

Friedrich-Schiller-Universität Jena  
Institut für Geographie  
Lehrstuhl für Geoinformatik

GEO 404 – Angewandte Geoinformatik: Integrierte Landnutzungs- und Landschaftsplanung

PD Dr. Christine Fürst

**Entwicklung von Landnutzungsszenarien in der RegioPower3 Region  
(Mittelsachsen, Erzgebirge) unter Verwendung der Software GISCAM**

Seminararbeit

Vorgelegt von:

Balling, Johannes

Matrikelnummer: 124507

M.Sc. Geoinformatik

johannes.balling@uni-jena.de

Niemann, Christoph

Matrikelnummer: 129514

M.Sc. Geoinformatik

christoph.niemann@uni-jena.de

Schratz, Patrick Johann

Matrikelnummer: 129403

M.Sc. Geoinformatik

patrick.schratz@uni-jena.de

Abgabedatum: 15.05.2015

# Inhaltsverzeichnis

<b>Inhaltsverzeichnis</b> .....	II
<b>Abbildungen</b> .....	IV
<b>Tabellen</b> .....	VII
<b>Abkürzungen</b> .....	VIII
<b>Kapitel 1: Einleitung</b> .....	1
<b>Kapitel 2: Beschreibung der Modellregion</b> .....	3
<b>Kapitel 3: Bewertungskriterien</b> .....	5
3.1    BWINPRO 7 Modell + Biomassebewertung .....	5
3.1.1    Biomasseproduktion im Wald.....	6
3.1.2    Landwirtschaftliche Biomasseproduktion.....	8
3.2    Bewertungskriterium Regionalökonomie.....	9
3.2.1    Forstgebiete .....	9
3.2.2    Landwirtschaftliche Flächen .....	10
3.2.3    Urbane Flächen .....	11
3.2.4    Restliche Flächen .....	11
3.3    Erholungswert (Ästhetik) .....	11
<b>Kapitel 4: Planungsszenarien</b> .....	14
4.1    Waldumbau im Biomassemodul (BM).....	14
4.1.1    Forstwirtschaftliches Szenario („BM 2 %“) .....	15
4.1.2    Forstwirtschaftliches Szenario („BM 15,5 %“) .....	17
4.2    AAMS .....	18

4.2.1	Szenario „BM 2% enhanced“ .....	18
4.2.2	Szenario „BM 2 % trade off“ .....	19
4.3	Zellulärer Automat (CA) .....	22
4.3.1	Realistisches Szenario im Zellulären Automaten (CA) .....	23
4.3.2	Maximierung von Biomasse, Ökonomie und Ästhetik .....	28
<b>Kapitel 5: Diskussion</b> .....		<b>32</b>
5.1	Bewertungsgrundlagen .....	32
5.1.1	Biomasse .....	32
5.1.2	Regionalökonomie .....	33
5.1.3	Erholungswert .....	33
5.2	Vergleich und Interpretation der Szenarien .....	34
5.2.1	Extremszenarien .....	34
5.2.2	Waldumbaumaßnahmen .....	34
5.2.3	CA - Szenario .....	35
5.2.4	Vergleich der Szenarien .....	36
<b>Kapitel 6: Fazit</b> .....		<b>38</b>
<b>Literatur</b> .....		<b>40</b>
<b>Anhang A</b> .....		<b>42</b>
<b>Anhang B</b> .....		<b>45</b>

# Abbildungen

Abbildung 2-1: Lage der Planungsregion in Deutschland (links) und an die Planungsregion angrenzende Regionen (rechts) .....	3
Abbildung 2-2: Verwaltungsbezirke der Planungsregion (links) und Höhenstufen und Städte der Planungsregion (rechts) .....	3
Abbildung 3-1: Auszug aus klassischer Ertragstafel .....	6
Abbildung 3-2: Nutzeroberfläche von BWINPro Version 7, oben links Behandlungsmanager (Screenshot) .....	7
Abbildung 3-3: Biomasseproduktion der Waldklassen (normalisiert auf Waldklassen, eigene Darstellung) .....	7
Abbildung 3-4: Biomasseproduktion der Hauptklassen (eigene Darstellung).....	8
Abbildung 3-5: Biomasseproduktion nach Landnutzungstypen (eigene Darstellung) .....	9
Abbildung 3-6: Holzwert in €/t/ha .....	10
Abbildung 3-7: Wert landwirtschaftlicher Fläche in €/t/ha .....	11
Abbildung 3-8: Erholungswerte der Landbedeckungen .....	12
Abbildung 3-9: Erholungswerte der Landbedeckungen im Winter und Sommer.....	13
Abbildung 4-1: Ausgabe des Biomassenmoduls (BM).....	14
Abbildung 4-2: Vergleich Ausgangsszenario (links) mit Szenario „BM 2%“ (rechts) .....	16

