypothetischen natürlichen Vegetation auf Gemeindeebene findet sich in Farbtafel 1.

4.1.2 Auswertung nach Höhenstufen

Die in dieser Untersuchung verwendeten Höhenstufen folgen zum größten Teil der ökologischen Zonierung des Alpenraumes. Die ersten 2 Höhenstufen sind dabei, unabhängig vom Wuchsbezirk, die kollin-planare und die montane. Für die weiteren Höhenstufen gibt es Unterschiede zwischen den Wuchsgebieten, welche in Kapitel 3.1.2 ('Flächenmodell der hypothetischen natürlichen Vegetation') näher erläutert sind. Die Höhenstufen 3 und 4 sind auch nicht durchwegs ökologische Höhenstufen, sondern je nach Wuchsbezirk subalpin oder alpin (siehe Kapitel 3.1.2) oder ein Mischwert aus beiden. Die Flächenanteile der Höhenstufen an der Gesamtfläche Österreichs ist in Tabelle 4.1.3 dargestellt, in Tabelle 4.1.4 der Standing Crop der hypothetischen natürlichen Vegetation nach diesen Höhenstufen. Die Auswertung auf Bezirksebene ist im Appendix, C.1 bis C.3, zusammengefaßt.

Tabelle 4.1.3.: Flächenverteilung der Höhenstufen Österreichs

		Fläche	
		[km ²]	[%]
H1	(bis 600)	33.822,6	40,3%
H2	(600-1400)	28.887,7	34,4%
H3	(1400-1800)	8.896,1	10,6%
H4	(1800-2200)	6.141,8	7,3%
H5	(2200-2800)	4.222,9	5,0%
H6	(über 2800)	718,6	0,9%
Gewässer		1.169,0	1,4%
Gesamt		83.858,6	100,0%

Quelle: ÖSTAT und Sonderauswertung ÖFZS

Österreichweit dominieren die kollin-planare Höhenstufe (unter 600m NN) und die montane Höhenstufe (600-1400m). Die Verteilung der Flächenanteile der einzelnen Bundesländer und Bezirke variiert stark je nach Anteil am Wuchsbezirk. In den Inneralpinen Gebieten hat die kollin-planare Höhenstufe den geringsten Anteil an der Gesamtfläche der Region, während in den Gebieten der Vorländer kaum Flächen

in der Höhenstufe 2 liegen. Wien liegt z.B. gänzlich in der H1, und im Burgenland erreicht die H2 knapp 2% der Bundeslandfläche (vgl. Appendix C.1).

Tabelle 4.1.4.: Standing Crop der hypothetischen natürlichen Vegetation nach Höhenstufen

	SC _{pot}				SC je m ²		
	[Mio. t DM]	[Mio. t C]	[EJ]	[%]	[kg/m ²]	[kg C/m ²]	[MJ/m ²]
H1	1.004,0	451,8	19,38	45,5%	29,69	13,36	572,9
H2	987,9	444,5	19,46	44,7%	34,20	15,39	673,7
H3	153,4	69,0	3,08	6,9%	17,24	7,76	346,6
H4	59,6	26,8	1,20	2,7%	9,70	4,37	195,0
H5	4,2	1,9	0,08	0,2%	1,00	0,45	19,7
H6	-	-	-	-	-	-	-
Gewässer	-	-	-	-	-	-	-
Gesamt	2.209,1	994,1	43,20	100,0%	26,72	12,02	515,2
nur Vegetation					26,95	12,13	527,1

Quelle: eigene Berechnung.

Die Relativwerte beziehen sich bei 'Gesamt' auf die gesamte Fläche, bei 'nur Vegetation' auf die Fläche ohne die Gewässerfläche. Prozentwerte beziehen sich auf Trockenmassen. SC: Standing Crop

Der höchste Standing Crop findet sich in den ersten beiden Höhenstufen (90%), und zwar 45% in Höhenstufen 1, und ebenfalls 45% in Höhenstufe 2. Die Höhenstufe 6 und die Gewässer tragen laut Annahme keine Vegetation. Unterschiede zwischen Masse-Auswertung und Energie-Auswertung ergeben sich durch die verschiedenen Energiegehalte von Laub- und Koniferenwäldern (vgl. Kapitel 2.3 'Umrechnung von Masse- in Energieeinheiten und in Kohlenstoffgehalte'). Die montane Höhenstufe ist in der Regel am höchsten bestockt. Dies ist darauf zurückzuführen, daß dort die Tanne verbreitet ist, welche den höchsten Standing Crop aller Baumarten aufweist (vgl. Kapitel 3.1.1.1 'Standing Crop-Werte - Wälder').

4.1.3 Auswertung nach Vegetationstypen

Die Berechnung des Standing Crop basierend auf der Bestimmung von Wuchsgebieten ermöglicht auch eine Auswertung der Daten in bezug auf Vegetationstypen der zonalen Vegetation. Vier Großgruppen sind österreichweit zu unterscheiden: Laubwälder, Mischwälder, Nadelwälder und alpine Rasen und Matten. Tabelle 4.1.5 zeigt die flächenmäßige Verteilung dieser 4 Einheiten.

Größte Vegetationseinheit der hypothetischen Vegetation sind die Laubwälder. Sie nehmen rund 40% der Fläche Österreichs ein (ohne der Gewässerfläche), obwohl sie auf die Höhenstufe 1 beschränkt sind. Nadelwälder bedecken 30 % der Fläche, und Mischwälder rund 20%. Die alpinen Vegetationseinheiten sind flächenmäßig mit 6% vertreten.

Tabelle 4.1.5.: Flächenanteile der Vegetationstypen der hypothetischen natürlichen Vegetation

	Fläche	
	[km ²]	[%]
Laubwald	33.822,6	40,3%
Nadelwald	25.159,9	30,0%
Mischwald	17.849,6	21,3%
Wälder gesamt	76.832,0	91,6%
alpine Rasen und Matten	5.139,1	6,1%
H6	718,6	0,9%
Gewässer	1.169,0	1,4%
Gesamt Vegetation	82.689,6	98,6%
Gesamtfläche	83.858,7	100,0%

Quelle: eigene Berechnung.

'gesamten Vegetation' berücksichtigen nicht die Gewässerflächen, 'Gesamtfläche' alle 'Nullflächen'.

Tabelle 4.1.6.: Standing Crop der hypothetisch natürlichen Vegetation Österreichs nach ökologischen Großgruppen

	SC _{pot}				SC je m ²		
	[Mio. t DM]	[Mio.tC]	[EJ]	[%]	[kg/m ²]	[kgC/m ²]	[MJ/m ²]
Laubwald	1.004,1	451,8	19,38	45,5%	29,69	13,36	572,9
Nadelwald	589,5	265,3	11,70	26,7%	23,43	10,54	464,9
Mischwald	610,5	274,7	12,03	27,6%	34,20	15,39	673,7
Wälder gesamt	2.204,0	991,8	43,10	99,8%	28,69	12,91	561,0
alpine Rasen und Matten	5,1	2,3	0,10	0,2%	1,00	0,45	19,7
H6	-	-	-	0,0%	-	-	-
Gewässer	-	-	-	0,0%	-	-	-
Gesamt Vegetation	2.209,1	994,1	43,20	100,0%	26,72	12,02	522,5
Gesamt Fläche					26,34	11,85	515,2

Quelle: eigene Berechnung.

Die Angaben über den relativen SC der 'gesamten Vegetation' berücksichtigen nicht die Gewässerflächen, die der 'gesamten Fläche' alle 'Nullflächen'. Die Prozentangaben des SC_{pot} sind bezüglich der Trockenmasse des gesamten Standing Crop (SC).

98,6% der Fläche Österreichs wäre hypothetisch vegetationsbedeckt. Der Standing Crop der potentiellen Vegetation wird hauptsächlich von Wäldern aufgebaut. 92% der Fläche Österreichs tragen 99,8% der oberirdischen Biomasse. Alpine Rasen und Matten spielen eine untergeordnete Rolle, diese erreichen 0,2% des potentiellen Standing Crop bei einer Fläche von rund 6% von Österreichs Gesamtfläche. Laubwälder dominieren österreichweit, und zwar mit beinahe 46%. Die Mischwälder erreichen die höchsten Bestockungswerte; dies ist auf die Beimischung der Tanne zurück zuführen (vgl. Kapitel 3.1.1.1). Durch den hohen Anteil von subalpinen Wäldern erreichen die Nadelwälder die niedrigsten Biomassewerte.

4.2 Standing Crop der aktuellen Vegetation

4.2.1 Auswertung nach politischen Einheiten

Der Standing Crop der aktuellen Vegetation wurde mit Hilfe von Flächenangaben aus verschiedenen statistischen Quellen und der Ermittlung von charakteristischen Relativwerten dieser Einheiten (vergl. Kapitel 3.2 'Methodik: Standing Crop der aktuellen Vegetation') berechnet. Das Ergebnis ist in Tabelle 4.2.1 zusammengefaßt. In Summe beträgt der Standing Crop der aktuellen Vegetation 802 Mio. t Trockenmasse, das sind 15,69 EJ. Relativ zur Fläche bedeutet das einen aktuellen Standing Crop in Österreich von 9,7 kg/m² oder 189,73 MJ/m². Innerhalb der Bundesländer ist der Standing Crop stark gestreut. Wie bei der hypothetischen natürlichen Vegetation ist der bedeutendste Faktor der Verteilung des absoluten Standing Crop die Flächenausdehnung des Bundeslandes (siehe Tabelle 4.1.1). Zum Vergleich eignet sich besser die Angabe über den relativen, d.h. flächenbezogenen Standing Crop.

Tabelle 4.2.1.: Standing Crop der aktuellen Vegetation nach Bundesländern

	SC _{akt}				SC je m ²		
	[Mio. t DM]	[Mio. t C]	[EJ]	[%]	[kg/m ²]	[kgC/m ²]	[MJ/m ²]
Burgenland	31,6	14,2	0,62	3,9%	8,48	3,82	165,7
Kärnten	99,3	44,7	1,94	12,4%	10,58	4,76	207,2
NÖ	171,2	77,0	3,35	21,3%	9,03	4,06	176,4
OÖ	117,3	52,8	2,29	14,6%	9,98	4,49	195,1
Salzburg	61,4	27,6	1,20	7,7%	8,69	3,91	170,0
Steiermark	202,1	90,9	3,95	25,2%	12,40	5,58	242,8
Tirol	94,9	42,7	1,86	11,8%	7,55	3,40	147,8
Vorarlberg	20,8	9,4	0,41	2,6%	8,18	3,68	160,0
Wien	3,9	1,8	0,08	0,5%	9,79	4,41	191,7
Österreich	802,4	361,1	15,70	100,0%	9,70	4,37	189,8

Quelle: eigene Berechnung.

Die Relativwerte beziehen sich auf die Gesamtfläche ohne der Gewässerfläche. SC: Standing Crop.

Den größten Anteil am aktuellen Standing Crop hat die Steiermark mit sowohl höchsten Absolutwert als auch Relativwert (202 Mio. t Trockenmasse bei 12,4 kg/m²). Dies sind rund 25% des gesamten aktuellen Standing Crop bei nur 20% der Fläche. Grund dafür ist der hohe Waldanteil dieses Bundeslandes (vgl. Tabelle 4.3.5). Niedrigsten absoluten aktuellen Standing Crop hat Wien mit 3,9 Mio. t aufgrund seiner geringen Ausdehnung. Den niedrigsten relativen Wert hat Tirol mit 7,6 kg/m². Dort erreichen die Wälder aufgrund des hohen subalpin-Anteils keine hohen Bestockungswerte. Zudem ist der Anteil der alpinen Urweiden dort wie bei der potentiellen Vegetation sehr hoch. In Farbtabelle 1 findet sich eine Darstellung des Standing Crop der aktuellen Vegetation auf Gemeindeebene.

4.2.2 Auswertung nach Vegetationstypen

Unter 'Vegetationstypen' finden sich hier 'natürliche' wie auch vom Menschen 'geschaffene' Kategorien. Deren Flächenangaben stammen hauptsächlich aus der Bodennutzungserhebung und anderen statistischen Quellen. Zum Teil sind sie aber auch errechnet. Dies trifft auf die Waldfläche und auf die Fläche der alpinen Urvegetation zu. Erstere stellt hier eine Restfläche dar, während die Fläche der alpinen Rasen und Matten sich als Differenz der Höhenstufen 4 und 5 und der Hochalmfläche ergibt (vgl. Kapitel 3.2.1 'Methodik: Flächenmodell der aktuellen Vegetation')

Tabelle 4.2.2.: Flächenverteilung der Vegetationstypen der aktuellen Vegetation

	Fläche	
	[km ²]	[%]
Wald	39.789,1	47,4%
Acker	13.384,4	16,0%
Grünland	15.288,4	18,2%
Gartenland	969,3	1,2%
Hochalmen	4.583,8	5,5%
alpine Rasen und Matten	5.607,2	6,7%
Baufläche	688,8	0,8%
Verkehrsfläche	1.660,0	2,0%
Gewässer	1.169,0	1,4%
H6	718,6	0,9%
Vegetation	79.622,2	94,9%
Vegetation +H6+ versiegelte Flächen	82.689,6	98,6%
gesamt Österreich	83.858,6	100,0%

Quelle: ÖSTAT, eigene Berechnung.

Die Flächenangaben wurden aus der Bodennutzungserhebung gewonnen. Die Hochalmen- Fläche stammt aus der Almerhebung, ebenfalls ein Teil des 'Grünlandes' (enthält Nieder- und Mittelalmen). Die alpinen Rasen sind ein Restbetrag von Hochalmen und Wäldern der Höhenstufen 4 und 5. Die Waldfläche stellt die Restfläche dar (vgl. Kapitel 3.2.1)

Den größten Anteil am Standing Crop der aktuellen Vegetation haben mit 96% wiederum die Wälder, dies ist weit mehr als ihr Anteil an der Fläche Österreichs, welcher rund 47% beträgt. Alle anderen Kategorien liegen um die 1%. Den größten Anteil hat hier das Ackerland, welches 1,4% der oberirdischen Biomasse Österreichs trägt, gefolgt vom Grünland (Wiesen, Weiden, Nieder- und Mittelalmen), und den alpinen Urweiden. Die Ergebnisse des Standing Crop für die Nutzungskategorien der aktuellen Vegetation sind in Tabelle 4.2.3 für ganz Österreich dargestellt. Aufschlüsselungen bzgl. der Bezirke sind aus Appendix C.6 und C.7 zu entnehmen.

Tabelle 4.2.3.: Standing Crop der aktuellen Vegetation nach Vegetationstypen

	SC _{akt}				SC je m ²		
	[Mio. t DM]	[Mio. t C]	[EJ]	[%]	[kg/m ²]	[kgC/m ²]	[MJ/m ²]
Wald	770,2	346,6	15,10	96,0%	19,36	8,71	379,4
Acker	11,8	5,3	0,22	1,5%	0,88	0,40	16,2
Grünland	8,3	3,7	0,15	1,0%	0,54	0,24	9,5
Gartenländer	4,6	2,1	0,09	0,6%	4,74	2,13	92,1
Hochalmen	1,9	0,9	0,04	0,2%	0,42	0,19	8,4
alpine Rasen und Matten	5,6	2,5	0,11	0,7%	1,00	0,45	19,7
Baufläche	-	-	-	-	-	-	-
Verkehrsfläche	-	-	-	-	-	-	-
Gewässer	-	-	-	-	-	-	-
H6	-	-	-	-	-	-	-
Vegetation	802,4	361,1	15,70	100,0%	10,08	4,54	197,1
Vegetation +H6+ versiegelte Flächen					9,70	4,37	189,8
gesamt Österreich					9,57	4,31	187,2

Quelle: eigene Berechnung.

'Vegetation' bedeutet Summe ohne Gewässer-, H6- und versiegelte Flächen, 'gesamt Österreich' auf die Fläche mit Gewässerfläche und H6. Prozentwerte beziehen sich auf Trockenmassen. SC: Standing Crop.

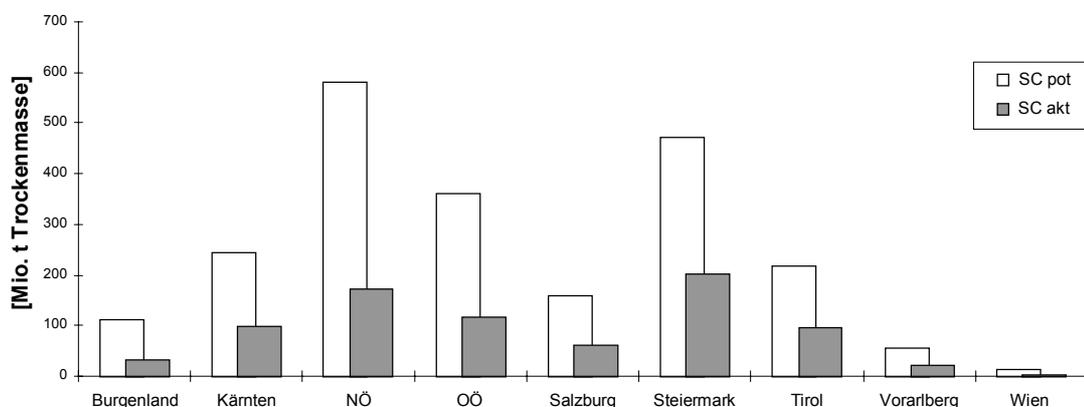
4.3 Beeinflussung des Standing Crop

Der Vergleich des Standing Crop der hypothetischen natürlichen Vegetation mit dem der aktuellen Vegetation zeigt, daß in Österreich die oberirdische Biomasse vom Menschen um rund 64% vermindert wurde. Nur mehr 36% des Standing Crop sind in der Natur verblieben. Dies bedeutet eine Verminderung von 1,41 Mrd. t Trockenmasse, 27,5 EJ, oder eine Freisetzung von 633 Mio. t Kohlenstoff für ganz Österreich.

4.3.1 Politische Einheiten

Abbildung 4.3.1 zeigt die Verminderung des absoluten Standing Crop innerhalb der 9 österreichischen Bundesländer. Tabelle 4.3.1 zeigt die relative Verminderung dieser. Der absolute Standing Crop ist primär abhängig von der Flächenausdehnung der politischen Region. Diese ist in Tabelle 4.1.1 dargestellt. Die relativen Werte aus Tabelle 4.3.1 eignen sich besser zum Vergleich, da hier die Flächenausdehnung als Faktor nicht zum Tragen kommt. Die absoluten Werte der Beeinflussung lassen sich aus der Fläche und dem Standing Crop je m² ableiten. Die Beeinflussung des Standing Crop auf Gemeindeebene ist in Farbtafel 2 und 3 dargestellt.

Abbildung 4.3.1. Standing Crop der potentiellen und der aktuellen Vegetation



Quelle: eigene Berechnung

Höchsten absoluten potentiellen Standing Crop hat das Bundesland Niederösterreich mit 581,7 Mio. t Trockenmasse. Die aktuelle Vegetation erreicht hier nur mehr 171 Mio. t Trockenmasse. Dort wurde die Biomasse also um 71% vermindert. Höchsten aktuellen Wert weist die Steiermark mit 202 Mio. t Trockenmasse auf.

Tabelle 4.3.1.: Relative Beeinflussung des Standing Crop in Österreich

	Potentielle Vegetation			Aktuelle Vegetation			Beeinflussung In Natur verblieben
	SC _{pot}			SC _{akt}			
	[kg/m ²]	[kgC/m ²]	[MJ/m ²]	[kg/m ²]	[kgC/m ²]	[MJ/m ²]	[%]
Burgenland	29,82	13,42	576,0	8,48	3,82	165,7	28,4%
Kärnten	25,96	11,68	510,3	10,58	4,76	207,2	40,8%
NÖ	30,63	13,79	594,5	9,03	4,06	176,4	29,5%
OÖ	30,62	13,78	596,0	9,98	4,49	195,1	32,6%
Salzburg	22,34	10,06	441,3	8,69	3,91	170,0	38,9%
Steiermark	29,01	13,05	569,2	12,40	5,58	242,8	42,8%
Tirol	17,20	7,74	341,0	7,55	3,40	147,8	43,9%
Vorarlberg	21,74	9,78	428,4	8,18	3,68	160,0	37,6%
Wien	29,70	13,37	573,2	9,79	4,41	191,7	33,0%
Österreich	26,72	12,02	522,5	9,70	4,37	189,8	36,3%

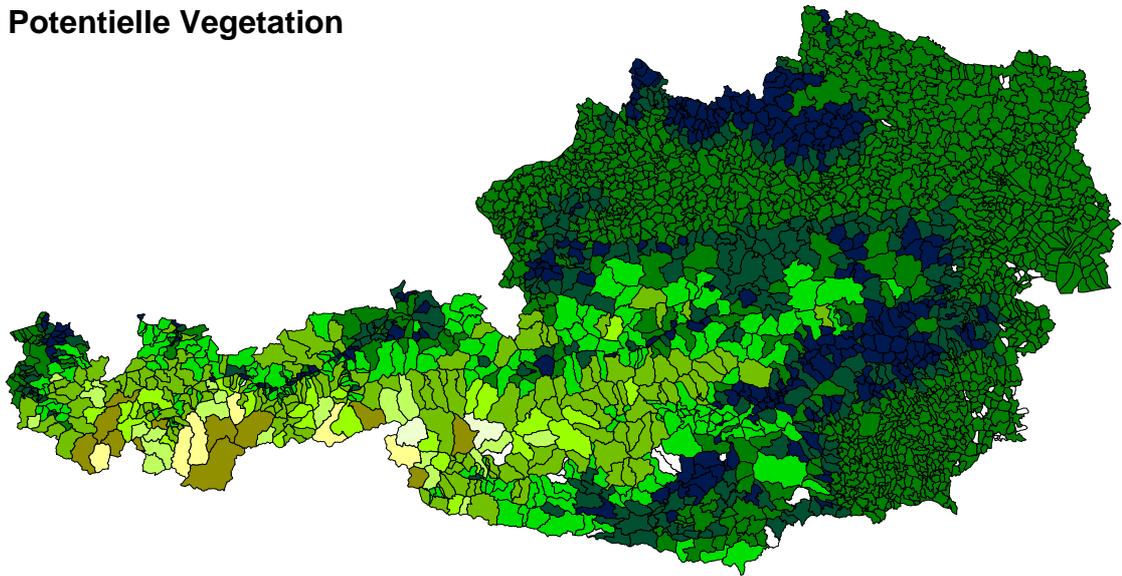
Quelle: eigene Berechnung.

'In Natur verblieben' bezeichnet jenen Standing Crop (SC), welcher pro Bundesland in der Natur verbleibt und bezieht sich auf die Trockenmasse.

Der höchsten Wert der Beeinflussung findet sich im Burgenland mit nur mehr 28% der hypothetischen oberirdischen Biomasse. Die geringste Beeinflussung findet sich in Tirol und in der Steiermark mit 56% bzw. 57%, also 44% bzw. 43% des Standing Crop verbleiben in der Natur. Wien als Stadt mit den höchsten Raten der Versiegelung (also Flächen ohne Vegetation) reiht sich in der unteren Hälfte ein. Daß es nicht die höchste Rate der Beeinflussung aufweist, ist wohl darauf zurückzuführen, daß es einerseits einen relativen hohen Park- und somit Baumanteil besitzt, andererseits große Teile des Wiener Waldes zum Gemeindegebiet zählen. Bemerkenswert ist die geringe Rate des Einflusses in Tirol, dem Bundesland mit sowohl dem niedrigsten potentiellen als auch aktuellen Standing Crop.

Farbtabelle 1: Standing Crop der Vegetation Österreichs

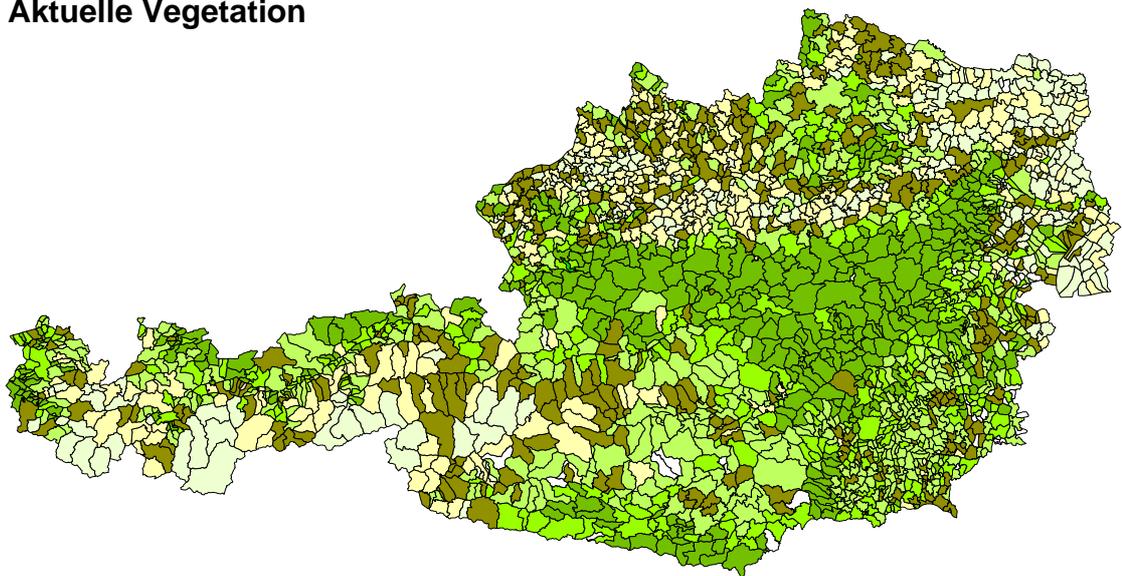
A. Potentielle Vegetation



Legende Standing Crop [kgC/m²]



B. Aktuelle Vegetation

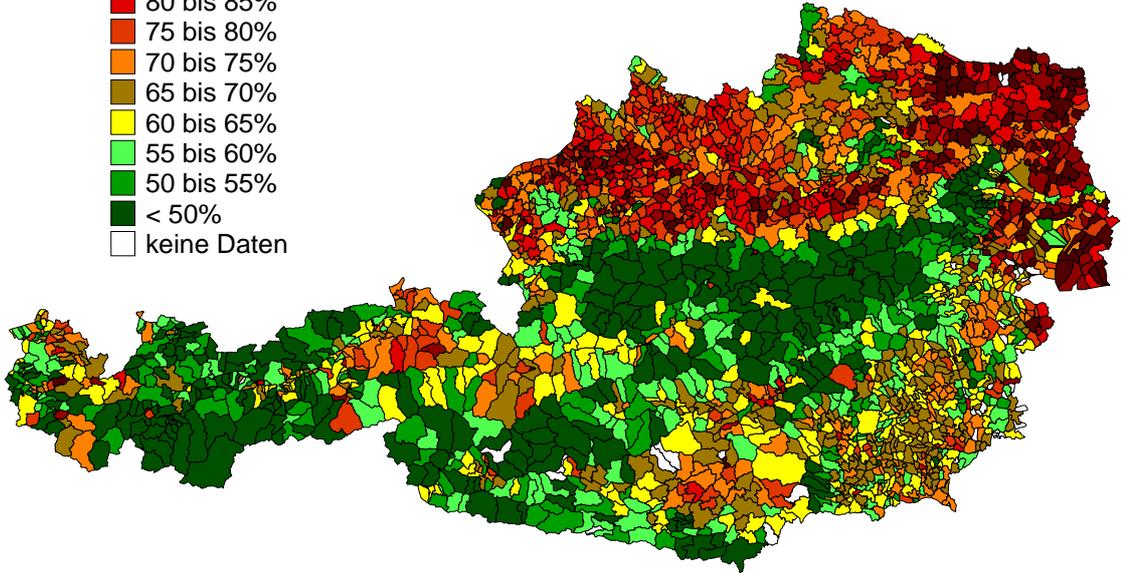


Farbtafel 2: Prozentuelle Beeinflussung des Standing Crop in Österreich

A. Prozentuelle Verminderung

Legende A.
Verminderung [%]

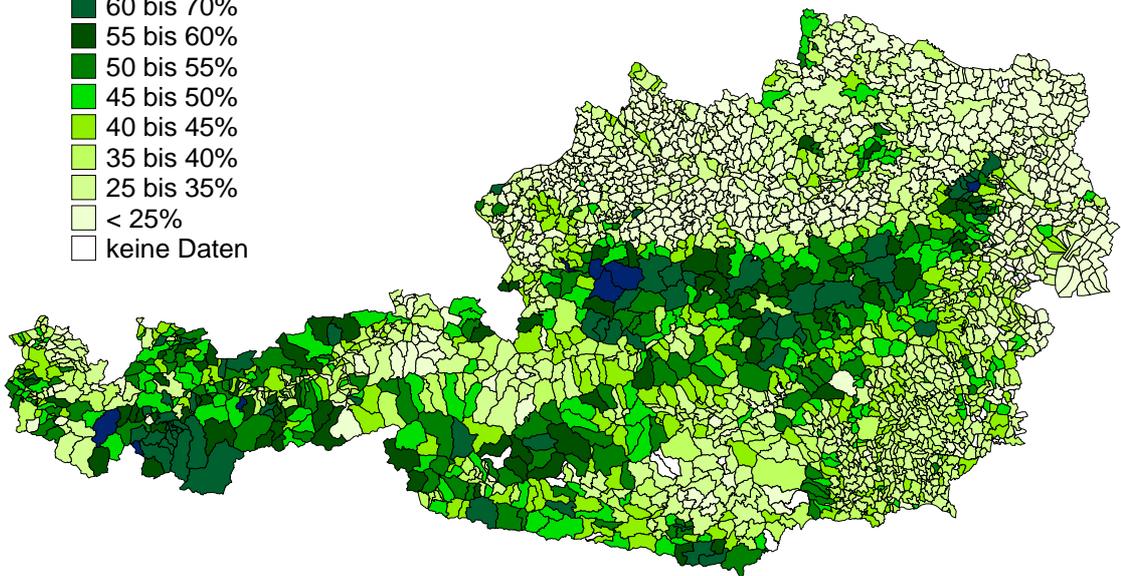
- > 90 %
- 85 bis 90%
- 80 bis 85%
- 75 bis 80%
- 70 bis 75%
- 65 bis 70%
- 60 bis 65%
- 55 bis 60%
- 50 bis 55%
- < 50%
- keine Daten



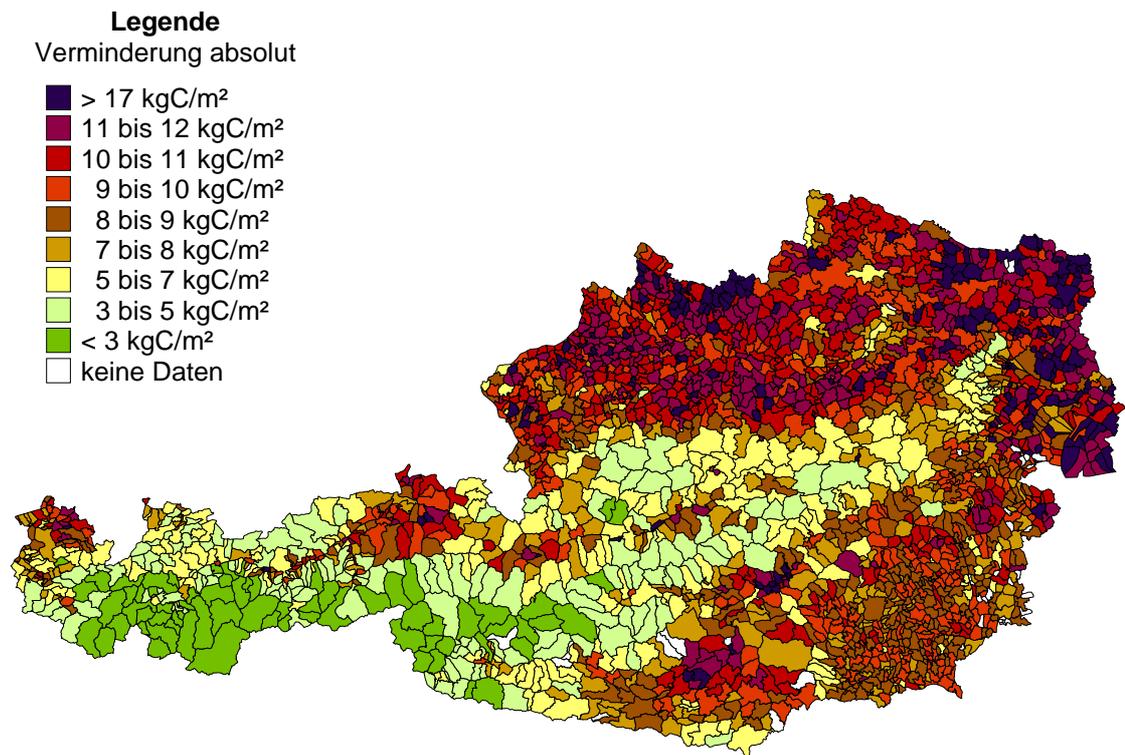
B. Prozentueller Verbleib

Legende B.
Verblieben [%]

- > 70 %
- 60 bis 70%
- 55 bis 60%
- 50 bis 55%
- 45 bis 50%
- 40 bis 45%
- 35 bis 40%
- 25 bis 35%
- < 25%
- keine Daten



Farbtafel 3: Absolute Beeinflussung des Standing Crop in Österreich



4.3.2 Vegetationstypen

Die ermittelten Resultate ermöglichen auch eine Auswertung nach Vegetationseinheiten bzw. Nutzungskategorien. So ist es möglich, eine Beeinflussung in den verschiedenen Vegetationstypen anzugeben. Dabei wurde der potentielle Standing Crop auf die aktuelle Fläche der Vegetationseinheit umgerechnet. Um dies zu erreichen, waren jedoch einige Annahmen und Umrechnungen nötig:

- Auf der Fläche des Waldes wurden die relativen Standing Crop Werte der 3 Waldtypen eingesetzt
- Die menschliche Nutzung der alpinen und subalpinen Zonen findet vor allem durch Anlegung von Hochalmen statt. Diese werden z.T. in Zonen der alpinen Rasen und Matten, aber auch in denen der subalpinen Wälder angelegt. Die Fläche der alpinen Gesellschaften wird je nach Region verringert, andererseits kann sie aber auch ausgeweitet werden:
 - bei Verringerung der Fläche der alpinen Rasen und Matten wurde vom potentiellen Wert von 1 kg/m^2 ausgegangen, was bedeutet, daß der aktuell verbliebene Teil als nicht vom Menschen beeinflusst angenommen wird. Die Verringerung der Fläche fällt somit der aktuellen Fläche der Hochalmen zu.
 - Bei Ausweitung der Fläche wurde die überschüssige Fläche als subalpiner Wald berechnet und dieser Überschuß prozentuell auf die Fläche der alpinen Rasen aufgerechnet. Somit ist der relative potentielle Standing Crop auf der aktuellen Fläche der alpinen Rasen und Matten höher als der der potentiellen Vegetation selbst. Für die potentielle Vegetation auf den aktuellen Flächeneinheiten der Hochalmen wurden die Werte von subalpinen Wäldern und/oder alpinen Rasen bestimmt.
- Gewässer und die Höhenstufe 6 wurden nicht berücksichtigt
- Alle vom Menschen 'geschaffenen' Kategorien erhielten den gleichen flächenbezogenen Wert, und zwar den Restwert vom gesamten potentiellen Standing Crop, also abzüglich der Wälder, Hochalmen und alpinen Urweiden. Es betraf dies das Ackerland, Grünland, die Gartenländer, Bau-, und Verkehrsflächen.

Die so ermittelten Werte des Standing Crop der hypothetischen natürlichen Vegetation nach aktuellen Bodennutzungskategorien ist in Tabelle 4.3.2 dargestellt. Die Berechnung wurde auf Gemeindeebene durchgeführt, liefert jedoch auf dieser Aggregationsebene kaum brauchbare Daten, da die oben beschriebenen Annahmen grobe Verallgemeinerungen darstellen (vgl. Kapitel 5.1.1 'Fehlerabschätzung'). Daher werden die Werte nur für gesamt Österreich dargestellt. Die einzelnen kleineren politischen Einheiten stellen hier ohnehin nur die Schwankungsbreiten der Werte dar.

Tabelle 4.3.2.: Gesellschaftliche Beeinflussung des Standing Crop in Österreich nach Vegetationstypen

	Potentielle Vegetation			Aktuelle Vegetation			Beeinflussung
	SC _{pot}			SC _{akt}			In Natur verblieben
	[kg/m ²]	[kgC/m ²]	[MJ/m ²]	[kg/m ²]	[kgC/m ²]	[MJ/m ²]	[%]
Laubwald	29,69	13,36	572,9	20,69	9,31	405,5	69,7%
Nadelwald	23,43	10,54	464,9	18,07	8,13	354,2	77,1%
Mischwald	34,20	15,39	673,7	21,33	9,60	418,1	62,4%
Wald gesamt*	27,56	12,40	544,3	19,36	8,71	379,4	70,2%
Acker	32,22	14,50	622,3	0,88	0,40	16,2	2,7%
Grünland	32,22	14,50	622,3	0,54	0,24	9,6	1,7%
Gartenland	32,22	14,50	622,3	4,74	2,13	92,1	14,7%
Hochalmen	15,08	6,79	302,8	0,42	0,19	8,4	2,8%
alpine Rasen und Matten	2,26	1,02	45,0	1,00	0,45	19,7	44,3%
Baufläche	32,22	14,50	622,3	-	-	-	0%
Verkehrsfläche	32,22	14,50	622,0	-	-	-	0%
Gewässer	-	-	-	-	-	-	-
H6	-	-	-	-	-	-	-
Gesamt	26,72	12,02	522,5	9,70	4,37	189,7	36,3%

Quelle: eigene Berechnung.

Die Prozentwerte beziehen sich auf die Trockenmassen. 'Gesamt' bezieht sich auf Österreichs Fläche ohne der Gewässerfläche. SC: Standing Crop.

* Die potentiellen Relativwerte für die Summe der Wälder entsprechen nicht dem Standing Crop der potentiellen Vegetation der Wälder. Für Details siehe Text.

In Tabelle 4.3.3 sind der absolute Standing Crop der hypothetischen natürlichen Vegetation und der aktuellen Vegetation dargestellt. Die Bestockung der Wälder erreicht in der aktuellen Vegetation nur mehr 70% der Bestockung der potentiellen Wälder, das bedeutet eine Abnahme um 30%. Alle anderen Kategorien erfahren eine noch erheblich größere Beeinflussung. Durch die Flächenausdehnung der alpinen Rasen sind immerhin nur noch 44% des Standing Crop vorhanden, obwohl bei dem Vegetationstyp selbst keine menschliche Beeinflussung angenommen wurde. Ackerland enthält noch 3% des potentiell möglichen Standing Crop, Grünland noch 2%. Gartenländer, durch den relativ hohen Baumanteil, sind bei 15% der hypothetischen oberirdischen Biomasse. Hochalmen liegen mit 4% noch höher als das Ackerland und das Grünland. Auf der Bau- und Verkehrsfläche ergibt sich aufgrund der angenommen Null kg/m² für den aktuellen Standing Crop eine Verminderung von 100%.

Tabelle 4.3.3.: Gesellschaftliche Beeinflussung des Standing Crop in Österreich nach Vegetationstypen in Absolutwerten

	Potentielle Vegetation			Aktuelle Vegetation			Beeinflussung
	SC _{pot}			SC _{akt}			in Natur verblieben
	[Mio.t DM]	[Mio.tC]	[EJ]	[Mio.t]	[Mio.tC]	[EJ]	[%]
Wald*	1.096,5	493,4	21,66	770,2	346,6	15,10	70,2%
Acker	431,3	194,1	8,33	11,8	5,3	0,22	2,7%
Grünland	492,7	221,7	9,51	8,3	3,7	0,15	1,7%
Gartenland	31,2	14,1	0,60	4,6	2,1	0,09	14,7%
Hochalmen	69,1	31,1	1,39	1,9	0,9	0,04	2,8%
alpine Rasen und Matten	12,7	5,7	0,25	5,6	2,5	0,11	44,3%
Baufläche	22,2	10,0	0,43	-	-	-	0,0%
Verkehrsfläche	53,5	24,1	1,03	-	-	-	0,0%
Gesamt	2.209,1	994,1	43,20	802,4	361,1	15,70	36,3%

Quelle: eigene Berechnung.

Die Prozentwerte beziehen sich auf die Trockenmasse.

* 'Wald' bezieht sich auf jenen Anteil, welcher auch Wald geblieben ist. SC: Standing Crop. Für Details siehe Text.

Die Umrechnung des Standing Crop der potentiellen Vegetation der Wälder auf aktuelle Flächennutzungskategorien, also die Berechnung des Waldes, welcher tatsächlich 'stehen' geblieben ist, führt zu anderen Werten als die der Wälder potentiellen Vegetation selbst. Durch Verschiebungen der Flächenanteile der Waldtypen verschiebt sich auch der Summenwert des Standing Crop. Da Nadelwälder den geringsten flächenbezogenen Standing Crop aufweisen, sinkt der durchschnittliche Standing Crop bei einer Zunahme von deren Fläche. Während die Wälder der potentiellen Vegetation eine Bestockung von 28,7 kg/m² erreichen, beläuft sich der relative Standing Crop der potentiellen Wälder auf der aktuellen Waldfläche auf nur 27,6 kg/m². Dies deutet darauf hin, daß Wälder nur auf 'minderen' Standorten belassen wurden. Standorte hoher Bonität, also fruchtbare Standorte, wurden zu landwirtschaftlich genutzter Fläche umgebrochen. Daher ist es wichtig, zwischen der Bestockung der Wälder der hypothetischen natürlichen Vegetation und der potentiellen Bestockung der aktuellen Wälder zu unterscheiden.

Die eingangs erwähnten Schwankungsbreiten liefern für die einzelnen Vegetationstypen unterschiedliche Werte. So schwankt die Beeinflussung der Wälder zwischen 12% und 28%, die der Äcker und des Grünlandes ist relativ konstant mit 97% bzw. 98%. Die Beeinflussung der Gartenländer schwankt zwischen 76% und 87%, die der Hochalmen zwischen 96% und 98%. Höchste Schwankungsbreiten zeigen sich bei den alpinen Rasen und Matten, nämlich von 0% bis zu 90%. Dies ist wohl auf die oben beschriebene Methode der Ermittlung zurückzuführen, kann aber auch auf die unterschiedlichen Auswirkungen des Einflusses des Menschen in den subalpinen und alpinen Regionen hinweisen.

Der hohe Rückgang im Standing Crop der einzelnen Typen führt zu verschiedenen Anteilen an der gesamten Beeinflussung des Standing Crop. Tabelle 4.3.4 zeigt, auf welche Maßnahmen des Menschen die Verminderung quantitativ zurückzuführen ist.