Abbildung 4-3: Bewertung des „BM 2%“ - Szenarios .....	16
Abbildung 4-4: Bewertung des „BM 15,5 %“ - Szenarios .....	17
Abbildung 4-5: Vergleich Ausgangsszenario (links) mit Szenario „BM 2 % enhanced“ (rechts) .....	19
Abbildung 4-6: Bewertung des „BM 2 % enhanced“ - Szenarios .....	19
Abbildung 4-7: Vergleich Bodenerosion „BM 2 % enhanced“ (links) mit Szenario „BM 2 % trade off“ (rechts) .....	20
Abbildung 4-8: Vergleich Ausgangsszenario (links) mit Szenario „BM 2 % trade off“ .....	20
Abbildung 4-9: Bewertung des „BM 2 % trade off“ - Szenarios.....	21
Abbildung 4-10: Landschaftsstrukturmaße des Szenarios „BM 2 % trade off“ .....	21
Abbildung 4-11: Nachbarschaftsbeziehungen nach v. Neumann und Moore (FÜRST 2015b:23) .....	22
Abbildung 4-12: Ergebnisse des „CA realistisch“ - Szenarios im Zellulären Automaten .....	26
Abbildung 4-13: Potential Karten des „CA realistisch“ - Szenarios .....	27
Abbildung 4-14: Visuelle Änderung der Planungsregion im Szenario „Biomasse max.“ .....	29
Abbildung 4-15: Auswirkung der Änderungen auf die Bewertungskriterien für das Szenario „Biomasse max.“ .....	29
Abbildung 4-16: Visuelle Änderung der Planungsregion im Szenario „Ökonomie max.“ .....	30
Abbildung 4-17: Auswirkung der Änderungen auf die Bewertungskriterien für das Szenario „Ökonomie max.“ .....	30

Abbildung 4-18: Visuelle Änderung der Planungsregion im Szenario „Ästhetik  
max.“ .....31

Abbildung 4-19: Auswirkung der Änderungen auf die Bewertungskriterien für  
das Szenario „Ästhetik max.“ .....31

# Tabellen

Tabelle 2-1: Flächennutzung in der Planungsregion im Jahr 2013.....	4
Tabelle 4-1: Ruleset des „CA realistisch“ - Szenarios im Zellulären Automaten .....	24
Tabelle 5-1: Unterschiede aller Szenarien im Vergleich zum Ausgangsszenario .....	36

## Abkürzungen

AAMS	=	Automatic Attribute Management System
BM	=	Biomassemodul
CA	=	Zellulärer Automat
FM	=	Festmeter
FMoR	=	Festmeter ohne Rinde
GISCAME	=	GIS = geographic information system; CA = cellular automaton; ME = Multi criteria evaluation
LSM	=	Landschaftsstrukturmaß
LUC	=	Land use / Land cover (Landnutzung/Landbedeckung)
LW	=	Landwirtschaft
UFZ	=	Umweltforschungszentrum

# Kapitel 1: Einleitung

In den letzten Jahrzehnten ist es vermehrt zu klimatischen Extremereignissen (Dürren, Hochwässer, etc.) durch den globalen Klimawandel gekommen, welcher auf nationaler und internationaler Ebene zahlreiche Strategien zum Schutz der Umwelt entstehen ließ (SCHINKE et al.:5). Darüber hinaus verlangt die stetig steigende Bevölkerungszahl auf der Erde nach größeren landwirtschaftlichen Erzeugnissen und Treib- bzw. Werkstoffen, um die Ernährung und wirtschaftliche Lage der Gegenwart und Zukunft zu sichern. Die Planung der Landnutzung ist essentiell zur Integration dieser verschiedenen „Bedürfnisse“ bzw. Ökosystem-dienstleistungen.