Tabelle 4.3.4.: Anteile der aktuellen Nutzungskategorien an der Verminderung des Standing Crop

	Verminderung des Standing Crop $SC_{pot} - SC_{akt}$		Anteil an der Gesamtverminderung	
	[Mio.t DM]	[Mio.tC]	[EJ]	[%]
Wald*	326,3	146,8	6,56	23,2%
Acker	419,5	188,8	8,11	29,8%
Grünland	484,3	218,0	9,37	34,4%
Gartenland	26,6	12,0	0,51	1,9%
Hochalmen	67,2	30,2	1,35	4,8%
alpine Rasen und Matten	7,1	3,2	0,14	0,5%
Baufläche	22,2	10,0	0,43	1,6%
Verkehrsfläche	53,5	24,1	1,03	3,8%
Summe	1.406,7	633,0	27,51	100,0%

Quelle: eigene Darstellung.

Die Prozentwerte beziehen sich auf die Trockenmassen. SC: Standing Crop.

* 'Wald' bezieht sich auf jenen Anteil, welcher auch Wald geblieben ist. Für Details siehe Text.

Von den rund 64% der Beeinflussung des oberirdischen Standing Crop in Österreich entfallen 23% auf die forstwirtschaftliche Nutzung der Wälder. Geht man von einer ursprünglichen Bewaldung der Fläche aus, entfallen rund 75% der Verminderung des Standing Crop auf die Rodung der Wälder und Anlegung von 'künstlichen' Ökosystemen. Größten Anteil hat hier der Umbruch zu Grünland, gefolgt von der Anlegung von Ackern. Hochalmen und alpine Vegetationseinheiten betreffen sowohl Wald als auch die alpine Urvegetation. Auf diese Typen wird später eingegangen (vgl. Tabelle 4.3.6). Die Versiegelung von Flächen (also Gebäude- und Verkehrsfläche) resultiert in rund 5% der gesamten Verminderung.

4.3.2.1 Wälder

Wald ist jener Vegetationstyp, welcher bezüglich des Standing Crop am meisten Bedeutung hat. Die oberirdische Biomasse von Wäldern ist pro Flächeneinheit etwa um 20 mal größer als bei allen anderen Kategorien. Somit bestimmt das Vorkommen von Wäldern entscheidend die Quantität des Standing Crop.

Der Einfluß des Menschen auf die Wälder ist sehr vielschichtig. In bezug auf den Standing Crop sind 3 Arten des Einflusses von Bedeutung:

1. Verringerung der Flächenausdehnung. Durch den gesellschaftlichen Einfluß wurde die Fläche des Waldes entscheidend vermindert.
2. Veränderung der Waldtypenzusammensetzung. Während die Wälder der hypothetischen natürlichen Vegetation ein relativ gleichgewichtiges Verhältnis von Laub-, Nadel- und Mischwald aufweisen, wurde dies durch den Einfluß des Menschen stark verändert. Nadelwälder überwiegen deutlich auf Kosten der Laubwälder. Abbildung 4.3.2 zeigt die relativen Anteile der Waldtypen an den Wäldern der potentiellen und denen der aktuellen Vegetation.
3. Verringerung der Bestockung. Durch die Forstwirtschaft werden die Wälder in juvenilen Stadien gehalten, um ein Optimum des Zuwachses von Schaffholz – also ein Parameter der NPP - aufrechtzuerhalten. Durch diese Optimierung der Produktivität wird die Ausbildung eines Klimaxstadiums verhindert. Als Folge ist der aktuelle Standing Crop der Wälder geringer als jener der potentiellen Vegetation. In den Tabellen 4.3.7 und 4.3.9 ist dieser Sachverhalt illustriert.

Tabelle 4.3.5.: Waldflächenanteil der hypothetisch natürlichen und der aktuellen Vegetation

	Fläche		Waldanteil		Verminderung der Waldfläche [%]
	[km ²]	potentielle Vegetation		aktuelle Vegetation	
		[%]	[%]	[%]	
Burgenland	3.965,52	94%	40%	57%	
Kärnten	9.533,12	90%	56%	38%	
NÖ	19.173,74	99%	45%	54%	
OÖ	11.979,69	97%	45%	53%	
Salzburg	7.154,14	86%	42%	51%	
Steiermark	16.388,09	98%	61%	37%	
Tirol	12.648,00	73%	37%	50%	
Vorarlberg	2.601,40	81%	33%	59%	
Wien	414,95	97%	49%	50%	
Österreich	83.858,65	92%	47%	48%	

Quelle: ÖSTAT und eigene Berechnung.

Die Angaben über den Waldanteil sind pro Fläche des Bundeslandes. Der 'Anteil' vermindert bezieht sich auf die potentielle Fläche.

Österreichweit ist nur mehr rund die Hälfte der potentiell möglichen Waldfläche vorhanden. Die Bundesländer, deren Gebiet hauptsächlich im Alpenbereich liegt, zeigen den kleinsten Flächenanteil des Waldes. Hier findet aber auch die geringste Verminderung der Waldfläche statt. Am wenigsten Flächenverminderung erfährt die Steiermark mit 37%, welche mit noch 61% der Bundeslandfläche auch den höchsten aktuellen Waldanteil aufweist. Vorarlberg zeigt eine geringe potentielle und die geringste aktuelle Waldfläche mit 81% bzw. 33%. Hier findet auch die höchste Verminderung der Fläche statt (59%).

Als Ursache für diesen drastischen Waldrückgang ist die menschliche Nutzung durch Anlegung von verschiedensten Ökosystemen anzugeben (siehe oben). Einen nicht unbeträchtlichen Teil der Verminderung der Waldfläche macht auch die Absenkung der natürlichen Waldgrenze aus (vgl. Kapitel 3.2.1'Methodik: Flächenmodell der aktuellen Vegetation'). Dies ist in Tabelle 4.3.6 dargestellt.

Tabelle 4.3.6.: Verringerung der Waldfläche durch Absenkung der natürlichen Waldgrenze

	Verringerung durch Absenkung der Waldgrenze	
	Fläche [km ²]	[%]
Burgenland	-	-
Kärnten	730,16	8%
NÖ	4,33	0%
OÖ	41,83	0%
Salzburg	905,49	15%
Steiermark	894,11	6%
Tirol	2.128,88	23%
Vorarlberg	347,25	16%
Wien	-	-
Österreich	5.052,05	7%

Quelle: eigene Berechnung.

Die Prozentwerte beziehen sich auf die potentielle Waldfläche.

Rund 5.000 km² oder 7%, sind österreichweit durch die Absenkung der natürlichen Waldgrenze dem Wald verloren gegangen. Dieser Wert ist weit gestreut und reicht vom 23% in Tirol, bis zu 6% in der Steiermark. Regionen mit wenig oder keinen subalpinen Anteil erfahren kaum oder keine Verminderung.

Die forstwirtschaftliche Praxis hält den Wald in einer juvenilen Phase, um die optimale Produktivität zu gewährleisten. Dies verhindert jedoch die Ausbildung von Klimax-nahen Stadien, und somit die Ausbildung der 'maximalen persistenten Biomasse' (vgl. Kapitel 3.1 'Standing Crop-Werte der hypothetischen natürlichen Vegetation'). Neben der Flächenverminderung des Waldes ist dies der Grund dafür, daß der Standing Crop der aktuellen Vegetation um einiges geringer als jener der hypothetisch natürlichen ist.

Wie Tabelle 4.3.7 zeigt, wurde die Bestockung der Wälder um rund 32% verringert, also nur $\frac{2}{3}$ der maximal erreichbaren Waldbiomasse sind tatsächlich vorhanden. Die höchste Verminderung erfahren das Burgenland und Niederösterreich mit ca. 38%. Am wenigsten beeinflusst ist Vorarlberg, mit noch 88% des maximalen flächenbezogenen Standing Crop. Dies ist erstaunlich, da dies das Bundesland mit der größten Verringerung der Waldfläche darstellt. Die Steiermark mit dem höchsten Waldanteil Österreichs erreicht einen mittleren Wert mit 66% des Standing Crop der hypothetisch natürlichen Vegetation.

Tabelle 4.3.7.: Gesellschaftliche Beeinflussung des Standing Crop der Wälder nach Bundesländern

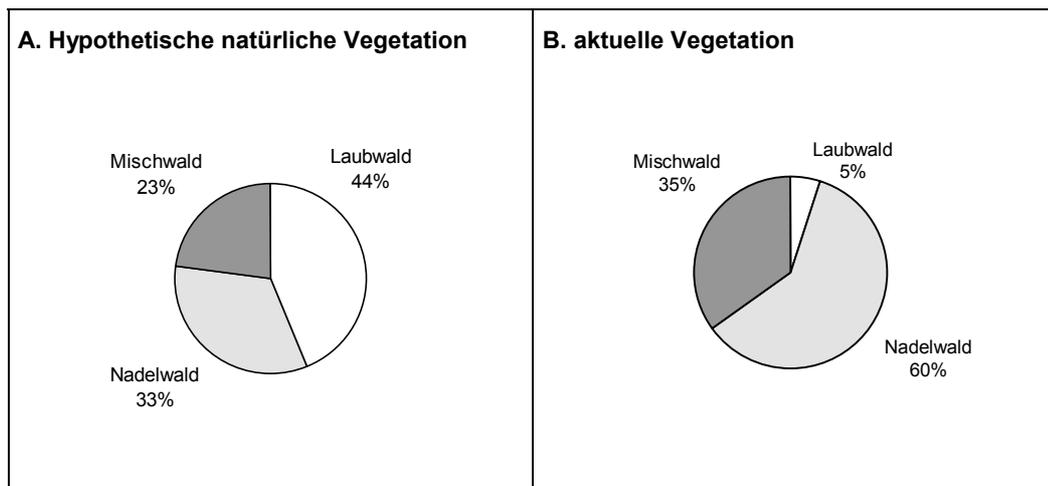
	Potentielle Vegetation			Aktuelle Vegetation			Beeinflussung in Natur verblieben
	Wald SC _{pot}			Wald SC _{akt}			
	[kg/m ²]	[kg C/m ²]	[MJ/m ²]	[kg/m ²]	[kg C/m ²]	[MJ/m ²]	[%]
Burgenland	29,82	13,42	576,0	18,26	8,22	358,0	61,2%
Kärnten	28,26	12,72	555,6	18,10	8,14	354,7	64,0%
NÖ	30,65	13,79	594,7	18,83	8,48	369,1	61,5%
OÖ	30,94	13,92	602,2	20,68	9,31	405,3	66,8%
Salzburg	25,48	11,47	503,2	19,46	8,76	381,5	76,4%
Steiermark	29,47	13,26	578,1	19,61	8,83	384,4	66,6%
Tirol	23,14	10,41	458,8	19,35	8,71	379,2	83,6%
Vorarlberg	25,87	11,64	509,9	22,85	10,28	447,9	88,3%
Wien	29,70	13,37	573,2	18,83	8,47	369,1	63,4%
Österreich	28,69	12,91	561,0	19,36	8,71	379,4	67,5%

Quelle: eigene Berechnung.

Die Prozentwerte beziehen sich auf die Trockenmasse. SC: Standing Crop.

Die wohl deutlichste Beeinflussung des Waldes zeigt sich in der Darstellung der Anteile der drei verschiedenen Waldtypen: Nadelwald, Laubwald und Mischwald. Dies ist in Abbildung 4.3.2 graphisch dargestellt.

Abbildung 4.3.2 Anteile von Nadel-, Laub- und Mischwald an den Waldflächen der hypothetischen natürlichen und der aktuellen Vegetation



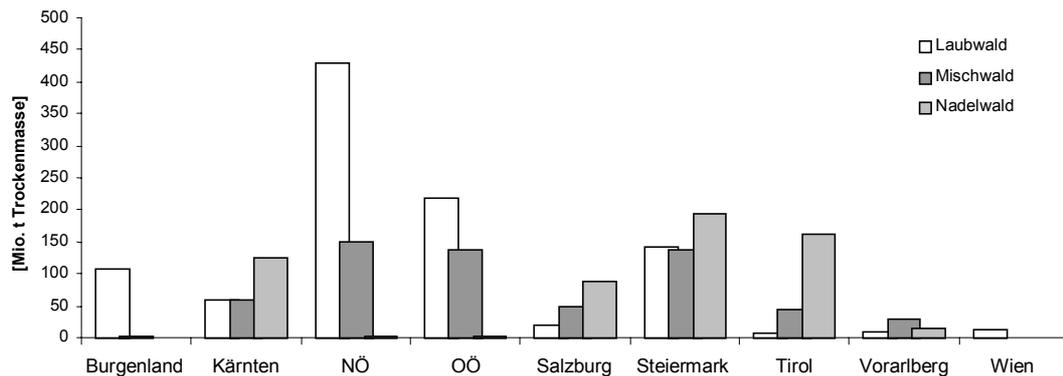
Quelle: BFI, eigene Berechnung, eigene Darstellung.

Der Nadelwald erreicht heutzutage knapp 60% der Waldfläche. Der Laubwald, in der potentiellen Waldvegetation noch größte Fraktion, erreicht nur mehr 5%. Mischwälder bleiben mit 35% zweitgrößter Waldtyp. Dessen Flächenanteil wurde vergrößert, nicht jedoch dessen absolute Fläche (vgl. Tabelle 4.3.8). Die Fläche aller drei Typen wurde verringert, am wenigsten die der Nadelwälder. Dies bedeutet, daß eine eindeutige gesellschaftliche Präferenz für Nadelwälder vorherrscht.

Diese Flächenverschiebung zugunsten der Nadelwälder führt zu der oben ausgeführten Differenz zwischen dem potentiellen Standing Crop Wälder und dem des potentiellen Standing Crop auf jener Waldfläche, welche tatsächlich auch Wald geblieben ist.

Die Anteile der Waldtypen schwankt erheblich innerhalb der Bundesländer, und zwar sowohl bezüglich Fläche als auch Standing Crop. Für den Standing Crop der hypothetischen natürlichen Vegetation ist dies in Abbildung 4.3.3 verdeutlicht.

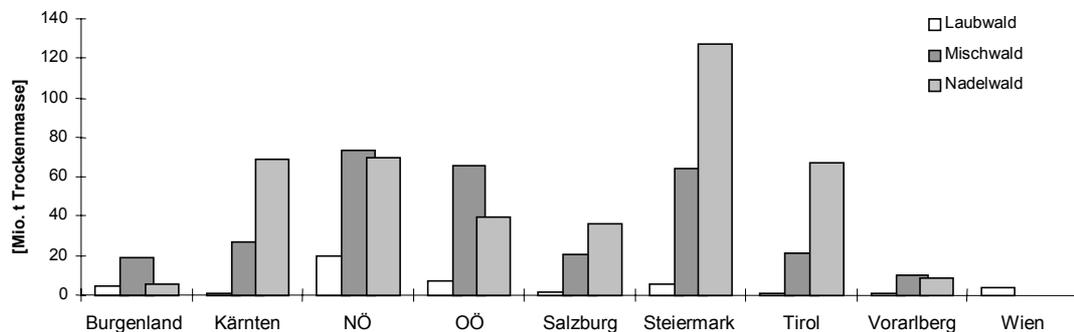
Abbildung 4.3.3. Potentieller Standing Crop der 3 Waldtypen in den Bundesländern



Quelle: eigene Berechnung.

Die Abbildung zeigt, daß Bundesländer, deren Gebiet besonders im Bereich der Alpenvorländer liegt, von Laubwäldern dominiert wären. Bundesländer mit Flächenanteilen in den Alpen werden von Nadelwäldern bestimmt. Dies ist auf die natürliche Arealbeschränkung der Nadelwälder auf höhere Lagen zurückzuführen. Alpine Vegetationsgesellschaften sind auch nur in jenen Bezirken von Bedeutung. 55% der alpinen Vegetationsfläche findet sich in Tirol. Dort erreichen sie relativ beachtliche Werte, und zwar bei 22% der Bundeslandfläche immerhin 3% des potentiellen Standing Crop dieses Bundeslandes (0,1% des gesamt-österreichischen potentiellen Standing Crop). Vergleiche dazu auch Appendix C.1.

Durch die forstwirtschaftliche Nutzung der Wälder verschiebt sich das Verhältnis der 3 Waldtypen entscheidend. In Abbildung 4.3.4 ist zum Vergleich der Standing Crop der aktuellen Wälder dargestellt. Wie aus der Abbildung (4.3.4) ersichtlich ist, dominieren die Nadelwälder österreichweit.

Abbildung 4.3.4 Aktueller Standing Crop der 3 Waldtypen in den Bundesländern

Quelle: eigenen Berechnung

In den Bundesländern, bei denen die Nadelwälder auch bei der potentiellen Vegetation dominieren, bleiben sie auch vorherrschend. Hohen Anteil erreichen auch die Mischwälder. Sie bestimmen nun jene Bundesländer, deren potentielle Vegetation hauptsächlich Laubwälder umfaßte. Laubwälder fallen kaum mehr ins Gewicht. Nur in Wien stellen sie noch den höchsten Anteil.

Die Flächen und Bestockungswerte der Waldtypen der potentiellen und der aktuellen Vegetation sind in den Tabellen 4.3.8 und 4.3.9 dargestellt. Für den Standing Crop der Wälder der aktuellen Vegetation waren in der Forstinventur nur Flächenangaben verfügbar. Dies forderte eine Umrechnung der Bestockungswerte. Für Nadelwälder wurde der Wert für Fichte und Lärche gewählt, für Laubwälder der von Buche und Eiche. Der Flächenbezogene Wert für Mischwälder ist ein Wert, welcher sich aus dem gesamten aktuellen Standing Crop der Wälder ohne den von Laub- und Nadelwäldern ergibt. Die Forstinventur behandelt jedoch nur Ertragswälder, der sog. 'Schutzwald außer Ertrag' wird nicht erfaßt. Da dieser hauptsächlich von Nadelwäldern aufgebaut wird, dürfte es zu einer Unterschätzung von Nadelwaldfläche und -Anteil kommen. Durch diese Vorgangsweise wurde aber angenommen, daß die Schutzwälder die selbe Verteilung wie die Ertragswälder einnehmen.⁶ Folgende Ergebnisse haben daher nur exemplarischen Charakter.

⁶ Dieser Schuß ist grob vereinfachend. Schutzwälder liegen auf minderen Standorten oder in kaum zugänglichen Lagen. Daher dürfte angenommen werden, daß hier die Nadelwälder überwiegen. Da die Nadelwäldern jedoch ohnehin den weitaus größten Anteil der Waldtypen auch im Ertragswald erreichen, wurde von einer Bereinigung abgesehen.

Tabelle 4.3.8.: Vergleich des Standing Crop der Waldtypen der hypothetischen natürlichen Vegetation und der aktuellen Vegetation

	Fläche [km ²]	Standing Crop		
		[Mio. t DM]	[Mio. t C]	[EJ]
A. Potentielle Vegetation				
Laubwald	33.823	1.004,1	451,8	19,38
Nadelwald	25.160	589,5	265,3	11,70
Mischwald	17.850	610,5	274,7	12,03
Wälder gesamt	76.832	2.204,0	991,8	43,10
B. Aktuelle Vegetation				
Laubwald	2.080	43,0	19,4	0,84
Nadelwald	23.670	427,7	192,5	8,38
Mischwald	14.040	299,5	134,8	5,87
Wälder gesamt	39.789	770,2	346,6	15,10

Quelle: eigene Berechnung.

Tabelle 4.3.8 zeigt deutlich die Reduktion des Standing Crop der Wälder. Während der Laubwald in der potentiellen Vegetation noch stärkste Fraktion mit über einer Mrd. Tonnen Trockenmasse ist, erreicht dieser Typ nur noch 43 Mio. Tonnen in der aktuellen Vegetation. Mischwälder, deren relativer Flächenanteil vergrößert wurde, zeigt um 300 Mio. Tonnen weniger Trockenmasse, als hypothetisch möglich. Nur die Nadelwälder haben ihren ursprünglichen Standing Crop beinahe beibehalten. Dies könnte darauf zurückzuführen sein, daß diese Wälder am ehesten 'stehen' gelassen, und nicht umgebrochen oder in ihrer Artenkombination verändert wurden ('gesellschaftliche Präferenz' für Nadelbäume), oder eine wirtschaftliche Nutzung nicht rentabel oder sinnvoll war (z.B. Schutzwälder außer Ertrag).

Bei diesem Vergleich ist zu beachten, daß es sich hier um Gesamtwerte für Österreich ohne räumlichen Bezug handelt. Aus der Beibehaltung des Standing Crop der Nadelwälder kann nicht geschlossen werden, daß diese kaum oder weniger beeinflusst seien. Vielmehr verdeutlicht dies die Ausweitung der Nadelwälder für forstwirtschaftliche Zwecke. In Tabelle 4.3.9 sind die zugehörigen Bestockungswerte

der Waldtypen aufgeführt. Diese eignen sich besser zum Vergleich, da sie 'flächenbereinigte' Werte darstellen.

Tabelle 4.3.9.: Vergleich der Bestockung der Wälder der potentiellen und der aktuellen Vegetation

	SC _{pot} je m ²			SC _{akt} je m ²			In Natur verblieben
	[kg/m ²]	[kg C/m ²]	[MJ/m ²]	[kg/m ²]	[kg C/m ²]	[MJ/m ²]	[%]
Laubwald	29,69	13,36	572,9	20,69	9,31	405,5	70%
Nadelwald	23,43	10,54	464,9	18,07	8,13	354,2	77%
Mischwald	34,20	15,39	673,7	21,33	9,60	418,1	62%
verbliebener Wald*	27,56	12,40	544,3				
Wälder gesamt	28,69	12,91	561,0	19,36	8,71	379,4	67%

Quelle: eigene Berechnung. SC: Standing Crop.

* dabei ist der Standing Crop jener potentiellen Waldfläche gemeint, welche auch tatsächlich Wald geblieben ist. Für Details siehe Text

Die aktuelle Bestockung der Wälder erreicht noch 67% der der potentiellen Vegetation. Davon entfallen 77% auf die Nadelwälder. Dort findet also geringste Beeinflussung statt. Am massivsten beeinflusst sind die Mischwälder mit 38%. Laubwälder erfahren eine Verminderung von 30% und nehmen noch 70% ihrer hypothetischen Bestockung ein (vgl. dazu Kapitel 5.1.1 'Fehlerabschätzung').

4.4 Turnover

Das Verhältnis von Standing Crop zur Nettoprimärproduktion (NPP bzw. ANPP für oberirdische Produktion) wird als *Turnover des Biomassevorrats* (μ) beschrieben. Dieser wurde, ebenfalls auf Gemeindeebene (siehe Farbtafeln 4 und 5), für die politischen Einheiten und für die einzelnen Vegetationstypen berechnet. Die Daten für die ANPP stammen von SCHULZ (in prep.) und beruhen auf den selben Flächendaten wie der Standing Crop. Daher ist eine Verschneidung beider Datensätze aussagekräftig. Berechnet wurde nur der oberirdische Turnover, und zwar aufgrund der Auswertung in Energieeinheiten. Für Details siehe Kapitel 3.3 'Methodik: Turnover'.

4.4.1 Auswertung nach politischen Einheiten

Der Turnover der potentiellen Vegetation ist in Tabelle 4.4.1 dargestellt. Für Österreich ergibt sich ein 'overall-Turnover' von 29 Jahren. Der Turnover schwankt weit weniger als der Standing Crop oder die ANPP. Dies ist darauf zurückzuführen, daß sowohl der Standing Crop als auch die ANPP je nach Anteil der Bundesländer an den Wuchsgebieten, also an den Höhenstufen, relativ gleichmäßig schwanken.

Tabelle 4.4.1.: Turnover der potentiellen Vegetation nach Bundesländern

	ANPP _{pot} [MJ/m ² .a]	SC _{pot} [MJ/m ²]	μ _{pot} [a]
Burgenland	20,76	575,98	27,74
Kärnten	17,10	510,26	29,84
NÖ	20,46	594,48	29,06
OÖ	20,09	595,96	29,67
Salzburg	15,59	441,26	28,30
Steiermark	18,63	569,19	30,56
Tirol	12,60	341,04	27,06
Vorarlberg	15,28	428,40	28,03
Wien	20,80	573,21	27,56
Österreich	17,91	522,51	29,17

Quelle: SCHULZ (1998), eigene Berechnung. SC: Standing Crop; μ : Turnover.

Als höchster Wert für die Verweilzeit (=Turnover in [a]) ergeben sich 31 Jahre in der Steiermark, gefolgt von Kärnten und Oberösterreich mit knapp 30 Jahren. Niedrigsten Wert erreicht, ähnlich wie beim Standing Crop, Tirol mit 27 Jahren.

Der aktuelle Turnover ist entscheidend 'schneller' als der potentielle. Aus Tabelle 4.4.2 geht hervor, daß in der aktuellen Vegetation insgesamt nur mehr ein Turnover von rund 12 Jahren vorherrscht. Während die ANPP nicht entscheidend beeinflusst (vermindert) wurde, ergeben sich besonders große Unterschiede im Standing Crop. Die Beschleunigung des Turnover ist also auf die Reduktion des Standing Crop zurückzuführen. Eine Reduktion in der ANPP würde den Turnover verlangsamen. Die menschliche Verminderung der gesamten ANPP fällt in diesem Zusammenhang also kaum ins Gewicht.

Tabelle 4.4.2.: Turnover der aktuellen Vegetation nach Bundesländern

	ANPP _{akt} [MJ/m ² .a]	SC _{akt} [MJ/m ²]	μ _{akt} [a]
Burgenland	17,36	165,60	9,54
Kärnten	15,20	207,15	13,63
NÖ	17,52	176,20	10,06
OÖ	17,84	194,90	10,92
Salzburg	12,98	170,02	13,10
Steiermark	16,84	242,71	14,41
Tirol	11,12	147,81	13,30
Vorarlberg	12,82	159,98	12,48
Wien	14,36	191,66	13,35
Österreich	15,64	189,73	12,13

Quelle: SCHULZ (in prep.), eigene Berechnung. SC: Standing Crop; μ: Turnover.

Den langsamsten Turnover weist die Steiermark, das Bundesland mit dem höchsten Standing Crop, mit 14 Jahren, gefolgt von Kärnten mit 13 Jahren auf. Schnellsten aktuellen Turnover (also die kürzeste 'Verweilzeit') erreicht das Burgenland mit knapp 10 Jahren. Der aktuellen Turnover schwankt stärker als der

potentielle. Dies ist auf die gezielten Eingriffe des Menschen zurückzuführen, welche zu einer Beschleunigung des Turnover führen (vgl. Kapitel 5.3)

In Tabelle 4.4.3 sind der Turnover der potentiellen Vegetation und der der aktuellen Vegetation gegenübergestellt. Für Österreich ergibt sich eine Beschleunigung des Turnover um 240% (Faktor 2,4), also eine Reduktion der mittleren Verweildauer für Kohlenstoff bzw. Energie um beinahe 60%). Der Turnover der hypothetischen natürlichen und der aktuellen Vegetation und die Beschleunigung des Turnover auf Gemeindeebene sind in Farbtafel 4 und 5 dargestellt.

Tabelle 4.4.3.: Beschleunigung des Turnover nach Bundesländern

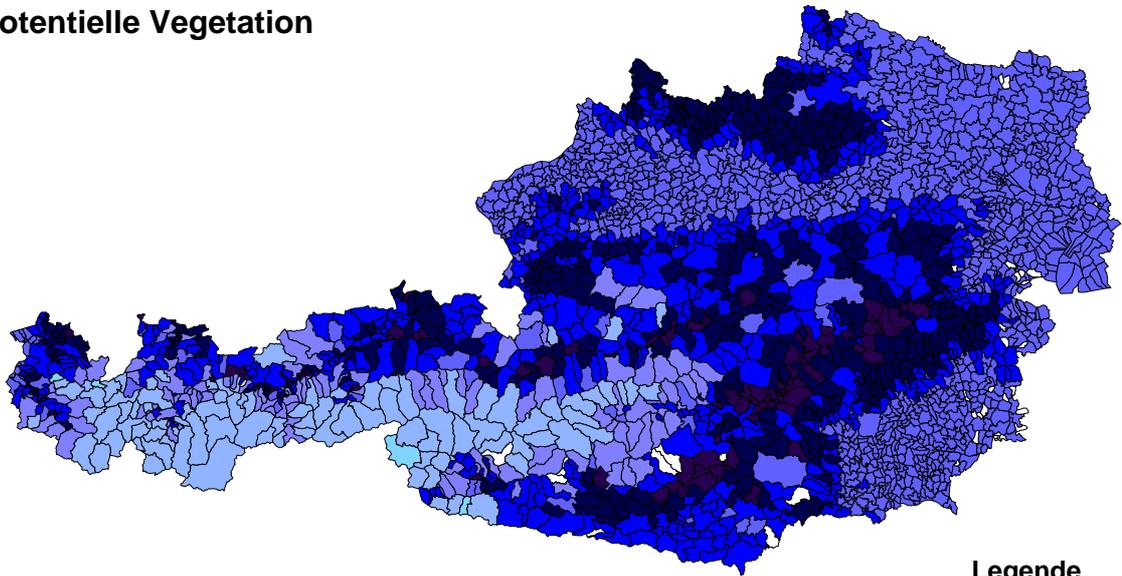
	μ_{pot} [a]	μ_{akt} [a]	Reduktion [%]	Beschleunigung Faktor
Burgenland	27,74	9,54	65,6%	2,91
Kärnten	29,84	13,63	54,3%	2,19
NÖ	29,06	10,06	65,4%	2,89
OÖ	29,67	10,92	63,2%	2,72
Salzburg	28,30	13,10	53,7%	2,16
Steiermark	30,56	14,41	52,8%	2,12
Tirol	27,06	13,30	50,9%	2,03
Vorarlberg	28,03	12,48	55,5%	2,25
Wien	27,56	13,35	51,6%	2,06
Österreich	29,17	12,13	58,4%	2,40

Quelle: eigene Berechnung

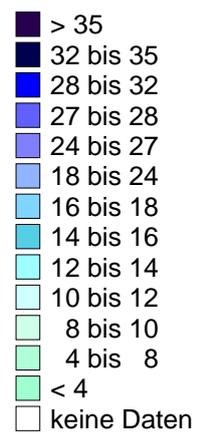
Der höchste menschliche Einfluß bezüglich Turnover findet sich im Burgenland mit einer Beschleunigung um den Faktor 3. Geringste Beschleunigung weist Tirol auf, jenes Bundesland, welches auch die geringste Rate des menschlichen Einflusses bzgl. des Standing Crop aufweist. Dort sind noch rund die Hälfte des Turnover 'vorhanden'.

Farbtabelle 4: Turnover der Vegetation Österreichs

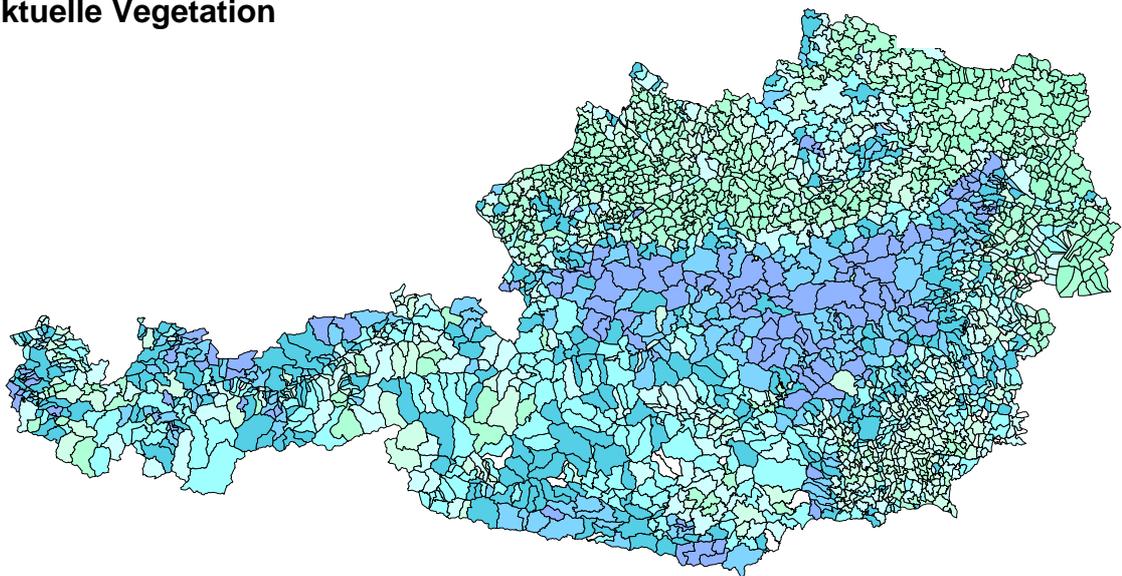
A. Potentielle Vegetation



Legende Verweilzeit [Jahre]



B. Aktuelle Vegetation

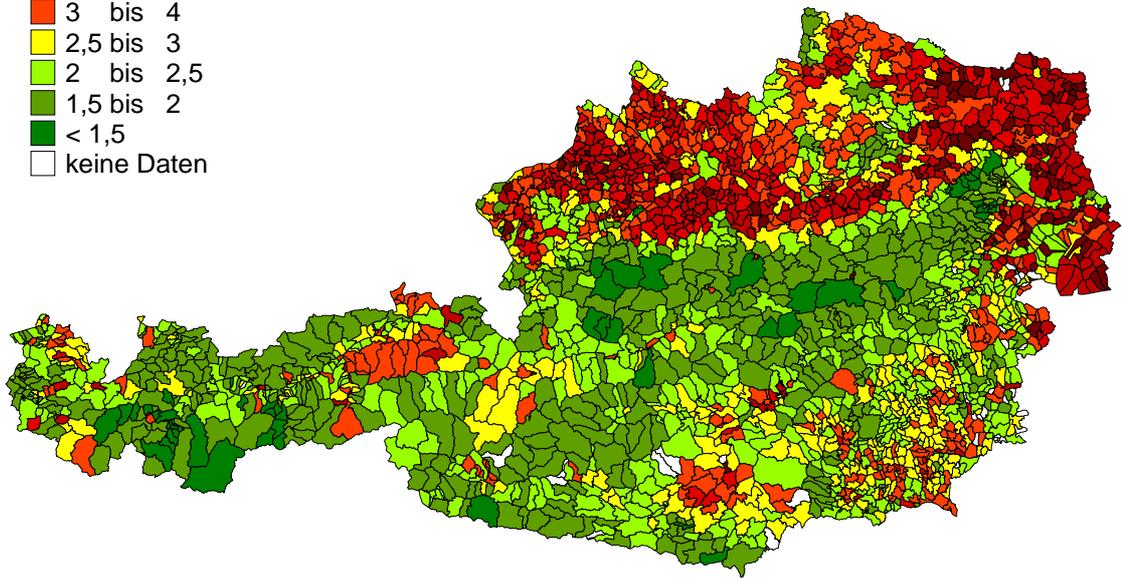


Farbtafel 5: Beschleunigung des Turnover der Vegetation Österreichs

Legende

Faktor

- > 10
- 5 bis 10
- 4 bis 5
- 3 bis 4
- 2,5 bis 3
- 2 bis 2,5
- 1,5 bis 2
- < 1,5
- keine Daten



4.4.2 Auswertung nach Vegetationstypen

Die Auswertung nach Vegetationseinheiten erforderte die gleiche Umrechnung wie schon die Ermittlung der Beeinflussung des Standing Crop nach Vegetationseinheiten (siehe Kapitel 4.3.2 'Beeinflussung des Standing Crop nach Vegetationstypen'). Die Ergebnisse der Umrechnung sind in Tabelle 4.4.4 bis 4.4.6 dargestellt.

Tabelle 4.4.4.: Turnover der potentiellen Vegetation nach Vegetationstypen

	SC _{pot} [MJ/m ²]	ANPP _{pot} [MJ/m ² .a]	μ ₀ [a]
Laubwald	572,9	20,8	27,55
Nadelwald	464,9	16,9	27,43
Mischwald	673,7	19,5	34,53
Wald gesamt	561,0	18,1	31,08
Acker	622,3	21,7	28,72
Grünland	622,3	21,7	28,72
Gartenländer	622,3	21,7	28,72
Hochalmen	302,8	10,2	29,59
alpine Rasen und Matten	45,0	4,1	11,00
Baufläche	622,3	21,7	28,72
Verkehrsfläche	622,3	21,7	28,72
Gewässer	-	-	-
über 2800m	-	-	-
Gesamt	522,5	17,9	29,17

Quelle: eigene Berechnung, SCHULZ (1998). SC: Standing Crop; μ: Turnover.

Der Turnover der potentiellen Vegetation ist relativ ausgewogen. Den langsamsten Turnover (die geringste 'Durchzugsrate') der potentiellen Vegetation erreichen die Mischwälder mit 35 Jahren. Nadelwälder erreichen 27 Jahre. Die Werte des potentiellen Turnover für Acker-, Grün-, und Gartenland, bzw. für die versiegelten Flächen sind Mischwerte, da von einer potentiellen Bewaldung dieser aktuellen Flächeneinheiten ausgegangen wurde. Alpine Rasen und Matten erreichen einen

Turnover der potentiellen Vegetation von 11 Jahren. Dieser Wert erscheint hoch, da die ANPP aber aufgrund der klimatischen Bedingungen niedrig ist, scheint dieser Wert gerechtfertigt. Das selbe gilt auch für die Fläche der Hochalmen. Dort wurde von einer potentiellen Bewaldung mit subalpinen Waldgesellschaften ausgegangen (siehe Kapitel 4.3.2 'Beeinflussung des Standing Crop nach Vegetationstypen'). Da die ANPP aufgrund der rauen klimatischen Bedingungen relativ gering ist, ergibt sich der doch sehr hohe Wert.

Der Turnover der aktuellen Vegetation zeigt ein erheblich anderes Erscheinungsbild. Die relativ ausgewogene Verteilung des Turnover wurde durch den Einfluß des Menschen bedeutend verändert. Dies ist in Tabelle 4.4.5 dargestellt.

Tabelle 4.4.5.: Turnover der aktuellen Vegetation nach Vegetationstypen

	SC _{akt} [MJ/m ²]	ANPP _{akt} [MJ/m ² .a]	μ _{akt} [a]
Laubwald	405,5	20,8	19,50
Nadelwald	354,2	16,9	20,90
Mischwald	418,1	19,5	21,43
Wald gesamt	379,5	18,1	21,02
Acker	16,2	18,0	0,90
Grünland	9,6	13,8	0,69
Gartenländer	92,1	16,9	5,44
Hochalmen	8,4	8,2	1,02
alpine Rasen und Matten	19,7	4,8	4,13
Baufläche	-	-	-
Verkehrsfläche	-	-	-
Gewässer	-	-	-
über 2800m	-	-	-
Gesamt	189,7	15,64	12,13

Quelle: SCHULZ (1998), eigene Berechnung. SC: Standing Crop; μ: Turnover.

Die längste Verweilzeit weisen hier immer noch die Wälder mit rund 20 Jahren auf. Alle anderen Vegetationseinheiten liegen erheblich darunter. Ackerland erreicht einen

Turnover von knapp unter einem Jahr; dies ist auf die Ermittlungsmethode zurückzuführen, bei der der Standing Crop bis auf wenige Korrekturfaktoren der oberirdischen Nettoprimärproduktion gleichgestellt wurde (siehe Kapitel 3.2 'Methodik: Standing Crop-Werte für die Vegetationseinheiten der aktuellen Vegetation'). Den höchsten Turnover (also Durchzugsrate, also die kürzeste Verweilzeit) erreichen die Grasländer mit 0,7 Jahren. Dies stellt einen Mittelwert aller Grasländer dar. Der Turnover der Hochalmen liegt bei 1 Jahr. Dies ist auf den geringen oberirdischen Standing Crop zurückzuführen, welchen diese Vegetationseinheit ausbildet.

Tabelle 4.4.6 zeigt die anthropogene Beschleunigung des Turnover. Dies ist als Beschleunigung dargestellt (Faktor 1 bedeutet 100% oder keine Veränderung im Turnover) und als prozentuelle Reduktion.

Tabelle 4.4.6.: Beschleunigung des Turnover nach Vegetationstypen

	μ_{pot} [a]	μ_{akt} [a]	Reduktion [%]	Beschleunigung Faktor
Laubwald	27,55	19,50	29%	1,41
Nadelwald	27,43	20,90	24%	1,31
Mischwald	34,53	21,43	38%	1,61
verbliebener Wald*	30,07	21,02	30%	1,43
Wald gesamt	31,08		32%	1,48
Acker	28,72	0,90	97%	32,00
Grünland	28,72	0,69	98%	41,47
Gartenländer	28,72	5,44	81%	5,28
Hochalmen	29,59	1,02	97%	28,95
alpine Rasen und Matten	11,00	4,13	62%	2,66
Baufläche	28,72	-	100%	-
Verkehrsfläche	28,72	-	100%	-
Gewässer	-	-	-	-
über 2800m	-	-	-	-
Gesamt	29,17	12,13	58%	2,40

Quelle: eigene Berechnung. μ : Turnover.

* Dieser Wert bezieht sich auf jene Waldfläche, welche bewaldet geblieben ist. Für Details siehe Text

Wälder erfahren die geringste Beschleunigung mit rund 150%. Die Beschleunigung des Standing Crop auf jener Fläche, welche bewaldet geblieben ist, ist geringer als die des potentiellen Waldes. Dies zeigt den Umbruch von Flächen, welche potentiell fruchtbarer sind, zu landwirtschaftlich genutzten Einheiten. Die höchste Beschleunigung findet beim Grünland mit dem Faktor 41 statt, gefolgt vom Ackerland mit 32-facher Beschleunigung. Diese Faktoren sind einander sehr ähnlich, und können im Rahmen der Genauigkeit nicht unterschieden werden. Eine höhere Beschleunigung beim Grünland für den oberirdischen Turnover mag jedoch gerechtfertigt sein, da auf Äckern der Turnover definitionsgemäß (vgl. Kapitel 3.2 'Standing Crop-Werte für die Vegetationseinheiten der aktuellen Vegetation') Richtung $1a^{-1}$ tendiert (eine Altersklasse bzw. Kohorte), bei Wiesen und Weiden jedoch schneller als $1a^{-1}$ sein muß (mehrere Altersklassen und Kohorten). Würden unterirdische NPP und Standing Crop mit einbezogen, würde sich ein anderes Bild zeigen, da der unterirdische Standing Crop auf Grünländern höher ist als jener der Äcker (DUVIGNEAUD 1979).

Hochalmen, die im potentiellen Gebiet von einerseits alpinen Rasen und andererseits von subalpinen Wäldern liegen, erfahren ebenfalls eine hohe Beschleunigung mit dem Faktor 29. Die Werte für den potentiellen Turnover der Hochalmen beruhen auf der Annahme, daß diese in Regionen der subalpinen Wäldern angelegt worden sind. Daher ist der potentielle Standing Crop auf diesen Flächen relativ hoch. Die ANPP-Werte dieser Regionen sind gering, und daher die potentielle Turnoverzeit extrem lange. Dadurch ist die Beschleunigung des Turnover auch entsprechend groß. Zudem kommt auch noch die Beschränkung der Untersuchung auf die oberirdische Biomasse. Der menschliche Einfluß auf die Vegetation betrifft nicht nur die oberirdischen Kompartimente, sondern sehr wohl auch die unterirdischen, durch dessen Einbeziehung sich ein vollständig anderes Bild ergeben könnte.

Der Turnover der Gartenländer und der alpinen Urweiden wurde nur geringfügig beeinflusst. Die recht moderate Beschleunigung in den Gärten ist auf den hohen Baumanteil zurückzuführen, welcher in diesen Ökosystemen angenommen wurde. Die Produktivität ist dort ebenfalls hoch, und dieser Umstand sollte sich andererseits auf den Turnover beschleunigend auswirken. Offenbar fällt hier der Faktor 'Standing Crop' stärker ins Gewicht. Dieses Ergebnis kann jedoch aufgrund der pauschalen

Annahmen bzgl. des Standing Crop der Gartenländer nicht als belastbar betrachtet werden. Die Beschleunigung auf den Flächen der alpinen Urweiden ist auf die Ausdehnung dieser Kategorie zurückzuführen (vgl. Kapitel 5 'Fehlerabschätzung'), da bezüglich der Standing Crop-Werte keine Verminderung angenommen wurde.

Daß die Beschleunigung des Turnover in gesamt Österreich 'nur' 240% ausmacht ist, deutet auf die bedeutende Rolle hin, welche der Wald in bezug auf den Standing Crop, aber auch auf die ANPP, ausübt.

5 Diskussion

5.1 Vergleichende Bewertung der Ergebnisse

5.1.1 Fehlerabschätzung

Die Ergebnisse der Auswertung werden im allgemeinen als belastbar betrachtet. Dies gilt besonders für die Auswertung auf politischer Ebene für die höheren Aggregationsniveaus. Die Auswertung auf Gemeindeebene ist aufgrund der inhärenten Fehlerquellen (z.B. das Wirtschaftsprinzip) generell zwar belastbar, für gewisse Gemeinden dürften sich aber nicht bereinigbare Fehler gehalten haben.

Die Ergebnisse für den Standing Crop der hypothetischen natürlichen Vegetation erscheinen belastbar durch die Fülle von aufgenommenen Daten (hauptsächlich aus dem IBP). Da sich die Wälder der hypothetischen Vegetation bezüglich des Standing Crop als kaum unterschiedlich erwiesen (bis auf Ausnahme der Tanne), und im weiteren Sinne auch einer Höhenstufenabfolge folgen (Abnahme des Standing Crop mit Seehöhe), scheint das Höhenmodell brauchbare Ergebnisse zu liefern. Eine solche Beziehung ist in der Literatur beschrieben (WHITTAKER & NIERING 1975), wenn solche diskontinuierliche 'Vegetationssprünge' sicher eine Vereinfachung darstellen (AUERBACH & SHMIDA 1993). Die Aufteilung Österreichs in Wuchsgebiete kann, im Rahmen der angestrebten Genauigkeit, ebenfalls akzeptiert werden, wenn sie auch eine grobe Vereinfachung darstellt.

Größte Fehlerquelle bei der Berechnung des Standing Crop der aktuellen Vegetation stellt die Flächendatenbasis dar. Sie stammt aus der Bodennutzungserhebung, welche nach dem Wirtschaftsprinzip erhoben wird. Dieser Fehler wird im weiteren jedoch durch die 'Aggregationsmethode' nach HABERL (1995) teilweise bereinigt. Die Waldfläche dient hier als 'Puffer', welcher den Fehler ausgleichen soll. Daß die errechnete Waldfläche mit den Angaben aus anderen statistischen und geographischen Quellen (Bundesforstinventur, Satellitendaten CORINE) näherungs-

weise übereinstimmt, deutet darauf hin, daß der Fehler auf den höheren Aggregationsniveaus größtenteils als behoben betrachtet werden kann.

Die Werte für die Vegetationstypen der aktuellen Vegetation stammen aus Auswertungen von statistischen Quellen (Forstinventur, Erntestatistik) oder aus Literaturrecherchen zu Biomasseerhebungen in den jeweiligen Nutzungskategorien. Die ermittelten Werte für den Wald, denen eine besondere Rolle bei der Abschätzung des Standing Crop zukommt, scheinen zufriedenstellend. Die Datengrundlage – die Bundesforstinventur – ist, mit all ihren inhärenten Fehlerquellen, die brauchbarste und somit eine zuverlässige statistische Quelle bezüglich Waldfläche und Vorrat, und mittelbar auch bezüglich des Standing Crop. Die verwendeten Expansionsfaktoren zur Ermittlung des tatsächlichen Standing Crop beruhen auf Auswertungen der Ergebnisse des IBP u.ä., mit einer statistischen breiten Auswertungsbasis (rund 25 Aufnahmen pro Baumart), und können so als belastbar gelten. Durch die alternative Berechnung - aufgrund von Altersklassen, der logistischen Regressionen für die Wälder der hypothetischen natürlichen Vegetation, und deren Flächenanteile - scheint das Ergebnis bezüglich des aktuellen Standing Crop der Wälder auch bestätigt. Der Unterschied von nur rund 5% zwischen beiden Methoden bestätigt ebenfalls das Ergebnis. Die Aufsplitterung in die drei Waldtypen beruht allerdings auf Aussagen der Forstinventur, die nur den Ertragswald betreffen, und kann daher nur der Veranschaulichung dienen, nicht jedoch einer wirklichen Auswertung.

Die Ergebnisse der Äcker beruhen auf der Auswertung der Erntestatistik, wobei hier der Standing Crop mit der ANPP (beinahe) gleichgesetzt wurde. Dies scheint legitim zu sein, weil die Ackerpflanzen hauptsächlich Therophyten, also annuelle Pflanzen sind, und ihren maximalen Standing Crop jedes Jahr aufs neue aufbauen. Die jährliche oberirdische Produktion kann daher mit dem Höchstbestand an Biomasse im Laufe des Jahres gleichgesetzt werden, insbesondere, weil die landwirtschaftliche Praxis auf nur eine Altersklasse der jeweiligen Art am Feld abzielt.

Für das Grünland wurde ein einheitlicher Flächenwert für gesamt Österreich eingesetzt. Da die Fläche des Grünlandes in Summe jedoch mehr als 18% der Gesamtfläche Österreichs ausmacht, fällt eine solche Ungenauigkeit sehr wohl ins Gewicht. Der Standing Crop des Grünlandes (Wiesen, Weiden, Nieder- und Mittelalmen) ist jedoch im Verhältnis zu dem der Wälder sehr gering (höchstens 1/30),

daher würde auch eine Verdoppelung des Relativwertes kaum ins Gewicht fallen. Bei den Werten für Gartenländer und Hochalmen wurden ebenfalls sehr grobe Einheitswerte gewählt. Diese Ungenauigkeiten wirken sich aber auf Grund der geringen Flächenausdehnung der jeweiligen Kategorien, kaum auf das Endergebnis aus. Bei den versiegelten Flächen wurde keine Vegetationsbedeckung angenommen, obwohl in städtischen Gebieten Grünflächen auch größere Ausdehnungen erreichen können, und deren oberirdische Vegetation hauptsächlich von Bäumen gebildet wird. Auch auf Verkehrsflächen finden sich immer Teile von Vegetation, z.B. die Grünstreifen der Autobahnen. Daher ist eine 'Nullsetzung', besonders im städtischen Bereich, sicher zu grob, und eine Unterscheidung in dicht- und leichtbesiedelt, und/oder Industriegelände wäre zu befürworten. Eine solche Bereinigung wäre jedoch ohne bedeutenden Mehraufwand nicht möglich gewesen. Aufgrund der geringen Flächenausdehnung dieser Kategorien wurden diese Ungenauigkeiten in Kauf genommen.

Allgemein können die Daten auf politischer Ebene also als recht belastbar angesehen werden. Die Auswertungen der potentiellen Vegetation bezüglich der Vegetationstypen jedoch ist relativ ungenau und läßt im Rahmen des top-down Ansatzes höchstens Schlüsse auf Dimensionen zu

Wichtig ist hier, daß diese Aufsplitterung in die verschiedenen Vegetationstypen auch die Flächenveränderung der einzelnen Kategorien mit einschließt. Alpine Rasen, z.B., zeigen hier eine doch beachtliche Beeinflussung, obwohl bei diesem Ökosystemtyp kein menschlicher Einfluß angenommen wurden. Dies ist auf den Flächenbezug der Analyse zurückzuführen (die aktuelle Fläche ist größer als die hypothetisch natürliche). Auf das Ökosystem selbst bezogen wurde annahmegemäß keine Beeinflussung bzw. Beschleunigung verursacht. Für die Beschreibung des Ökosystems 'Alpine Rasen und Matten' wäre daher eine Unterscheidung in primäre und sekundäre alpine Gesellschaften sinnvoll, also von solchen Standorten, welche nicht oder kaum berührt sind, und solchen, welche durch die Ausweitung der Fläche dazu gewonnen wurden.

Besonders die Ermittlung des potentiellen Standing Crop auf den aktuellen Flächen der Hochalmen und alpinen Rasen ist mit groben Annahmen verknüpft, da es bei diesen Kategorien notwendig war, die Fläche und ihre Lage im Höhestufenmodell mit einzubeziehen. Durch das Wirtschaftsprinzip konnten die Werte nur grob für jede Gemeinde ermittelt werden. So kommt es in der Folge zu der Annahme, daß die Hochalmen auf Gebieten ehemaliger subalpiner Wälder liegen. Daher haben die Hochalmen auch einen hohen Standing Crop der potentiellen Vegetation, und besonders, durch die geringe Produktion in diesen Regionen, einen langsamen Turnover. Doch im Großen und Ganzen scheinen diese Annahmen auch gerechtfertigt, wenn man von der Tatsache einer Ausweitung der alpinen Rasen und Matten ausgeht (ELLENBERG 1996).

Die Aufsplitterung in die verschiedenen Waldtypen beruht, wie bereits angesprochen, nur auf groben Annahmen und soll hier nur beispielhaften Charakter haben. Fehler ergeben sich unter anderem durch die Annahme, daß die verschiedenen Waldtypen so bestockt gewesen seien, wie die durchschnittlichen Waldtypen der potentiellen Vegetation. Es ist aber anzunehmen, daß Wald nur auf jenen Standorten Wald geblieben ist, wo eine geringere Bonität und damit Wuchsleistung vorgeherrscht hat, und es daher nicht zu Umbrüchen in Acker- oder Grünland kam.

Bei der Abschätzung des Standing Crop und der ANPP der hypothetischen natürlichen Vegetation auf den Flächen der aktuellen Nutzungskategorien wurde der gleiche Wert für alle vom Menschen bevorzugten 'Ersatzgesellschaften' wie Äcker, Grünland, Bau- und Verkehrsflächen angenommen. Dies stellt eine Vereinfachung dar, da der Umbruch zu Ackerland sicher auf den fruchtbarsten Standorten erfolgte (HOCH ET AL. 1995). Nicht klar ist, ob diese Standorte auch wirklich einen höheren Standing Crop erreicht hätten.

Hinsichtlich der Beeinflussung des Standing Crop und der Beschleunigung des Turnover wurden konservative Annahmen gewählt. Folgende Argumente sind dafür maßgeblich:

- es wurde der 'peak' der einzelnen Vegetationstypen, also der Höchstwert des Standing Crop im Laufe der Vegetationsperiode, berechnet.
- es wurde angenommen, daß alle Vegetationstypen diesen 'peak' zur gleichen Zeit erreichen.
- Durch die Aggregationsmethode wird die Waldfläche als Restfläche behandelt. Dies führt tendenziell zu einer Überschätzung derselben und des Standing Crop auf Kosten von Vegetationstypen mit geringerer Bestockung. Im besonderen gilt dies für jene Flächen, welche durch die Untererfassung der Bodennutzungserhebung (BNE) nicht erhoben wurden (vgl. Mindestflächen der BNE).

5.1.2 Vergleich mit anderen Arbeiten

Vergleichbare Arbeiten in Österreich bezüglich der hypothetischen natürlichen Vegetation sind mir nicht bekannt. Ein Vergleich ist daher nur mit Arbeiten auf globaler Ebene möglich. Während des IBP wurde versucht, die Nettoprimärproduktion, und damit auch den Standing Crop, weltweit zu errechnen. Bereits 1971 schätzen BAZILEVICH ET AL. (zit. in OLSON ET AL. 1983) die Biomasse der voragrikulturellen Vegetation. Die meisten Autoren bezogen ihre Untersuchungen jedoch auf die aktuelle Vegetation der Welt. Dabei gingen diese zumeist von ähnlichen Werten wie BAZILEVICH ET AL. (1971) aus, Unterschiede ergaben sich vor allem durch die Flächenaufteilung. Zu erwähnen sind hier WHITTAKER (1970), WHITTAKER & LIKENS (1973a, b), AJTAY ET AL. (1979), OLSON ET AL. (1983), KIMMINS (1987). WARING & SCHLESINGER (1985) geben einen Überblick über die energetischen Parameter von terrestrischen Ökosystemen. Die Schätzungen dieser Autoren finden sich im Appendix B. Zu beachten ist, daß die Ergebnisse der vorliegenden Studie durchwegs mit den oben genannten Schätzungen für terrestrische Ökosysteme übereinstimmen.

Im Rahmen einer Erstellung des Kohlenstoffinventars für Österreich schätzen KÖRNER ET AL. (1993) die aktuelle Biomasse Österreichs. Ihr Wert beläuft sich auf 389 Mio. t C für die ober- und unterirdische Phytomasse, wobei die Methodik der

Erhebung ähnlich war wie die hier verwendete. Diese Schätzung beinhaltet jedoch auch die Necromasse. Deren Wert steht den 361 Mio. t C der vorliegenden Studie gegenüber, welche weder die unterirdische Biomasse noch die Necromasse berücksichtigt. Zu beachten ist, daß sich KÖRNER ET AL. (1993) auf die Auswertung einer anderen Forstinventur (nämlich der vorigen: 1981/85) beziehen, welche sich in bezug auf Bestockung und Ausdehnung des Waldes von der hier verwendeten unterscheidet. Die Autoren des Kohlenstoffinventars beziehen ihre Analyse auf das gesamte Staatsgebiet, und nicht auf niedrigere Aggregationsniveaus.

92% der Phytomasse werden laut KÖRNER ET. AL. (1993) von Wald eingenommen, während die vorliegende Studie für den oberirdischen Standing Crop des Waldes einen Wert von 96% ermittelt. Der Unterschied ist durch die nicht- bzw. Einbeziehung der unterirdischen Biomasse erklärbar.

5.2 Bedeutung des Standing Crop für ökosystemare Zusammenhänge

Die Produktion der Pflanzen, die Primärproduktion, gibt Aufschluß über das Ausmaß des Energieflusses und der Stoffströme innerhalb eines Ökosystems. Denn die Nettoprimärproduktion stellt die energetische Basis aller trophischen Ebenen eines Ökosystems dar. Der Standing Crop hingegen stellt jene Komponente dar, welche im Laufe der Zeit akkumuliert ist, und verkörpert einen 'Pool'. Die Biomasse auf einem trophischen Niveau hängt von den Energie-Inflows und Energie-Outflows ab (Inflow: Sonnenenergie; Outflow: Respiration, Grazing, Litterfall, etc.; KIMMINS 1987). In 'reifen' Ökosystemen sind Aufnahme und Abgabe von Energie im Gleichgewicht, und es wird keine weitere Biomasse akkumuliert. Pionierökosysteme zeigen im Gegensatz dazu ein Ungleichgewicht von Aufnahme und Abgabe ('Input – Output'). Da der 'Input' größer ist als der 'Output', akkumuliert Energie in Form von Biomasse im Ökosystem. Der Standing Crop wächst an.

Zwei große Flüsse beherrschen die Ökosysteme. Es sind dies der Energiefluß, bei dem die Energie kaskadenartig die einzelnen Trophiestufen durchläuft, und dabei von hochwertiger Energie zu Energie niederer Qualität (Wärme) umgewandelt wird. An diesen Energiefluß ist der Nährstoffkreislauf gekoppelt. Gleich wie beim Energiefluß

werden die einzelnen Elemente von den Kompartimente der Ökosysteme aufgenommen und wieder ausgeschieden. Sind Input und Output im Gleichgewicht, kommt es zu keiner Akkumulation, ansonsten akkumulieren die Nährstoffe (bei Input > Output) oder es verkleinert sich der 'Pool' (bei Output > Input). Im Gegensatz zum Energiefluß verlassen die Nährstoffe das Ökosystem im Idealfall⁷ jedoch nicht, sondern werden in einem Kreislauf geführt. Im Standing Crop sind diese beiden Flüsse vergegenwärtigt. Die Biomasse stellt eine Form der Energiespeicherung dar. Wenn Energie als die 'Währung' der Ökosysteme aufgefaßt werden kann, so kann der Standing Crop als 'Kapital' verstanden werden, während die Nettoprimärproduktion den 'Zinssatz' darstellt. Betrachtet man den Standing Crop als jene Biomasse, welche durch die NPP aufrecht gehalten wird, so wäre der Standing Crop die Kapitalressource, welche von dem Einkommen aufrecht gehalten wird (BEGON ET AL. 1990).

Den größten Teil der Biomasse nimmt Wasser ein. Der Rest besteht hauptsächlich aus Kohlenstoffverbindungen (95% und mehr), und dies ist auch jene Form, in welcher Energie akkumuliert und gespeichert wird. Die Energie wird schlußendlich dann freigesetzt, wenn die Kohlenstoffverbindungen durch die Aktivität von lebenden Geweben oder Zersetzern zu CO₂ (und H₂O) oxidiert werden. Der Flux von Kohlenstoff und der von Energie sind daher in allen biologischen Systemen eng miteinander verbunden (BEGON ET AL. 1990). Mit der Aufnahme eines Kohlenstoffatoms von der Atmosphäre in Form von CO₂ beginnt der Energiefluß. Kohlenstoff und Energie folgen ab hier genau den selben Wegen innerhalb des Ökosystems, von der Fixierung bis hin zum 'Decomposer'-System, eventuell aber nicht notwendigerweise über die einzelnen Trophieebenen. Werden die energiehaltigen Kohlenstoffverbindungen letztendlich oxidiert, trennen sich Energie- und Kohlenstofffluß wieder. Kohlenstoff gelangt in Atmosphäre und steht hier den Primärproduzenten wieder zur Verfügung. Energie hingegen, jetzt in Form von Wärme, steht nicht mehr zur Leistung von Arbeit zur Verfügung, und 'verläßt' das System.

⁷ Ein- und Austräge sind hier nicht berücksichtigt. Deren Existenz hängt von der Skala der Betrachtung ab; die Systemgrenzen der Ökosysteme aber stellen willkürliche Grenzen dar (ODUM 1983). Innerhalb der Biosphäre, welche auch das größtmögliche Ökosystem darstellt, kann die Materie das System nicht verlassen, sondern wird im Kreislauf geführt. Sedimentation z.B. führt zum Aufbau von langlebigen 'Pools', welcher im Laufe der Zeit dem Ökosystem aber wieder zur Verfügung gestellt werden kann (z.B. der fossilierte Kohlenstoff).

Energiefluß und Nährstoffkreislauf sind also gekoppelt, und folglich nur untrennbar voneinander aufzufassen. Denn der Energiefluß hält den Nährstoffkreislauf aufrecht. Und Energie wird in Form von Materie gespeichert und ist nur in materiell gebundener Form den trophischen Ebenen zugänglich. In natürlichen Systemen ist die 'working substance', nämlich das organische Material, auch die Energiequelle für die eigene Transformation. Im allgemeinen ist die Produktion proportional zur Quantität (Masse) von verfügbaren Nährstoffen und der Menge an Energie für die Transformation (RYSZKOWSKI 1975). Und die Struktur und Funktion eines Ökosystems basiert laut TITLYANOWA & MIRONYCHEVA-TOKAREVA (1990) auf dem biologischen Turnover. Dieser stellt den Anfangspunkt des Nährstoffzyklus dar.

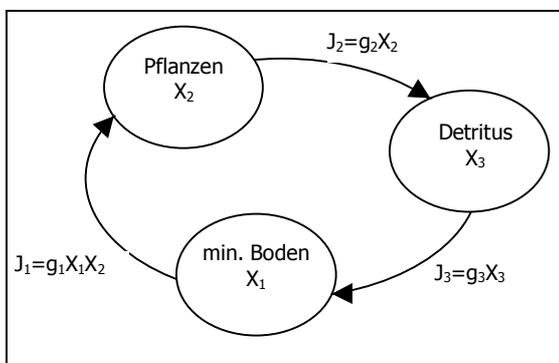
Die terrestrische Nettoprimärproduktion ist sehr stark abhängig von 'äußeren' Faktoren, von der Verfügbarkeit von Nährstoffen, und von klimatischen Bedingungen wie Temperatur und Niederschlag (Wasserverfügbarkeit). LIETH (1975) versucht daher mit Hilfe von klimatischen Regressionen die globale NPP zu bestimmen. Der Standing Crop ist korreliert mit der Nettoprimärproduktion, und eine hohe Produktion führt auch zu einem hohen Standing Crop (WHITTAKER & LIKENS 1973a). Aride Verhältnisse z.B. führen zu einer geringen NPP, und auch der Standing Crop in solchen Regionen ist gering. Diese Beziehung ist jedoch nicht mehr als ein Trend und statistisch nicht sehr gut abgesichert (O'NEILL & DEANGELIS 1981). Viel besser läßt sich die NPP mit dem Leaf area index (LAI) korrelieren (WARING 1983). Die photosynthetisch aktiven Kompartimente der Pflanzen sind aber auch Teil des Standing Crop. Aus der Quantität des Standing Crop läßt sich aber nicht ohne weiteres auf die Biomasse der photosynthetisch aktiven Biomasse schließen. Solche Korrelationen sind ungenau, und vor allem bei Laubwäldern nicht besonders signifikant (O'NEILL & DEANGELIS 1981).

Lotka's Systemansatz

Um Ökosysteme in ihren funktionalen Aspekten zu beschreiben, wendet LOTKA (1925; zit. in RICKLEFS 1990) einen Systemansatz an. Hier wird der Materialfluß zwischen Kompartimenten beschrieben, und Veränderungen in jedem Kompartiment sind die Summe der Inputs und Outputs dieses Kompartiments. Um das Verhalten eines solchen Systems zu illustrieren, beschreibt Lotka jeden Flux als eine Funktion des Gehaltes im jeweiligen Kompartiment. Die 'relative Transferrate' drückt dabei jene Konstante aus, mit welcher ein Transfer von einem Kompartiment in ein anderes von statten geht. Ist das System in einem 'steady state', so ist die Summe aller Flüsse gleich null. Dieses Modell vergegenwärtigt, daß Unterschiede in Struktur und Funktion zwischen Systemen hauptsächlich von Flüssen mit den kleinsten Transferraten bestimmt sind. Niedere Transferraten stellen also 'bottlenecks' im Weg des Nährstoffes innerhalb des Ökosystems dar, welche zu einer Akkumulation im unmittelbar vorhergehenden Kompartiment führen.

Angewandt auf ein terrestrisches Ökosystem (Abbildung 5.2.1), können für den Nährstoffzyklus drei Kompartimente unterschieden werden: Lebende Pflanzenmasse, organischer Detritus und mineralischer Boden, mit jeweiligen Materialflüssen dazwischen (Tiere sind hier nicht berücksichtigt, und die Aktivität von Mikroorganismen sind im Fluß von Detritus zu mineralischem Boden mit eingeschlossen). Die Assimilation der Pflanzen ist sowohl von der Verfügbarkeit im Boden als auch von der Menge der vorhandenen Pflanzen selbst abhängig.

Abbildung 5.2.1 Nährstoffzyklus in terrestrischen Ökosystemen



Quelle: RICKLEFS 1990

Dieses Modell dient vor allem dazu, Unterschiede von unterschiedlichen Ökosystemen zu verdeutlichen. So zeigt sich im Vergleich von borealen und tropischen Wäldern, daß das Bodenkompartment im Boreal entscheidend größer ist als in den tropischen Regenwäldern, während in den letzteren der größte Anteil, etwa an Stickstoff oder Phosphor, in der Biomasse gespeichert ist. Das Detritus-Kompartment ist in den tropischen Regenwäldern extrem gering, zeigt jedoch die bedeutsamsten Transferraten. In borealen Wäldern sind die Transferraten relativ ausgeglichen (RICKLEFS 1990). Im allgemeinen sind die In- und Outputs sehr viel geringer als die Vorräte selbst.

Standing Crop und Turnover als Modellkomponenten

Betrachtet man nun das Lotka-Systemmodell der Ökosysteme für Kohlenstoff, so müssen einige Änderungen vorgenommen werden. Kohlenstoff nimmt seinen Weg nicht wie die Nährstoffe über den mineralischen Boden, sondern über einen anderen 'Pool', über die Atmosphäre. Kohlenstoff wird von allen anderen Kompartimenten in die Atmosphäre abgegeben, und von dort von den Pflanzen aufgenommen. Daraus werden in Folge die energiereichen Verbindungen (Kohlenhydrate, Eiweiß, Fett, Zellulose u.a.) gebildet. Die Speicherung erfolgt in Form von Biomasse, und der Standing Crop stellt das 'Reservoir' des lebenden Kohlenstoff dar. Er ist also das Kompartiment X_2 der Abbildung 5.2.1. Die Turnoverrate, welche den Flux (als Funktion dieses Kompartiments) beschreibt, ist die Konstante, also die relative Transferrate g_2 . Und dadurch, daß Kohlenstoffkreislauf und Energiefluß in diesem Schritt untrennbar voneinander sind, gilt dasselbe auch für die Energie im Ökosystem. Damit ist das Modell ein trophisches, welches zur Analyse von Parametern der Ökosysteme herangezogen werden kann (DEANGELIS 1980).

Der Turnover kann als Reziprokwert der Transferrate als mittlere Residenzzeit von Kohlenstoff und auch von Energie innerhalb der lebenden Fraktion des Ökosystems aufgefaßt werden (REICHLE ET AL. 1973). Für eine gegebene Produktionsrate ist die Residenz- oder auch Transitzeit der Energie mit der Speicherung von Energie in lebender Biomasse und in Detritus direkt miteinander verbunden. Je länger die Residenzzeit, desto größer ist auch die Akkumulation (RICKLEFS 1990). Je schneller der Turnover jedoch ist, desto höher ist das Potential, CO_2 zu binden (PHILLIPS & GENTRY 1994). Ein langsamer Turnover (lange Residenzzeit von Energie und

Kohlenstoff) deutet auf Stabilität bezüglich der C-Ressource hin (EDWARDS ET AL. 1981). Ein hoher (schneller) Turnover weist aber auch auf die Möglichkeit hin, die verfügbaren Ressourcen zu erschöpfen. Daher ist es laut O'NEILL (1976) notwendig, daß Systeme im Gleichgewicht mit einem hohen Turnover eine hohe heterotrophe Biomasse, und damit 'Kontrolle' aufweisen, um das Gleichgewicht zu erhalten. Ein schneller Turnover weist folglich auf eine 'top-down'-Kontrolle des Systems hin, während lange Residenzzeiten auf eine 'bottom-up'-Kontrolle, also auf die Bindung an die Carrying Capacity der Ressourcenverfügbarkeit hin deuten. Aus dieser Beziehung lassen der Standing Crop und der Turnover auf die Form der Biomassepyramide des Ökosystems schließen: ein hoher Turnover bedingt eine 'steilere' Pyramide.

Resilienz

Der Untersuchung von den Zusammenhängen von Struktur und Stabilität von Ökosystemen gilt das besondere Augenmerk der Ökologie. O'NEILL (1976) untersucht die Transferraten und deren Zusammenhang mit der Resilienz der Ökosysteme. Die Resilienz ist ein Parameter der Stabilität von Ökosystemen, und drückt die Geschwindigkeit aus, mit welcher Ökosysteme nach einer Störung wieder in den Ausgangszustand zurückkehren.⁸

In seiner auf einem trophischen Modell basierenden Untersuchung findet O'NEILL (1976) im Vergleich von sechs verschiedenen Ökosystemen, daß die Turnoverrate in eine besondere Beziehung mit der Resilienz steht. Die 'Rückkehrzeit' zum

⁸ Diese von O'NEILL (1976) und DEANGELIS (1980) vertretene Definition der Resilienz wird später in Standardwerken der Ökologie (vgl. BEGON ET AL. 1990) aufgegriffen. Noch 1973 wird dieser Begriff von HOLLING anders gefaßt: dort bezieht sich 'Resilienz' auf die Fähigkeit eines Systems, trotz Störungen zu 'überleben', also seine Funktions- und Strukturparameter zu erhalten bzw. wiedereinzunehmen. Eine hohe Resilienz findet sich bei Systemen, die trotz extremer Fluktuationen und hoher Amplituden der Systemparameter (hier: Populationsdichten) die Ausgangsparameter wieder einnehmen – die Geschwindigkeit der Rückkehr findet sich bei ihm noch unter dem Begriff der 'Stabilität'. Im Sinne von O'NEILL (1976) und DEANGELIS (1980) besagt eine niedere Resilienz eines Systems ein langsames Zurückkehren zum Ausgangszustand, bei HOLLING (1973) die geringe Fähigkeit, Störungen zu 'verkräften' und somit nach Störungen wieder zurückzukehren. Da durch die lange Rückkehrzeit die Wahrscheinlichkeit weiterer Störung und damit 'Zerstörung' des Systems jedoch steigt, sind beide Definitionen durch den Zeitfaktor vereinbar. Bei HOLLING dominiert die Frage nach der Überlebensfähigkeit, diese ist bei BEGON ET AL. (1990) unter dem Begriff der 'dynamic robustness – fragility' beschrieben.

Ausgangszustand nimmt ab, wenn die Energie-Input-Rate via der Autotrophen pro Standing Crop zunimmt. Ein Tundra-Ökosystem benötigte also die längste 'Erholungszeit', während ein Teich (mit einem geringen Standing Crop, aber hoher Biomasse-Turnoverrate) am schnellsten wieder zum Ausgangstadium zurückgekehrt war, und folglich die größte Resilienz besaß. Eine Erhöhung des Input-Flux erhöht auch die Nahrungsketten-Resilienz. Dies kommt dadurch zustande, daß hier, wie oben angesprochen, vermehrt 'top-down' Kontrolle bedeutsam wird, welche den Zuwachs reguliert.

Auch die Stabilität der Nährstoffzyklen ist von besonderem Interesse für dieses Untersuchungsgebiet. JORDAN ET AL. (1972) kommen zu dem Schluß, daß Kreisläufe von nicht-essentiellen Elementen viel resilienter sind, als solche von essentiellen Elementen. Ihre Erklärung dafür ist, daß essentielle Elemente viel 'enger' im Kreislauf geführt werden, und eine Störung sich damit länger auswirkt, während in 'lockeren' Kreisläufen die Elemente leicht wieder von außen ersetzt werden können. DEANGELIS (1980) bringt damit einen 'recycling-Index' in Verbindung. Dieser beschreibt die Anzahl des 'Recycling' von Elementen, bevor diese das System verlassen. Nimmt dieser Index zu, so sinkt die Resilienz.

Zwei Faktoren bestimmen also die Resilienz: der relative Flux (Energie, Biomasse, oder Nährstoff) pro Standing Crop-Einheit, und der 'recycling-Index'. Diese Faktoren, obwohl unabhängig voneinander, liefern Aussagen über die Geschwindigkeit vom Input zum Output eines System. Der erste Faktor, die Turnoverrate, ist mit der Resilienz positiv korreliert, der zweite ist negativ mit ihr korreliert. Da beide jedoch dasselbe aussagen, faßt sie DEANGELIS (1980) zu einem Index zusammen, der 'Transit-Zeit'. Und je höher diese Transit-Zeit ist, desto größer ist die 'Rückkehrzeit'. Die Resilienz ist also negativ mit ihr korreliert.

Der Standing Crop der Biomasse beeinflusst im besonderen die Nährstoffzyklen der Ökosysteme. Eine Verminderung des Standing Crop beinhaltet stets auch eine Verminderung der Menge an Nährstoffen, welche im lebenden Material gespeichert sind. Zusätzlich führt eine Verminderung im Standing Crop zu einer Herabsetzung der 'Retentionskraft' des Ökosystems, da die Wurzelmasse ebenfalls vermindert wird. So werden Nährstoffe durch Niederschlag leichter aus dem System 'ausgewaschen' (BEGON ET AL. 1990). Aber auch auf die physikalischen Parameter des Ökosystems

hat der Standing Crop Einfluß. Der oberflächliche Abtrag von Bodenmaterial ist prinzipiell ein natürliches Phänomen, welches unter einer geschlossenen Pflanzendecke weitgehend durch die Bodenneubildung ausgeglichen wird. Durch Verminderung des Standing Crop wird die Erosionsgefahr erhöht (KUMPFMÜLLER 1989). Es ist nicht gelungen, Parameter wie Erosionsgefahr, oder Nährstoffretention mit dem Standing Crop auch quantitativ in Verbindung zu bringen. Zu viele Parameter spielen bei diesen Phänomenen eine Rolle (wie Ausgangsmaterial, Höhenlage, Exposition etc.) Generell dürfte aber von einer signifikanten Beziehung von Standing Crop zu verschiedenen Bodenparametern ausgegangen werden. Aus diesem Grund bezieht sich SCHIMEL ET AL. (1994) bei der Beschreibung des Bodens, dessen Flux und Funktionen innerhalb der 'Global Change-Diskussion', explizit auch auf die Vegetation als beeinflussenden Faktor. Der Ligningehalt, für welchen in erster Linie die oberirdische Vegetation verantwortliche ist, beeinflusst nämlich direkt die Textur des Bodens. Daneben üben noch viele andere Charakteristika der Vegetation auf die biogeochemischen Zyklen einen Einfluß aus, etwa die Allokation von Nährstoffen oder die verschiedenen Stickstoffgehalte. Auf diese Beziehungen soll hier jedoch nicht weiters eingegangen werden, da sie nicht explizit den Standing Crop behandeln.

Viele Parameter der Pflanzengesellschaften, so auch Biodiversität, verändern sich entlang von Produktivitätsgradienten (TILMAN 1982, VITOUSEK 1982, beide zit. in TILMAN & PACALA 1993). Produktivere Regionen haben im allgemeinen eine höhere Verfügbarkeit von limitierten Nährstoffen im Boden, und dies führt zu einer höheren Pflanzenbiomasse und in Folge auch zu einer höheren Interzeption von einfallendem Licht. In einem globalen Zusammenhang kommt es zu einer Zunahme der Produktivität und des Standing Crop von den Polen zum Äquator (WHITTAKER 1970). Dieser globalen Verteilung folgt auch das Muster der Biodiversität. Unter dem theoretischen Hintergrund der Insel-Theorien versucht die 'Arten-Energie-Theorie' dieses Muster zu erklären. Sie nimmt an, daß die Produktivität eines Habitats (die verfügbare Energie, also die NPP) die Länge der Nahrungsketten und damit die Anzahl der Arten bestimmt (vgl. ODUM 1975). Eine Zusammenfassung dieser Hypothesen findet sich in HABERL (1995).

Die Arten-Energie-Theorie liefert einen möglichen Ansatz zu Erklärung des latitudinalen Gradienten der Biodiversität. Eine genauere Untersuchung der zugrundeliegenden Ansätze jedoch zeigt keinen direkte Bestätigung der Theorie

(TILMAN & PACALA 1993). Die Theorie besagt unter anderem, daß die Zahl der individuellen Organismen pro Habitats direkt abhängig von der Produktivität ist. Diese Annahme stimmt jedoch nur beschränkt, für Vögel oder Säugetiere, nicht aber für terrestrische Pflanzen (ebda.) Das ' $3/2$ – self-thinning' Gesetz von YODA ET AL. (1963, zit in GORHAM 1979) besagt, daß mit steigender Pflanzenmasse die Anzahl der Individuen auf dieser Fläche abnehmen muß. So zeigt GORHAM (1979), daß eine 10fache Erhöhung des Standing Crop zu einer 100fachen Abnahme der Individuenzahl führt. Folglich kommt es auf diesen Gebieten zu einer Abnahme der adulten Pflanzen. Dies müßte laut TILMAN & PACALA (1993) aus der Logik der Arten-Energie-Theorie heraus, zu einer Abnahme der Diversität in Gebieten mit hohem Standing Crop führen. Das Gegenteil ist aber der Fall. Tropen weisen die höchste Biodiversität auf, mit einem Vielfachen des Standing Crop von temperaten oder borealen Ökosystemen. Letztere besitzen viel mehr individuelle Pflanzen, aber auch viel weniger Arten pro Flächeneinheit.

Generell weist der Produktivität-Diversität-Graph eine n-gewölbte Form auf. Die höchste Diversität wird in der Regel bei mittlerer Produktivität erreicht, danach sinkt die Diversität wieder ab (vgl. PUERTO ET AL. 1990, AL-MUFTI ET AL. 1977, BOND 1983, alle zit. in TILMAN & PACALA 1993). Laut diesen Autoren ist kein Fall bekannt, welcher auf eine einfache Beziehung von Produktivität und Diversität schließen läßt. Besonders der Erklärung des Absinkens von Diversität bei steigender Produktivität obliegt daher großes Augenmerk. ROSENZWEIG & ABRAMSKY (1993) stellen neun gängigen Erklärungsmodelle dieses Musters zusammen. Sie kommen zu dem Schluß, daß höhere Produktivität die Heterogenität des Habitats verringert, und daher so der Verlust von Arten zu erklären ist. Auch wurde unter den Erklärungsmodellen eine Theorie einbezogen, welche besondere Bedeutung in Beziehung mit dem Standing Crop hat. Diese ist das Konzept der 'Störung' (Disturbance'), welche, in Beziehung zu Produktivität gesetzt, die n-Form des Graphen Produktivität und Biodiversität erklären könnte. Hohe Produktivität korreliert nämlich mit geringer Störung. Und die 'Intermediate Disturbance Theorie' (CONNELL 1978) könnte so die Form der Beziehung erklären. In diesem Zusammenhang wird das Konzept zwar von den Autoren verworfen, aber für den Standing Crop, im Gegensatz zur Produktivität, findet sich eine bessere Beziehung mit dem Konzept der Störung.

Ökosysteme, auch 'reife', unterliegen für gewöhnlich Schwankungen der abiotischen und biotischen Verhältnisse. Diese zufälligen Schwankungen, ob vom Menschen induziert oder natürlichen Ursprungs, werden unter dem Konzept der 'Störung' ('Disturbance') zusammengefaßt. GRIME (1979) definiert als 'Disturbance' all jene Faktoren, welche Biomasse direkt aus dem System entfernen. Dem gegenüber stehen Faktoren, welche sich auf die Biomasseakkumulation negativ auswirken, und als 'Streß' definiert werden. Störung ist über den Standing Crop definiert und die Verminderung des Standing Crop wird als 'Störung' des Ökosystems aufgefaßt. Streß hingegen betrifft die NPP des Systems. Dieses Konzept von GRIME ist jedoch Spezies-bezogen. Eine Anwendung für gesamte Gemeinschaften ist erschwert, weil verschiedene Arten unterschiedlich auf Störung und Streß reagieren.

Häufig wird das Ausmaß von 'Störung' daher durch Erhebung des Standing Crop gemessen (vgl. WILSON & KEDDY 1988). Störung selbst prägt ein Ökosystem, und auch andere ökosystemare Parameter sind davon betroffen. So ist auch die Nettoprimärproduktion von dem Faktor der Störung abhängig, wenn auch Biomasse-Daten (seien es nun Standing Crop oder NPP) in diesem Zusammenhang nicht wirklich voneinander zu trennen sind (ebda.)

WILSON & KEDDY (1988) untersuchen die Beziehungen von Standing Crop und Artenreichtum ('species richness') unter diesem Gesichtspunkt. Sie bestätigen die von CONNELL (1978) formulierte Hypothese der 'Intermediate Disturbance': die höchste Diversität tritt bei mittelmäßiger ('intermediate') Störungsintensität oder -frequenz auf.

In Österreich beträgt der oberirdische Standing Crop der aktuellen Vegetation ca. 800 Mio. t Trockenmasse. 96% davon entfallen auf Wälder. Dieser Standing Crop stellt nur mehr rund ein Drittel der Masse dar, welche ohne Einfluß des Menschen Österreich bedecken würde. Die Reduktion des Standing Crop ist vor allem auf Umbrüche von Wald zu landwirtschaftlich genutzter Fläche (Acker und Grünland) zurückzuführen.

In den einzelnen Vegetationstypen wurde der Standing Crop unterschiedlich vermindert: in den Wäldern um rund 30%, aber mehr als 95% in den übrigen Nutzungsklassen. Der oberirdische Turnover wurde in gesamt Österreich um den Faktor 2,4 beschleunigt. Für die einzelnen Vegetationstypen bedeutete dies eine weit

drastischere Beschleunigung. In den Wäldern wurde die Residenzzeit nur um 30% verkürzt, auf Äcker und Wiesen kam es zu einer Beschleunigung des Turnover um das 30- bis 40fache.

Die oben diskutierten ökosystemaren Zusammenhänge sind jedoch nicht ohne weiteres auf die Ergebnisse dieser Untersuchung zu übertragen. Die ökologischen Theorien behandeln zumeist nur Systeme, welche sich im Gleichgewicht befinden, und nach außen hin in Bezug auf viele Stoffkreisläufe abgeschlossen sind. Durch den Einfluß des Menschen sind jedoch nur mehr die wenigsten Stoffflüsse in sich abgeschlossen. Vielmehr durchbrechen in der Praxis sowohl Landwirtschaft als auch Forstwirtschaft die kontinuierlichen Kreisläufe natürlicher Ökosysteme. Durch Ernte werden Biomasse, und somit auch Nährstoffe entzogen, und woanders wieder abgelagert. Laut JACOBS (1975) gibt es vier Arten von Effekten menschlicher Eingriffe: (a) *Transient perturbations* (z.B. 'Ölpest', Flußvergiftung, Entlaubung im Krieg, slash and burn etc.); (b) *Chronic Changes* (langzeitliche Verschiebungen, wie Pestizide, Flußregulationen, Bewässerung, strukturelle Einheiten wie Städte); (c) *Energy and nutrient relations* (Import und Export wie Düngung, Umweltverschmutzung, Ernte); (d) *Human manipulation of species* (Aussterben von Arten, Einschleppen von Arten). Durch die Komplexität der Ökosysteme können die Effekte der anthropogenen Einflüsse jedoch nicht pauschal vorhergesagt werden. Die menschlichen Eingriffe unterscheiden sich von natürlichen Störungen in Quantität und Kombination, sie schaffen offene Systeme in Bezug auf Materie und Energie (also teilen die Systeme in Subsysteme auf). Die gesamte Biosphäre wird laut JACOBS (1975) durch den Menschen zunehmend 'heterotroph' (durch den fossilen Input), und eine fortschreitender topographischer Kompartimentalisierung der Biosphäre ist feststellbar. So wird die Umwelt mehr und mehr abhängig von der Struktur und Organisation der menschlichen Gesellschaft. Natürliche, ungestörte Ökosysteme befinden sich stets in 'Übergangszuständen' ('Fließgleichgewicht'), und daher auch Systeme unter dem Einfluß des Menschen. Die Aktivitäten der Gesellschaft verschieben aber diese 'Gleichgewichtszustände', entfernen immer mehr Populationen von dem 'natürlichen Gleichgewicht' und halten sie durch Manipulation etc. in anderen (HOLLING 1973). Daher muß der Mensch als eine Komponente der Ökosysteme angesehen werden. Ein solcher Ansatz soll im folgenden Kapitel dargestellt werden.