Hierbei beschreibt die integrative Landnutzungsplanung die *„optimale Nutzung/Intensität der Landesfläche [...] unter der Berücksichtigung der vorherrschenden Mehrfachnutzung auf einer Fläche“* (HARTH 2006:3). Somit ist die integrative Landnutzungsplanung die räumliche und ggf. technische (Neu-)Ordnung und Anpassung verschiedener Landnutzungsformen in einer Referenzskala (FÜRST 2015a:22ff.). Die Aufgaben der integrativen Landnutzungsplanung sind die Anpassung bereitstellender Leistungen für Landnutzungstypen (Gegenwart - Zukunft), den Ansprüchen an regulativen Leistungen aus einer funktionalen Perspektive der Landschaft gerecht werden, Mindestansprüche an kulturelle Leistungen zu sichern, wirtschaftliche Zielsetzungen der Landeigner, Landnutzer und regional ökonomische Voraussetzungen zu berücksichtigen und die Planungswerkzeuge (Mitsprache oder anderweitige Mitwirkung) bereitzustellen (FÜRST 2015a:30ff.). Hierbei ergeben sich diverse Herausforderungen, wie die Einhaltung der gesetzlichen Regelungen, der Verknüpfung von fach- und raumplanerischen Aspekten, der Integration der Bewirtschaftungsphilosophien der „großen“ Landnutzungssektoren (Landwirtschaft und Forstwirtschaft), die Integration von Eigentümerzielen, die Integration heterogener Datengrundlagen und die Berücksichtigung Kultur- und Naturlandschaftlicher Dynamiken (FÜRST 2015a:33ff.).

Das Ziel dieser Arbeit ist die Entwicklung von alternativen Planungsszenarien für den mittelsächsischen Raum zur Steigerung land- und forstwirtschaftlicher Biomasse um 20 Prozentpunkte ohne Trade-offs anderer Bewertungskriterien. Die Bearbeitung erfolgt im Softwarepaket GISCAME. Durch die Verwendung verschiedener Add-ons (BM, AAMS, CA) innerhalb dieses Softwarepaketes ist es möglich eine Vielzahl von Szenarien zu entwerfen. Die Bewertungskriterien wurden unter Anderem durch die Verwendung des Programms BWINPro entworfen. Durch die Analyse der Bewertungskriterien ist es möglich die Szenarien einzuschätzen und einen geeigneten Landschaftsplan unter Berücksichtigung der Landschaftssystemstruktur zu erzeugen.

## Kapitel 2: Beschreibung der Modellregion

Die Planungsregion „Oberes Elbtal/Osterzgebirge“ liegt in der Mitte des Bundeslandes Sachsen im östlichen Teil Deutschlands (R. P. OBERES ELBTAL / OSTERZGEBIRGE 2015a, Abb. 2-1 links). Sie wird im Norden von den Regionen „Lausitz Spreewald“ sowie „Leipzig-West-sachsen“ abgegrenzt (Abb. 2-1 rechts). Die Region „Oberlausitz-Niederschlesien“ als östlicher Nachbar und die Region „Chemnitz“ im Südwesten komplettieren die inländisch angrenzenden Regionen. Im Südosten grenzt die Planungsregion an die Tschechische Republik ( R. P. OBERES ELBTAL / OSTERZGEBIRGE 2015b, Abb. 2-1).



*Abbildung 2-1: Lage der Planungsregion in Deutschland (links) und an die Planungsregion angrenzende Regionen (rechts)*



*Abbildung 2-2: Verwaltungsbezirke der Planungsregion (links) und Höhenstufen und Städte der Planungsregion (rechts)*

Die Stadt Dresden (Abb. 2-2 links) bildet hierbei den Mittelpunkt der Planungsregion und wird verwaltungstechnisch vom Landkreis Meißen und vom Landkreis Sächsische Schweiz – Osterzgebirge im Norden bzw. im Süden abgegrenzt ( R. P. OBERES ELBTAL / OSTERZGEBIRGE 2015c, Abb. 2-2).

Abbildung 2-2 rechts zeigt die größten Städte in der Planungsregion mit Dresden als dominierendes Zentrum. Weiterhin sind die Höhenstufen farblich dargestellt (je grüner desto flacher, je roter desto höher). Des Weiteren ist ein Anstieg der Höhenlage von Norden nach Süden mit dem Osterzgebirge als Maximum ist erkennbar.

Die Planungsregion umfasst eine Fläche von 3434 km<sup>2</sup>. 3000 km<sup>2</sup> (ca. 86%) davon sind von ländlichen Gebieten geprägt in denen ca. 33% der Gesamtbevölkerung der Planungsregion lebt (R. P. OBERES ELBTAL / OSTERZGEBIRGE 2014).

Die Sächsische Schweiz ist durch einen hohen Waldflächenanteil geprägt (35,8%) (Tab. 2-1). Dresden weist als städtische Region den geringsten Wert an landwirtschaftlicher Fläche und gleichzeitig den höchsten Wert an Siedlungs- und Verkehrsfläche auf. Der Landkreis Meißen hingegen hat nur einen geringen Anteil an Waldfläche (13,3 %), dominiert jedoch in der landwirtschaftlich genutzten Fläche gemessen an der Gesamtfläche des Kreises (STATISTISCHE ÄMTER DES BUNDES UND DER LÄNDER 2015). Die durchschnittlichen Werte für das Bundesland Sachsen sind als Vergleichswerte ebenfalls aufgetragen.