5.3 Einflußnahme der Gesellschaft auf den Standing Crop

Der Einfluß des Menschen auf seine Umwelt ist beachtlich. Von den rund 2,2 Mrd. Tonnen Trockenmasse, welche die Natur ohne den Menschen in Österreich tragen würde, sind nur mehr 0,8 Mrd. Tonnen vorhanden. Die Verminderung von beinahe 70% zeigt deutlich die Eingriffe des Menschen in den Naturhaushalt. Dabei beruhen diese Werte auf einer konservativen Schätzung und stellen Untergrenzen dar.

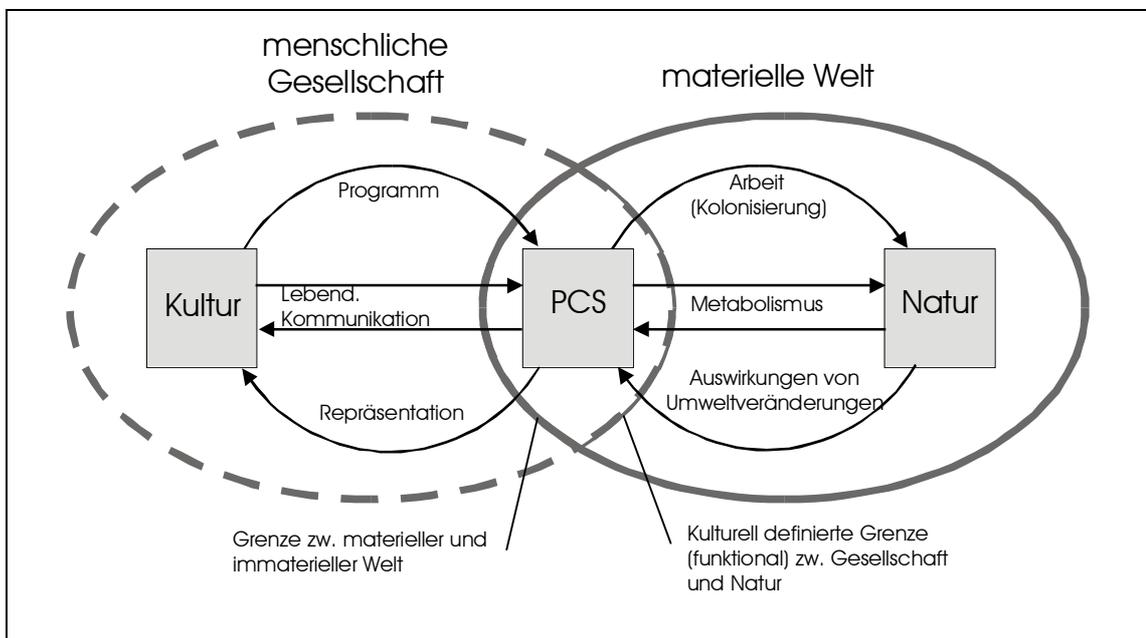
Diese Verminderung hat in erster Linie drei Ursachen. Die ersten beiden sind durch den Ersatz von Waldökosystemen durch andere, künstliche, zu beschreiben. Es sind dies in erster Linie der Umbruch zu Ackerland und zu Grünland. Die dritte Ursache ist die forstwirtschaftliche Nutzung der Wälder, welche sich, im Gegensatz dazu, nicht auf die Waldfläche, sondern die Zusammensetzung und die Bestockung der Wälder auswirkt. Um diese Eingriffe der Gesellschaft und deren Folgen nun innerhalb einer Diskussion von menschlichen Eingriffen im allgemeinen heranzuziehen, bedarf es einer grundsätzlichen Überlegung, wie Gesellschaft auf die Natur wirkt, um zu beschreiben, welche Folgen diese Wirkungen haben.

5.3.1 Gesellschaftlicher Metabolismus und Kolonisierung von Natur

Die menschliche Nutzung von Natur beruht auf einem interaktiven Prozeß. So wie die Gesellschaft mit der Natur agiert und auf sie reagiert, so agiert die Natur mit der Gesellschaft und reagiert auf sie. Dieses Interaktionsmodell setzt die Existenz eines 'gemeinsamen Nenners' voraus, über den die Aktionen ablaufen können. Dieses 'Agens' stellt der materielle Teil der menschlichen Population dar, also jener Teil, welcher materieller Natur ist. Es ist dies ein Teil der materiellen Welt (der Natur), in welchem materielle und energetische Prozesse von der Gesellschaft reguliert werden. Interaktionen zwischen Gesellschaft und Natur laufen stets über diesen materiellen Teil ab. Dieser soll als 'physisches Kompartiment der Gesellschaft' – (PCS) bezeichnet werden. Menschliche Gesellschaft wird so als Subsystem der Biosphäre verstanden (FISCHER-KOWALSKI 1996), welches jedoch in bezug auf Energie und auf Materie offen ist. Und die umweltrelevanten Aktionen der Gesellschaft, welche

zwischen diesem PCS und der Natur ablaufen, können mit Hilfe eines Pressure - State - Response Modells beschrieben werden. Eingriffe in die Natur, wie der Metabolismus und die Kolonisierung, stellen dabei die 'pressures' dar, welche in der Natur gewisse Parameter verändern. Diese Veränderungen können anhand von 'state' - Indikatoren beobachtet werden. Als 'responses' werden jene gesellschaftlichen Maßnahmen verstanden, welche als Reaktion auf die Veränderungen des 'Naturzustandes' gesetzt werden.

Abbildung 5.3.1 Interaktionsmodell Gesellschaft- Natur



Quelle: Fischer-Kowalski 1997

Der rechte Teil der Abbildung stellt ein 'pressure-state-response' Modell dar. Metabolische (sowohl Entnahme als auch Abgabe) wie kolonisierende Eingriffe stellen 'pressures' dar, welche die Natur ('state') verändern. Gesellschaftliche Auswirkungen dieser Umweltveränderungen sind die 'responses'. PCS ist der physische Teil der Gesellschaft, also die materielle Komponente.

Die Interaktion von Gesellschaft mit Natur können nun anhand zweier Schlagworte beschrieben werden (FISCHER-KOWALSKI & HABERL 1993):

1. Metabolismus der Gesellschaft
2. Kolonisierung von Natur.

Der Metabolismus der Gesellschaft drückt jene Raten aus, mit welchem Materie und Energie ausgetauscht, d.h. aufgenommen und ausgeschieden (weitergegeben) werden (Input-Output), und kann als Materialfluß und als Energiefluß beschrieben werden. So nehmen Gesellschaften Rohmaterialien auf, verarbeiten sie zu Produkten oder Dienstleistungen, und letztendlich zu 'Abfall'. Dieser verläßt in industriellen Gesellschaften zumeist die Grenzen des Systems oder wird an anderen Stellen akkumuliert. Der Metabolismus ist stets zwischen der Grenze PCS und Natur angesiedelt, und stellt einen 'pressure' auf die Natur dar.

Das Konzept des Metabolismus reicht jedoch nicht aus, um die Eingriffe von Gesellschaft in die Natur zu beschreiben. Um nämlich den Metabolismus aufrecht zu erhalten und gegebenenfalls auszuweiten, greifen Gesellschaften in den natürlichen Haushalt ein, verändern ihn und halten ihn in einem Zustand, welcher sich vom Zustand ohne menschliche Eingriffe unterscheidet. So werden Produkte erhalten, welche von der Gesellschaft benötigt werden, in diesem Maße jedoch nicht von der Natur ohne Eingriffe bereitgestellt würden. So kann auch die Kolonisierung einen 'pressure' darstellen. Kolonisierende Eingriffe können aber auch ganz allgemein 'Umweltingriffe' sein, die neutral oder positiv zu bewerten sind. Zumeist werden sie jedoch als ambivalent bewertet werden müssen: sie werden in der Regel ja gesetzt, um ein bestimmtes Ziel zu erreichen, und müssen daher eine bestimmte positive Wirkung haben. Andere Parameter können sich gleichzeitig aber auch verschlechtern. Typisches Beispiel für die Kolonisierung von Natur ist der Ersatz von Ökosystemen. Die landwirtschaftliche Praxis z.B. verändert die Artzusammensetzung, den Boden-, Wasser-, Nährstoffhaushalt und viele andere ökologische Parameter eines Standortes, um eben mehr von der Gesellschaft verwertbare Materialien (Biomasse) zu produzieren. Trotzdem ist das landwirtschaftliche Feld ein Teil der Natur, jedoch eines vom Menschen 'kolonisiertes'. Daß hier mehr an verwertbarer Biomasse produziert wird, ist von der Gesellschaft als positiv zu bewerten. Die Abnahme der Biodiversität durch die Monokulturen jedoch stellt einen negativen Aspekt dar. Generell gesehen, betrifft die Kolonisierung von Natur laut FISCHER-KOWALSKI ET AL. (1997) nicht nur den Ersatz von Ökosystemen, sondern Eingriffe in alle natürlichen Systeme: Biotope, Organismen (z.B. Zucht), Zellen, Gewebe, und in das Genom selbst (z.B. Genmanipulation).

Die gesellschaftliche Aneignung von Nettoprimärproduktion (NPP) ist ein Indikator für diese menschlichen Eingriffe in den Naturhaushalt. Die Aneignung von NPP ist definiert als die Differenz zwischen der NPP der hypothetischen natürlichen Vegetation und der NPP, welche nach gesellschaftlichen Eingriffen im Ökosystem verbleibt. So ist die Aneignung die Differenz von potentieller NPP und, analog wie die Beeinflussung des Standing Crop, aktueller Vegetation, also die 'Verhinderung von NPP'. Dieser Aspekt schließt die Kolonisierung von Natur mit ein, da hier Produktionsunterschiede zwischen den potentiellen (ursprünglichen) Ökosystemen und den von Menschen kolonisierten einbezogen sind. Zusätzlich fließt in den Parameter der Aneignung von NPP jedoch auch der gesellschaftliche Entzug von Biomasse durch Ernte mit ein. Dies ist ein Aspekt des Metabolismus.

Die Beeinflussung des Standing Crop ist nun eine Folge der Aneignung von Nettoprimärproduktion. Die Eingriffe in die Natur führten zu einer Verminderung des Standing Crop um etwa 70%. Und dies resultiert in eine Beschleunigung des Turnover, der ja das Verhältnis von Standing Crop zu oberirdischen Nettoprimärproduktion darstellt, von 240%.

Im Vordergrund des gesellschaftlichen Einflusses, und damit Druckes auf die Natur, steht also eine Optimierung von Nettoprimärproduktion. So versucht die Gesellschaft durch kolonisierende Eingriffe, die Nettoprimärproduktion zu steigern (in bezug auf verwertbare Produkte), während die natürlichen Prozesse eine Maximierung der GPP, also der Bruttoproduktion mit sich ziehen (im Laufe der Sukzession; ODUM 1983). Der Standing Crop ist dabei nur von mittelbarem Interesse, denn im Rahmen einer nachhaltigen Nutzung ist nicht dieser, sondern nur die NPP verwertbar.⁹ Dies führt zu der extremen Verminderung des Standing Crop, bei kaum veränderter NPP. Ein hoher Standing Crop fordert nämlich lange Umtriebszeiten (Turnover). Und eine langsamer Turnover bedeutet eine lange Zeitdauer von der Saat bis zur Ernte. Solche Ökosysteme sind schwer zu steuern, und das Risiko von Störungen des Produktionsablaufes (Akkumulation von Biomasse, welche für die

⁹ Standing Crop und Nettoprimärproduktion müssen jedoch nicht gegensätzliche 'Interessen' darstellen. Im Acker z.B. wird versucht, den Anteil an erntbaren Produkten in Richtung ANPP, und damit auch Standing Crop, zu entwickeln, und den Anteil nicht verwertbarer Teile zu minimieren. So soll eine möglichst hohe Produktion schnell erreicht werden, also der Standing Crop (besonders an nicht verwertbaren Kompartimenten) niedrig sein

Gesellschaft auch verwertbar ist) ist um vieles höher. Sogar in der Forstwirtschaft, obwohl der Rohstoff Holz lange Umtriebszeiten verlangt, wird versucht, diese Umtriebszeiten zu verkürzen und so den Turnover zu beschleunigen.¹⁰ So kommt es zu einer Beschleunigung des Turnover durch kolonisierende Eingriffe im Rahmen des gesellschaftlichen Metabolismus.

Die Verringerung des oberirdischen Standing Crop ist auf diverse kolonisierende Aktivitäten des Menschen zurückzuführen, welche jedoch historisch und nicht als aktuelle Prozesse der Gesellschaft gesehen werden müssen. Die bedeutendsten Faktoren der Verminderung sind dabei die kolonisierenden Eingriffe. Zur Bereitstellung und Produktion von Gütern, welche von der Gesellschaft genutzt werden, werden Ökosysteme zerstört, verändert und durch andere ersetzt. Ackerland und Grünland sind solche 'Ersatzökosysteme', aber auch in den Wäldern ist eine solche Strategie sichtbar. Die drastische Veränderung der Waldtypenzusammensetzung deutet auf den Ersatz von natürlichen Waldökosystemen durch künstliche (standortsfremde) hin. Deutlich ist eine Präferenz der Nadelwälder sichtbar. Trotzdem überwiegt bei der Nutzung der Wälder der metabolische Aspekt, und es kann eher von Nutzung als von Ersatz die Rede sein.

Im Vergleich dazu ist die Verminderung der oberirdischen Nettoprimärproduktion verhältnismäßig gering. Laut SCHULZ (in prep.) beträgt diese (der Bezug lautet hier hypothetische ANPP versus aktueller ANPP, und nicht 'Aneignung') rund 13%. Dies stellt die 'verhinderte' Produktion dar. Weitere 39% der oberirdischen Nettoprimärproduktion werden vom Menschen der Natur direkt (durch Ernte) entzogen. Angeeignet (also verhinderte und geerntete Nettoproduktion) sind in Österreich rund 51% der oberirdischen Pflanzenproduktion (SCHULZ in prep., vgl. HABERL 1995). Diese Aneignung resultiert aber in eine Verminderung von 70% im Standing Crop der Biomasse Österreichs. Grund dafür ist der Ersatz von natürlichen Ökosystemen durch 'gemanagte', von der Gesellschaft 'gesteuerte' Ökosysteme.

Die Aneignung von oberirdischer Nettoprimärproduktion wirkt sich auf den höheren Aggregationsniveaus nivellierend auf die Natur aus. Die Aneignung ist in Bezirken mit

¹⁰ Im Durchschnitt wurden in den Wäldern Österreichs der turnover um den Faktor 1,5 beschleunigt, und nur mehr 70% des hypothetischen natürlichen Standing Crop sind durch menschliche Eingriffe aufrecht erhalten. Dieser Umstand ist durch das Stichwort 'Juvenilisierung' aus der Forstwirtschaft charakterisiert.

einer höheren ANPP der potentiellen Vegetation höher als in Bezirken mit niedriger ANPP (HABERL 1997). Daher verringert die NPP-Aneignung die räumlichen Differenzen zwischen dem Energiehaushalt verschiedener terrestrischer Ökosysteme. Die Energiemenge, welche im Ökosystem verbleibt, ist also wesentlich gleichmäßiger verteilt, als jene der hypothetischen natürlichen Vegetation. Fruchtbare Regionen werden also intensiver genutzt, und in Folge ein höherer Teil der NPP angeeignet (dasselbe gilt auch für die versiegelte Flächen, da Siedlungen und Straßen vor allem in tiefliegenden, fruchtbaren Regionen liegen). Daher ist der Anteil der angeeigneten ANPP um so größer, je größer die ANPP der hypothetischen natürlichen Vegetation ist. Diese Analyse ist in einem bottom-up-Ansatz auf sehr kleinen Aggregationsniveaus oder auf Ebene der terrestrischen Ökosysteme selbst jedoch nicht zulässig, und zeigt folglich nur einen Trend.

Die Auswertung der Beeinflussung des Standing Crop auf politische Einheiten zeigt einen solchen nivellierenden Trend durch die gesellschaftlichen Eingriffen, auch auf hohen Aggregationsniveaus, nicht. Dort, wo 'viel' an oberirdischer Biomasse vorhanden ist, wurde zwar zumeist auch viel davon vermindert, aber ein nivellierender Effekt ist nicht generell festzustellen. Jene Bundesländer, deren Fläche hauptsächlich im alpinen Raum liegt, zeigen zwar einen deutlich geringeren sowohl potentiellen als auch aktuellen Standing Crop, und die Beeinflussung ist hier auch am geringsten. Und Bundesländer mit einem hohen potentiellen Standing Crop, wie Niederösterreich, zeigen auch eine hohe Verminderung. Daß dies aber auch nicht mehr als ein Trend ist, zeigt das Beispiel Steiermark. Dort enthält die hypothetische natürliche Vegetation einen mittleren Standing Crop, die aktuelle Vegetation hingegen weist den höchsten relativen Wert auf. Dies ist auf die starke Bindung des Standing Crop zum Waldvorkommen zurückzuführen. Die Wälder nehmen etwa den zwanzigfachen Standing Crop als die anderen Vegetationstypen ein, und in Folge bestimmt das Waldvorkommen die Ausbildung des 'overall' - Standing Crop auf einer Flächeneinheit. Sehr stark ist die Menge an oberirdischer Biomasse also an die Nutzungsformen der jeweiligen Regionen gebunden, und Parameter wie Zugänglichkeit, Erreichbarkeit und Fruchtbarkeit der Standorte, im besonderen der Waldstandorte, spielen eine große Rolle. Sobald die Wälder durch andere Ökosysteme ersetzt werden, wirkt sich dies drastisch auf den Standing Crop aus. Dabei fallen die Unterschiede zwischen den einzelnen 'Ersatzsystemen' kaum mehr ins Gewicht, seien

diese nun Äcker, Wiesen, oder sogar versiegelte Flächen. Das Muster der Beeinflussung des Standing Crop ist also ein Muster der Landnutzung mit dem Schwerpunkt auf dem Kriterium Waldnutzung oder -umbruch. Standing Crop und Nettoprimärproduktion zeigen nämlich keine wirkliche Korrelation. Hohe Produktionsraten sind auch, wie die Ackerländer zeigen, mit geringem Standing Crop erreichbar.

5.3.2 Klassifizierung der Intensität menschlicher Eingriffe: Hemerobie

Die Erhebung der Aneignung von Nettoprimärproduktion wie auch die der Standing Crop-Beeinflussung folgt einem top-down-Ansatz zur Beschreibung der Eingriffe der Menschen in den Naturhaushalt, und zur Quantifizierung des Einflusses der Gesellschaft auf ihre materielle Umwelt. Dem gegenüber stehen bottom-up-Ansätze, welche in der Naturschutzforschung häufig Verwendung finden. Kleinräumige, auf bestimmte Ökosysteme zentrierte Untersuchungen und Betrachtungen stehen dabei im Vordergrund, und aus diesem wird auf die Gesamtheit (die Wirkungen menschlicher Eingriffe im Gesamten) geschlossen. Ein solches, aus der angewandten Ökologie stammendes Konzept, versucht nicht aus einem prozessualen Ansatz, sondern vielmehr aus einer Beschreibung der Folgen menschlicher Eingriffe auf konkrete Einheiten (Ökosysteme bzw. Organismen), diese zu beschreiben. Es ist dies das Konzept der Hemerobie (JALAS 1955, SUKOPP 1969, SUKOPP 1972, BLUME & SUKOPP 1976, KOWARIK 1988, SCHLÜTER 1994). Dieses Konzept ist vor allem im deutschen Sprachraum verbreitet, und versucht Ökosysteme, aber auch Spezies und Gesellschaften aufgrund des anthropogenen Einflusses, unter dem sie stehen bzw. gehäuft vorkommen, zu klassifizieren.

Das Hemerobiekonzept stellt einen Versuch dar, den menschlichen Einfluß aufgrund dessen Wirkung auf Ökosysteme zu klassifizieren und zu quantifizieren. Da in unseren Kulturlandschaften sekundäre synanthrope Vegetationsformen - als Ersatzgesellschaften der natürlichen Vegetation - bei weitem vorherrschen, stellt neben der natürlich standörtlichen und räumlichen Differenziertheit auch die anthropogene Differenziertheit ein wichtiges Kriterium für die ökologische Landschaftsbewertung dar. Je nach Art und Intensität der Nutzung und Belastung

weist die Vegetation einen unterschiedlichen Natürlichkeitsgrad auf, der für den Grad des menschlichen Einflusses auf Ökosysteme ('Hemerobie') und damit auch für die ökologische Bewertung von Ökotopeu bedeutungsvoll ist. Somit ist die Einstufung nach der Hemerobie eine nach der Naturferne (ODZUCK 1982). Ökosysteme der niederen Stufen werden überwiegend durch natürliche, Ökosysteme der höheren Stufen durch anthropogene Vorgänge gesteuert.

Das Konzept der Hemerobie beruht auf floristischen Analysen und liefert Aussagen aufgrund von qualitativen Untersuchungen. Die Aneignung von Nettoprimärproduktion und deren Folgen (Verminderung des Standing Crop und Beschleunigung des Turnover) hingegen beschreibt einen quantitativen Aspekt der Ökosysteme, nämlich die mittlere 'Residenzzeit' der Energie (bzw. des Kohlenstoffs) in den Ökosystemen. Also schließt dieser Weg der Beschreibung des menschlichen Einflusses auf die Natur nur zwei Parameter ein: die Verminderung der ANPP und, als Folge der Aneignung der ANPP, die Verminderung im Standing Crop. Beiden gemeinsam ist jedoch die Verknüpfung von Eingriffs- und Zustandsindikatoren.

Ursprünglich ist das Konzept der Hemerobie zunächst eine Beschreibung des Verhaltens der Pflanzenarten zur Kultur als Standortfaktor (JALAS 1955). Die Klassifizierung in die einzelne Hemerobiestufen ähnelt dabei dem Saprobien-system. Aufbauend auf diesem Ansatz erarbeitet SUKOPP (1969, 1972) daraus die Skala der Hemerobie. Aufgrund von *Einteilungen von Vegetation und Standort* nach Hemerobiegraden (aus Intensität, Dauer und Reichweite der kulturellen Einflüsse) klassifiziert er das **gegenwärtige Verhalten der Arten zu den verschiedenen Graden der Kultureinwirkung**. Zustandsindikatoren, wie floristische Aspekte (Anteile von Neophyten und Therophyten an der Vegetation, Verlust an einheimischen Arten) und Beschreibungen der anthropogen verursachten Bodenveränderungen von Ökosystemen (BLUME & SUKOPP 1976), dienen als abgrenzenden Kriterien. Aus der Summe dieser Indikatoren ergeben sich:

- der Grad der standortsökologischen Bindung.
- Indikatorwert der Artenkombination.
- der Kultureinfluß.

Bewertungsgrundlage der Hemerobie ist der Relativbezug zwischen aktueller Vegetation und hypothetischem Nullzustand - der 'ahemerobe' Zustand. Diesen

Bezug stellt das Konzept der *Potentiell-natürlichen Vegetation* her (Potentialansatz). Hier ergibt sich eine Parallele zu den Indikatoren 'Aneignung von Nettoprimärproduktion', bzw. 'Beeinflussung des Standing Crop' der vorliegenden Arbeit.

Die potentiell-natürliche Vegetation als Referenzbasis wird bei dem Konzept der Hemerobie jedoch im Sinne TÜXEN'S angewandt, beinhaltet also einen aktualistischen Ansatz (schließt also alle tiefgreifenden, irreversiblen Veränderungen durch vielfältige Nutzungseingriffe mit ein).¹¹ Anthropogen gesteuerte oder verursachte Sukzessionen sind stets mit einer Veränderung des Hemerobiegrades der Vegetation verbunden. Nach Aufhören der Nutzung (z.B. Brachfallen von Äckern, fehlende Beweidung von Trockenrasen etc.) verläuft die Sukzession zu einer Schlußgesellschaft, was immer mit einer Abnahme der Hemerobie einhergeht. Um als 'Endzustand' die Ahemerobie (=kein menschlicher Einfluß) zu gewährleisten, muß als Referenzbasis die potentiell-natürliche Vegetation im Sinne TÜXEN'S (1956) angewandt werden.

Nach den genannten Vegetationsmerkmalen läßt sich eine Zuordnung und Parallelisierung von Formen der forstlichen, landwirtschaftlichen und sonstigen Nutzung einschließlich Ödland in die verschiedenen Stufen des Natürlichkeitsgrades der Vegetation vornehmen. Für Hauptnutzungsarten und die entsprechenden Dominanzmosaiktypen ergibt sich als Rangfolge nach zunehmendem Natürlichkeitsgrad: Technogene Gebiete (urban/künstliche), Ackerbau-Agrargebiete (naturfremd), Grünland-Agrargebiete (halbnatürliche-naturfremd), Forstgebiete (naturfern), Waldgebiete (naturnah-natürlich).

Das Konzept der Hemerobie ordnet folglich verschiedene Ökosysteme in eine Skala ein. Als Beispiel sei hier die Einteilung von BLUME & SUKOPP (1976) aufgeführt:

- **ahemerob:** Fels-, Moor-, Gewässer-, sowie Tundrenregionen in manchen Teilen Europas, in Mitteleuropa nur Teile des Hochgebirges

¹¹ Noch bei JALAS (1955) und SUKOPP (1969, 1972) war der Relativbezug jedoch ein anderer. Dort stellte die 'ursprünglichen Vegetation' noch den Nullpunkt dar, um gerade die irreversiblen Veränderungen und Eingriffe der menschlichen Tätigkeiten mit zu berücksichtigen. Erst in den nachfolgenden Arbeiten wird als Bezugspunkt die potentiell-natürliche Vegetation im Sinne von TÜXEN (1956) angewandt.

- **oligohemerob:** schwach durchforstete oder schwach beweidete Wälder, anwachsende Dünen, wachsende Flach- und Hochmoore, manche Gewässer und Salzwiesen
- **mesohemerob:** Forsten standortsfremder Arten; Heiden, Trocken- und Magerrasen; Landschaftsparke (extensive Wiesen und Weiden)
- **β -euhemerob:** Intensivweiden und -forsten zahlreiche, meist ausdauernde Ruderalgesellschaften, Acker- und Gartenunkrautfluren, Zierrasen; Ackerfluren
- **α -euhemerob:** Sonderkulturen (z.B. Obst, Wein, Zierrasen) oder Ackerfruchtfolgen mit stark selektierter Unkrautflora, konkurrenzarme Pionierbiocoenosen, z.B. viele kurzlebige Ruderalgesellschaften; Rieselfelder
- **polyhemerob:** AbfalldPONien, Abraumhalden; teilbebaute Flächen (z.B. gepflasterte Wege, geschotterte Gleisanlagen)
- **metahemerob:** vergiftete Ökosysteme; vollständig bebaute Ökosysteme (z.B. Gebäude, Teerdecken)

KOWARIK (1988) definiert die Hemerobie, als "ein Maß für den menschlichen Kultureinfluß auf Ökosysteme, wobei die Einschätzung des Hemerobiegrades nach dem Ausmaß der Wirkungen derjenigen anthropogenen Einflüsse vorgenommen wird, die der Entwicklung des Systems zu einem Endzustand entgegenstellen." Damit ergibt sich eine Parallele zu dem Begriff der 'Maturität' (MARGALEF 1963), also des Reifegrades der Ökosysteme. Die aktuellen Vegetationseinheiten in einem Areal der potentiell-natürlichen Vegetation können nämlich in Hemerobieserien bzw. Vegetationsreihen (HARMS & DAMEN 1978; VOS ET AL. 1979, beide zit. in SCHUBERT 1991) oder in homologe Gesellschaften (SCHMIDTHÜSEN 1961, zit. in SCHUBERT 1991) bzw. homologe Reihen (SCHLÜTER 1980) gegliedert werden. Diese sind ähnlich den Sukzessionsstadien in natürlichen und naturnahen Ökosystemen. Eine Vegetationseinheit kann in verschiedenen Arealen der potentiell-natürlichen Vegetation unterschiedlichen Hemerobiezeigerwert besitzen, da sie unterschiedliche Intensitätsstufen der Flächennutzung widerspiegelt. Auch können die Vegetationseinheiten durch spontane oder gelenkte Sukzession (einschließlich Retrogressionen) ineinander übergehen. Maturität und Hemerobie sind jedoch keineswegs identisch.

Mit dem Natürlichkeitsgrad nehmen laut SCHLÜTER (1994) das Regulations- und Regenerationsvermögen eines Ökosystems, und damit auch dessen natürliche ökologische Stabilität, ab. Je nach Art und Intensität der Nutzung oder Störung ist die

natürliche Regulation mehr oder weniger eingeschränkt, künstlich verändert oder auch ganz unterbunden. Um so höher wird dann der notwendige gesellschaftliche Aufwand zur Sicherung der Nutzungseigenschaften, des Gebrauchswertes oder Ertrags. An allen anthropogen veränderten Standorten ist ein 'Regenerationsstreben' der Vegetation - durch die Entwicklungstendenz der relativ instabilen Ersatzgesellschaften hin zur potentiell-natürlichen Vegetation - gegeben. Eine solche sekundäre Sukzession führt zu Vegetationstypen höherer (innerer) Stabilität. Das Regenerationsvermögen ist in natürlichen Ökosystemen am größten (SCHLÜTER 1994), und in völlig künstlichen Lebensgemeinschaften, z.B. landwirtschaftlichen Monokulturen, am geringsten. Je stärker die anthropogenen Einwirkungen, um so größer werden die Veränderungen der Vegetationsstruktur und Artenkombination im Vergleich zur potentiell-natürlichen Vegetation. In der Regel nehmen mit dem Natürlichkeitsgrad der Vegetation auch deren Organisationshöhe und Lebensdauer sowie die ökologische Stabilität ab.

Für die einzelnen Ökosysteme können der Skala der Hemerobie nun auch die einzelnen Turnoverraten bzw. die Beschleunigung des Turnover angegeben werden. Im Rahmen der Genauigkeit (siehe Kapitel 5.1.1 'Fehlerabschätzung') ist dabei ein Trend zu höherer Beschleunigung des Turnover mit höherem Hemerobiegrad festzustellen. Indem die Hemerobieserien eine Parallele zu den Reifegraden von Ökosystemen der natürlichen Sukzession herstellen (MARGALEF 1963) und diese Abfolge der Reifegrade der natürlichen Sukzession ein Kriterium zur Einschätzung der Hemerobiegrade ist, findet sich hier eine Parallele zu dem Begriff des Turnover. Generell ist mit der Zunahme des Hemerobiegrades auch ein schnellerer Turnover zu beobachten. Der Turnover der aktuellen Vegetation kann daher zu einer Beschreibung der Nähe oder Ferne der jeweiligen Vegetation zu dem Klimaxstadium des jeweiligen Standortes herangezogen werden. So, wie versucht wird, die Hemerobiegrade mit Sukzessionsstadien im Laufe von Hemerobieserien in Verbindung zu bringen, kann auch die Beschleunigung des Turnover bzw. der Turnover der aktuellen Vegetation dazu herangezogen werden. Pionierstadien weisen nämlich einen um vieles höheren Turnover (kürzere Verweilzeit) auf als 'reife' Sukzessionsstadien. Sie werden vornehmlich von Annualen gebildet. Der aktuelle Turnover liegt also im Bereich von einem Jahr.

Der Turnover stellt nun einen energetischen Parameter, und nicht eine qualitative Beschreibung (die die Hemerobie trotz der quantifizierenden Ansätze liefert) von Ökosystemen dar. Daher liefert dieser auch eher Aussagen über die Folgen gesellschaftlichen Druckes auf die Natur, und nicht eine Bewertung der Naturnähe (wie durch die Hemerobie üblich). Trotzdem ergeben sich recht erstaunliche Parallelen.

Das Konzept der Aneignungen von Nettoprimärproduktion, und damit auch die Beeinflussung des Standing Crop, stellt jedoch einen vollkommen anderen Ansatz als die Hemerobie dar. Prozessuale Ansätze stehen dabei im Vordergrund. Zwar ist die Verminderung der oberirdischen Biomasse eine Zustandsbeschreibung, und beinhaltet keine prozessualen Ansätze. Die Beschleunigung des Turnover verbindet aber beide Ansätze (Eingriff und Wirkung), da die extreme Verminderung im Standing Crop mit einer Aufrechterhaltung der ANPP einhergeht (diese wurde ja nur um 13% 'verhindert').

Das Konzept der Hemerobie versucht, gesellschaftliche Eingriffe in die Natur in einem bottom-up-Verfahren als Störungsparameter (im ökologischen Sinne) zu beschreiben und zu durch Quantifizierung zu klassifizieren. Im Gegensatz dazu versucht die Konzeption der menschlichen Eingriffe als Zusammenspiel von Metabolismus und Kolonisierung mit Hilfe eines top-down-Ansatzes, Aussagen über das Verhältnis Mensch-Natur zu gewinnen. Das im Konzept der Hemerobie inhärente Paradigma von 'Mensch gegen die Natur' kann so vermieden werden. Das Beispiel der Zuordnung der Turnoverbeschleunigung zu den einzelnen in der Hemerobieskala beschriebenen Ökosystemen zeigt die Nachteile von top-down Ansätzen: durch die inhärenten Ungenauigkeiten können nicht genaue Werte, sondern nur Dimensionen geliefert werden. Für Planungszwecke, wie im Naturschutz, jedoch, sind top-down Ansätze, trotz ihrer Ungenauigkeiten und vereinfachenden Annahmen, durchaus anwendbar, wenn nicht unentbehrlich. Im Sinne einer Interpretation von gesellschaftlichen Eingriffen in die Natur, und nicht nur detaillierten Beschreibungen, sind Ungenauigkeiten nicht so bedeutsam, solange die Untersuchungen Richtungen und Dimensionen liefern können (DIERSCHKE 1984, PLACHTER 1989).

Die Beeinflussung des oberirdischen Standing Crop stellt also einen Zustandsindikator von menschlichen Eingriffen dar. Sie schließt prozessuale

Vorgänge der Gesellschaft (Akteure) nicht mit ein, sondern stellt eine reine Zustandsbeschreibung dar. Die Verminderung des Standing Crop ist aber eine direkte Folge der Aneignung von Nettoprimärproduktion, und betrifft den Bereich der Kolonisierung und des Metabolismus (Kahlschlagrodungen z.B. betrifft den Standing Crop und nicht 'nur' die NPP) . Damit kann der Vergleich von potentiell Standing Crop und dem aktuellen als Indikator für 'pressures on the environment' herangezogen werden. Dieser 'Druck' muß jedoch historisch gesehen werden, und kann der Beschreibung des 'ecosystem encroachment', also der historischen Zerstörung von ursprünglichen Ökosystemen, dienen. Eine hohe Verminderung des Standing Crop deutet auf den Ersatz von ursprünglichen Ökosystemen (Waldökosystemen) hin, eine geringe Verminderung eher auf einen geringen Druck auf die Waldfläche selbst, eventuell mit einhergehender Nutzung, aber nicht Zerstörung der Waldökosysteme. In Vorarlberg z.B. findet sich eine Verminderung im Standing Crop von 67%, also eine höhere als im österreichweiten Durchschnitt. Die Bestockung der Wälder wurde dort aber am wenigsten beeinflusst. Die hohe Beeinflussung ist daher auf die flächenmäßig gravierenden Umbrüche zurückzuführen.

Kolonisierende und metabolische Eingriffe vermindern also die Menge an oberirdischer Biomasse der Vegetation. Wie ODUM & TURNER (1990) bemerken, vereinfachen die menschlichen Eingriffe die Landschaftstruktur, und die Geometrie der Landschaft wird umso einfacher, je höher die Intensität der Eingriffe ist. Im Vordergrund der Kolonisierung steht einerseits die Steigerung der Nettoprimärproduktion, und andererseits die Lenkung der Produktion in Richtung verwertbare Materialien, also der Ersatz von Ökosystemen durch andere. Besonders geeignet für die Gesellschaft sind annuelle Pflanzengesellschaften, da diese auch jene Gruppe von Pflanzen enthalten, welche auch die Nahrungslieferanten für die menschliche Gesellschaft und deren Subsysteme (wie die Nutztiere) darstellen. Diese Pflanzengruppen sind daher die vom Menschen bevorzugten 'Ersatzgesellschaften'. Die Beschleunigung des Turnover kann daher nicht als Strategie der gesellschaftlichen Kolonisierung von Natur angesehen werden, da nicht der Turnover, sondern die Pflanzenarten von direktem Interesse für die menschliche Gesellschaft sind.¹² Die Beschleunigung des Turnover ist aber eine direkte Folge der

¹² Die 'Juvenilisierung' der Wäldern jedoch kann sehr wohl als Strategie beschrieben werden. Und diese Juvenilisierung zielt bewußt auf die Beschleunigung des Turnover ab.

Kolonisierung, ebenso wie die Senkung des Standing Crop. Trotzdem kann anhand der Beschleunigung des Turnover eine von der Gesellschaft aufgebrachte - und zur Erhaltung der gegebenen Kolonisierungsstrukturen aufzubringende - Leistung quantifiziert werden. Wenn nun die Beschleunigung des Turnover der Ökosysteme eine Folge der gesellschaftlichen Kolonisierung von Natur ist, so bedeutet dies, daß diese Beschleunigung - von 240% österreichweit - notwendig ist, und auch aufrecht gehalten werden muß, um die Natur 'nutzbar' zu halten. Zwar ist diese Beschleunigung ein 'historisches Erbe' der Gesellschaft durch vorhergehende Nutzungen und Umbrüche, aber diese muß auch aufrecht gehalten werden, um ein Zurückfallen der Ökosysteme in natürliche, und damit langsame, zu verhindern.¹³ Denn werden Systeme 'dekolonisiert', d.h. der menschliche Einfluß vermindert oder ausgeschlossen (z.B. Brachfallen von Feldern, oder Einrichtung von Naturschutzgebieten), verlangsamt sich auch der Turnover - analog zu der Verminderung der Hemerobiegrade - wieder. Die Masse an akkumulierter Biomasse, also der Standing Crop nimmt also zu, und klimaxnahe Stadien werden erreicht. Diese sind aber vom Menschen nicht in dieser Form nutzbar.

5.4 Bedeutung des Standing Crop für den Kohlenstoffhaushalt

Als Ergebnis mehrjähriger Diskussionen über den Treibhauseffekt wird heute in weitgehender Übereinstimmung eine Erhöhung der globalen Durchschnittstemperatur erwartet (vgl. HOUGHTON & WOODWELL 1989). Regionalklimatische Auswirkungen dieses globalen Trends sind jedoch nur schwer voraussagbar.

Die Ursachen für die globale Erwärmung liegen in einer anthropogenen Erhöhung von Gasen, die den Strahlungshaushalt beeinflussen können, in der Troposphäre und der daraus resultierende 'Treibhauseffekt'. Die Emission von Kohlendioxid ist hier als

¹³ Das Konzept der hypothetischen natürlichen Vegetation ist hier nämlich recht weit gefaßt, und drückt sowohl einen ursprünglichen Zustand aus, als auch einen Zustand, welcher sich nach Aufhören der menschlichen Nutzung wieder einstellen würde. Die Betrachtung von 'Ersatzgesellschaften' im Sinne TÜXEN's (1956) ist bezüglich des Standing Crop nicht von Bedeutung (siehe auch Kapitel 1.2 'Begriffe: hypothetische natürliche Vegetation')

stärkster Kausalfaktor anzusehen. Wichtigste Faktoren der anthropogenen Emission von CO₂ sind die Verbrennung von fossilen Energieträgern und die Beeinflussung von biologischen 'Stocks' (BOLIN 1977). Ersteres erreicht im Jahr 1980 weltweit ein Ausmaß von 5,5 Gt Kohlenstoff pro Jahr, während die Freisetzung durch die Beeinflussung der Wälder global jährlich rund 1,1 Gt Kohlenstoff freisetzt (davon 1,6 Gt in den Tropen, und -0,5 Gt Aufnahme in den Wäldern der nördlichen Hemisphäre; SCHIMEL 1995). Bei der Quantifizierung des globalen Kohlenstoffzyklus zwischen den vier Kompartimenten Atmosphäre, Ozeane, terrestrische Biosphäre und fossiler Kohlenstoff fehlt jedoch ein beträchtlicher Anteil an Kohlenstoff, nämlich rund 1,4 Gt jährlich, der sogenannte 'missing sink' (SCHIMEL 1995).

Um gerade die Frage dieses offenen 'missing sink' zu klären, liegt die Quantifizierung des Kohlenstoffgehalts der terrestrischen Biosphäre, und damit der Vegetation, im Vordergrund. Bereits seit dem IBP wird versucht, den Kohlenstoffgehalt der Vegetation und den Zuwachs an Kohlenstoff zu quantifizieren.

1973 schätzten WHITTAKER und LIKENS den globalen Kohlenstoff der Vegetation für das Jahr 1950 ab. Ausgehend von einer Einteilung der Erdoberfläche in Biome und einer Zuweisung von Biomassewerten pro Flächeneinheit, ermittelten sie den Wert von 827 Pg Kohlenstoff als weltweiter Kohlenstoffpool der Biosphäre. In einer folgenden Schätzung errechnen BAES ET AL. (1977) einen globalen Kohlenstoffvorrat von 680 Pg C. Aufgrund von Kontroversen, welche um die Bedeutung dieser Werte für die Gesellschaft und den 'Global Change' angeheizt wurden, wurden diese geprüft und verfeinert. Mit der gleichen Methodik wie WHITTAKER & LIKENS (1973), jedoch mit revidierten Flächenwerten und nur leicht geänderten Biomasse-Werten schätzen AJTAY ET AL. (1979) das globale Kohlenstoffinventar der Erde auf 559,8 Pg. BOLIN ET AL. (1979) ermitteln einen Wert von 592 Pg für den globalen Kohlenstoff der Vegetation. OLSON ET AL. berechnen 1983 ebenfalls den Kohlenstoffgehalt der globalen Vegetation. Ihr Ansatz verfolgt dabei eine grundlegend verschiedene Methodik bezüglich der Flächenaufteilung der einzelnen Kategorien. Die Erdoberfläche wurde aufgrund des Meridiannetzes in Rasterflächen von 0,5° mal 0,5° aufgeteilt und den erhaltenen Mosaikstrukturen wurden aufgrund der Deckungsgrade und der Vegetationstypen Relativwerte zugeordnet. So erhalten sie einen Wert von 550,6 Pg C für den terrestrischen Kohlenstoff, und 562 Pg C als globale Gesamtsumme.

Dem gegenüber steht ein Wert von BAZILEVICH ET AL. (1971, zit. in OLSON ET AL. 1983). Die Autoren benutzten ähnliche Standing-Crop-Werte der einzelnen Ökosysteme wie später WHITTAKER & LIKENS (1973), bezogen ihre Analyse aber auf eine andere Flächenbasis. So berechneten sie nicht den Kohlenstoffgehalt der aktuellen Vegetation, sondern schalteten bewußt die Eingriffe des Menschen – hypothetisch – aus und erhielten so den 'Kohlenstoffpool' der potentiellen Vegetation. Ihr Wert beläuft sich auf $2,4 \times 10^{18}$ g Trockenmasse oder 1080 Pg C.

Wie man sieht, sind die Ergebnisse der Abschätzungen des globalen Kohlenstoffes der Vegetation keineswegs einheitlich. Unterschiedlichste Annahmen und Methoden führen teilweise zu großen Unterschieden. So sind die Daten häufig auf die gesamte Biomasse, also ober- und unterirdisch, bezogen, jedoch nicht durchwegs, teilweise ist der organische Kohlenstoff des Bodens (wie Humus) mit einbezogen, und selten ist feststellbar, ob Kompartimente wie der 'Standing Death' mit einbezogen wurden oder nicht. Daher werden diese bestehenden Kohlenstoffinventare auch zunehmend hinsichtlich ihrer Genauigkeit hinterfragt (SCHIMMEL 1995). Eine Erhöhung der Genauigkeit kann aber nur durch kleinräumige, regional erhobene Daten erreicht werden.

Akzeptiert man diese Werte jedoch, wenn auch aufgrund der Ungenauigkeiten nur als Dimensionen, so erhält man weltweit eine Verminderung durch Eingriffe des Menschen von rund 50% des Kohlenstoffgehaltes bzw. Standing Crop. (Wert von BAZILEVICH ET AL 1971 versus AJTAY ET AL. 1979, bzw. OLSON ET AL. 1983). Die hier vorliegende Untersuchung liefert für Österreich einen Wert der Verminderung von rund 70%, und liegt somit weit über den weltweiten Durchschnitt. Dabei bezieht sich dieser Wert nur auf die oberirdische Vegetation. Würden die unterirdischen Kompartimente ebenfalls mit einbezogen, so fiel das Ergebnis noch drastischer aus. Denn sowohl forstwirtschaftliche Nutzung als auch Umbruch von Wald zu Acker oder Grünland reduziert die unterirdische Biomasse und den Kohlenstoffgehalt der Böden (BRAMRYD 1979). In hochindustrialisierten Ländern wie Österreich manifestiert sich daher der Einfluß des Menschen bedeutend stärker als im Weltdurchschnitt.

Innerhalb der Biosphäre bildet Wald den wichtigsten Speicher für Kohlenstoff. Dies zeigt auch die vorliegende Untersuchung. Von den 361 Mio. t C der aktuellen Vegetation Österreichs entfallen 96% auf den Wald, obwohl dieser nur 47% der Fläche

einnimmt. Weltweit wird der Anteil des Waldes am globalen Kohlenstoff-'Pool' auf 90% geschätzt (WOODWELL ET AL. 1978). OLSON ET AL. (1983) ermitteln einen Wert von 87% als Anteil der Summe aller Wälder. Diese unterscheiden jedoch 'geschlossene Wälder' von 'interrupted Woods', und führen die Überschätzungen früherer Kohlenstoffstudien des IBP auf eine Überschätzung der Fläche der geschlossenen Wälder zurück. Von den 87% des Waldkohlenstoffs entfallen nämlich nur rund drei Viertel auf tatsächlich geschlossene Wälder, der Rest wird von 'nicht geschlossenen Wäldern' eingenommen. Dieser Vegetationstyp wird zwar auch hauptsächlich von Bäumen aufgebaut, jedoch wird ein vollkommener Schluß durch eine Mosaikstruktur mit baumlosen Flächen nicht erreicht. Daher sind die relative Biomasse und damit der Kohlenstoffgehalt pro Fläche (hier Landschaft) geringer als in 'echten' Wäldern. 47% der weltweiten Waldfläche bestehen aus solchen 'interrupted woods'.

Trotzdem entfällt der größte Teil des globalen Kohlenstoffes auf die geschlossenen Wälder. Wie bereits erwähnt, ist dies auch in Österreich der Fall. Die Betrachtung des Waldes spielt also eine bedeutende Rolle bei der Abschätzung der Eingriffe des Menschen in die Natur und deren Wirkungen auf den 'Treibhauseffekt'. Besondere Bedeutung fällt der terrestrischen Vegetation, und damit den Wäldern, in Hinsicht auf die Rolle als Senke oder Quelle für CO₂ zu. Generell werden die Wälder der nördlichen Hemisphäre, besonders der temperaten Zone, als Senke für Kohlenstoff angesehen. Über das Ausmaß oder die Existenz dieser Senke herrscht jedoch keineswegs Klarheit (vgl. WOODWELL ET AL. 1978, HOUGHTON ET AL. 1983, KAUPPI ET AL. 1992, SEDJO 1992, SCHIMEL 1995, HOUGHTON 1993, 1995).

Auswertungen für Österreich (SCHIDLER 1998) zeigen, daß der Wald in Österreich tatsächlich 'wächst', und bestätigen diese Senkenfunktion. Dieser Zuwachs ist in Österreich in zweierlei Hinsicht feststellbar, und zwar (a) in der Zunahme der Fläche des Waldes, und (b) in der Zunahme der Bestockung der Wälder. Folglich findet in Österreichs Wäldern eine positive Nettofixierung von Kohlenstoff statt. Die jährliche Nettofixierung ergibt sich als Differenz zwischen der jährlichen Fixierung im Dendromassenzuwachs (also der NPP) und dem jährlichen Kohlenstoffentzug durch Nutzung. Durch Auswertungen zweier aufeinanderfolgender Forstinventuren (1961/70 und 1986/90) ermittelt SCHIDLER (1998) einen Flächenzuwachs des Waldes von 1870 km² innerhalb des Zeitraumes. Diese Zunahme der Waldfläche ging in den letzten zehn Jahren vor allem in den Schutzwäldern außer Ertrag vor sich, und entzieht sich

daher einer genaueren Analyse. Durch die Flächenzunahme des Waldes wurden 0,413 Mio. t C gebunden. Während dieser Periode nahm die auch die Bestockung der Wälder zu, und zwar um rund 30%, von 236 Vfm/ha zu 321 Vfm/ha im Ertragswald. Als Nettofixierung für das Jahr 1990 wurden 3,6 Mio. t ermittelt. Diese Berechnungen berücksichtigen nicht die Kohlenstoffspeicherung durch langlebigen Holzprodukte (diese ist laut BURSCHEL ET AL. [1993] in Deutschland etwa gleich groß wie Fixierung durch den Dendromassenzuwachs). Die Nettofixierung in Österreich entspricht im Jahr 1990 13 Mio. t CO₂, und ergibt sich aus einem Zuwachs von 9,7 Mio. t C und einer Nutzung von 6,2 Mio. t C. Nur rund 64% des gesamten Zuwachses des Waldes wurden also genutzt.

Folglich wirkt Österreichs Wald derzeit als eine Nettosenke für CO₂. Die vorliegende Untersuchung konnte aber zeigen, daß diese Senkenwirkung nur auf einen aktuellen Zeitpunkt beschränkt ist. Betrachtet man die hypothetische natürliche Vegetation als jene Vegetation, welche vor menschlicher Nutzung in Österreich vorgeherrscht hat so wurde die Bestockung der Wälder durch menschliche Nutzung deutlich verringert. In einer größeren Zeitskala betrachtet, stellt der Wald also eine Quelle dar. Der Wald kann durch die Nettofixierung heutzutage als Senke nur deshalb wirken, weil er ehemals als Quelle gewirkt hat. Jener Anteil an CO₂, welchen der Wald heute bindet, wurde lange vorher in die Atmosphäre emittiert.¹⁴ Häufig wird argumentiert, daß 'junge' Wälder mehr Kohlenstoff binden (durch die höhere NPP) als 'alte' Wälder und dadurch deren Senkenwirkung größer ist (RAY 1989, GASBARRO 1989, beide zit. in HARMON ET AL. 1990). Diese Annahme berücksichtigen jedoch nicht die Umstand, daß der Faktor der Kohlenstoff-Frage die Bindung und damit Speicherung in 'stocks' ist, und nicht die jährliche Aufnahme rate. Die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung deuten darauf hin, daß die Nutzung der Wälder eigentlich als eine Quelle von Kohlenstoff anzusehen ist. HARMON ET AL. (1990) zeigen, daß die Nutzung von Wäldern (verbunden mit einer Umwandlung der Altersstruktur hin zu jüngeren Beständen) den Kohlenstoffgehalt für mindestens 250 Jahre verringert, und zwar bedeutend länger anhaltend als natürliche Störungen dies tun. Auch bei

¹⁴ Dies stellt eine hypothetische Annahme dar. Laut BOLIN ET AL. 1979 hat nach der Eiszeit die oberirdische Biomasse nur die Hälfte der heutigen betragen. Trotzdem stellt der Standing Crop der hypothetischen natürlichen Vegetation das Potential der Bindung von Kohlenstoff in den terrestrischen Ökosystemen dar.

Einbeziehung der Speicherung von Kohlenstoff in langlebigen Produkten (bis zu 200 Jahre), erreichen juvenilisierte Wälder nicht die Speicherkapazität von alten, reifen Beständen. Sobald die Umtriebszeit (Zeit zwischen den Ernten) geringer ist, als die Zeit, welche der Wald zum Aufbau der maximalen persistenten Biomasse benötigt, wird Kohlenstoff freigesetzt.

In den heutigen Wäldern sind also nur mehr rund 60-70% jener Biomasse vorhanden, welche hypothetisch dort gebunden sein würde. Diese direkte Beeinflussung des Waldes – eine Verminderung um 147 Mio. t C - trägt 23% zu der gesamten Verminderung des potentiellen Kohlenstoffgehaltes der Vegetation bei. Weitere 407 Mio. t C – also 64% - wurden durch Umbruch von Wald zu landwirtschaftlich genutzter Fläche (Äcker und Grünland) emittiert bzw. deren Bindung verhindert. Insgesamt wurden durch anthropogene Einflüsse im Laufe der 'Kolonisierung von Natur' rund 630 Mio. t C emittiert bzw. einer Bindung 'entzogen'. Dies sind rund 10% der jährlichen weltweiten Emission von CO₂ durch die Verbrennung von fossilen Energieträgern.

Diese 630 Mio. t C stellen das maximale zusätzliche Absorptionspotential der oberirdischen Vegetation von Österreich dar. Die Berechnung des Standing Crop der hypothetischen natürlichen Vegetation hat gezeigt, daß in Österreich maximal 1 Mrd. t (1 Pg C) Kohlenstoff gebunden werden kann. Dieser Wert ist jedoch nur hypothetisch, unter Voraussetzung einer beinahe vollständigen Bewaldung der Fläche Österreichs, erreichbar.

Laut KÖRNER ET AL. (1993) werden in Österreich jährlich ca. 55,2 Mio. t CO₂ aus der Nutzung fossiler Energieträger in die Atmosphäre abgegeben. Dies entspricht einer Menge von 15 Mio. t Kohlenstoff pro Jahr. Diese Menge steht den 630 Mio. t C gegenüber, welche im Laufe der Zeit durch Landnutzung in die Atmosphäre abgegeben wurde (oder worden wäre), also 2,3 Mrd. t CO₂. Der Kohlenstoff, welcher im Standing Crop der Biomasse gespeichert ist, entspricht 360 Mio. t Kohlenstoff. Der 'stock' an oberirdisch biologisch gespeicherter Biomasse ist also 24 mal so groß wie der jährliche Ausstoß durch die Nutzung von fossiler Energie.

Geht man hypothetisch von einem maximalen Bindungspotential von 1 Gt C in Österreichs oberirdischer Vegetation aus, und müßte kontinuierlich der Ausstoß an Kohlenstoff durch die Verbrennung von Fossilenergie in der Natur gebunden werden,

wäre die Kapazität Österreichs nach 66 Jahren erschöpft. Und dies ohne Berücksichtigung der Wuchsdauer der hypothetischen natürlichen Vegetation zur Erreichung der maximal persistenten Biomasse. KÖRNER ET AL. (1993) spricht in diesem Zusammenhang eine maximale Zeit von unter 30 Jahren an, geht jedoch von einer 'Auffüllung' der Fläche mit genutzten Wäldern aus, welche ja einen deutlich geringeren Standing Crop aufweisen. Die hier vorgestellte Schätzung würde bedeuten, daß jedweder menschliche Einfluß auf der Fläche ausgeschaltet werden müßte, also die gesamte Landwirtschaft, Forstwirtschaft, selbst alle Baukörper müßten rückgebaut werden. Und nach diesen 66 Jahren könnte kein CO₂ mehr in der oberirdischen Vegetation gespeichert werden. Ganz Österreich wäre von Klimaxgesellschaften bedeckt.

Dies stellt jedoch kein realistisches Szenario dar. Tatsächlich aufforstbar dürften zur Zeit nur die Acker- und Grünlandbrachen sein. Diese nehmen 1990 eine Fläche von rund 550 km² ein. Deren – hypothetische sofortige – Aufforstung mit Klimaxwäldern würde im Durchschnitt 7,1 Mio. t C binden, also die Hälfte der jährlichen Emission durch die Verbrennung von fossilen Energieträgern.

Aufforstungen können also nicht das Problem des 'Treibhauseffektes' lösen, obwohl damit kurzfristig Kohlenstoff fixiert werden kann. Das Potential einer hohen Nettofixierung in Wäldern ist nämlich, wie oben angesprochen, auf die Juvenilisierung zurückzuführen. Alter, Bewirtschaftungsform, Waldausweitung und Zuwachssteigerung durch Stickstoffeinträge werden als ein Grund für die großräumige aktuelle Nettofixierung angegeben. Daher gilt eine Abschwächung der Senkenwirkung im Laufe der Zeit als wahrscheinlich (HOUGHTON 1993). Da die Nettoprimärproduktion, wie bereits angesprochen (Kapitel 1.2 'Begriffe'), im Laufe der Sukzession durch die Gesamtrespiration des Ökosystems ausbalanciert wird, kann auch kein CO₂ mehr gebunden werden. Zwar werden hohe Nettofixierungsraten durch überwiegend junge Waldbestände im Altersklassenwald bei unausgewogener Altersklassenverteilung grundsätzlich periodisch zu erwarten sein (HOCH ET AL. 1995). Aber stark vertretene Altersklassen werden durch ihre Alterungsdynamik das Durchschnittswachstum der Gesamtheit und damit die Kohlenstoffbindung beeinflussen. Die Störung der Altersklassenverteilung wird steigende Bedeutung zukommen, besonders in einer Zeit flächenhafter letaler Waldschäden (ebda.) Großflächige Aufforstungen können daher kurz- und mittelfristig zwar die CO₂-Fixierung erhöhen. Wenn auch eine Erhöhung des

Waldanteils eventuell als positiv zu bewerten ist, CO₂-ökologisch relevante Aufforstungsraten können nicht erreicht werden (KRIEBITZSCH ET AL. 1993, zit. in HOCH ET AL. 1995).

Alle diese Berechnungen beruhen auf der Annahme, daß der Standing Crop der hypothetischen natürlichen Vegetation ein absolutes oberes Maximum darstellt. Zuwachsteigerungen können nun aber auch auf der Erhöhung der maximalen persistenten Biomasse beruhen. Dieser Effekt wird häufig auf den sogenannten 'CO₂ fertilizing effect' zurückgeführt. Dieser ist jedoch umstritten und bei weitem noch nicht gesichert (HÄTTENSCHWILER ET AL. 1998, SCHLESINGER & HENDREY 1998). Auch auf anthropogene Stickstoffeinträge können solche Zuwachsteigerungen zurückzuführen sein. Doch auch dieser Düngungseffekt ist nicht flächenmäßig quantifiziert oder gesichert. Die Biomasseproduktion kann bis zu N-Sättigung gesteigert werden, aber auch Schadwirkungen aufgrund von Stickstoffüberernährung können die Folge sein (WOUDE ET AL. 1994, ULRICH & PUHE 1993 zit. in HOCH ET AL. 1995). Düngung mit Stickstoff kann aber auch die Mineralisation im Boden erhöhen, und so dessen Kohlenstoffvorrat vermindern (BRAMRYD 1979). Andererseits sieht HOUGHTON (1995) in einer solchen Zuwachssteigerung eine mögliche Erklärung des 'missing sink': während direkt beeinflusste Ökosysteme durch Umbrüche als Kohlenstoffquellen agieren, stellen unbeeinflusste, natürliche Ökosysteme eine Senke dar. Eine solche Zuwachssteigerung ist aber, wenn überhaupt, als die rechnerische Summe verschiedener, möglicherweise auch gegenläufiger Tendenzen zu verstehen.

Die Verminderung des Kohlenstoffvorrates in Österreich beträgt 64%. Diese Verminderung ist mehr oder weniger zu gleichen Teilen auf den Umbruch zu Ackerland, Umbruch zu Grünland, und der Nutzung der Wälder zurückzuführen. Die Nutzung des Waldes und die damit verbundene Reduktion des Standing Crop ist ein aktueller Prozeß, welcher eine Ausbildung der 'maximalen persistenten Biomasse' verhindert und so den gespeicherten Vorrat an Kohlenstoff vermindert. Die Umbrüche hingegen stellen historische Prozesse dar. Wald stellt den wichtigste Faktor der Kohlenstoffspeicherung dar. Umbrüche zu 'sekundären' Ökosystemen wirken sich in jedem Fall drastisch auf den Kohlenstoffvorrat aus. Durch den Turnover von beinahe 1 a⁻¹ schwankt der Gehalt an Kohlenstoff im Ackerland z.B. zwischen 'null' und einem Maximalwert innerhalb einer Vegetationsperiode. Die Fixierung ist insofern nicht tatsächlich langfristig.

In Österreich kann davon ausgegangen werden, daß die Flächenverteilung bereits im 18. Jh. fixiert war (vgl. KUMPFMÜLLER ET AL. 1989), d.h. die bedeutenden Umbrüche von Wald zu landwirtschaftlich genutzter Fläche seit damals abgeschlossen sind. Flächenumwandlungen zu Lasten des Waldes finden seit diesem Zeitpunkt nicht mehr statt, und die Emission von Kohlenstoff aufgrund dieser Landnutzungsänderungen bedarf daher keiner Berücksichtigung. Weltweit sind diese Prozesse jedoch noch lange nicht abgeschlossen. Während der Wald in der nördlichen Hemisphäre wieder zunimmt, findet sich in den Ländern der Tropen das gegenteilige Bild. Und auch in der Zukunft wird der Wald zur Emission beitragen, wenn die Rodungen in diesem Ausmaß weiterlaufen. HOUGHTON ET AL. (1985) zeigen, daß weltweit zwischen 1860 und 1980 die terrestrische Biosphäre mit 57 Pg C als Nettoquelle gewirkt hat. Seiner Studie folgend, war die Emission aufgrund von Landnutzung bis 1920 sogar größer als die Emission aufgrund von Verbrennung von fossiler Energie. Landnutzung geht stets einher mit der Verminderung der oberirdischen Biomasse und der Reduktion von Kohlenstoff im Boden. Die Akkumulation von Kohlenstoff erfolgt nach Aufgabe der Nutzung jedoch langsam, und erreicht die Ausgangsmasse nicht in allen Fällen. Als wichtigste Faktoren beschreiben HOUGHTON ET AL. (1983) die Transformation von Wäldern zu landwirtschaftlich genutzter Fläche. Auch OLSON ET AL. (1983) kommen zu diesem Schluß: flächenmäßige Verminderung und Verminderung der Bestockung sind die zentralen Ursachen für die Emission von Kohlenstoff durch die Biosphäre. Diese weltweiten Analysen deuten darauf hin, daß Prozesse, welche in Österreich bereits abgeschlossen und bereits rückläufig sind, weltweit immer noch andauern.

Vorliegende Erhebung des Standing Crop schließt die Quantifizierung der unterirdischen, sowie der toten Biomasse aus. Der größte Teil der Kohlenstoffspeicherung organischer Substanz findet in temperaten Zonen jedoch nicht oberirdisch, sondern im Boden statt. So ergibt die Inventarisierung des Kohlenstoffvorrates für Österreich (KÖRNER ET AL. 1993), daß nur rund 30% des organischen Kohlenstoffs tatsächlich in Biomasse, sowohl lebende als auch abgestorbene, ober- als auch unterirdische, gespeichert sind. Das Kohlenstoffinventar für die Schweiz (PAULSEN 1995) ergibt einen ähnlichen Wert: 26% des Gesamtvorrats sind dort Biomasse. HOCH ET AL. (1995) ermitteln auf Waldstandorten in Brandenburg einen Bodenanteil von 58% am gesamten Wald-Kohlenstoffvorrat. Der Boden stellt also die wichtigste Fraktion dar. Der Kohlenstoffvorrat im Boden beläuft sich bei diesen Studien auf 8,9 - 11,5 - 13,5

kgCm⁻², liegt also im Bereich des oberirdischen Standing Crop der potentiellen Wälder. Gerade Änderungen im Kohlenstoffhaushalt aufgrund von Nutzungsänderungen wirken sich drastisch auf die Böden aus. Umbruch von Wald zu landwirtschaftlich genutzter Fläche setzt gewaltige Mengen an Kohlenstoff frei (laut HOUGHTON 1995 werden im Weltdurchschnitt 50-25% des Bodenkohlenstoffs bei Umbruch freigesetzt). Auch die Nutzung von Wäldern wirkt mindernd auf den Kohlenstoffvorrat der Waldböden, und auf die Speicherung im Totholz (HARMON ET AL. 1990). Die oberirdische Biomasse, obwohl sie nur einen kleinen Teil ausmacht, ist so in bezug auf Kohlenstoffvorrat auch mittelbar bedeutsam. Denn Änderungen im Standing Crop bedeuten auch Änderungen - teilweise sogar viel drastischere - in den anderen Kompartimenten.

5.5 Schlußfolgerungen

Nettoprimärproduktion, Standing Crop und Turnover sind energetische Parameter von Ökosystemen. Die Nettoprimärproduktion, welche die trophische Grundlage (beinahe) aller Lebewesen darstellt, ist eine Flußgröße der Ökosysteme. Überwiegt im Ökosystem der Input an Energie in Form von Biomasse durch die Nettoprimärproduktion (Zuwachs), so akkumuliert diese und bildet einen Bestand, den Standing Crop. Dieser ist die Masse aller lebenden Organismen - der 'stehenden' Biomasse - auf einer Fläche. Der Turnover ist Ausdruck der Akkumulation dieses Bestandes, und drückt die 'Durchsatzrate' bzw. die Verweilzeit des organischen Materials oder der Energie im Ökosystem aus.

Der Energiefluß durch ein Ökosystem beginnt mit der Photosynthese der Primärproduzenten, bei der chemischen Fixierung, und endet nach allfälliger Sekundärproduktion und Respiration bei den Destruenten mit der Zerlegung der energiereichen organischen Moleküle in deren anorganischen Bestandteile. In Form von Wärme verläßt die Energie das Ökosystem wieder. Dieser Energiefluß hält die Materialflüsse der biologisch wichtigen chemischen Elemente innerhalb der Biozönose aufrecht. Eng an diesen Durchfluß gekoppelt ist der Kreislauf des Kohlenstoffs, welcher von der Aufnahme durch die Photosynthese bis hin zur Abgabe

in Form von Wärme die selben Wege wie die Energie innerhalb des Ökosystems durchläuft.

Die menschliche Gesellschaft greift in diesen Energiefluß ein, um die Bereitstellung der für sie wichtigen Rohstoffe (z.B. Nahrung) in ausreichender Menge und Qualität zu sichern oder gegebenenfalls auszuweiten. Seit der Entwicklung der Landwirtschaft versucht die Gesellschaft, durch Eingriffe in die Ökosysteme die Produktion an nutzbarer Biomasse zu erhöhen, und sich diese 'anzueignen'. Teile der Nettoprimärproduktion werden dem Ökosystem einerseits entzogen - z.B. durch Ernte -, andererseits durch den Ersatz von Ökosystemen 'verhindert'. Diese 'Aneignung von Nettoprimärproduktion' (HABERL 1995) führt zu einer Verminderung des Standing Crop und in Folge, da die Nettoprimärproduktion weniger verringert wird, zu einer Beschleunigung des Turnover.

In der vorliegenden Arbeit wurde versucht, diese Verminderung des oberirdischen Standing Crop und Beschleunigung des Turnover durch einen quantitativen Vergleich des hypothetisch möglichen und tatsächlich ausgebildeten Standing Crop abzuschätzen. Dieser Vergleich weist eine historische Komponente auf, da der Relativbezug die hypothetische natürliche Vegetation ist, also jene Vegetationsdecke, welche vor der Urbarmachung in Österreich vorgeherrscht haben könnte. Der Vergleich beinhaltet aber auch eine aktualistische Komponente, da sich diese hypothetische natürliche Vegetation nach Aufhören der menschlichen Aktivitäten wieder einstellen würde. Der Standing Crop der hypothetischen natürlichen (potentiellen) Vegetation wurde in der vorliegenden Arbeit auf rund 2,2 Mrd. t Trockenmasse, das sind rund 1 Mrd. t Kohlenstoff oder 43,2 EJ, geschätzt. Aufgrund menschlicher Aktivitäten wie Land-, Forstwirtschaft und Versiegelung beläuft sich der Standing Crop der aktuellen Vegetation auf nur mehr 0,8 Mrd. t Trockenmasse (360 Mio. t. C oder 15,7 EJ). Die aktuelle Vegetation Österreichs weist folglich rund 64% weniger an oberirdischen Biomasse auf als die hypothetische natürliche. Diese Verminderung führt zu einer Beschleunigung des Turnover um den Faktor 2,4.

Die Verminderung betrifft die verschiedenen Nutzungskategorien unterschiedlich. während der Standing Crop der Wäldern durch die Forstwirtschaft um 'nur' 30% vermindert wurde, weisen das Acker- und Grünland, deren Fläche hypothetisch Wald tragen würde, eine Verminderung von über 98% auf.

Die forstwirtschaftliche Nutzung der Wälder trägt 23% zu der Verminderung bei, und die Rodung und Umbrüche von Wald zu 'künstlichen' Ökosystemen weitere 75%. Die restlichen 2% sind auf diverse Einflüsse des Menschen zurückzuführen (z.B. Gartenbau). Durch die hohen Standing Crop-Werte ist der Wald der wichtigste Faktor in bezug auf den Standing Crop. Sein Vorkommen auf einer Flächeneinheit bestimmt die Ausbildung eines hohen bzw. niedrigen Standing Crop.

Diese Werte beziehen sich ausschließlich auf den oberirdischen Standing Crop. Durch Einbeziehung der unterirdischen Biomasse würde sich ein drastischeres Bild ergeben. Für den unterirdischen Standing Crop existieren zur Zeit jedoch keine gesicherten Daten, und auch keine verlässlichen Korrelationen mit dem oberirdischen Standing Crop. Hinweise deuten jedoch darauf hin, daß dieser auch eine Reihe von anderen Systemparametern, wie Erosion, Struktur des Ökosystems etc. beeinflusst, und diese wiederum Einflüsse auf die verschiedensten Parameter nehmen. Besonders Bodenparameter zeigen solche Abhängigkeiten. Dennoch ist es nicht gelungen, diese auch quantitativ mit dem Standing Crop in Beziehung zu setzen.

Die Verminderung des Standing Crop auf einer Flächeneinheit kann als Indikator für das 'ecosystem enchrachment', also die (historische) Zerstörung von Ökosystemen herangezogen werden. Besonders im Lichte der Definition GRIME'S der Störung ('Disturbance') als Verminderung des Biomassebestandes erscheint diese Verknüpfung gerechtfertigt.

Die Auswirkungen der Reduktion des Standing Crop und der Beschleunigung des Turnover für ökosystemare Zusammenhänge ist jedoch unklar. Zwar gibt es Untersuchungen und Modelle, welche auf einen direkten Zusammenhang hindeuten. Ökosystemen mit einem hohen Turnover sollten eine steilere Biomassepyramide und folglich auch über eine top-down-Kontrolle des Energieflusses verfügen. Im Rahmen der Stabilitätsdiskussion wird Ökosystemen mit einem hohen Turnover eine höhere Resilienz zugesprochen als solchen mit einem langsamen. Diese Erkenntnisse stammen jedoch aus dem großen Feld der 'Gleichgewichtstheorien', und sind nur auf geschlossene (in bezug auf viele Stoffflüsse), natürliche Ökosysteme anzuwenden.

Wie die Untersuchung gezeigt hat, bringt der menschliche Einfluß auf die terrestrischen Ökosysteme zumeist eine steilere Biomassepyramide mit sich (Verminderung des Standing Crop und Beschleunigung des Turnover). Da durch

menschliche Einflüsse aber auch die Kreisläufe 'aufgebrochen' werden, sind die oben angesprochenen Erkenntnisse nicht ohne weiteres auf die 'Kulturlandschaften' anwendbar, da es sich nicht mehr um 'geschlossene' Ökosysteme handelt. Auf Äckern, z.B., ist der Turnover extrem beschleunigt, dennoch erscheint es schwierig, von einer höheren Resilienz oder von einer top-down-Kontrolle zu sprechen. Durch die Einbeziehung des Menschen und seiner Aktivitäten in die ökologische Betrachtung jedoch könnte die Ausweitung dieser Betrachtungen auf Kulturlandschaften eventuell möglich werden. Die top-down-Kontrolle z.B. würde als Leistung des Menschen angesehen werden. So müßten die Leistungen der menschlichen Gesellschaft zur Aufrechterhaltung der Kulturlandschaften (sozusagen eine Aufrechterhaltung eines 'sekundären' Gleichgewichts) als Systemparameter in das ökologische System mit einbezogen werden. Die Beschleunigung des Turnover kann diese Leistung dann zum Ausdruck bringen.

Die Rangfolge der Beschleunigung des Turnover für die einzelnen Ökosystemtypen zeigt eine erstaunliche Übereinstimmung mit der in der Naturschutzforschung verbreitetem Konzept der Hemerobie. Dieses im bottom-up-Verfahren gewonnene Konzept dient der Klassifizierung der Intensität des menschlichen Einflusses auf die Natur. Die Parallele zum Turnover weist auf die Möglichkeit hin, dessen anthropogene Beschleunigung als Ausdruck einer gesellschaftlich aufzubringenden Leistung anzusehen. Nur durch diese Leistung kann der Mensch die Ökosysteme für sich nutzbar 'halten'.

Die weltweite Verminderung des Standing Crop ist neben der Verbrennung von fossilen Energieträgern laut HOUGHTON ET AL. (1983) die Hauptursache für die anthropogene Erhöhung von Gasen, die den Strahlungshaushalt der Atmosphäre beeinflussen und so den 'Treibhauseffekt' verursachen. Die Rolle der terrestrischen Vegetation ist in diesem Zusammenhang noch nicht vollständig geklärt, und besonders die Wälder der nördlichen Hemisphäre werden als Senken für CO₂ angesehen. Tatsächlich wirkt auch Österreichs Wald als Senke. Die Nettofixierung des Waldes beläuft sich auf rund 13 Mio. t CO₂ pro Jahr (Wert von 1990), das entspricht 3,5 Mio. t Kohlenstoff jährlich. Dieser Wert steht der Emission von 15 Mio. t C jährlich durch die Verbrennung von fossilen Energieträgern gegenüber. Die vorliegende Untersuchung hat jedoch gezeigt, daß durch den Einfluß des Menschen der oberirdische Standing Crop um rund 630 Mio. t. C vermindert wurde, was einer

Emission von 2,3 Mrd. t CO₂ gleichkommt. Die aktuelle Rolle des Waldes in Österreich als Senke basiert somit auf seiner Rolle als ehemalige Quelle. Die Vegetation 'erholt' sich in diesem Zusammenhang also derzeit vom Einfluß des Menschen. Diese Betrachtungsweise, nicht zuletzt durch seine 'historische' Komponente, kann eine neue Perspektive im Rahmen der Treibhausproblematik und den damit verbundenen internationalen Protokollen zur Emissionsreduktion, unter Einbezug von biologischen Quellen oder Senken, liefern. In Österreich, im Gegensatz zu großen Teilen der restlichen Welt, ist der Urbarmachungsprozeß der Landschaft bereits seit langem abgeschlossen. Im Hinblick auf die Gerechtigkeitsfrage von Reduktionsverpflichtungen ist dies von entscheidender Bedeutung. Die historischen Emissionen, eben durch die Urbarmachung, sollte in die Berechnungsgrundlagen Eingang finden. Die 630 Mio. t. C stellen gleichzeitig das gegenwärtige maximale Bindungspotential der Vegetation von atmosphärischen Kohlenstoff dar, welches - hypothetisch - nur unter Aufgabe sämtlicher menschlicher Aktivitäten erreicht werden kann. Dieser hohe, aber doch begrenzte Wert deutet darauf hin, daß durch Aufforstungen die jährlichen Emissionen von Kohlendioxid aus fossiler Verbrennung nicht nachhaltig absorbiert werden können. Aufforstungen stellen daher keine wirkliche Alternative zur Reduktion der Verbrennung fossiler Energieträger dar.

6 Literatur

- Ajtay, G.L., Ketner, P., Duvigneaud, P. 1979. Terrestrial primary production and phytomass. In: Bolin, B., Degens, E.T., Kempe, S., Ketner, P. (eds.) *The Global Carbon Cycle*. SCOPE 13. New York: Wiley, S.129-181
- Auerbach, M., Shmida, A. 1993. Vegetation change along an altitudinal gradient on Mt. Hermon, Israel - no evidence for discrete communities. *Journal of Ecology* 81, S.25-33
- Baes, C.F., Goeller, H.E., Olson, J.S., Rotty, R.M. 1977. Carbon dioxide and climate: the uncontrolled experiment. *American Scientist* 65, S.310-320
- Barbour, M.G., Burk, J.H., Pitts, W.D. 1987. *Terrestrial Plant Ecology*, 2. Aufl. Menlo Park, California: The Benjamin/Cummings Publishing Company
- Begon, M., Harper, J.L., Townsend, C.R. 1990. *Ecology. Individuals, Populations and Communities*. Boston, Oxford, London, Edinburgh, Melbourne: Blackwell Scientific Publications
- Blay, D. jr. 1989. Nitrogen Stores in Beech Forest Ecosystems of the Vienna Woods. Dissertation: Univ. für Bodenkultur
- Blume, H.P., Sukopp, H. 1976. Ökologische Bedeutung anthropogener Bodenveränderungen. *Schr. R. f. Vegetationskunde - Bonn-Bad Godesberg* 10, S.75-89
- Bolin, B. 1977. Changes of land biota and their importance for the carbon cycle. *Science* 196, S.613-615
- Bolin, B., Degens, E.T., Duvigneaud, P., Kempe, S. 1979. The global biogeochemical carbon cycle. In: Bolin, B., Degens, E.T., Kempe, S., Ketner, P. (eds.) *The global carbon cycle*. SCOPE 13. Chichester, New York, Brisbane, Toronto: John Wiley & Sons, S.1-56
- Bramryd, T. 1979. The effects of man on the biogeochemical cycle of carbon in terrestrial ecosystems. In: Bolin, B., Degens, E.T., Kempe, S., Ketner, P. (eds.) *The global carbon cycle*. SCOPE 13. Chichester, New York, Brisbane, Toronto: John Wiley & Sons, S.183-218
- Bundesministerium für Wissenschaft, Forschung und Kunst (ed.) 1995. *Forschungskonzept 1995 – Kulturlandschaftsforschung*. Wien: Berger
- Burschel, P., Kürsten, E., Larson, B.C. 1993. Die Rolle von Wald und Forstwirtschaft im Kohlenstoffhaushalt. Eine Betrachtung für die Bundesrepublik Deutschland. München: Forstlicher Forschungsbericht Nr. 126
- Cannell, M.G.R. 1982. *World forest biomass and primary production data*. London: Academic Press
- Cantiani, M. 1974. Prime indagini sulla biomassa dell'abete bianco. III. Tavola di produttività della biomassa arborea. Ricerche sperimentali de dandrometria e die Auxometria. Univ. Firenze, Italia: Bull. 5. Institut. Assesamento Forestale In: Cannell, M.G.R. 1982. *World forest biomass and primary production data*. London: Academic Press
- Cernusca, A. 1976. Energy exchange within individual layers of a meadow. *Oecologia* 23, S.141-149
- Cernusca, A. 1978. Ökologische Anlysen von Almflächen in Gasteinertal. Veröff. Österr. MaB-Hochgebirgsprogramm Hohe Tauern. Innsbruck: Wagner

- Cernusca, A. 1989. Kohlenstoffbilanz einer alpinen Grasheide (*Caricetum curvulae*) in 2300m in den Hohen Tauern. In: Österr. Akad. d. Wiss. Struktur und Funktion von Graslandökosystemen in den Hohen Tauern. Veröffentlichungen des österr. MaB-Programms, Bd. 13 (Schriftl. Cernusca, A.).
- Connell, J.H. 1978. Diversity in tropical rain forests and coral reefs. *Science* 199, S.1302-1310
- Coupland, R.T. 1979. Grassland ecosystems of the world: Analysis of grasslands and their uses. IBP 18. Cambridge, London: Cambridge Univ. Press
- DeAngelis, D.L. 1980. Energy flow, nutrient cycling, and ecosystem resilience. *Ecology* 61(4), S.764-771
- Dierschke, H. 1984. Natürlichkeitsgrade von Pflanzengesellschaften unter besonderer Berücksichtigung der Vegetation Mitteleuropas. *Phytocoenologia* 12, S.173-184
- Dörflinger, A.N., Nietz, P., Maier, R., Punz, W., Fussenegger, K. 1995. Ökosystem Großstadt Wien. Quantifizierung ökologischer Parameter unter besonderer Berücksichtigung der Vegetation. Wien: Universität Wien, Inst. f. Pflanzenphysiologie
- Duvigneaud, P. 1979. Cycle du carbone et energie de biomasse au niveau d'une ecoregion: la region Wallonne de Belgique. In: Duvigneaud, P., Denaeyer, S., Brichard, C. (eds.) Ecosystemes, Cycle du carbone. Cartographie (Liason avec les autres cycles biogeo-chimiques). SCOPE-Comite National Belge. Bruxelles: Cloetens-Dury
- Dye, D. 1997. Net primary production. Internet: w.w.w.tkl.iis.u-tokyo.ac.jp November 1997
- Edwards, N.T., Shugart, H.H., McLaughlin, W.F., Harris, W.F., Reichle, D.E. 1981. Carbon metabolism in terrestrial ecosystems. In: Reichle, D.E. (ed.) Dynamic properties of forest ecosystems. London, New York: Cambridge Univ. Press, S.499-536
- Ehrendorfer, F. 1983. Geobotanik. In: Denffer, D., Ziegler, H., Ehrendorfer, F., Bresinsky, A. Lehrbuch der Botanik für Hochschulen. Stuttgart, New York: Springer
- Ellenberg, H. 1996. Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen. In ökologischer, dynamischer und historischer Sicht. 5. Auflage. Stuttgart: Ulmer
- Fink, M.H., Grünweis, F.M., Wrba, T. 1989. Kartierung ausgewählter Kulturlandschaften Österreichs. In: Umweltbundesamt (ed.) Monographien d. Umweltbundesamts. Bd 11. Wien: Umweltbundesamt
- Fischer-Kowalski, M. 1996. Operational paths towards sustainability reconsidered: Changes in social metabolism and colonization of nature. *Abh. d. Geologischen Bundesanstalt* 53, S.83-90
- Fischer-Kowalski, M. 1997. Society's Metabolism. On the development of an operational concept for the interactions between society and its environment. Paper to: Conference on Social Theory and the Environment, ISA-RC 24, SISWO, Wageningen Agr. Univ., Woudschoten, 20-22 March 1997
- Fischer-Kowalski, M., Haberl, H. 1993. Metabolism and colonization. Modes of production and the physical exchange between societies and nature. *Innovation in Social Science Research* 6 (4), S.415-442
- Franz, H. 1979. Ökologie der Hochgebirge. Stuttgart: Ulmer
- Gisi, U., Oertli, J. 1981. Ökologische Entwicklung in Brachland verglichen mit Kulturwiesen. II. Veränderungen in ober- und unterirdischer Pflanzenmasse. *Acta Oecologica. Oecol. Plant.* 2 (1), S.79-86
- Golley, F.B. 1961. Energy values of ecological materials. *Ecology* 42 (3), S.581-584
- Gorham, E. 1979. Shoot height, weight, and standing crop in relation to density of monospecific plant stands. *Nature* 279, S.148-150