Zusammengefasst lässt sich in Kombination mit den in Abbildung 2-2 dargestellten Höhenstufen und den statistischen Daten aus Tabelle 2-1 eine Dreigliederung erkennen: Durch die höhere Reliefenergie ist der südliche Teil der Planungsregion durch Forstwirtschaft und der mittlere Teil durch die Stadt Dresden infrastrukturell / industriell geprägt wohingegen der nördliche Teil, der den Landkreis Meißen umfasst, durch seine naturräumliche Ausstattung hauptsächlich landwirtschaftlich genutzt wird.

*Tabelle 2-1: Flächennutzung in der Planungsregion im Jahr 2013*

	<b>Landwirtschaftlich genutzte Fläche [%]</b>	<b>Waldfläche [%]</b>	<b>Siedlung – und Verkehrsfläche [%]</b>
Dresden	32,8	22,4	40,9
Meißen	71,4	13,3	11,3
Sächsische Schweiz	52,5	35,8	9,4
Sachsen	54,8	27,2	12,8

## Kapitel 3: Bewertungskriterien

Für die Planungsregion wurden im Zuge des Kurses neue Bewertungskriterien angelegt. Die fünf Bewertungskriterien *Erosionsschutz*, *Kohlenstoffspeichervermögen*, *Erholungswert*, *Biomassenertrag* und *Regionalökonomie* bilden hierbei die Basis für die Bewertung der einzelnen Gebiete in der Planungsregion. Die dahinterstehenden Ansätze werden im folgenden Kapitel näher erklärt. Die ersten beiden Bewertungskriterien werden hierbei jedoch nicht betrachtet, da bei diesen keine Mitarbeit durch Autoren dieser Arbeit erfolgte.

### 3.1 BWINPRO 7 Modell + Biomassebewertung

Ein Bewertungskriterium zur Beurteilung der Landschaft im Rahmen der integrierten Landnutzungsplanung ist die Biomasseproduktion der jeweiligen Landnutzungstypen. Im Allgemeinen ist die Biomasse die „...Gesamtheit der Masse anorganischem Material in einem definierten Ökosystem...“ (UMWELTFORSCHUNGSZENTRUM (UFZ) HELMHOLTZ 2011), für die Bewertung der Landnutzung wird hier jedoch nur die pflanzliche Biomasseproduktion betrachtet. Sie soll möglichst hohe Werte erreichen. Für jede Landnutzung wird dabei die produzierte Biomasse in  $\text{dt ha}^{-1} \text{a}^{-1}$  ermittelt. Auf diesen Werten basiert dann die Ermittlung des normalisierten Indikatorwertes (Wertebereich 0...100) für jede Landnutzung. Die Ermittlung der Biomasseproduktion erfolgte für die verschiedenen Waldarten mit der Waldwachstumssimulationssoftware BWINPro Version 7. Die Biomasseproduktionen für die übrigen Landnutzungen wurden durch eine Internetrecherche ermittelt.

Das Kriterium Biomasseproduktion wird also durch den metrisch skalierten Indikator Ertrag bewertet.

### 3.1.1 Biomasseproduktion im Wald

Der Waldwachstumssimulator BWINPro Version 7 entstand auf Basis des Tree Growth Open Source Software Projektes der Nordwestdeutschen Forstlichen Versuchsanstalt. Die javabasierte Simulationssoftware beruht im Wesentlichen auf einem Wachstumsmodell, welches mit einem sogenannten Behandlungsmanager beeinflusst werden kann. Weitere Kernmodule sind das 3D-Grafikmodul und die Programmoberfläche, ergänzt durch Assistenten z.B. zur Bestandsgenerierung und zur Datenergänzung. Das Waldwachstumsmodell besteht im Wesentlichen aus den Prozessen Einwuchs, Wachstum und Mortalität. Datengrundlage bilden die Daten klassischer Ertragstafeln (Abb. 3-1, FÜRST 2015c:39), deren Werte auf regionalen Versuchsflächen ermittelt wurden.