- Grabherr, G. 1987. Produktion und Produktionsstrategien in Krummseggenrasen (*Caricetum curvulae*) der Slikatalpen und ihre Bedeutung für die Bestandesstruktur. In: Österr. Akad. d. Wiss. Veröffentlichungen d. österr. MaB-Programms, Bd. 10 (Schriftl. Patzelt, G.) Innsbruck: Wagner
- Grier, C.C., Logan, R.S. 1977. Old growth *Pseudotsuga menziesii* communities of a western Oregon watershed: biomass distribution and production budgets. Ecological Monographs 47, S.373-400
- Grime, J.P. 1979. Plant strategies and vegetation process. Chichester: Wiley
- Haberl, H. 1995. Menschliche Eingriffe in den natürlichen Energiefluß von Ökosystemen. Dissertation: Univ. Wien
- Haberl, H. 1997. Räumliche Verteilung der menschlichen Aneignung oberirdischer Nettoprimärproduktion in Österreich. Verh. Zoo.-Bot. Ges. Österreich 134, S.413-430
- Hakkila, P. 1989. Utilisation of residual forest biomass. New York: Springer
- Harmon, M.E., Ferrell, W.K., Franklin, J.F. 1990. Effects on carbon storage of conversion of old-growth forests to young forests. Science 247, S.699-247
- Hättenschwiler, S., Miglietta, F., Raschi, A., Körner, C. 1988. Thirty years of in situ tree growth under elevated CO₂. Pres. in: 'The earth's changing Land'. GCTE-LUCC open science conference on Global Change. Barcelona 14-18 March 1998
- Hellrigl, B. 1974. Relazioni e tavola della biomassa arborea. I. Tavola di prodottività della biomassa arborea. Ricerche sperimentali di dendrometria e di Auxometria. Univ. Firenze, Italia: Bull. 5. Instit. Assestamento Forestale. In: Cannell, M.G.R. 1982. World forest biomass and primary production data. London: Academic Press
- Hoch, O., Baritz, R., Schill, H. 1995. Regionale Kohlenstoffspeicherung auf Waldstandorten in Brandenburg. Beiträge für Forstwirtschaft und Landschaftsökologie 29 (2), S.81-88
- Höhne, H. 1962. Vergleichende Untersuchungen über Mineralstoff- und Stickstoffgehalt sowie Trockensubstanzproduktion von Waldbodenpflanzen. Archiv für Forstwesen 11 (10), S.1085-1138
- Holling, C.S. 1973. Resilience and stability of ecological systems. Annual Review of Ecological Systematics 4, S. 1-24
- Houghton, R.A. 1993. Is carbon accumulating in the northern temperate zone? Global Biogeochemical Cycles 7 (3), S.611-617
- Houghton, R.A. 1995. Land-use change and the carbon cycle. Global Change Biology 1, S.275-287
- Houghton, R.A., Hobbie, J.E., Melillo, J.M., Moore, B., Peterson, B.J., Shaver, G.R., Woodwell, G.M. 1983. Changes in the carbon content of terrestrial biota and soils between 1860 and 1980: a net release of CO₂ to the Atmosphere. Ecological Monographs 53(3), S.235-262
- Houghton, R.A., Woodwell, G.M. 1989. Global climatic change. Scientific American 260 (4), S.18-26
- Jacobs, J. 1975. Diversity, stability and maturity in ecosystems influenced by human activities. In: Dobben, W.H.van, Lowe-McConnel, R.H. (eds.) Unifying concepts in ecology. The Hague: Junk, S.187-207
- Jalas, J. 1955. Hemerobe und hemerochore Pflanzenarten. Ein terminologischer Reformversuch. Acta Soc. Fauna Flora Fenn. 72, S.1-15
- Jordan, C.F., Kline, J.R., Sasscer, D.S. 1972. Relative stability of mineral cycles in forest ecosystems. American Naturalist 106, S.237-253

- Kauppi, P.E., Mielikäinen, K., Kuusela, K. 1992. Biomass and carbon budget of European forests, 1971 to 1990. *Science* 256, S.70-74
- Kimmins, J.P. 1987. *Forest Ecology*. New York: Macmillan Publishing Company
- Kinerson, R.S., Ralston, C.H., Wells, C.G. 1977. Carbon cycling in a loblolly pine plantation. *Oecologia* 29, S.1-10
- Klug-Pümpel, B. 1978. Phytomasse und Primärproduktion von unterschiedlich bewirtschafteten Almflächen im Gasteiner Tal. In: Österr. Akad. d. Wiss. Veröffentlichungen des österr. MaB-Programms, Bd. 2 (Schriftl. Cernusca, A.)
- Klug-Pümpel, B. 1989. Phytomasse und Nettoproduktion naturnaher und anthropogen beeinflusster alpiner Pflanzengesellschaften in den Hohen Tauern. In: Österr. Akad. d. Wiss. Struktur und Funktion von Graslandökosystemen in den Hohen Tauern. Veröffentlichungen des österr. MaB-Programms, Bd. 13 (Schriftl. Cernusca, A.), S.331-355
- Klug-Pümpel, B., Burgstaller, B., Schiffer, R. 1994. Borstgrasweiden im Schattenberggebiet (Land Salzburg): Artengarnitur und Phytomasse. In: Österr. Akad. d. Wiss. Veröffentlichungen des österr. MaB-Programms, S.99-112
- Körner, C., Schilcher, B., Pelaez-Riedl, S. 1993. Vegetation und Treibhausproblematik: eine Beurteilung der Situation in Österreich unter besonderer Berücksichtigung der Kohlenstoffbilanz. In: Österreichische Akademie d. Wissenschaften. Kommission f. Reinhaltung d. Luft (ed.) *Anthropogene Klimaänderung: mögliche Auswirkungen auf Österreich - mögliche Maßnahmen in Österreich. Bestandsaufnahme und Dokumentation*. Wien: , S.6.1 - 6.46
- Kosonen, M. 1969. CO₂ Production in relation to temperature and plant mass. *Oikos* 20, S.335-343
- Kowarik, I. 1987. Kritische Anmerkungen zum theoretischen Konzept der potentiell natürlichen Vegetation mit Anregungen zu einer zeitgemäßen Modifikation. *Tuexenia* 7, S.53-67
- Kowarik, I. 1988. Zum menschlichen Einfluß auf Flora und Vegetation. Theoretische Konzepte und ein Quantifizierungsansatz am Beispiel von Berlin (West). Berlin: Landschaftsentwicklung u. Umweltforsch. - TU Berlin 56, S.1-280
- Krausmann, F. *in prep.* Veränderungen der gesellschaftlichen Aneignung von Nettoprimärproduktion in Österreich. Dissertation in prep.: Univ. Wien
- Kumpfmüller, M. 1989. *Umweltbericht Boden*. Wien: Österreichisches Bundesinstitut für Gesundheitswesen
- Kumpfmüller, M., Kux, S., Micko, R. 1989. *Umweltbericht Landschaft*. Wien: Österreichisches Bundesinstitut für Gesundheitswesen
- Larcher, W. 1984. *Ökologie der Pflanzen*. Stuttgart: Ulmer
- Lieth, H. 1973. Primary production: Terrestrial ecosystems. *Human Ecology* 1, S.303-332
- Lieth, H. 1975. Primary productivity in ecosystems: comparative analysis of global patterns. In: Dobben, W.H.van, Lowe-McConnel, R.H. (eds.) *Unifying concepts in ecology*. The Hague: Junk, S.67-88
- Lieth, H. 1975. Primary production of the major vegetation units of the world. In: Lieth, H., Whittaker, R.H. 1975 *Primary Productivity of the Biosphere*. Ecological Studies 14. Berlin, Heidelberg, New York: Springer, S.203-215
- Lieth, H. 1975. Modelling the primary production of the world. In: Lieth, H., Whittaker, R.H. (eds.) *Primary Productivity of the Biosphere*. Ecological Studies 14. Berlin, Heidelberg, New York: Springer, S.237-236
- Lieth, H., Whittaker, R.H. 1975. *Primary productivity of the biosphere*. Ecological Studies 14. Berlin, Heidelberg, New York: Springer

- Lindeman, R.L. 1942. The trophic-dynamic aspect of ecology. *Ecology* 23, S.399-418
- Maier, R., Geisler, A., Aigner, B., Eisinger, K., Göd, U., Punz, W. 1997. Die Dynamik der urbanen Agglomeration als Determinante der Kulturlandschaftsentwicklung. Ökosystemare Struktur- und Stoffflußanalyse der Marktgemeinde Bisamberg. Abschlußbericht. Wien: Universität Wien: Inst. f. Pflanzenphysiologie
- Margalef, R. 1963. On certain unifying principles in ecology. *American Naturalist* 97, S.357-374
- Mayer, H. 1974. Wälder des Ostalpenraumes. Standort, Aufbau und waldbauliche Bedeutung der wichtigsten Waldgesellschaften in den Ostalpen samt Vorland. Stuttgart: Fischer
- Mayer, H., Ott, E. 1991. Gebirgswaldbau, Schutzwaldpflege. Ein waldböologischer Beitrag zur Landschaftsökologie und zum Umweltschutz. 2. Auflage. Stuttgart, New York: Springer
- Millbacher, E. 1987. Blattflächen- und Biomassenentwicklung sowie Nährstoffhaushalt einer Vergrasung mit *Calamagrostis epigeios* in einer Fichtenaufforstung auf Pseudogley. Diplomarbeit: Univ. f. Bodenkultur, Wien
- Mitscherlich, G. 1970. Wald, Wachstum und Umwelt. Bd.1. Form und Wachstum von Baum und Bestand. Frankfurt a. M.: Sauerländer
- Mitscherlich, G. 1975. Wald, Wachstum und Umwelt. Bd.3. Boden, Luft und Produktion. Frankfurt a. M.: Sauerländer
- Moser, W., Brzoska, W., Zachhuber, K., Larcher, W. 1977. Ergebnisse des IBP-Projekts 'Hoher Nebelkogel 3184m'. In: Österr. Akad. d. Wiss., Sitzungsberichte Mathem. Naturwiss. Kl. Abt. I., Bd. 186, 6-10. Innsbruck: Wagner
- O'Neill, R.V. 1976. Ecosystem persistence and heterotrophic regulation. *Ecology* 57, S.1244-1253
- O'Neill, R.V., DeAngelis, D.L. 1981. Comparative productivity and biomass relations of forest ecosystems. In: Reichle, D.E. (ed.) *Dynamic properties of forest ecosystems*. London, New York: Cambridge Univ. Press
- Odum, E.P., Turner, M.G. 1990. The Georgia landscape: a changing resource. In: Zonneveld, I.S., Forman, R.T. (eds.) *Changing Landscapes: An Ecological Perspective*. New York: Springer, S.137-164
- Odum, E.P. 1975. Diversity as a function of energy flow. In: Dobben, W.H.van, Lowe-McConnel, R.H. (eds.) *Unifying concepts in ecology*. The Hague: Junk, S.11-14
- Odum, E.P. 1983. *Grundlagen der Ökologie*. 2. Auflage. Stuttgart: Thieme
- Odum, E.P. 1960. Organic production and turnover in old field succession. *Ecology* 41(1), S.34-49
- Odzuck, W. 1982. *Umweltbelastungen*. Stuttgart: Ulmer
- Olson, J.S., Watts, J.A., Allison, L.J. 1983. Carbon in live vegetation of major world ecosystems. ORNL-5862. Oak Ridge, Tennessee: Oak Ridge National Laboratory
- Österreichisches Statistisches Zentralamt & Forstliche Bundesversuchsanstalt 1995. *Ökobilanz Wald*. Ausgabe 1995. Wien: Österreichische Staatsdruckerei
- Österreichisches Statistisches Zentralamt (ÖSTAT) 1990. *Bodennutzungserhebung 1990*.
- Ovington, J.D. 1975. Strategies for the management of natural and man-made ecosystems. In: Dobben, W.H.van, Lowe-McConnel, R.H. (eds.) *Unifying concepts in ecology*. The Hague: Junk, S.239-246
- Ozenda, P. 1988. *Die Vegetation der Alpen (im europäischen Gebirgsraum)*. Stuttgart, New York: Fischer

- Paulsen, J. 1995. Der biologische Kohlenstoffvorrat der Schweiz. Zürich: Rüegger
- Pertlik, E. 1982. Verhältnis der Masse der Mistel (*Loranthus europaeus*) zur Masse der Eiche (*Quercus sp.*) und Vergleich der Gehalte an N, P, K, Ca und Mg in der Trockenmasse. Diplomarbeit: Univ. für Bodenkultur, Wien
- Phillips, O.L., Gentry, A.H. 1994. Increasing turnover through time in tropical forests. *Science* 263 (5149), S.954-959
- Plachter, H. 1989. Zur biologischen Schnellansprache und Bewertung von Gebieten. Bonn-Bad Godesberg: Schr.-R. f. Landschaftspflege u. Natursch. - Bonn-Bad Godesberg 29, S.107-135
- Pümpel, B. 1976. Bestandesstruktur, Phytomassevorrat und Produktion verschiedener Pflanzengesellschaften im Glocknergebiet. In: Österr. Akad. d. Wiss. Alpine Grasheide Hohe Tauern, Ergebnisse der Ökosystemstudie 1976. Veröffentlichungen des österr. MaB-Programms, Bd. 1 (Schriftl. Cernusca, A.). Innsbruck: Wagner
- Reichle, D.E., Dinger, B.E., Edwards, N.T., Harris, W.F., Sollins, P. 1973. Carbon Flow and Storage in a Forest Ecosystem. In: Woodwell, G.M., Pecan, E. (eds.) Carbon and the Biosphere. Washington, D.C.: USAEC-CONF-720510, S.345-365
- Reichle, D.E., O'Neill, R.V., Harris, W.F. 1975. Principles of energy and material exchange in ecosystems. In: Dobben, W.H.van, Lowe-McConnel, R.H. (eds.) Unifying concepts in ecology. The Hague: Junk, S.27-43
- Ricklefs, R.E. 1990. Ecology. 3. Auflage. New York: Freeman & Company
- Rodenkirchen, H. 1982. Wirkung von Meliorationsmaßnahmen auf die Bodenvegetation eines ehemals streugenutzten Kiefernstandortes in der Oberpfalz. *Der Forst- und Holzwirt* 38 (9), S.217-222
- Rosenzweig, M.L., Abramsky, Z. 1993. How are diversity and productivity related?. In: Ricklefs, R.E., Schluter, D. (eds.) Species diversity in ecological communities. Chicago, London: The Univ. of Chicago Press, S.52-65
- Ryszkowski, L. 1975. Energy and matter economy of ecosystems. In: Dobben, W.H.van, Lowe-McConnel, R.H. (eds.) Unifying concepts in ecology. The Hague: Junk, S.109-126
- Satoo, T. 1970. A synthesis of studies by the harvest method: Primary production relations in the temperate deciduous forests of Japan. In: Reichle, D.E.(ed.) Analysis of Temperate Forest Ecosystems. Berlin, Heidelberg: Springer, S.55-72
- Sattler, P. 1990. Oberirdische Biomasse und Nährelemente von Kahlschlagvegetation in Wieselburg, Pöggstall, und Göttweig (NÖ). Diplomarbeit: Univ. für Bodenkultur, Wien
- Schidler, S. 1998. Kohlenstoffbilanz für Österreich. Datengrundlage und Bewertung aus ökologischer Sicht - Biosphäre. Diplomarbeit: Univ. Wien
- Schieler, K., Büchsenmeister, R, Schadaner, K. 1996. Österreichische Forstinventur. Ergebnisse 1986/1990. Wien: Forstliche Bundesversuchsanstalt, Waldforschungszentrum, BMLF
- Schimel, D.S. 1995. Terrestrial ecosystems and the carbon cycle. *Global Change Biology* 1, S.77-91
- Schimel, D.S., Braswell, B.H., Holland, E.A., McKeown, R., Ojima, D.S., Painter, T.H., Parton, W.J., Townsend, A.R. 1994. Climatic, edaphic, and biotic controls over storage and turnover of carbon in soils. *Global Biogeochemical Cycles* 8(3), S.279-293
- Schlesinger, W.H., Hendrey, G.R. 1998. The Duke Forest FACE project. Pres. in: 'The earth's changing Land'. GCTE-LUCC open science conference on Global Change. Barcelona 14-18 March 1998

- Schlüter, H. 1980. Zur Frage vegetationsgeographischer Raumeinheiten. *Acta Bot. Acad. Scient. Hungaricae* 26, S.185-190
- Schlüter, H. 1982. Geobotanische Kennzeichnung und vegetationsökologische Bewertung von Naturraumeinheiten. Berlin: Arch. Nat.Schutz Landsch.forsch. - Berlin 22 (2), S.69-77
- Schlüter, H. 1994. Natürlichkeitsgrad der Vegetation. In: Bastian, O., Schreiber, K.F. (eds.) Analyse und ökologische Bewertung der Landschaft. Stuttgart: Fischer Jena, S.267-279
- Schmidt, L. 1974. Stoffproduktion und Energiehaushalt von alpinen Zwergstrauchgesellschaften. Dissertation: Univ. Innsbruck
- Schopfhauser, W. 1992. Biomassen und Nährstoffhaushalt eines Eichen- und Fichtenwaldes im Weinviertel, Niederösterreich. Diplomarbeit: Univ. für Bodenkultur, Wien
- Schubert, R. 1991. Bioindikation in terrestrischen Ökosystemen. 2. Auflage. Jena: Fischer
- Schulz, N. *in prep.* Menschliche Eingriffe in den natürlichen Energiefluß von Ökosystemen: Berechnung der gesellschaftlichen Aneignung von Nettoprimärproduktion auf Basis von Satellitenbildern. Diplomarbeit in prep.: Univ. Wien
- Sedjo, R.A. 1992. Temperate forest ecosystems in the global carbon cycle. *Ambio* 21 (4), S.274-277
- Shugart, H.H. 1984. A Theory of Forest Dynamics. The Ecological Implications of Forest Succession Models. New York, Berlin: Springer
- Sollins, P., Goldstein, R.A., Mankin, J.B., Murphy, C.E., Swartzman, G.L. 1981. Analysis of forest growth and water balance using complex ecosystems models. In: Reichle, D.E. (ed.) Dynamic properties of forest ecosystems. *Int. Biol. Prog.* 23., S.537-566
- Sprugel, D.G. 1984. Density, biomass, productivity, and nutrient cycling changes during stand development in wave-regenerated balsam fir forests. *Ecological Monographs* 54, S.165-186
- Sprugel, D.G. 1985. Natural Disturbance and Ecosystem Energetics. In: Pickett, S.T.A., White, P.S. (eds.) Natural Disturbance and Patch Dynamics. San Diego, New York: Academic Press, S.335-352
- Sukopp, H. 1969. Der Einfluß des Menschen auf die Vegetation. *Vegetatio* 17, S.360-371
- Sukopp, H. 1972. Wandel von Flora und Vegetation in Mitteleuropa unter dem Einfluß des Menschen. *Ber. ü. Landwirtschaft* 50, S.112-139
- Tilman, D., Pacala, S. 1993. The maintenance of species richness in plant communities. In: Ricklefs, R.E., Schluter, D. (eds.) Species diversity in ecological communities. Chicago, London: The Univ. of Chicago Press, S.13-25
- Titlyanova, A.A., Mironycheva-Tokareva, N.P. 1990. Vegetation succession and biological turnover on coal-mining spoils. *Journal of Vegetation Science* 1 (5), S.643
- Traszyk, T. 1971. Productivity investigation of two types of meadows in the Vistula valley. Proceedings of the Polish Symposium of IBP, Section PT, Working Group on Grasslands and Fields, Dziekanów, 1969. *Ekologia Polska* 19 (7), S.93-105
- Tüxen, R. 1956. Die heutige potentielle natürliche Vegetation als Gegenstand der Vegetationskartierung. *Angew. Pflanzensoziol.* 13, S.5-42
- Ulrich, B., Benecke, P., Harris, W.F., Khanna, P.K., Mayer, R. 1981. Soil processes. In: Reichle, D.E. (ed.) Dynamic properties of forest ecosystems. *Int. Biol. Prog.* 23. Cambridge: Cambridge Univ. Press, S.265-340
- Vitousek, P.M., Ehrlich, P.R., Matson, P.A. 1986. Human appropriation of the products of photosynthesis. *Bioscience* 36 (6), S.368-373
- Wagner, H. 1984. Die natürliche Pflanzendecke Österreichs. Hrsg.: Österreichische Akademie der Wissenschaften. Beiträge zur Regionalforschung 6

- Walter, H., Lieth, H. 1960. Klimadiagramm-Weltatlas. Jena: Fischer
- Waring, R.H. 1983. Estimating forest growth and efficiency in relation to canopy leaf area. *Advances in Ecological Research* 13, S.327-354
- Waring, R.H., Schlesinger, W.H. 1985. Forest ecosystems. Concepts and management. New York: Academic Press
- Whittaker, R.H. 1970. Communities and ecosystems. London: The Macmillan Company
- Whittaker, R.H., Likens, G.E. 1973a. Carbon in the biota. In: Woodwell, G.M., Pecan, E. (eds.) *Carbon and the Biosphere*. Washington, D.C.: USAEC-CONF-720510, S.281-300
- Whittaker, R.H., Likens, G.E. 1973b. Primary production: The biosphere and man. *Human Ecology* 1 (4), S.357-369
- Whittaker, R.H., Likens, G.E., Lieth, H. 1975. Introduction: Scope and purpose of this volume. In: Lieth, H., Whittaker, R.H. (eds.) *Primary productivity of the biosphere*. Ecol. Studies 14. Berlin, Heidelberg, New York: Springer, S.3-5
- Whittaker, R.H., Niering, W.A. 1975. Vegetation of the Santa Catalina Mountains, Arizona. V. Biomass, production, and diversity along the elevation gradient. *Ecology* 56, S.771-790
- Wilson, S.D., Keddy, P.A. 1988. Species richness, survivorship, and biomass accumulation along an environmental gradient. *Oikos* 53, S.375-380
- Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung - Globale Umweltveränderungen (WBGU). 1998. Die Anrechnung biologischer Quellen und Senken im Kyoto-Protokoll: Fortschritt oder Rückschlag für den globalen Umweltschutz? Sondergutachten 1998.
- Woodwell, G.M., Whittaker, R.H. 1968. Primary production in terrestrial ecosystems. *American Zoologist* 8(1), S.19-30
- Woodwell, G.M., Whittaker, R.H., Reiners, W.A., Likens, G.E., Delwiche, C.C., Botkin, D.B. 1978. The biota and the world carbon budget. *Science* 199, S.141-146
- Woude, B.J. van der, Pegtel, D.M., Bakker, J.P. 1994. Nutrient limitation after long-term nitrogen fertilizer application in cut grasslands. *Journal of applied Ecology* 31 (3), S.405-412
- Wright, D.H. 1990. Human impacts on energy flow through natural ecosystems. *Ambio* 19 (4), S.189-194
- Zwitkovitz, F. 1974. Die Almen Österreichs. Zwillingdorf (NÖ): Eigenverlag

7 Appendix

Appendix A Literaturrecherchen

Appendix A.1 Ergebnisse von Studien zum Standing Crop der alpinen Rasen und Matten und der Tundravegetation

Beschreibung	SC [g/m ²]	Referenz
Silikatalpen, Obergurgl	384	Grabherr 1987
Zentralalpen, Hoher Nebelkogel	32,4	Moser et al. 1977
Loiseleuria	983	Schmidt 1974
Vaccinium	1105	Schmidt 1974
Loiselurietum	748	Schmidt 1974
Curvuletum, Hohe Tauern	774,8	Pümpel 1976
Curvuletum, Hohe Tauern	796,1	Pümpel 1976
feuchte Mulde' Descampia caespitosa, Hohe Tauern	383,4	Pümpel 1976
Schneetälchen' Curvuletum, Salix herbaceae, Hohe Tauern	199,9	Pümpel 1976
Curvuletum, Hohe Tauern	786	Cernusca 1989
alpine Urweiden (Caricetum, Festucetum)	733 ^b	Körner et al 1993 (Mittelwert div. Autoren)
Alpin, Cryptogamen-Grasheide	550 ^b	Chepurko 1966, Wiegolaski & Kjelvik 1975 ^a
Zwergstrauch-Moos-Flechten	4250 ^b	Chepurko 1972, Webber 1972, Larcher et al. 1973, Kjelvik 1973, Kjelvik & Kärenlampi 1975 ^a
Nival und subnival (off. Veg.)	110 ^b	Chepurko 1966, Brzoska 1973 ^a
Polarwüste, Franz-Jos. Land	6	Alexandrova 1960 ^a
arkt. Tundra	613	Gorchakovsky & Andreyashkina 1971
High arctic/alpine	750 ^b	Ajtay et al. 1979
Low arctic/ alpine	2300 ^b	Ajtay et al. 1979
Tundra	600 ^b	Whittaker & Likens 1973
Arktische Tundra, Halbwüste, nördl. Variante	165 ^b	Andreev 1960, Svoboda 1973, Richardson & Finegan 1973 ^a
Arktische Tundra, südl. Variante	650 ^b	Andreev 1960, Alexandrova 1970, Dennis & Tieszen 1972, Muc 1973, Pakarinen & Vill 1973 ^a
Subarktische Tundra, Moos-Flechten-Zwergstrauchzone	1175 ^b	Alexandrova 1970, Shamurin et al. 1972, Pospelova 1972 ^a
Hardangevidda (Norv.) alp. Schneetälchen	33	Wiegolaski in Franz 1979
Seggenwiese, Devon Isl. (Can.)	75	Muc 1973 ^a
Arkt. Tundra, U.S.S.R.	71	Alexandrova 1970 ^a
Tamyr, USSR. Moos-Dryas-Riedgras	100	Shamurin et al. 1972 ^a
alpine Wiese, Kola, U.S.S.R.	528	Chepurko 1972 ^a
Strauchtundra, U.S.S.R.	817	Alexandrova 1970 ^a
subalp. Heide, Finnland	182	Lallio & Kärenlampi 1971 ^a

^a Daten aus FRANZ 1979, S. 167 bzw. S. 168

^b Hierbei handelt es sich um Angaben des gesamten, also ober- und unterirdischen Standing Crop.

Appendix A. 2 Ergebnisse von Studien zum Standing Crop von Grasländern*

Typ	Ort	dominierende Art	SC[g/m ²]	Referenz
Weide	Schattberg, Salzburg	<i>Nardus stricta</i>	1000	Klug-Pümpel, Burgstaller, Schiffer 1994
	Schattberg, Salzburg		970	Klug-Pümpel, Burgstaller, Schiffer 1994
	Schattberg, Salzburg		900	Klug-Pümpel, Burgstaller, Schiffer 1994
	Schattberg, Salzburg		830	Klug-Pümpel, Burgstaller, Schiffer 1994
	Schattberg, Salzburg		890	Klug-Pümpel, Burgstaller, Schiffer 1994
	Czevhart, Ungarn	<i>Festuca vaginata</i> , <i>Koeleria glauca</i>	172	in:Coupland, R.T. (ed.) 1979
	Lanzhot, Tschechien	<i>Festuca sulcata</i>	252	Rynchnovska, M. Ecosystem synthesis of meadows in:Coupland, R.T. (ed.) 1979
	Skowronno, Polen	<i>Brachypodium pinnatum</i>	282	in:Coupland, R.T. (ed.) 1979
	Terschelling, Niederlande	<i>Juncus gerardii</i>	302	in:Coupland, R.T. (ed.) 1979
	Solling, Deutschland	<i>Festuca rubra</i>	316	Speidel, Weiß 1972 in:Coupland, R.T. (ed.) 1979
	Ojcow, Polen	<i>Alopecurus pratensis</i>	332	in:Coupland, R.T. (ed.) 1979
	Ispina, Polen	<i>Arrhenatherum elatius</i>	383	in:Coupland, R.T. (ed.) 1979
	Ispina, Polen	<i>Carex vesicaria</i>	389	in:Coupland, R.T. (ed.) 1979
	Terschelling, Niederlande	<i>Puccinellia maritima</i>	407	in:Coupland, R.T. (ed.) 1979
	mehr-schnittig	Lanzhot, Tschechien	<i>Alopecurus pratensis</i>	413
Ojcow, Polen		<i>Brachypodium pinnatum</i>	420	in:Coupland, R.T. (ed.) 1979
Kazun, Polen		<i>Festuca pratensis</i> , <i>Holcus lanatus</i>	426	Traszyk 1971
Kazun, Polen		<i>Dactylis glomerata</i> , <i>Festuca pratensis</i>	435	Traszyk 1971
Terschelling, Niederlande		<i>Plantago maritima</i>	438	in:Coupland, R.T. (ed.) 1979
mehr-schnittig	Lanzhot, Tschechien	<i>Phalaris arundinacea</i>	469	Rynchnovska, M. Ecosystem synthesis of meadows in:Coupland, R.T. (ed.) 1979

Fortsetzung Appendix A.2

Typ	Ort	dominierende Art	SC[g/m ²]	Referenz
ein-schnittig	Kampinos, Polen	Carex fusca, Deschampsia caespitosa, moss	476	Traszyk 1971
	Ispina, Polen	Equisetum limosum	562	in:Coupland, R.T. (ed.) 1979
	Ujzentmargia, Ungarn	Artemisia maritima, Festuca pseudovina	787	in:Coupland, R.T. (ed.) 1979
	Welgevonden, SA	Panicum, Digitaria, Eragrostis	753	in:Coupland, R.T. (ed.) 1979
	Lanzhot, Tschechien	Glyceria maxima	948	Rynchnovska, M. Ecosystem synthesis of meadows in:Coupland, R.T. (ed.) 1979
mehr-schnittig	Hohe Tauern, Österreich	Arrhenatherum	422	Cernusca 1989
mehr-schnittig			444	Cernusca 1976
mehr-schnittig	Hohe Tauern, Österreich		800	Cernusca 1978
mehr-schnittig			800	Speidel, Weiß 1972 in: Körner et. al. 1993
mehr-schnittig			360	Tesarova 1983 in: Körner et. al. 1993
mehr-schnittig	Schweizer Jura	Arrhenatherum	510	Gisi & Örtli 1981
mehr-schnittig			670	Cernusca 1976
mehr-schnittig			600	Kobelt 1979 in Haid 1982 in: Körner et. al. 1993
		Mittelwert	550,2424	
		Standardabweichung	236,4417	
Brachen			210	Tesarova 1983 in: Körner et. al. 1993
Brachen		Colchico-Brachipodie- tum trifoliosetum medii	320	Gisi & Oertli 1981
Brachen			489	Cernusca 1976
Brachen			556	Tesarova 1983 in: Körner et. al. 1993
Brachen			289	Kosonen 1969
		Mittelwert	372,8	
		Standardabweichung	144,3769	

*Grasgesellschaften unter 1700m, Standort klimatisch ähnlich wie Österreich

Appendix B

Angaben zum Standing Crop in Studien zur Ermittlung des globalen Standing Crop bzw. des globalen Kohlenstoffhaushaltes

Appendix B.1 WHITTAKER 1970

Ecosystem type	Area 10 ⁶ km ²	NPP per unit area dry g/m ² /yr		World NPP 10 ⁹ dry tons/year	Biomass per unit area dry kg/m ²		World biomass 10 ⁹ dry tons	Turn- over [a]
		normal range	mean		normal range	mean		
Lake and stream	2	100-1500	500	1.0	0-0.1	0.02	0.04	0,04
Swamp and marsh	2	800-4000	2000	4.0	3-50	12	24	6
Tropical forest	20	1000-5000	2000	40.0	6-80	45	900	22,5
Temperate forest	18	600-3000	1300	23.4	6-200	30	540	23,1
Boreal forest	12	400-2000	800	9.6	6-40	20	240	25
Woodland and shrubland	7	200-1200	600	4.2	2-20	6	42	10
Savanna	15	200-2000	700	10.5	0.2-15	4	60	5,7
Temperate grasland	9	150-1500	500	4.5	0.2-5	1.5	14	3,1
Tundra and alpine	8	10-400	140	1.1	0.1-3	0.6	5	4,5
Desert scrub	18	10-250	70	1.3	0.1-4	0.7	13	10
Extr. desert, rock, ice	24	0-10	3	0.07	0-2	0.02	0.5	7,1
Agricultural land	14	100-4000	650	9.1	0.4-12	1	14	1,5
Total land	149		730	109		12.5	1852	17

nur terrestrische Ökosysteme, Turnover eigene Berechnung
Ermittlung aufgrund Schätzungen von BOWEN 1966, RODIN & BAZILEVICH 1968, RYTHER 1963, STRICKLAND
1965, zit. WHITTAKER (1970) in

Appendix B.2 WHITTAKER & LIKENS 1973a, b

Ecosystem type*	Area 10 ⁶ km ²	NPP per unit area dry g/m ² /yr		World NPP 10 ¹⁵ dry g/year	Biomass per unit area dry kg/m ²		World biomass 10 ¹⁵ dry g	Turn- over [a]
		normal range	mean		normal range	mean		
Tropical rain forest	17,0	1000-3500	2200	37,4	6-80	45	765	20,5
Tropical seasonal forest	7,5	1000-2500	1600	12,0	6-60	35	260	21,8
Temperate evergreen forest	5,0	600-2500	1300	6,5	6-200	35	175	27,0
Temperate deciduous forest	7,0	600-2500	1200	8,4	6-60	30	210	25,0
Boreal forest	12,0	400-2000	800	9,6	6-40	20	240	25,0
Woodland and shrubland	8,5	250-1200	700	6,0	2-20	6	50	8,6
Savanna	15,0	200-2000	900	13,5	0,2-15	4	60	4,4
Temperate grasland	9,0	200-1500	600	5,4	0,2-5	1,6	14	2,7
Tundra and alpine	8,0	10-400	140	1,1	0,1-3	0,6	5	4,3
Desert and semidesert shrub	18,0	10-250	90	1,6	0,1-4	0,7	13	7,8
Extreme desert (rock, sand, ice)	24,0	0-10	3	0,07	0-0,2	0,02	0,5	6,7
Cultivated land	14,0	100-4000	650	9,1	0,4-12	1	14	1,5
Swamp and marsh	2,0	800-6000	3000	6,0	3-50	15	30	5,0
Lake and stream	2,0	100-1500	400	0,8	0-0,1	0,02	0,05	0,05

*nur terrestrische Ökosysteme;
Turnover eigene Berechnung

Appendix B.3 AJTAY ET AL. 1979

Ecosystem type	Surface area $10^{12}m^2$	NPP – DM $g/m^2/yr$	Total production $10^{15}gC/yr$	Living phyto-mass – DM $10^3g/m^2$	Total living phyto-mass $10^{15}gC$	Turn-over [a]
1. Forests	31,3		21,9		427,73	19,5
Tropical humid	10	2300	10,35	42	189	18,3
Tropical seasonal	4,5	1600	3,24	25	50,62	15,6
Mangrove	0,3	1000	0,14	9	4,05	9,0
Temperate evergr./conif.	3	1500	2,02	30	40,5	20,0
Temperate deciduous/mixed	3	1300	1,76	28	37,8	21,5
Boreal coniferous (closed)	6,5	850	2,49	25	73,13	29,4
Boreal coniferous (open)	2,5	650	0,73	17	19,12	26,2
Forest plantations	1,5	1750	1,18	20	13,5	11,4
2. Temperate woodlands	2	1500	1,35	18	16,2	12
3. Chapparal, maquis, brushland	2,5	800	0,9	7	7,88	8,8
4. Savanna	22,5		17,71		65,56	3,7
Low tree/shrub savanna	6	2100	5,67	7,5	20,25	3,6
Grass dominated savanna	6	2300	6,21	2,2	5,94	1,0
Dry savanna thorn forest	3,5	1300	2,05	15	23,63	11,5
Dry thorny shrubs	7	1200	3,78	5	15,75	4,2
5. Temperated grassland	12,5		4,39		9,11	2,1
Temperate moist grassland	5	1200	2,7	2,1	4,72	1,8
Temperate dry grassland	7,5	500	1,69	1,3	4,39	2,6
6. Tundra arctic/alpine	9,5		0,95		5,87	6,2
Polar desert	1,5	25	0,02	0,15	0,10	6,0
High arctic/alpine	3,6	150	0,24	0,75	1,22	8,1
Low arctic/alpine	4,4	350	0,69	2,3	4,55	6,6
7. Desert and semidesert scrub	21		1,35		7,42	5,5
Scrub dominated	9	200	0,81	1,1	4,46	5,5
Irreversible degraded	12	100	0,54	0,55	2,97	5,5
8. Extreme desert	9		0,06		0,35	5,8
Sandy hot and dry	8	10	0,04	0,06	0,22	6,0
Sandy cold and dry	1	50	0,02	0,3	0,14	6,0
9. Perpetual ice	15,5	0	0	0	0	-
10. Lakes and streames	2	400	0,36	0,02	0,02	0,05
11. Swamps and marshes	2		3,26		11,81	3,6
Temperate	0,5	2500	0,56	7,5	1,69	3,0
Tropical	1,5	4000	2,7	15	10,13	3,8
12. Bogs, unexploited peatlands	1,5	1000	0,68	5	3,37	5,0

Fortsetzung Appendix B.3

Ecosystem type	Surface area $10^{12}m^2$	NPP – DM $g/m^2/yr$	Total production $10^{15}gC/yr$	Living phyto-mass – DM $10^3g/m^2$	Total living phyto-mass $10^{15}gC$	Turn-over [a]
13. Cultivated land	16		6,77		2,99	0,4
Temperate annuals	6	1200	3,24	0,1*	0,27	1,0
Temperate perennials	0,5	1500	0,34	5	1,12	3,3
Tropical annuals	9	700	2,83	0,06*	0,24	1,0
Tropical perennials	0,5	1600	0,36	6	0,35	3,8
14. Human area	2 ^a	500	0,18	4	1,44	8,0
TOTAL	149,3	895	59,9	8,33	559,8	9,3

* jährlicher Durchschnitt

^a davon nur 40% ($0,8 \times 10^{12} m^2$) produktiv

Die Schätzungen betreffen sowohl ober- als auch unterirdische Biomasse; Kohlenstoffgehalt 0,45

Appendix B.4 OLSON ET AL. 1983

Major world ecosystem complexes	Phytomass C estimates* Estimated densities per unit area [kgC/m ²]		
	LOW	MEDIUM	HIGH
Woods			
Tropical Montane Forest	6	9	15
Mangroves (of forest structure)	3	7	10
Other wet site, other wet nonseasonal evergreen equatorial forest	15	20	25
Evergreen or deciduous 'moist' forest, closed or regenerating well	10	14	17
Planted, degraded, poor site, or marginal 'forest'	4	10	12
Additional forest/field area allocated to tropical humid forest	4	5	8
Mostly temperate Broad-leaved Forest	8	10	14
Mixed Woods: alternating evergreen and broad-leaved	4	10	14
Remnants of above, interspersed with fields, etc. (forest/fields)	4	5	8
Predominantly Conifer forest (mostly nonboreal)	12	16,8	20
Southern continental taiga forest with openings	6	11	14
Main taiga, closed or open woods	4	8	11
Northern or Maritime Taiga, stunted subalpine woods	2	5	8
Tropical Dry Forest and Woodland, mostly drought-deciduous	5	7	9
Tropical Savanna and Woodland, most or dry seasonal	2	3	5
Xerophytic succulent thorn woods and scrub or grass	2	4	6
Wooded parts in tropical fields/woods	2	4	6

Fortsetzung Appendix B.4

	Phytomass C estimates* Estimated densities per unit area [kg/m ²]		
	LOW	MEDIUM	HIGH
Mediterranean-type woods, with savanna, chapparal, etc.	2	4	8
Other semiarid woodland or low forest	2	5	10
Other dry or highland tree or shrub types, fairly open	2	4	8
Mostly temperate field/woods	2	4	5
Swamps, and/or shrub or herb marshes	1,5	3	6
Bogs/mires of cool or cold climates (graminoid or woody)	1	2	6
Coastal and Miscellaneous	1	3	5
Nonwoods			
Paddyland plus associatd settlements and trees	2	3	4
Other irrigated dryland row crop and pasture	1,5	2	3
Cool or cold farms, towns, etc.	0,8	1	2
Warm or hot farms, towns, etc.	0,8	1	2
Grass and shrub complexes			
Grass-scrub interspersed in field/woods	2	3	4
Grass-scrub in Tropical Montane Complexes	0,6	1	2
Heath and moorland, maritime scrub with meadows	1	1,5	2
Very cold Tibet ans Siberian meadows and parklands	0,5	1	4
Cool grassland	0,5	1	2
Warm or hot grassland, or maritime or montane grass with little or no snow	0,5	1	2
Similar, with relatively more shrub, trees	1	1,6	3
Tundra and desert			
Wooded tundra and timberline fringe	1	2	5
Arctic polar desert (besides ice)	0,002	0,01	0,02
Other High Arctic Tundra	0,1	0,5	1
Low Arctic Tundra	0,6	1	1,2
Other Tundra, alpine desert, mkieadow and paramo	0,5	0,8	1,5
Sand Desert: scrub/herbs or barren	0,02	0,05	0,2
Cool semidesert scrub	0,3	0,4	1,0
Other desert and semidesert, mostly warm to hot	0,2	0,4	1,0
Water and Ice			
Lake, Streams, and Reservoirs	0,1	0,2	0,3
Ice and antarctic polar desert	0	0	0

*Ober- und unterirdisch. Kohlenstoffgehalt 45% der Trockenmasse

Appendix B.5 Waring & Schlesinger 1985

Variable	Mixed hardwoods, U.S. (Edwards et al. 1981)	Pine, U.S. (Kinerson et al, 1977)	Subalpine conifers, Japan (Edwards et al. 1981)	Beeck, Denmark (Edwards et al. 1981)	Rain Forest, Africa (Edwards et al. 1981)	Douglas fir, U.S. (Grier and Logan, 1977)
Total standing crop (TSC)	175.2	141.2	318.1	-	-	870.4
GPP	43.2	77.3	38.2	23.5	53.5	160.9
NPP	14.5	36.0	10.0	13.5	13.5	10.9
Plant Resp.	28.7	41.3	27.5	10.0	40.0	150.0
Heter. Resp.	13.4	13.9	6.6	13.5	13.5	7.6
Ecosys. Resp.	42.0	55.2	34.1	34.1	53.3	157.6
NEP	1.1	22.1	4.1	0.0	0.0	3.3
GPP/Ra	1.51	1.89	1.38	2.33	1.33	1.08
NEP/GPP	0.03	0.29	0.11	-	-	0.92

Values other than ratios are in tonnes per hectare per year or tonnes per hectare (TSC)

Appendix B.6 KIMMINS 1987

Ecosystem Type	Total Phytomass [10^3 g m^{-2}]	Total NPP [$\text{g m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$]	Turnover [a]
Arctic shrub tundra	2.3	350	6,6
Boreal coniferous (open)	17	650	26,2
Boreal coniferous (closed)	25	850	29,4
Temperate evergreen coniferous	30	1500	20
Temperate deciduous (mixed)	28	1300	21,5
Temperate Woodland	18	1500	12,0
Low tree/shrub savanna	7.5	2100	3,6
Mangrove	30	1000	30,0
Tropical seasonal	25	1600	15,6
Tropical humid	42	2300	18,3

Turnover eigene Berechnung

Appendix C

Ergebnisse nach Bezirken

Appendix C.1 Flächen der Bezirke nach Höhenstufen

Bezirk	Code	Gemeinde- fläche [km ²]	bis 600m [km ²]	600- 1400m [km ²]	1400-1800m [km ²]	1800-2200m [km ²]	2200-2800m [km ²]	über 2800m [km ²]	Gewässer [km ²]
Eisenstadt(Stadt)	101	42,90	25,84	-	-	-	-	-	17,06
Rust(Stadt)	102	20,01	9,50	-	-	-	-	-	10,51
Eisenstadt-Umgebung	103	453,18	395,88	-	-	-	-	-	57,30
Güssing	104	485,35	482,72	-	-	-	-	-	2,63
Jennersdorf	105	253,35	249,64	-	-	-	-	-	3,71
Mattersburg	106	237,87	226,61	10,52	-	-	-	-	0,74
NeusiedlamSee	107	1.038,66	897,18	-	-	-	-	-	141,47
Oberpullendorf	108	701,52	666,01	32,18	-	-	-	-	3,33
Oberwart	109	732,70	667,17	59,86	-	-	-	-	5,67
Klagenfurt(Stadt)	201	120,02	81,87	17,58	-	-	-	-	20,57
Villach(Stadt)	202	134,82	61,94	59,28	2,87	0,04	-	-	10,69
Hermagor	203	807,38	39,74	425,14	223,93	96,57	17,41	-	4,59
KlagenfurtLand	204	765,41	316,70	351,73	49,93	14,66	0,79	-	31,61
SanktVeitanderGlan	205	1.493,35	328,07	922,94	199,69	37,34	0,15	-	5,15
SpittalanderDrau	206	2.764,02	65,02	843,59	581,60	622,85	531,73	88,66	30,58
VillachLand	207	1.009,02	195,21	640,26	126,60	29,46	-	-	17,50
Völkermarkt	208	906,91	502,26	327,50	52,84	10,45	-	-	13,86
Wolfsberg	209	973,70	389,82	395,81	156,12	26,77	-	-	5,18
Feldkirchen	210	558,49	43,40	326,71	125,92	49,51	4,33	-	8,62
KremsanderDonau(Stadt)	301	51,60	48,01	-	-	-	-	-	3,59
SanktPölten(Stadt)	302	108,51	107,76	-	-	-	-	-	0,74
Waidhofen a.d. Ybbs(Stadt)	303	131,52	57,33	73,35	-	-	-	-	0,84
WienerNeustadt(Stadt)	304	60,97	60,75	-	-	-	-	-	0,22
Amstetten	305	1.187,66	882,94	288,28	2,48	-	-	-	13,95
Baden	306	753,01	615,54	133,66	-	-	-	-	3,80
Bruck a.d. Leitha	307	494,52	476,98	-3,47	-	-	-	-	21,01
Gänserndorf	308	1.271,07	1.259,32	-	-	-	-	-	11,75
Gmünd	309	786,24	413,25	357,10	-	-	-	-	15,89
Hollabrunn	310	1.010,88	1.007,38	-	-	-	-	-	3,50
Hor	311	784,03	780,53	0,31	-	-	-	-	3,19
Korneuburg	312	626,30	620,60	-	-	-	-	-	5,71
Krems(Land)	313	924,54	693,79	213,20	-	-	-	-	17,55
Lilienfeld	314	931,35	415,65	493,90	16,21	-	-	-	5,59
Melk	315	1.013,00	772,34	220,73	-	-	-	-	19,93
Mistelbach	316	1.291,18	1.285,00	-	-	-	-	-	6,18
Mödling	317	276,97	267,93	6,93	-	-	-	-	2,11
Neunkirchen	318	1.146,02	410,04	662,60	60,20	8,64	-	-	4,54
SanktPölten(Land)	319	1.121,32	954,03	156,87	-	-	-	-	10,42
Scheibbs	320	1.023,26	573,55	404,03	39,89	0,04	-	-	5,74
Tulln	321	657,74	631,54	-	-	-	-	-	26,20
Waidhofen a.d. Thaya	322	669,09	612,06	50,99	-	-	-	-	6,04
WienerNeustadt(Land)	323	969,47	436,89	528,00	0,08	-	-	-	4,51
Wien-Umgebung	324	484,45	476,86	1,00	-	-	-	-	6,59
Zwettl	325	1.399,05	586,13	804,84	-	-	-	-	8,08
Linz(Stadt)	401	95,97	80,37	1,04	-	-	-	-	14,56
Steyr(Stadt)	402	26,56	26,56	-	-	-	-	-	-
Wels(Stadt)	403	45,92	45,08	-	-	-	-	-	0,84
BraunauamInn	404	1.040,19	935,38	93,09	-	-	-	-	11,72
Eferding	405	259,65	249,84	1,99	-	-	-	-	7,82
Freistadt	406	993,90	211,27	779,10	-	-	-	-	3,53
Gmunden	407	1.432,35	616,68	537,66	135,28	67,71	17,67	-	57,35

Fortsetzung Appendix C.1

Bezirk	Code	Gemeinde- fläche [km ²]	bis 600m [km ²]	600- 1400m [km ²]	1400-1800m [km ²]	1800-2200m [km ²]	2200-2800m [km ²]	über 2800m [km ²]	Gewässer [km ²]
Grieskirchen	408	579,13	563,93	12,41	-	-	-	-	2,79
Kirchdorf a.d. Krems	409	1.239,59	448,39	645,09	99,65	35,98	4,20	-	6,29
Linz-Land	410	461,35	455,69	-	-	-	-	-	5,65
Perg	411	611,84	443,30	160,73	-	-	-	-	7,81
RiedimInnkreis	412	585,14	501,73	73,94	-	-	-	-	9,47
Rohrbach	413	827,68	294,32	523,29	-	-	-	-	10,06
Schärding	414	618,19	553,87	55,38	-	-	-	-	8,94
Steyr-Land	415	971,52	584,26	375,37	2,19	-	-	-	9,70
Urfahr-Umgebung	416	649,10	261,77	379,09	-	-	-	-	8,24
Vöcklabruck	417	1.084,13	606,79	406,92	11,78	0,07	-	-	58,57
Wels-Land	418	457,50	451,51	-	-	-	-	-	5,99
Salzburg(Stadt)	501	65,64	55,05	8,66	-	-	-	-	1,94
Hallein	502	668,29	183,76	343,39	95,56	38,84	2,72	-	4,02
Salzburg-Umgebung	503	1.004,07	433,38	516,56	18,44	-	-	-	35,70
SanktJohannimPongau	504	1.755,25	7,71	821,84	453,01	332,52	120,61	5,62	13,93
Tamsweg	505	1.019,56	-	277,31	326,18	286,55	126,15	0,46	2,89
ZellamSee	506	2.641,34	7,17	961,29	650,79	511,87	406,54	74,06	29,62
Graz(Stadt)	601	127,52	122,78	3,67	-	-	-	-	1,07
Bruck a.d. Mur	602	1.307,01	273,41	826,12	166,58	32,71	1,00	-	7,19
Deutschlandsberg	603	863,11	434,28	359,63	58,14	5,63	-	-	5,44
Feldbach	604	726,96	723,02	-	-	-	-	-	3,94
Fürstenfeld	605	263,88	261,20	-	-	-	-	-	2,68
Graz-Umgebung	606	1.100,84	642,30	433,41	17,65	1,67	-	-	5,80
Hartberg	607	954,99	476,32	463,19	9,70	-	-	-	5,78
Judenburg	608	1.097,07	-	639,60	331,83	114,29	7,19	-	4,17
Knittelfeld	609	577,94	2,66	392,60	116,68	57,43	5,05	-	3,54
Leibnitz	610	681,28	665,50	9,24	-	-	-	-	6,55
Leoben	611	1.099,79	33,83	801,39	210,40	47,71	0,00	-	6,46
Liezen	612	3.270,20	156,25	1.794,76	814,91	417,69	61,24	-	25,34
Mürzzuschlag	613	848,51	15,95	738,51	83,25	8,30	-	-	2,50
Murau	614	1.384,59	-	697,52	415,59	226,25	39,59	-	5,65
Radkersburg	615	336,73	332,14	-	-	-	-	-	4,60
Voitsberg	616	678,33	184,10	435,27	53,87	1,30	-	-	3,80
Weiz	617	1.069,34	434,34	595,28	35,58	-	-	-	4,14
Innsbruck-Stadt	701	104,89	12,26	42,31	17,67	18,83	9,70	-	4,12
Imst	702	1.725,61	1,59	321,84	233,38	465,88	559,54	137,70	5,68
Innsbruck-Land	703	1.990,32	36,46	580,40	462,97	430,95	405,53	65,30	8,71
Kitzbühel	704	1.163,13	5,94	775,69	275,88	92,82	7,87	-	4,93
Kufstein	705	969,63	125,21	654,11	137,06	43,39	1,99	-	7,86
Landeck	706	1.594,77	0,55	199,39	279,13	381,15	614,68	113,41	6,45
Lienz	707	2.019,98	-	314,88	375,12	556,58	609,60	156,33	7,47
Reutte	708	1.236,69	3,33	481,85	390,59	252,38	89,76	-	18,77
Schwaz	709	1.842,99	49,02	542,90	450,98	383,91	337,47	62,05	16,66
Bludenz	801	1.287,49	30,31	327,40	310,85	360,04	234,89	14,97	9,03
Bregenz	802	863,31	110,59	475,79	160,90	67,84	5,55	-	42,64
Dornbirn	803	172,38	61,88	83,84	22,75	0,83	-	-	3,06
Feldkirch	804	278,22	117,97	117,48	33,40	4,37	-	-	5,00
Wien(Stadt)	900	414,95	400,81	-	-	-	-	-	14,14
Gesamt		83.858,65	33.822,58	28.887,69	8.896,07	6.141,81	4.222,94	718,55	1.169,03

Appendix C.2 Standing Crop der hypothetischen natürlichen Vegetation nach Höhenstufen – Trockenmasse*

Bezirk	Code	bis600m [1000t]	600-1400m [1000t]	1400-1800m [1000t]	1800-2200m [1000t]	2200-2800m [1000t]	Gesamt [1000t]
Eisenstadt(Stadt)	101	767,39	-	-	-	-	767,39
Rust(Stadt)	102	282,04	-	-	-	-	282,04
Eisenstadt-Umgebung	103	11.757,64	-	-	-	-	11.757,64
Güssing	104	14.336,71	-	-	-	-	14.336,71
Jennersdorf	105	7.414,25	-	-	-	-	7.414,25
Mattersburg	106	6.730,43	359,77	-	-	-	7.090,20
NeusiedlamSee	107	26.646,39	-	-	-	-	26.646,39
Oberpullendorf	108	19.780,40	1.100,41	-	-	-	20.880,81
Oberwart	109	19.814,81	2.047,13	-	-	-	21.861,94
Klagenfurt(Stadt)	201	2.431,54	601,16	-	-	-	3.032,70
Villach(Stadt)	202	1.839,72	2.027,52	41,86	0,04	-	3.909,13
Hermagor	203	1.180,25	14.539,84	3.269,39	96,57	17,41	19.103,46
KlagenfurtLand	204	9.405,97	12.029,15	728,99	14,66	0,79	22.179,55
SanktVeit a.d. Glan	205	9.582,39	33.094,65	3.674,27	328,62	0,15	46.680,08
Spittal a.d. Drau	206	1.885,57	26.380,19	10.701,42	7.349,69	531,73	46.848,59
VillachLand	207	5.762,56	22.570,30	2.203,87	214,64	-	30.751,37
Völkermarkt	208	14.901,29	11.390,14	797,66	11,44	-	27.100,52
Wolfsberg	209	11.544,54	14.091,32	2.609,62	77,72	-	28.323,19
Feldkirchen	210	1.289,03	11.608,92	2.307,92	435,63	4,33	15.645,84
Krems a.d. Donau(Stadt)	301	1.425,79	-	-	-	-	1.425,79
SanktPölten(Stadt)	302	3.200,55	-	-	-	-	3.200,55
Waidhofen a.d. Ybbs(Stadt)	303	1.702,72	2.508,54	-	-	-	4.211,26
WienerNeustadt(Stadt)	304	1.804,35	-	-	-	-	1.804,35
Amstetten	305	26.223,41	9.859,33	36,23	-	-	36.118,96
Baden	306	18.281,68	4.571,31	-	-	-	22.852,99
Bruck a.d. Leitha	307	14.166,30	-118,75	-	-	-	14.047,55
Gänserndorf	308	37.401,79	-	-	-	-	37.401,79
Gmünd	309	12.273,38	12.212,88	-	-	-	24.486,25
Hollabrunn	310	29.919,12	-	-	-	-	29.919,12
Horn	311	23.181,68	10,64	-	-	-	23.192,32
Korneuburg	312	18.431,72	-	-	-	-	18.431,72
Krems(Land)	313	20.605,64	7.291,57	-	-	-	27.897,21
Lilienfeld	314	12.344,66	16.891,34	236,74	-	-	29.472,74
Melk	315	22.938,50	7.548,83	-	-	-	30.487,33
Mistelbach	316	38.164,55	-	-	-	-	38.164,55
Mödling	317	7.957,58	237,13	-	-	-	8.194,71
Neunkirchen	318	12.178,09	22.660,98	878,93	8,64	-	35.726,63
SanktPölten(Land)	319	28.334,69	5.365,09	-	-	-	33.699,78
Scheibbs	320	17.034,58	13.818,00	582,33	0,04	-	31.434,95
Tulln	321	18.756,64	-	-	-	-	18.756,64
Waidhofen a.d. Thaya	322	18.178,22	1.743,99	-	-	-	19.922,22
WienerNeustadt(Land)	323	12.975,69	18.057,44	1,18	-	-	31.034,31
Wien-Umgebung	324	14.162,66	34,27	-	-	-	14.196,93
Zwettl	325	17.408,12	27.525,48	-	-	-	44.933,60
Linz(Stadt)	401	2.386,85	35,69	-	-	-	2.422,54
Steyr(Stadt)	402	788,78	-	-	-	-	788,78
Wels(Stadt)	403	1.338,83	-	-	-	-	1.338,83
BraunauamInn	404	27.780,83	3.183,79	-	-	-	30.964,62
Eferding	405	7.420,18	68,07	-	-	-	7.488,25
Freistadt	406	6.274,61	26.645,22	-	-	-	32.919,84
Gmunden	407	18.315,43	18.387,96	1.975,03	67,71	17,67	38.763,80

Fortsetzung Appendix C.2

Bezirk	Code	bis600m [1000t]	600-1400m [1000t]	1400-1800m [1000t]	1800-2200m [1000t]	2200-2800m [1000t]	Gesamt [1000t]
Grieskirchen	408	16.748,64	424,45	-	-	-	17.173,09
Kirchdorf a.d. Krems	409	13.317,19	22.061,93	1.454,85	35,98	4,20	36.874,15
Linz-Land	410	13.534,06	-	-	-	-	13.534,06
Perg	411	13.166,05	5.497,01	-	-	-	18.663,06
RiedimInnkreis	412	14.901,33	2.528,86	-	-	-	17.430,18
Rohrbach	413	8.741,45	17.896,57	-	-	-	26.638,02
Schärding	414	16.450,08	1.893,92	-	-	-	18.344,00
Steyr-Land	415	17.352,49	12.837,63	31,95	-	-	30.222,06
Urfahr-Umgebung	416	7.774,71	12.964,73	-	-	-	20.739,44
Vöcklabruck	417	18.021,61	13.916,77	172,02	0,07	-	32.110,46
Wels-Land	418	13.409,92	-	-	-	-	13.409,92
Salzburg(Stadt)	501	1.634,98	296,00	-	-	-	1.930,98
Hallein	502	5.457,68	11.744,10	1.395,16	38,84	2,72	18.638,50
Salzburg-Umgebung	503	12.871,33	17.666,20	269,17	-	-	30.806,70
SanktJohannimPongau	504	229,12	28.339,80	8.061,86	3.076,41	120,61	39.827,80
Tamsweg	505	-	7.903,36	6.001,80	3.639,22	126,15	17.670,54
ZellamSee	506	212,97	31.376,58	11.506,99	5.487,90	406,54	48.990,98
Graz(Stadt)	601	3.646,52	125,50	-	-	-	3.772,02
Bruck a.d. Mur	602	8.081,77	28.908,89	2.508,61	44,59	1,00	39.544,85
Deutschlandsberg	603	12.898,02	12.299,18	848,78	5,63	-	26.051,61
Feldbach	604	21.473,79	-	-	-	-	21.473,79
Fürstenfeld	605	7.757,56	-	-	-	-	7.757,56
Graz-Umgebung	606	19.076,24	14.822,72	257,74	1,67	-	34.158,38
Hartberg	607	14.146,67	15.841,27	141,57	-	-	30.129,50
Judenburg	608	-	23.089,62	6.105,65	1.005,72	7,19	30.208,17
Knittelfeld	609	77,08	14.172,86	2.146,87	505,37	5,05	16.907,23
Leibnitz	610	19.765,36	315,91	-	-	-	20.081,26
Leoben	611	985,13	28.605,06	3.624,09	335,63	0,00	33.549,91
Liezen	612	4.633,12	62.501,78	13.884,28	3.430,38	61,24	84.510,80
Mürzzuschlag	613	463,67	26.175,21	1.353,18	57,27	-	28.049,34
Murau	614	-	21.097,22	7.646,89	2.778,26	39,59	31.561,96
Radkersburg	615	9.864,41	-	-	-	-	9.864,41
Voitsberg	616	5.467,66	14.886,24	786,45	1,30	-	21.141,65
Weiz	617	12.899,79	20.358,62	519,51	-	-	33.777,92
Innsbruck-Stadt	701	355,63	1.527,28	325,07	165,74	9,70	2.383,42
Imst	702	46,21	10.334,10	4.294,18	5.398,46	559,54	20.632,48
Innsbruck-Land	703	1.057,47	18.706,69	8.292,45	4.810,13	405,53	33.272,27
Kitzbühel	704	175,62	27.289,62	4.859,29	727,05	7,87	33.059,45
Kufstein	705	3.681,69	22.875,16	2.250,92	315,54	1,99	29.125,30
Landeck	706	16,02	5.682,50	5.135,95	4.840,67	614,68	16.289,82
Lienz	707	-	10.675,60	6.847,73	6.189,28	609,60	24.322,21
Reutte	708	98,32	16.937,37	6.709,88	2.066,33	89,76	25.901,67
Schwaz	709	1.424,06	18.282,18	7.577,79	3.528,09	337,47	31.149,59
Bludenz	801	899,85	11.451,60	5.179,67	2.437,14	234,89	20.203,14
Bregenz	802	3.284,59	16.272,11	2.349,11	67,84	5,55	21.979,19
Dornbirn	803	1.837,95	2.867,50	332,22	0,83	-	5.038,50
Feldkirch	804	3.503,58	4.017,90	487,60	4,37	-	8.013,45
Wien(Stadt)	900	11.904,03	-	-	-	-	11.904,03
Gesamt		1.004.055,93	987.846,92	153.404,70	59.601,08	4.222,94	2.209.131,58

*Kohlenstoffgehalt: 45% der Trockenmasse

Appendix C.3 Standing Crop der hypothetischen natürlichen Vegetation nach Höhenstufen – Energieeinheiten

Bezirk	Code	bis600m [PJ]	600-1400m [PJ]	1400-1800m [PJ]	1800-2200m [PJ]	2200-2800m [PJ]	Gesamt [PJ]
Eisenstadt(Stadt)	101	14,81	-	-	-	-	14,81
Rust(Stadt)	102	5,44	-	-	-	-	5,44
Eisenstadt-Umgebung	103	226,92	-	-	-	-	226,92
Güssing	104	276,70	-	-	-	-	276,70
Jennersdorf	105	143,10	-	-	-	-	143,10
Mattersburg	106	129,90	7,09	-	-	-	136,98
Neusiedl am See	107	514,28	-	-	-	-	514,28
Oberpullendorf	108	381,76	21,68	-	-	-	403,44
Oberwart	109	382,43	40,33	-	-	-	422,75
Klagenfurt(Stadt)	201	46,93	11,84	-	-	-	58,77
Villach(Stadt)	202	35,51	39,94	0,84	0,00	-	76,29
Hermagor	203	22,78	286,43	65,71	1,90	0,34	377,17
Klagenfurt Land	204	181,54	236,97	14,65	0,29	0,02	433,47
Sankt Veit a.d. Glan	205	184,94	651,96	73,85	6,61	0,00	917,37
Spittal a.d. Drau	206	36,39	519,69	215,10	147,73	10,48	929,38
Villach Land	207	111,22	444,63	44,30	4,31	-	604,46
Völkermarkt	208	287,59	224,39	16,03	0,23	-	528,24
Wolfsberg	209	222,81	277,60	52,45	1,55	-	554,42
Feldkirchen	210	24,88	228,70	46,39	8,76	0,09	308,80
Krems a.d. Donau(Stadt)	301	27,52	-	-	-	-	27,52
Sankt Pölten(Stadt)	302	61,77	-	-	-	-	61,77
Waidhofen a.d. Ybbs(Stadt)	303	32,86	49,42	-	-	-	82,28
Wiener Neustadt(Stadt)	304	34,82	-	-	-	-	34,82
Amstetten	305	506,11	194,23	0,73	-	-	701,07
Baden	306	352,84	90,05	-	-	-	442,89
Bruck a.d. Leitha	307	273,41	-2,34	-	-	-	271,07
Gänserndorf	308	721,85	-	-	-	-	721,85
Gmünd	309	236,88	240,59	-	-	-	477,47
Hollabrunn	310	577,44	-	-	-	-	577,44
Horn	311	447,41	0,21	-	-	-	447,62
Korneuburg	312	355,73	-	-	-	-	355,73
Krems(Land)	313	397,69	143,64	-	-	-	541,33
Lilienfeld	314	238,25	332,76	4,76	-	-	575,77
Melk	315	442,71	148,71	-	-	-	591,42
Mistelbach	316	736,58	-	-	-	-	736,58
Mödling	317	153,58	4,67	-	-	-	158,25
Neunkirchen	318	235,04	446,42	17,67	0,17	-	699,30
Sankt Pölten(Land)	319	546,86	105,69	-	-	-	652,55
Scheibbs	320	328,77	272,21	11,70	0,00	-	612,69
Tulln	321	362,00	-	-	-	-	362,00
Waidhofen a.d. Thaya	322	350,84	34,36	-	-	-	385,20
Wiener Neustadt(Land)	323	250,43	355,73	0,02	-	-	606,19
Wien-Umgebung	324	273,34	0,68	-	-	-	274,01
Zwettl	325	335,98	542,25	-	-	-	878,23
Linz(Stadt)	401	46,07	0,70	-	-	-	46,77
Steyr(Stadt)	402	15,22	-	-	-	-	15,22
Wels(Stadt)	403	25,84	-	-	-	-	25,84
Braunau am Inn	404	536,17	62,72	-	-	-	598,89
Eferding	405	143,21	1,34	-	-	-	144,55
Freistadt	406	121,10	524,91	-	-	-	646,01
Gmunden	407	353,49	362,24	39,70	1,33	0,35	757,11

Fortsetzung Appendix C.3

Bezirk	Code	bis600m [PJ]	600-1400m [PJ]	1400-1800m [PJ]	1800-2200m [PJ]	2200-2800m [PJ]	Gesamt [PJ]
Grieskirchen	408	323,25	8,36	-	-	-	331,61
Kirchdorf a.d. Krems	409	257,02	434,62	29,24	0,71	0,08	721,68
Linz-Land	410	261,21	-	-	-	-	261,21
Perg	411	254,10	108,29	-	-	-	362,40
RiedimInnkreis	412	287,60	49,82	-	-	-	337,41
Rohrbach	413	168,71	352,56	-	-	-	521,27
Schärding	414	317,49	37,31	-	-	-	354,80
Steyr-Land	415	334,90	252,90	0,64	-	-	588,45
Urfahr-Umgebung	416	150,05	255,41	-	-	-	405,46
Vöcklabruck	417	347,82	274,16	3,46	0,00	-	625,44
Wels-Land	418	258,81	-	-	-	-	258,81
Salzburg(Stadt)	501	31,56	5,83	-	-	-	37,39
Hallein	502	105,33	231,36	28,04	0,77	0,05	365,55
Salzburg-Umgebung	503	248,42	348,02	5,41	-	-	601,85
SanktJohannimPongau	504	4,42	558,29	162,04	61,81	2,38	788,95
Tamsweg	505	-	155,70	120,64	73,15	2,49	351,97
ZellamSee	506	4,11	618,12	231,29	110,28	8,01	971,81
Graz(Stadt)	601	70,38	2,47	-	-	-	72,85
Bruck a.d. Mur	602	155,98	569,51	50,42	0,88	0,02	776,81
Deutschlandsberg	603	248,93	242,29	17,06	0,11	-	508,40
Feldbach	604	414,44	-	-	-	-	414,44
Fürstenfeld	605	149,72	-	-	-	-	149,72
Graz-Umgebung	606	368,17	292,01	5,18	0,03	-	665,39
Hartberg	607	273,03	312,07	2,85	-	-	587,95
Judenburg	608	-	454,87	122,72	20,21	0,14	597,95
Knittelfeld	609	1,49	279,21	43,15	10,16	0,10	334,10
Leibnitz	610	381,47	6,22	-	-	-	387,69
Leoben	611	19,01	563,52	72,84	6,74	0,00	662,12
Liezen	612	89,42	1.231,29	279,07	68,91	1,21	1.669,90
Mürzzuschlag	613	8,95	515,65	27,20	1,15	-	552,95
Murau	614	-	415,62	153,70	55,84	0,78	625,94
Radkersburg	615	190,38	-	-	-	-	190,38
Voitsberg	616	105,53	293,26	15,81	0,03	-	414,62
Weiz	617	248,97	401,06	10,44	-	-	660,47
Innsbruck-Stadt	701	6,86	30,09	6,53	3,33	0,19	47,01
Imst	702	0,89	203,58	86,31	108,51	11,02	410,32
Innsbruck-Land	703	20,41	368,52	166,68	96,67	7,99	660,27
Kitzbühel	704	3,39	537,61	97,67	14,61	0,16	653,43
Kufstein	705	71,06	450,64	45,24	6,34	0,04	573,32
Landeck	706	0,31	111,95	103,23	97,30	12,11	324,89
Lienz	707	-	210,31	137,64	124,40	12,01	484,36
Reutte	708	1,90	333,67	134,87	41,53	1,77	513,73
Schwaz	709	27,48	360,16	152,31	70,88	6,65	617,48
Bludenz	801	17,37	225,60	104,11	48,95	4,63	400,65
Bregenz	802	63,39	320,56	47,22	1,34	0,11	432,62
Dornbirn	803	35,47	56,49	6,68	0,02	-	98,66
Feldkirch	804	67,62	79,15	9,80	0,09	-	156,66
Wien(Stadt)	900	229,75	-	-	-	-	229,75
Gesamt		19.378,28	19.460,58	3.083,43	1.197,62	83,19	43.203,11

Appendix C.4 Standing Crop der hypothetischen natürlichen Vegetation nach Vegetationstypen – Trockenmassen*

PolitischerBezirk	Code	Laubwald		Nadelwald		Mischwald		alpine Vegetation	
		Fläche [km ²]	SC [1000t]						
Eisenstadt(Stadt)	101	25,84	767,39	-	-	-	-	-	-
Rust(Stadt)	102	9,50	282,04	-	-	-	-	-	-
Eisenstadt-Umgebung	103	395,88	11.757,64	-	-	-	-	-	-
Güssing	104	482,72	14.336,71	-	-	-	-	-	-
Jennersdorf	105	249,64	7.414,25	-	-	-	-	-	-
Mattersburg	106	226,61	6.730,43	-	-	10,52	359,77	-	-
NeusiedlamSee	107	897,18	26.646,39	-	-	-	-	-	-
Oberpullendorf	108	666,01	19.780,40	-	-	32,18	1.100,41	-	-
Oberwart	109	667,17	19.814,81	-	-	59,86	2.047,13	-	-
Klagenfurt(Stadt)	201	81,87	2.431,54	-	-	17,58	601,16	-	-
Villach(Stadt)	202	61,94	1.839,72	2,87	41,86	59,28	2.027,52	0,04	0,04
Hermagor	203	39,74	1.180,25	223,93	3.269,39	425,14	14.539,84	113,98	113,98
KlagenfurtLand	204	316,70	9.405,97	49,93	728,99	351,73	12.029,15	15,45	15,45
SanktVeitanderGlan	205	328,07	9.582,39	1.042,28	33.072,24	117,70	4.025,30	0,15	0,15
SpittalanderDrau	206	65,02	1.885,57	2.048,04	44.431,30	-	-	531,73	531,73
VillachLand	207	195,21	5.762,56	504,72	15.206,00	285,88	9.777,10	5,72	5,72
Völkermarkt	208	502,26	14.901,29	152,83	4.403,97	227,63	7.784,94	10,32	10,32
Wolfsberg	209	389,82	11.544,54	454,60	13.206,28	103,86	3.552,13	20,24	20,24
Feldkirchen	210	43,40	1.289,03	404,60	11.016,56	97,54	3.335,92	4,34	4,34
Krems a.d.Donau(Stadt)	301	48,01	1.425,79	-	-	-	-	-	-
SanktPölten(Stadt)	302	107,76	3.200,55	-	-	-	-	-	-
Waidhofen a.d.Y.(Stadt)	303	57,33	1.702,72	-	-	73,35	2.508,54	-	-
WienerNeustadt(Stadt)	304	60,75	1.804,35	-	-	-	-	-	-
Amstetten	305	882,94	26.223,41	2,48	36,23	288,28	9.859,33	-	-
Baden	306	615,54	18.281,68	-	-	133,66	4.571,31	-	-
BruckanderLeitha	307	476,98	14.166,30	-	-	-3,47	-118,75	-	-
Gänserndorf	308	1.259,32	37.401,79	-	-	-	-	-	-
Gmünd	309	413,25	12.273,38	-	-	357,10	12.212,88	-	-
Hollabrunn	310	1.007,38	29.919,12	-	-	-	-	-	-
Horn	311	780,53	23.181,68	-	-	0,31	10,64	-	-
Korneuburg	312	620,60	18.431,72	-	-	-	-	-	-
Krems(Land)	313	693,79	20.605,64	-	-	213,20	7.291,57	-	-
Lilienfeld	314	415,65	12.344,66	16,21	236,74	493,90	16.891,34	-	-
Melk	315	772,34	22.938,50	-	-	220,73	7.548,83	-	-
Mistelbach	316	1.285,00	38.164,55	-	-	-	-	-	-
Mödling	317	267,93	7.957,58	-	-	6,93	237,13	-	-
Neunkirchen	318	410,04	12.178,09	60,20	878,93	662,60	22.660,98	8,64	8,64
SanktPölten(Land)	319	954,03	28.334,69	-	-	156,87	5.365,09	-	-
Scheibbs	320	573,55	17.034,58	39,89	582,33	404,03	13.818,00	0,04	0,04
Tulln	321	631,54	18.756,64	-	-	-	-	-	-
WaidhofenanderThaya	322	612,06	18.178,22	-	-	50,99	1.743,99	-	-
WienerNeustadt(Land)	323	436,89	12.975,69	0,08	1,18	528,00	18.057,44	-	-
Wien-Umgebung	324	476,86	14.162,66	-	-	1,00	34,27	-	-
Zwettl	325	586,13	17.408,12	-	-	804,84	27.525,48	-	-
Linz(Stadt)	401	80,37	2.386,85	-	-	1,04	35,69	-	-
Steyr(Stadt)	402	26,56	788,78	-	-	-	-	-	-
Wels(Stadt)	403	45,08	1.338,83	-	-	-	-	-	-
BraunauamInn	404	935,38	27.780,83	-	-	93,09	3.183,79	-	-
Eferding	405	249,84	7.420,18	-	-	1,99	68,07	-	-
Freistadt	406	211,27	6.274,61	-	-	779,10	26.645,22	-	-
Gmunden	407	616,68	18.315,43	135,28	1.975,03	537,66	18.387,96	85,38	85,38

Fortsetzung Appendix C.4

PolitischerBezirk	Code	Laubwald		Nadelwald		Mischwald		alpine Vegetation	
		Fläche [km2]	SC [1000t]	Fläche [km2]	SC [1000t]	Fläche [km2]	SC [1000t]	Fläche [km2]	SC [1000t]
Grieskirchen	408	563,93	16.748,64	-	-	12,41	424,45	-	-
KirchdorfanderKrems	409	448,39	13.317,19	99,65	1.454,85	645,09	22.061,93	40,17	40,17
Linz-Land	410	455,69	13.534,06	-	-	-	-	-	-
Perg	411	443,30	13.166,05	-	-	160,73	5.497,01	-	-
RiedimInnkreis	412	501,73	14.901,33	-	-	73,94	2.528,86	-	-
Rohrbach	413	294,32	8.741,45	-	-	523,29	17.896,57	-	-
Schärding	414	553,87	16.450,08	-	-	55,38	1.893,92	-	-
Steyr-Land	415	584,26	17.352,49	2,19	31,95	375,37	12.837,63	-	-
Urfahr-Umgebung	416	261,77	7.774,71	-	-	379,09	12.964,73	-	-
Vöcklabruck	417	606,79	18.021,61	11,78	172,02	406,92	13.916,77	0,07	0,07
Wels-Land	418	451,51	13.409,92	-	-	-	-	-	-
Salzburg(Stadt)	501	55,05	1.634,98	-	-	8,66	296,00	-	-
Hallein	502	183,76	5.457,68	95,56	1.395,16	343,39	11.744,10	41,56	41,56
Salzburg-Umgebung	503	433,38	12.871,33	18,44	269,17	516,56	17.666,20	-	-
SanktJohannimPongau	504	7,71	229,12	1.326,99	31.937,93	218,67	7.478,42	182,33	182,33
Tamsweg	505	-	-	890,05	17.544,38	-	-	126,15	126,15
ZellamSee	506	7,17	212,97	1.747,42	37.670,73	310,97	10.635,20	472,09	472,09
Graz(Stadt)	601	122,78	3.646,52	-	-	3,67	125,50	-	-
BruckanderMur	602	273,41	8.081,77	513,07	14.975,39	481,16	16.455,52	32,18	32,18
Deutschlandsberg	603	434,28	12.898,02	58,14	848,78	359,63	12.299,18	5,63	5,63
Feldbach	604	723,02	21.473,79	-	-	-	-	-	-
Fürstenfeld	605	261,20	7.757,56	-	-	-	-	-	-
Graz-Umgebung	606	642,30	19.076,24	17,65	257,74	433,41	14.822,72	1,67	1,67
Hartberg	607	476,32	14.146,67	9,70	141,57	463,19	15.841,27	-	-
Judenburg	608	-	-	1.085,72	30.200,99	-	-	7,19	7,19
Knittelfeld	609	2,66	77,08	566,71	16.825,11	-	-	5,05	5,05
Leibnitz	610	665,50	19.765,36	-	-	9,24	315,91	-	-
Leoben	611	33,83	985,13	877,63	26.703,51	171,07	5.850,46	10,81	10,81
Liezen	612	156,25	4.633,12	2.105,84	51.430,53	827,24	28.291,63	155,53	155,53
Mürzzuschlag	613	15,95	463,67	572,79	18.854,23	255,25	8.729,41	2,02	2,02
Murau	614	-	-	1.339,36	31.522,38	-	-	39,59	39,59
Radkersburg	615	332,14	9.864,41	-	-	-	-	-	-
Voitsberg	616	184,10	5.467,66	53,87	786,45	435,27	14.886,24	1,30	1,30
Weiz	617	434,34	12.899,79	35,58	519,51	595,28	20.358,62	-	-
Innsbruck-Stadt	701	12,26	355,63	78,81	2.018,10	-	-	9,70	9,70
Imst	702	1,59	46,21	1.021,11	20.026,74	-	-	559,54	559,54
Innsbruck-Land	703	36,46	1.057,47	1.385,37	29.926,71	54,02	1.847,64	440,46	440,46
Kitzbühel	704	5,94	175,62	757,69	20.032,96	375,19	12.831,50	19,38	19,38
Kufstein	705	125,21	3.681,69	437,45	12.142,19	388,62	13.290,93	10,49	10,49
Landeck	706	0,55	16,02	859,67	15.659,11	-	-	614,68	614,68
Lienz	707	-	-	1.229,45	23.588,64	3,22	110,06	623,51	623,51
Reutte	708	3,33	98,32	864,20	17.458,36	240,80	8.235,40	109,58	109,58
Schwaz	709	49,02	1.424,06	1.031,91	20.470,43	258,18	8.829,93	425,16	425,16
Bludenz	801	30,31	899,85	711,13	12.359,93	193,41	6.614,72	328,64	328,64
Bregenz	802	110,59	3.284,59	160,90	2.349,11	475,79	16.272,11	73,39	73,39
Dornbirn	803	61,88	1.837,95	22,75	332,22	83,84	2.867,50	0,83	0,83
Feldkirch	804	117,97	3.503,58	33,40	487,60	117,48	4.017,90	4,37	4,37
Wien(Stadt)	900	400,81	11.904,03	-	-	-	-	-	-
Gesamt		33.822,58	1.004.055,93	25.159,88	589.481,47	17.849,56	610.455,11	5.139,07	5.139,07

*Kohlenstoffgehalt: 45% der Trockenmasse

Appendix C.5 Standing Crop der hypothetischen natürlichen Vegetation nach Vegetationstypen - Energieeinheiten

PolitischerBezirk	Code	Laubwald		Nadelwald		Mischwald		alpine Vegetation	
		Fläche [km2]	SC [PJ]	Fläche [km2]	SC [PJ]	Fläche [km2]	SC [PJ]	Fläche [km2]	SC [PJ]
Eisenstadt(Stadt)	101	25,84	14,81	-	-	-	-	-	-
Rust(Stadt)	102	9,50	5,44	-	-	-	-	-	-
Eisenstadt-Umgebung	103	395,88	226,92	-	-	-	-	-	-
Güssing	104	482,72	276,70	-	-	-	-	-	-
Jennersdorf	105	249,64	143,10	-	-	-	-	-	-
Mattersburg	106	226,61	129,90	-	-	10,52	7,09	-	-
Neusiedl am See	107	897,18	514,28	-	-	-	-	-	-
Oberpullendorf	108	666,01	381,76	-	-	32,18	21,68	-	-
Oberwart	109	667,17	382,43	-	-	59,86	40,33	-	-
Klagenfurt(Stadt)	201	81,87	46,93	-	-	17,58	11,84	-	-
Villach(Stadt)	202	61,94	35,51	2,87	0,84	59,28	39,94	0,04	0,00
Hermagor	203	39,74	22,78	223,93	65,71	425,14	286,43	113,98	2,25
KlagenfurtLand	204	316,70	181,54	49,93	14,65	351,73	236,97	15,45	0,30
Sankt Veit an der Glan	205	328,07	184,94	1.042,28	653,12	117,70	79,30	0,15	0,00
Spittal an der Drau	206	65,02	36,39	2.048,04	882,52	-	-	531,73	10,48
VillachLand	207	195,21	111,22	504,72	300,52	285,88	192,61	5,72	0,11
Völkermarkt	208	502,26	287,59	152,83	87,08	227,63	153,36	10,32	0,20
Wolfsberg	209	389,82	222,81	454,60	261,23	103,86	69,98	20,24	0,40
Feldkirchen	210	43,40	24,88	404,60	218,12	97,54	65,72	4,34	0,09
Krems a.d. Donau(Stadt)	301	48,01	27,52	-	-	-	-	-	-
Sankt Pölten(Stadt)	302	107,76	61,77	-	-	-	-	-	-
Waidhofen a.d. Y.(Stadt)	303	57,33	32,86	-	-	73,35	49,42	-	-
Wiener Neustadt(Stadt)	304	60,75	34,82	-	-	-	-	-	-
Amstetten	305	882,94	506,11	2,48	0,73	288,28	194,23	-	-
Baden	306	615,54	352,84	-	-	133,66	90,05	-	-
Bruck an der Leitha	307	476,98	273,41	-	-	-3,47	-2,34	-	-
Gänserndorf	308	1.259,32	721,85	-	-	-	-	-	-
Gmünd	309	413,25	236,88	-	-	357,10	240,59	-	-
Hollabrunn	310	1.007,38	577,44	-	-	-	-	-	-
Horn	311	780,53	447,41	-	-	0,31	0,21	-	-
Korneuburg	312	620,60	355,73	-	-	-	-	-	-
Krems(Land)	313	693,79	397,69	-	-	213,20	143,64	-	-
Lilienfeld	314	415,65	238,25	16,21	4,76	493,90	332,76	-	-
Melk	315	772,34	442,71	-	-	220,73	148,71	-	-
Mistelbach	316	1.285,00	736,58	-	-	-	-	-	-
Mödling	317	267,93	153,58	-	-	6,93	4,67	-	-
Neunkirchen	318	410,04	235,04	60,20	17,67	662,60	446,42	8,64	0,17
Sankt Pölten(Land)	319	954,03	546,86	-	-	156,87	105,69	-	-
Scheibbs	320	573,55	328,77	39,89	11,70	404,03	272,21	0,04	0,00
Tulln	321	631,54	362,00	-	-	-	-	-	-
Waidhofen an der Thaya	322	612,06	350,84	-	-	50,99	34,36	-	-
Wiener Neustadt(Land)	323	436,89	250,43	0,08	0,02	528,00	355,73	-	-
Wien-Umgebung	324	476,86	273,34	-	-	1,00	0,68	-	-
Zwettl	325	586,13	335,98	-	-	804,84	542,25	-	-
Linz(Stadt)	401	80,37	46,07	-	-	1,04	0,70	-	-
Steyr(Stadt)	402	26,56	15,22	-	-	-	-	-	-
Wels(Stadt)	403	45,08	25,84	-	-	-	-	-	-
Braunau am Inn	404	935,38	536,17	-	-	93,09	62,72	-	-
Eferding	405	249,84	143,21	-	-	1,99	1,34	-	-
Freistadt	406	211,27	121,10	-	-	779,10	524,91	-	-
Gmunden	407	616,68	353,49	135,28	39,70	537,66	362,24	85,38	1,68

Fortsetzung Appendix C.5

PolitischerBezirk	Code	Laubwald		Nadelwald		Mischwald		alpine Vegetation	
		Fläche [km2]	SC [PJ]	Fläche [km2]	SC [PJ]	Fläche [km2]	SC [PJ]	Fläche [km2]	SC [PJ]
Grieskirchen	408	563,93	323,25	-	-	12,41	8,36	-	-
KirchdorfanderKrems	409	448,39	257,02	99,65	29,24	645,09	434,62	40,17	0,79
Linz-Land	410	455,69	261,21	-	-	-	-	-	-
Perg	411	443,30	254,10	-	-	160,73	108,29	-	-
RiedimInnkreis	412	501,73	287,60	-	-	73,94	49,82	-	-
Rohrbach	413	294,32	168,71	-	-	523,29	352,56	-	-
Schärding	414	553,87	317,49	-	-	55,38	37,31	-	-
Steyr-Land	415	584,26	334,90	2,19	0,64	375,37	252,90	-	-
Urfahr-Umgebung	416	261,77	150,05	-	-	379,09	255,41	-	-
Vöcklabruck	417	606,79	347,82	11,78	3,46	406,92	274,16	0,07	0,00
Wels-Land	418	451,51	258,81	-	-	-	-	-	-
Salzburg(Stadt)	501	55,05	31,56	-	-	8,66	5,83	-	-
Hallein	502	183,76	105,33	95,56	28,04	343,39	231,36	41,56	0,82
Salzburg-Umgebung	503	433,38	248,42	18,44	5,41	516,56	348,02	-	-
SanktJohannimPongau	504	7,71	4,42	1.326,99	633,61	218,67	147,32	182,33	3,59
Tamsweg	505	-	-	890,05	349,48	-	-	126,15	2,49
ZellamSee	506	7,17	4,11	1.747,42	748,89	310,97	209,51	472,09	9,30
Graz(Stadt)	601	122,78	70,38	-	-	3,67	2,47	-	-
BruckanderMur	602	273,41	155,98	513,07	296,02	481,16	324,17	32,18	0,63
Deutschlandsberg	603	434,28	248,93	58,14	17,06	359,63	242,29	5,63	0,11
Feldbach	604	723,02	414,44	-	-	-	-	-	-
Fürstenfeld	605	261,20	149,72	-	-	-	-	-	-
Graz-Umgebung	606	642,30	368,17	17,65	5,18	433,41	292,01	1,67	0,03
Hartberg	607	476,32	273,03	9,70	2,85	463,19	312,07	-	-
Judenburg	608	-	-	1.085,72	597,80	-	-	7,19	0,14
Knittelfeld	609	2,66	1,49	566,71	332,52	-	-	5,05	0,10
Leibnitz	610	665,50	381,47	-	-	9,24	6,22	-	-
Leoben	611	33,83	19,01	877,63	527,64	171,07	115,25	10,81	0,21
Liezen	612	156,25	89,42	2.105,84	1.020,07	827,24	557,35	155,53	3,06
Mürzzuschlag	613	15,95	8,95	572,79	371,99	255,25	171,97	2,02	0,04
Murau	614	-	-	1.339,36	625,16	-	-	39,59	0,78
Radkersburg	615	332,14	190,38	-	-	-	-	-	-
Voitsberg	616	184,10	105,53	53,87	15,81	435,27	293,26	1,30	0,03
Weiz	617	434,34	248,97	35,58	10,44	595,28	401,06	-	-
Innsbruck-Stadt	701	12,26	6,86	78,81	39,95	-	-	9,70	0,19
Imst	702	1,59	0,89	1.021,11	398,40	-	-	559,54	11,02
Innsbruck-Land	703	36,46	20,41	1.385,37	594,78	54,02	36,40	440,46	8,68
Kitzbühel	704	5,94	3,39	757,69	396,88	375,19	252,78	19,38	0,38
Kufstein	705	125,21	71,06	437,45	240,22	388,62	261,83	10,49	0,21
Landeck	706	0,55	0,31	859,67	312,48	-	-	614,68	12,11
Lienz	707	-	-	1.229,45	469,91	3,22	2,17	623,51	12,28
Reutte	708	3,33	1,90	864,20	347,43	240,80	162,24	109,58	2,16
Schwaz	709	49,02	27,48	1.031,91	407,67	258,18	173,95	425,16	8,38
Bludenz	801	30,31	17,37	711,13	246,50	193,41	130,31	328,64	6,47
Bregenz	802	110,59	63,39	160,90	47,22	475,79	320,56	73,39	1,45
Dornbirn	803	61,88	35,47	22,75	6,68	83,84	56,49	0,83	0,02
Feldkirch	804	117,97	67,62	33,40	9,80	117,48	79,15	4,37	0,09
Wien(Stadt)	900	400,81	229,75	-	-	-	-	-	-
Gesamt		33.822,58	19.378,28	25.159,88	11.697,62	17.849,56	12.025,97	5.139,07	101,24

Appendix C.6 Standing Crop der aktuellen Vegetation – Trockenmasse*

pol.Bezirk	Code	Wald [1000t]	Acker [1000t]	Grünland [1000t]	Gartenländer [1000t]	Hochalmen [1000t]	alpine Rasen u. Matten [1000t]	Summe [1000t]
Eisenstadt(Stadt)	101	64,00	4,74	1,79	26,85	-	-	97,37
Rust(Stadt)	102	40,98	0,39	0,33	16,12	-	-	57,82
Eisenstadt-Umgebung	103	2.889,45	87,42	15,82	174,71	-	-	3.167,40
Güssing	104	5.017,58	153,42	24,13	63,11	-	-	5.258,24
Jennersdorf	105	2.299,37	93,83	16,44	39,36	-	-	2.449,00
Mattersburg	106	2.182,75	62,05	6,25	28,49	-	-	2.279,54
NeusiedlamSee	107	3.013,78	456,09	27,42	397,50	-	-	3.894,79
Oberpullendorf	108	6.034,82	186,38	14,14	98,04	-	-	6.333,38
Oberwart	109	7.751,45	189,21	33,04	66,34	-	-	8.040,04
Klagenfurt(Stadt)	201	908,42	30,69	9,93	9,14	-	-	958,18
Villach(Stadt)	202	1.549,04	9,41	9,44	9,41	-	0,04	1.577,34
Hermagor	203	9.419,62	15,42	85,19	6,94	22,95	100,30	9.650,41
KlagenfurtLand	204	10.661,90	107,07	60,51	22,12	0,38	23,16	10.875,15
SanktVeit a.d. Glan	205	14.584,57	125,85	168,25	24,22	3,13	48,81	14.954,83
Spittal a.d. Drau	206	21.811,74	40,24	202,41	21,71	241,67	458,14	22.775,92
VillachLand	207	12.873,75	40,74	95,79	20,16	11,03	16,85	13.058,32
Völkermarkt	208	10.562,12	127,00	68,57	26,93	1,03	12,76	10.798,40
Wolfsberg	209	9.286,45	83,70	131,47	42,25	11,75	16,80	9.572,42
Feldkirchen	210	4.951,66	25,15	90,55	9,21	20,38	9,83	5.106,79
Krems a.d. Donau(Stadt)	301	488,43	3,88	1,22	38,18	-	-	531,71
SanktPölten(Stadt)	302	811,88	54,15	1,80	5,49	-	-	873,32
Waidhofen a. d. Y. (Stadt)	303	1.175,41	2,11	36,73	0,89	-	-	1.215,14
WienerNeustadt(Stadt)	304	747,51	6,29	1,05	1,02	-	-	755,86
Amstetten	305	8.758,76	293,85	184,48	62,31	-	-	9.299,41
Baden	306	8.962,85	149,09	30,86	82,20	-	-	9.225,00
Bruck a.d. Leitha	307	3.397,47	252,70	4,95	36,63	-	-	3.691,75
Gänserndorf	308	4.128,55	659,96	14,77	117,83	-	-	4.921,10
Gmünd	309	8.315,56	99,18	81,57	5,91	-	-	8.502,22
Hollabrunn	310	4.546,95	449,58	7,01	314,92	-	-	5.318,46
Horn	311	4.171,44	402,87	17,94	52,73	-	-	4.644,97
Korneuburg	312	2.508,24	309,39	4,37	32,78	-	-	2.854,77
Krems(Land)	313	9.066,21	178,24	55,40	305,91	-	-	9.605,76
Lilienfeld	314	15.072,10	5,56	85,81	10,85	0,55	-	15.174,87
Melk	315	8.099,99	263,59	104,60	64,47	-	-	8.532,65
Mistelbach	316	4.189,99	656,45	5,76	189,25	-	-	5.041,45
Mödling	317	3.437,94	50,44	11,95	39,41	-	-	3.539,73
Neunkirchen	318	14.843,40	103,72	75,42	62,23	1,46	7,47	15.093,72
SanktPölten(Land)	319	9.908,76	385,60	118,61	91,48	-	-	10.504,46
Scheibbs	320	11.857,14	72,02	142,91	17,69	0,31	-	12.090,06
Tulln	321	3.471,42	283,46	8,27	109,01	-	-	3.872,16
Waidhofen a.d. Thaya	322	4.218,61	272,05	45,69	10,17	-	-	4.546,51
WienerNeustadt(Land)	323	10.651,85	172,03	55,99	42,90	-	-	10.922,77
Wien-Umgebung	324	5.997,28	125,20	9,45	19,13	-	-	6.151,06
Zwettl	325	13.855,98	256,78	141,77	12,67	-	-	14.267,20
Linz(Stadt)	401	647,31	12,22	5,54	5,32	-	-	670,40
Steyr(Stadt)	402	276,24	7,53	0,87	1,65	-	-	286,30
Wels(Stadt)	403	324,00	17,81	1,34	1,10	-	-	344,24
BraunauamInn	404	8.739,40	244,39	172,04	60,87	-	-	9.216,71
Eferding	405	1.555,70	109,97	25,79	30,23	-	-	1.721,69
Freistadt	406	7.687,52	149,34	164,94	19,30	-	-	8.021,10
Gmunden	407	21.959,25	79,53	84,33	27,07	2,58	104,22	22.256,98

Fortsetzung Appendix C.6

pol.Bezirk	Code	Wald [1000t]	Acker [1000t]	Grünland [1000t]	Gartenländer [1000t]	Hochalmen [1000t]	alpine Rasen u. Matten [1000t]	Summe [1000t]
Grieskirchen	408	2.760,21	234,37	91,48	52,49	-	-	3.138,55
Kirchdorf a.d. Krems	409	17.051,26	133,55	127,10	34,62	-	57,02	17.403,55
Linz-Land	410	2.241,90	265,54	11,60	44,38	-	-	2.563,43
Perg	411	4.293,57	194,48	74,70	33,04	-	-	4.595,79
RiedimInnkreis	412	3.151,14	229,02	94,10	37,51	-	-	3.511,77
Rohrbach	413	6.194,10	111,14	163,05	28,99	-	-	6.497,27
Schärding	414	3.894,96	185,68	102,18	27,34	-	-	4.210,16
Steyr-Land	415	12.445,97	150,74	119,17	27,41	-	-	12.743,29
Urfahr-Umgebung	416	4.511,38	129,03	110,49	24,46	-	-	4.775,35
Vöcklabruck	417	12.184,35	150,21	163,50	63,07	-	0,07	12.561,19
Wels-Land	418	2.433,32	270,02	22,23	48,78	-	-	2.774,35
Salzburg(Stadt)	501	745,22	1,91	9,32	2,34	-	-	758,79
Hallein	502	7.406,61	0,68	121,26	6,94	-	53,01	7.588,50
Salzburg-Umgebung	503	10.878,17	23,96	223,66	29,68	-	2,39	11.157,86
SanktJohannimPongau	504	14.070,16	1,28	276,12	8,41	86,63	241,77	14.684,37
Tamsweg	505	7.671,89	5,00	110,46	4,40	90,42	138,49	8.020,66
ZellamSee	506	18.130,33	1,08	387,83	4,88	142,50	529,31	19.195,92
Graz(Stadt)	601	1.407,22	13,06	9,58	16,50	-	-	1.446,37
Bruck a.d. Mur	602	20.748,58	8,92	98,03	7,14	6,31	40,96	20.909,94
Deutschlandsberg	603	10.666,06	116,27	109,06	83,68	3,14	3,59	10.981,80
Feldbach	604	6.423,10	329,50	62,87	185,43	-	-	7.000,91
Fürstenfeld	605	2.547,30	113,51	12,63	37,32	-	-	2.710,76
Graz-Umgebung	606	13.834,66	139,58	123,17	86,31	1,12	-	14.184,84
Hartberg	607	9.953,07	227,41	109,77	89,37	-	-	10.379,62
Judenburg	608	11.486,26	37,56	117,08	7,83	45,86	38,41	11.733,01
Knittelfeld	609	7.012,90	21,73	64,96	5,43	19,35	25,01	7.149,37
Leibnitz	610	6.583,97	242,20	64,20	122,61	-	-	7.012,97
Leoben	611	18.355,38	9,92	75,93	6,94	16,17	19,70	18.484,05
Liezen	612	40.067,67	9,16	335,25	13,50	49,44	436,37	40.911,38
Mürzzuschlag	613	13.333,37	5,30	74,13	8,14	5,32	0,55	13.426,81
Murau	614	11.740,00	18,11	158,16	5,56	76,17	52,11	12.050,12
Radkersburg	615	2.921,29	158,34	16,76	78,46	-	-	3.174,85
Voitsberg	616	7.502,04	33,22	100,85	22,06	2,25	1,05	7.661,48
Weiz	617	12.296,42	147,40	151,96	232,33	-	-	12.828,11
Innsbruck-Stadt	701	979,61	2,27	8,11	2,47	0,75	24,78	1.018,00
Imst	702	9.521,56	10,53	75,05	4,19	129,50	600,89	10.341,71
Innsbruck-Land	703	15.820,42	28,98	159,83	8,62	114,51	503,99	16.636,35
Kitzbühel	704	8.568,25	0,93	304,54	2,78	31,33	55,41	8.963,25
Kufstein	705	10.513,98	9,28	177,79	13,40	3,36	40,94	10.758,75
Landeck	706	8.978,79	3,55	69,40	3,78	188,42	439,12	9.683,06
Lienz	707	10.514,87	10,48	100,81	4,88	255,74	451,99	11.338,78
Reutte	708	11.562,13	0,03	108,19	0,27	44,62	284,66	11.999,91
Schwaz	709	13.397,97	7,57	191,14	10,79	122,79	412,99	14.143,25
Bludenz	801	7.159,39	2,28	170,89	2,16	137,16	294,17	7.766,06
Bregenz	802	6.893,02	3,35	206,87	6,59	24,93	55,47	7.190,23
Dornbirn	803	1.991,07	2,52	30,47	1,65	1,61	-	2.027,33
Feldkirch	804	3.740,87	11,70	40,55	4,77	3,99	4,60	3.806,50
Wien(Stadt)	900	3.800,30	40,96	13,10	70,14	-	-	3.924,49
Gesamt		770.162,64	11.821,08	8.314,10	4.598,04	1.920,62	5.607,23	802.423,70

*Kohlenstoffgehalt: 45% der Trockenmasse

Appendix C.7 Standing Crop der aktuellen Vegetation – Energieeinheiten

pol.Bezirk	Code	Fläche [km ²]	Wald [PJ]	Acker [PJ]	Grünland [PJ]	Gartenlän der [PJ]	Hochalmen [PJ]	alpine Rasen und Matten [PJ]	Summe [PJ]
Eisenstadt(Stadt)	101	42,90	1,25	0,09	0,03	0,52	-	-	1,89
Rust(Stadt)	102	20,01	0,80	0,01	0,01	0,31	-	-	1,13
Eisenstadt-Umgebung	103	453,18	56,63	1,62	0,28	3,37	-	-	61,90
Güssing	104	485,35	98,34	2,82	0,42	1,23	-	-	102,81
Jennersdorf	105	253,35	45,07	1,72	0,29	0,77	-	-	47,84
Mattersburg	106	237,87	42,78	1,13	0,11	0,55	-	-	44,58
NeusiedlamSee	107	1.038,66	59,07	8,36	0,48	7,68	-	-	75,59
Oberpullendorf	108	701,52	118,28	3,43	0,25	1,90	-	-	123,86
Oberwart	109	732,70	151,93	3,48	0,58	1,29	-	-	157,28
Klagenfurt(Stadt)	201	120,02	17,81	0,56	0,17	0,18	-	-	18,72
Villach(Stadt)	202	134,82	30,36	0,17	0,17	0,18	-	0,00	30,88
Hermagor	203	807,38	184,62	0,28	1,50	0,14	0,46	1,98	188,97
KlagenfurtLand	204	765,41	208,97	1,96	1,06	0,43	0,01	0,46	212,89
SanktVeitanderGlan	205	1.493,35	285,86	2,30	2,95	0,47	0,06	0,96	292,61
SpittalanderDrau	206	2.764,02	427,51	0,74	3,55	0,42	4,83	9,03	446,08
VillachLand	207	1.009,02	252,33	0,75	1,68	0,39	0,22	0,33	255,70
Völkermarkt	208	906,91	207,02	2,32	1,20	0,52	0,02	0,25	211,34
Wolfsberg	209	973,70	182,01	1,53	2,31	0,82	0,24	0,33	187,25
Feldkirchen	210	558,49	97,05	0,46	1,59	0,18	0,41	0,19	99,88
KremsanderDonau(Stadt)	301	51,60	9,57	0,07	0,02	0,74	-	-	10,40
SanktPölten(Stadt)	302	108,51	15,91	0,99	0,03	0,11	-	-	17,04
WaidhofenanderYbbs(Stadt)	303	131,52	23,04	0,04	0,64	0,02	-	-	23,74
WienerNeustadt(Stadt)	304	60,97	14,65	0,12	0,02	0,02	-	-	14,80
Amstetten	305	1.187,66	171,67	5,38	3,24	1,21	-	-	181,50
Baden	306	753,01	175,67	2,75	0,54	1,59	-	-	180,55
BruckanderLeitha	307	494,52	66,59	4,63	0,09	0,71	-	-	72,02
Gänserndorf	308	1.271,07	80,92	12,09	0,26	2,28	-	-	95,55
Gmünd	309	786,24	162,98	1,81	1,43	0,12	-	-	166,34
Hollabrunn	310	1.010,88	89,12	8,28	0,12	6,08	-	-	103,61
Horn	311	784,03	81,76	7,37	0,32	1,02	-	-	90,47
Korneuburg	312	626,30	49,16	5,70	0,08	0,64	-	-	55,57
Krems(Land)	313	924,54	177,70	3,26	0,97	5,92	-	-	187,85
Lilienfeld	314	931,35	295,41	0,10	1,51	0,21	0,01	-	297,24
Melk	315	1.013,00	158,76	4,82	1,84	1,26	-	-	166,67
Mistelbach	316	1.291,18	82,12	12,07	0,10	3,66	-	-	97,95
Mödling	317	276,97	67,38	0,93	0,21	0,76	-	-	69,28
Neunkirchen	318	1.146,02	290,93	1,90	1,32	1,21	0,03	0,15	295,55
SanktPölten(Land)	319	1.121,32	194,21	7,07	2,08	1,78	-	-	205,14
Scheibbs	320	1.023,26	232,40	1,32	2,51	0,34	0,01	-	236,58
Tulln	321	657,74	68,04	5,22	0,15	2,11	-	-	75,51
WaidhofenanderThaya	322	669,09	82,68	4,98	0,80	0,20	-	-	88,66
WienerNeustadt(Land)	323	969,47	208,78	3,16	0,98	0,83	-	-	213,75
Wien-Umgebung	324	484,45	117,55	2,31	0,17	0,37	-	-	120,39
Zwettl	325	1.399,05	271,58	4,70	2,49	0,25	-	-	279,01
Linz(Stadt)	401	95,97	12,69	0,23	0,10	0,10	-	-	13,11
Steyr(Stadt)	402	26,56	5,41	0,14	0,02	0,03	-	-	5,60
Wels(Stadt)	403	45,92	6,35	0,33	0,02	0,02	-	-	6,72
BraunauamInn	404	1.040,19	171,29	4,49	3,02	1,19	-	-	179,99
Eferding	405	259,65	30,49	2,02	0,45	0,59	-	-	33,55
Freistadt	406	993,90	150,68	2,74	2,90	0,38	-	-	156,69
Gmunden	407	1.432,35	430,40	1,46	1,48	0,53	0,05	2,05	435,97

Fortsetzung Appendix C.7

pol.Bezirk	Code	Fläche [km ²]	Wald [PJ]	Acker [PJ]	Grünland [PJ]	Gartenlän der [PJ]	Hochalmen [PJ]	alpine Rasen und Matten [PJ]	Summe [PJ]
Grieskirchen	408	579,13	54,10	4,29	1,61	1,02	-	-	61,02
KirchdorfanderKrems	409	1.239,59	334,20	2,44	2,23	0,67	-	1,12	340,68
Linz-Land	410	461,35	43,94	4,89	0,20	0,86	-	-	49,90
Perg	411	611,84	84,15	3,57	1,31	0,64	-	-	89,68
RiedimInnkreis	412	585,14	61,76	4,20	1,65	0,73	-	-	68,35
Rohrbach	413	827,68	121,40	2,03	2,86	0,56	-	-	126,87
Schärding	414	618,19	76,34	3,40	1,79	0,53	-	-	82,07
Steyr-Land	415	971,52	243,94	2,77	2,09	0,53	-	-	249,34
Urfahr-Umgebung	416	649,10	88,42	2,37	1,94	0,48	-	-	93,21
Vöcklabruck	417	1.084,13	238,81	2,76	2,87	1,23	-	0,00	245,67
Wels-Land	418	457,50	47,69	4,95	0,39	0,95	-	-	53,98
Salzburg (Stadt)	501	65,64	14,61	0,04	0,16	0,05	-	-	14,85
Hallein	502	668,29	145,17	0,01	2,13	0,14	-	1,04	148,49
Salzburg-Umgebung	503	1.004,07	213,21	0,44	3,93	0,58	-	0,05	218,20
SanktJohannimPongau	504	1.755,25	275,78	0,02	4,85	0,16	1,73	4,76	287,31
Tamsweg	505	1.019,56	150,37	0,09	1,94	0,09	1,81	2,73	157,02
ZellamSee	506	2.641,34	355,35	0,02	6,81	0,10	2,85	10,43	375,56
Graz (Stadt)	601	127,52	27,58	0,24	0,17	0,32	-	-	28,31
BruckanderMur	602	1.307,01	406,67	0,16	1,72	0,14	0,13	0,81	409,63
Deutschlandsberg	603	863,11	209,05	2,13	1,92	1,63	0,06	0,07	214,86
Feldbach	604	726,96	125,89	6,03	1,10	3,61	-	-	136,63
Fürstenfeld	605	263,88	49,93	2,07	0,22	0,73	-	-	52,95
Graz-Umgebung	606	1.100,84	271,16	2,55	2,16	1,68	0,02	-	277,58
Hartberg	607	954,99	195,08	4,16	1,93	1,74	-	-	202,91
Judenburg	608	1.097,07	225,13	0,69	2,06	0,15	0,92	0,76	229,70
Knittelfeld	609	577,94	137,45	0,40	1,14	0,11	0,39	0,49	139,98
Leibnitz	610	681,28	129,05	4,43	1,13	2,38	-	-	136,98
Leoben	611	1.099,79	359,77	0,18	1,33	0,14	0,32	0,39	362,13
Liezen	612	3.270,20	785,33	0,17	5,89	0,26	0,99	8,60	801,23
Mürzzuschlag	613	848,51	261,33	0,10	1,30	0,16	0,11	0,01	263,01
Murau	614	1.384,59	230,10	0,33	2,78	0,11	1,52	1,03	235,87
Radkersburg	615	336,73	57,26	2,89	0,29	1,53	-	-	61,97
Voitsberg	616	678,33	147,04	0,61	1,77	0,43	0,05	0,02	149,91
Weiz	617	1.069,34	241,01	2,70	2,67	4,53	-	-	250,90
Innsbruck-Stadt	701	104,89	19,20	0,04	0,14	0,05	0,01	0,49	19,94
Imst	702	1.725,61	186,62	0,19	1,32	0,08	2,59	11,84	202,64
Innsbruck-Land	703	1.990,32	310,08	0,53	2,81	0,17	2,29	9,93	325,81
Kitzbühel	704	1.163,13	167,94	0,02	5,35	0,05	0,63	1,09	175,08
Kufstein	705	969,63	206,07	0,17	3,12	0,26	0,07	0,81	210,50
Landeck	706	1.594,77	175,98	0,07	1,22	0,07	3,77	8,65	189,76
Lienz	707	2.019,98	206,09	0,19	1,77	0,10	5,11	8,90	222,17
Reutte	708	1.236,69	226,62	0,00	1,90	0,01	0,89	5,61	235,02
Schwaz	709	1.842,99	262,60	0,14	3,36	0,21	2,46	8,14	276,90
Bludenz	801	1.287,49	140,32	0,04	3,00	0,04	2,74	5,80	151,95
Bregenz	802	863,31	135,10	0,06	3,63	0,13	0,50	1,09	140,52
Dornbirn	803	172,38	39,03	0,05	0,54	0,03	0,03	-	39,67
Feldkirch	804	278,22	73,32	0,22	0,71	0,09	0,08	0,09	74,51
Wien (Stadt)	900	414,95	74,49	0,75	0,23	1,36	-	-	76,82
Gesamt		83.858,65	15.095,19	216,79	146,00	89,22	38,41	110,46	15.696,07

Appendix C.8 Beeinflussung des oberirdischen Standing Crop und Turnover

PolitischerBezirk	Code	SCpot		SCakt		Anteil verblieben [DM] [%]	Turnover pot. Veg. [a]	Turnover akt. Veg. [a]	Beschleu- nung Turnover [Faktor]
		[kg/m ²]	[MJ/m ²]	[kg/m ²]	[MJ/m ²]				
Eisenstadt(Stadt)	101	29,70	573,21	3,78	73,33	12,71%	27,56	5,86	4,70
Rust(Stadt)	102	29,70	573,21	6,11	119,07	20,56%	27,56	8,49	3,24
Eisenstadt-Umgebung	103	29,70	573,21	7,97	155,68	26,82%	27,56	9,46	2,91
Güssing	104	29,70	573,21	10,96	214,20	36,89%	27,56	11,59	2,38
Jennersdorf	105	29,70	573,21	9,86	192,60	33,20%	27,56	10,30	2,67
Mattersburg	106	29,90	577,67	9,67	189,20	32,36%	27,85	10,42	2,67
Neusiedl am See	107	29,70	573,21	4,28	83,11	14,42%	27,56	4,98	5,54
Oberpullendorf	108	29,91	577,84	9,13	178,46	30,51%	27,86	10,13	2,75
Oberwart	109	30,07	581,48	11,12	217,61	36,99%	28,10	12,63	2,22
Klagenfurt(Stadt)	201	30,50	590,98	9,64	188,38	31,62%	28,73	11,04	2,60
Villach(Stadt)	202	31,49	614,60	12,72	249,13	40,41%	30,62	14,72	2,08
Hermagor	203	23,80	469,87	12,03	235,67	50,57%	28,28	16,29	1,74
KlagenfurtLand	204	30,23	590,70	14,84	290,49	49,10%	30,32	16,16	1,88
Sankt Veit an der Glan	205	31,37	616,42	10,01	195,86	31,91%	32,56	11,57	2,82
Spittal an der Drau	206	17,14	340,06	8,34	163,27	48,63%	26,09	14,23	1,83
VillachLand	207	31,01	609,62	13,19	258,23	42,52%	32,36	15,12	2,14
Völkermarkt	208	30,35	591,49	12,11	236,98	39,90%	29,86	12,97	2,30
Wolfsberg	209	29,25	572,46	9,88	193,28	33,79%	30,20	11,70	2,58
Feldkirchen	210	28,45	561,61	9,29	181,72	32,65%	31,60	12,20	2,59
Krems an der Donau(Stadt)	301	29,70	573,21	11,16	218,44	37,59%	27,56	13,33	2,07
Sankt Pölten(Stadt)	302	29,70	573,21	8,15	158,96	27,43%	27,56	8,74	3,15
Waidhofen a.d. Y. (Stadt)	303	32,23	629,64	9,17	179,15	28,46%	31,36	10,70	2,93
Wiener Neustadt(Stadt)	304	29,70	573,21	12,57	246,22	42,33%	27,56	14,31	1,93
Amstetten	305	30,77	597,31	7,96	155,33	25,86%	29,20	8,86	3,30
Baden	306	30,50	591,14	12,42	243,01	40,70%	28,74	13,63	2,11
Bruck an der Leitha	307	29,70	573,21	7,42	144,70	24,97%	27,56	8,10	3,40
Gänserndorf	308	29,70	573,21	3,83	74,45	12,91%	27,56	4,32	6,38
Gmünd	309	31,78	619,76	11,13	217,71	35,01%	30,68	12,71	2,41
Hollabrunn	310	29,70	573,21	5,24	102,08	17,64%	27,56	6,13	4,49
Horn	311	29,70	573,25	5,98	116,39	20,12%	27,56	6,62	4,16
Korneuburg	312	29,70	573,21	4,59	89,28	15,44%	27,56	5,06	5,45
Krems(Land)	313	30,76	596,84	10,51	205,47	34,16%	29,12	11,92	2,44
Lilienfeld	314	31,84	621,94	16,57	324,50	52,04%	31,15	17,54	1,78
Melk	315	30,70	595,54	8,64	168,84	28,16%	29,03	9,38	3,10
Mistelbach	316	29,70	573,21	3,93	76,26	13,22%	27,56	4,65	5,93
Mödling	317	29,81	575,75	12,90	252,52	43,27%	27,72	14,55	1,91
Neunkirchen	318	31,30	612,61	13,36	261,59	42,68%	31,14	14,60	2,13
Sankt Pölten(Land)	319	30,34	587,40	9,43	184,12	31,08%	28,49	10,00	2,85
Scheibbs	320	30,89	602,13	11,88	232,40	38,44%	30,02	13,38	2,24
Tulln	321	29,70	573,21	6,10	118,90	20,53%	27,56	6,54	4,21
Waidhofen an der Thaya	322	30,05	580,94	6,89	134,36	22,93%	28,06	7,90	3,55
Wiener Neustadt(Land)	323	32,16	628,19	11,41	223,23	35,47%	31,26	12,70	2,46
Wien-Umgebung	324	29,71	573,42	12,92	252,79	43,47%	27,57	13,88	1,99
Zwettl	325	32,30	631,37	10,34	202,11	31,99%	31,48	11,46	2,75
Linz(Stadt)	401	29,76	574,50	8,24	161,11	27,68%	27,64	11,19	2,47
Steyr(Stadt)	402	29,70	573,21	10,78	210,92	36,30%	27,56	12,87	2,14
Wels(Stadt)	403	29,70	573,21	7,64	149,13	25,71%	27,56	9,53	2,89
Braunau am Inn	404	30,11	582,30	8,96	174,99	29,76%	28,15	9,47	2,97
Eferding	405	29,74	574,00	6,84	133,24	22,99%	27,61	7,19	3,84
Freistadt	406	33,24	652,29	8,10	158,23	24,37%	32,97	9,44	3,49
Gmunden	407	28,19	550,64	16,19	317,15	57,43%	29,21	17,82	1,64

Fortsetzung Appendix C.8

PolitischerBezirk	Code	SCpot		SCakt		Anteil verblieben [DM] [%]	Turnover pot. Veg. [a]	Turnover akt. Veg. [a]	Beschleu- nigung Turnover [Faktor]
		[kg/m ²]	[MJ/m ²]	[kg/m ²]	[MJ/m ²]				
Grieskirchen	408	29,80	575,37	5,45	105,89	18,28%	27,70	5,99	4,63
KirchdorfanderKrems	409	29,90	585,15	14,11	276,28	47,21%	30,44	15,64	1,95
Linz-Land	410	29,70	573,21	5,63	109,51	18,94%	27,56	5,60	4,92
Perg	411	30,90	599,96	7,61	148,49	24,63%	29,33	8,01	3,66
RiedimInnkreis	412	30,28	586,12	6,09	118,61	20,13%	28,40	6,43	4,42
Rohrbach	413	32,58	637,53	7,95	155,19	24,40%	31,92	8,88	3,60
Schärding	414	30,11	582,34	6,91	134,72	22,95%	28,16	7,54	3,73
Steyr-Land	415	31,42	611,79	13,25	259,29	42,17%	30,18	14,44	2,09
Urfahr-Umgebung	416	32,36	632,66	7,45	145,46	23,03%	31,57	8,57	3,68
Vöcklabruck	417	31,31	609,82	12,25	239,59	39,13%	30,13	13,30	2,27
Wels-Land	418	29,70	573,21	6,13	119,30	20,64%	27,56	6,45	4,27
Salzburg(Stadt)	501	30,31	586,80	11,95	233,85	39,42%	28,45	14,67	1,94
Hallein	502	28,06	550,31	11,46	224,29	40,85%	29,77	14,07	2,12
Salzburg-Umgebung	503	31,81	621,50	11,54	225,76	36,29%	31,13	13,17	2,36
SanktJohannimPongau	504	22,87	453,08	8,45	165,24	36,93%	29,17	12,86	2,27
Tamsweg	505	17,39	346,39	7,90	154,71	45,44%	24,61	13,48	1,83
ZellamSee	506	18,76	372,20	7,33	143,33	39,04%	27,09	12,69	2,13
Graz(Stadt)	601	29,83	576,12	11,44	223,92	38,35%	27,75	14,06	1,97
BruckanderMur	602	30,42	597,63	16,07	314,89	52,83%	31,71	18,12	1,75
Deutschlandsberg	603	30,37	592,76	12,81	250,56	42,16%	29,98	13,90	2,16
Feldbach	604	29,70	573,21	9,68	188,99	32,61%	27,56	9,35	2,95
Fürstenfeld	605	29,70	573,21	10,38	202,74	34,95%	27,56	10,26	2,68
Graz-Umgebung	606	31,19	607,64	12,96	253,52	41,53%	30,12	13,96	2,16
Hartberg	607	31,74	619,40	10,94	213,80	34,45%	30,81	12,21	2,52
Judenburg	608	27,64	547,13	10,73	210,03	38,81%	31,97	13,74	2,33
Knittelfeld	609	29,43	581,66	12,45	243,71	42,29%	33,33	15,27	2,18
Leibnitz	610	29,76	574,59	10,39	203,03	34,93%	27,65	10,45	2,64
Leoben	611	30,69	605,60	16,91	331,28	55,11%	33,11	19,30	1,72
Liezen	612	26,05	514,65	12,61	246,96	48,41%	30,43	16,49	1,85
Mürzzuschlag	613	33,15	653,60	15,87	310,93	47,88%	34,57	18,12	1,91
Murau	614	22,89	453,95	8,74	171,07	38,18%	27,35	11,86	2,31
Radkersburg	615	29,70	573,21	9,56	186,61	32,19%	27,56	9,68	2,85
Voitsberg	616	31,34	614,67	11,36	222,25	36,24%	31,64	12,60	2,51
Weiz	617	31,71	620,04	12,04	235,58	37,98%	31,22	13,23	2,36
Innsbruck-Stadt	701	23,65	466,49	10,20	199,80	43,14%	29,64	15,66	1,89
Imst	702	12,00	238,57	6,01	117,77	50,10%	24,19	13,49	1,79
Innsbruck-Land	703	16,79	333,22	8,38	164,18	49,93%	26,08	14,88	1,75
Kitzbühel	704	28,54	564,18	7,48	146,10	26,20%	32,15	10,41	3,09
Kufstein	705	30,28	596,15	11,29	220,98	37,29%	32,06	13,28	2,41
Landeck	706	10,26	204,55	6,11	119,77	59,59%	22,22	14,02	1,58
Lienz	707	12,09	240,75	5,66	110,84	46,79%	24,18	12,09	2,00
Reutte	708	21,27	421,93	9,95	194,97	46,79%	28,45	14,69	1,94
Schwaz	709	17,07	338,44	7,78	152,37	45,58%	26,20	13,22	1,98
Bludenz	801	15,80	313,39	6,03	117,92	38,14%	25,27	11,30	2,24
Bregenz	802	26,79	527,26	8,81	172,26	32,90%	29,88	11,70	2,55
Dornbirn	803	29,76	582,67	12,11	237,05	40,71%	30,24	14,28	2,12
Feldkirch	804	29,33	573,38	14,10	275,99	48,07%	29,87	17,13	1,74
Wien(Stadt)	900	29,70	573,21	9,79	191,67	32,97%	27,56	13,35	2,06
Gesamt		26,72	522,51	9,70	189,82	36,32%	29,17	12,13	2,40

Appendix C.9 Beeinflussung der Wälder

pol.Bezirk	Code	SCpot [kg/m ²]	SCakt [kg/m ²]	SCpot [MJ/m ²]	SCakt [MJ/m ²]	Anteil lverblieben [% DM]
Eisenstadt(Stadt)	101	29,70	16,28	573,21	319,10	54,8%
Rust(Stadt)	102	29,70	16,28	573,21	319,10	54,8%
Eisenstadt-Umgebung	103	29,70	16,28	573,21	319,10	54,8%
Güssing	104	29,70	20,64	573,21	404,48	69,5%
Jennersdorf	105	29,70	20,64	573,21	404,48	69,5%
Mattersburg	106	29,90	16,28	577,67	319,10	54,5%
Neusiedl am See	107	29,70	16,28	573,21	319,10	54,8%
Oberpullendorf	108	29,91	16,28	577,84	319,10	54,4%
Oberwart	109	30,07	20,64	581,48	404,48	68,6%
Klagenfurt(Stadt)	201	30,50	22,82	590,98	447,25	74,8%
Villach(Stadt)	202	31,50	18,59	614,77	364,28	59,0%
Hermagor	203	27,57	20,53	544,34	402,43	74,5%
Klagenfurt Land	204	30,85	22,82	602,97	447,25	74,0%
Sankt Veit an der Glan	205	31,37	14,90	616,48	292,03	47,5%
Spittal an der Drau	206	21,92	18,87	434,93	369,82	86,1%
Villach Land	207	31,19	18,59	613,04	364,28	59,6%
Völkermarkt	208	30,69	17,49	598,18	342,86	57,0%
Wolfsberg	209	29,85	16,22	584,25	317,89	54,3%
Feldkirchen	210	28,67	17,40	565,92	340,97	60,7%
Krems an der Donau(Stadt)	301	29,70	19,17	573,21	375,71	64,5%
Sankt Pölten(Stadt)	302	29,70	21,49	573,21	421,30	72,4%
Waidhofen an der Ybbs(Stadt)	303	32,23	19,69	629,64	385,96	61,1%
Wiener Neustadt(Stadt)	304	29,70	17,69	573,21	346,76	59,6%
Amstetten	305	30,77	19,69	597,31	385,96	64,0%
Baden	306	30,50	20,37	591,14	399,16	66,8%
Bruck an der Leitha	307	29,70	22,47	573,21	440,46	75,7%
Gänserndorf	308	29,70	14,27	573,21	279,62	48,0%
Gmünd	309	31,78	19,55	619,76	383,21	61,5%
Hollabrunn	310	29,70	17,42	573,21	341,35	58,6%
Horn	311	29,70	17,42	573,25	341,35	58,6%
Korneuburg	312	29,70	15,41	573,21	302,03	51,9%
Krems(Land)	313	30,76	19,17	596,84	375,71	62,3%
Lilienfeld	314	31,84	20,42	621,94	400,29	64,2%
Melk	315	30,70	18,15	595,54	355,67	59,1%
Mistelbach	316	29,70	14,08	573,21	275,92	47,4%
Mödling	317	29,81	22,47	575,75	440,46	75,4%
Neunkirchen	318	31,53	18,18	617,13	356,28	57,7%
Sankt Pölten(Land)	319	30,34	21,49	587,40	421,30	70,9%
Scheibbs	320	30,89	18,16	602,16	355,97	58,8%
Tulln	321	29,70	15,41	573,21	302,03	51,9%
Waidhofen an der Thaya	322	30,05	19,55	580,94	383,21	65,1%
Wiener Neustadt(Land)	323	32,16	17,69	628,19	346,76	55,0%
Wien-Umgebung	324	29,71	22,47	573,42	440,46	75,6%
Zwettl	325	32,30	19,52	631,37	382,51	60,4%
Linz(Stadt)	401	29,76	18,48	574,50	362,25	62,1%
Steyr(Stadt)	402	29,70	21,95	573,21	430,13	73,9%
Wels(Stadt)	403	29,70	22,44	573,21	439,79	75,5%
Braunau am Inn	404	30,11	21,19	582,30	415,30	70,4%
Eferding	405	29,74	22,44	574,00	439,79	75,5%
Freistadt	406	33,24	16,53	652,29	323,95	49,7%
Gmunden	407	29,99	21,89	585,78	429,14	73,0%

Fortsetzung Appendix C.9

pol.Bezirk	Code	SCpot [kg/m ²]	SCakt [kg/m ²]	SCpot [MJ/m ²]	SCakt [MJ/m ²]	Anteil lverblieben [% DM]
Grieskirchen	408	29,80	21,25	575,37	416,54	71,3%
KirchdorfanderKrems	409	30,87	21,62	604,17	423,79	70,0%
Linz-Land	410	29,70	18,48	573,21	362,25	62,2%
Perg	411	30,90	17,45	599,96	342,10	56,5%
RiedimInnkreis	412	30,28	21,25	586,12	416,54	70,2%
Rohrbach	413	32,58	18,04	637,53	353,52	55,4%
Schärding	414	30,11	19,85	582,34	389,12	65,9%
Steyr-Land	415	31,42	21,95	611,79	430,13	69,8%
Urfahr-Umgebung	416	32,36	17,57	632,66	344,46	54,3%
Vöcklabruck	417	31,31	23,67	609,86	463,87	75,6%
Wels-Land	418	29,70	22,44	573,21	439,79	75,5%
Salzburg(Stadt)	501	30,31	22,13	586,80	433,77	73,0%
Hallein	502	29,86	19,67	585,72	385,63	65,9%
Salzburg-Umgebung	503	31,81	22,13	621,50	433,77	69,6%
SanktJohannimPongau	504	25,52	18,92	505,59	370,83	74,1%
Tamsweg	505	19,72	17,46	392,83	342,30	88,6%
ZellamSee	506	23,49	19,25	466,07	377,28	81,9%
Graz(Stadt)	601	29,83	20,22	576,12	396,40	67,8%
BruckanderMur	602	31,17	20,10	612,30	393,99	64,5%
Deutschlandsberg	603	30,57	20,54	596,55	402,61	67,2%
Feldbach	604	29,70	22,10	573,21	433,12	74,4%
Fürstenfeld	605	29,70	21,15	573,21	414,59	71,2%
Graz-Umgebung	606	31,24	20,22	608,54	396,40	64,7%
Hartberg	607	31,74	21,15	619,40	414,59	66,6%
Judenburg	608	27,82	17,11	550,62	335,35	61,5%
Knittelfeld	609	29,69	19,99	586,64	391,79	67,3%
Leibnitz	610	29,76	21,71	574,59	425,55	73,0%
Leoben	611	30,98	21,36	611,45	418,56	68,9%
Liezen	612	27,31	19,78	539,56	387,60	72,4%
Mürzzuschlag	613	33,23	19,90	655,11	390,08	59,9%
Murau	614	23,54	14,46	466,78	283,48	61,5%
Radkersburg	615	29,70	21,71	573,21	425,55	73,1%
Voitsberg	616	31,40	17,20	615,82	337,11	54,8%
Weiz	617	31,71	20,92	620,04	410,03	66,0%
Innsbruck-Stadt	701	26,06	20,83	514,06	408,25	79,9%
Imst	702	19,63	18,80	390,44	368,42	95,8%
Innsbruck-Land	703	22,25	20,22	441,52	396,30	90,9%
Kitzbühel	704	29,01	17,23	573,44	337,68	59,4%
Kufstein	705	30,61	19,11	602,50	374,50	62,4%
Landeck	706	18,22	20,86	363,61	408,77	114,5%
Lienz	707	19,23	18,71	383,06	366,67	97,3%
Reutte	708	23,28	19,38	461,66	379,76	83,2%
Schwaz	709	22,96	19,94	455,14	390,79	86,8%
Bludenz	801	21,26	22,80	421,65	446,82	107,2%
Bregenz	802	29,32	22,94	577,00	449,56	78,2%
Dornbirn	803	29,90	20,98	585,46	411,29	70,2%
Feldkirch	804	29,79	23,92	582,39	468,80	80,3%
Wien(Stadt)*	900	29,70	18,83	573,21	369,07	63,4%

*Mittelwert für Niederösterreich