Diese Prozesse werden durch im Behandlungsmanager eingestellte Durchforstungs- bzw. Ernte- und Pflegemaßnahmen beeinflusst (Abb. 3-2, NAGEL 2006)

**Fichte — Südbayern (Vanselow 1951)**

ALTER Jahre	Originaltafelwerte (Vfm)								Um 19 <sup>9</sup> / <sub>10</sub> reduz. Tafelwerte (Efm o. R.)			
	Verbleibender Bestand					Jährl. Zuwachs Derbbolz	dGz Derbbolz	Derbbolzmasse	Jährl. Zuwachs Derbbolz	dGz Derbbolz	norm. Vorerträge l. d. nächst. 10 Jhr.	
	Jährl. Höhen-Grenzwert	Stammzahl	Stammgrundfläche	Mitteldurchmesser	Derbbolzmasse							Efm o. R.
20	7,7	8120	29,5	6,8	65	18,8	16,7	3,3	53	15,2	2,7	8
25	9,9	5530	36,0	9,1	159	20,8	9,6	6,4	129	16,8	5,2	37
30	12,2	4080	41,7	11,4	253	26,0	8,2	8,7	205	21,1	7,0	60
35	14,6	3100	45,7	13,7	347	26,0	6,3	11,2	281	21,1	9,1	71
40	16,9	2420	48,7	16,0	440	26,0	5,1	13,1	356	21,1	10,6	81
45	19,2	1940	51,0	18,3	520	23,6	4,1	14,5	421	19,1	11,7	83
50	21,4	1590	53,0	20,6	588	23,0	3,6	15,4	476	18,6	12,5	86
55	23,3	1330	54,8	22,9	650	22,4	3,2	16,1	527	18,1	13,0	86
60	25,1	1130	56,5	25,2	709	21,3	2,8	16,5	574	17,3	13,4	89

**Ertragsklasse I**

Abbildung 3-1: Auszug aus klassischer Ertragstafel

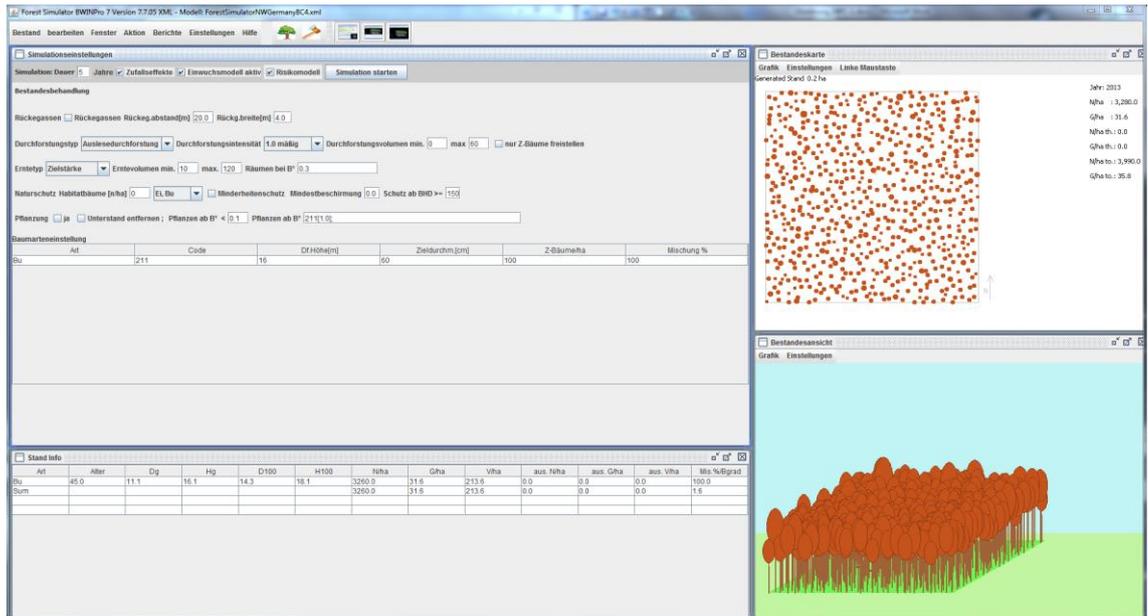


Abbildung 3-2: Nutzeroberfläche von BWINPro Version 7, oben links  
Behandlungsmanager (Screenshot)

Für dieses Projekt wurde ein Simulationslauf für jeden Hauptwaldtyp durchgeführt. Mischwälder wurden vereinfacht als Bestände aus zwei Arten mit einer Hauptbaumart (80 %) und einer Nebenbaumart (20%) angesetzt. Da BWINPro Version 7 die Holzmenge in  $\text{m}^3 \text{ha}^{-1} \text{a}^{-1}$  ausgibt ist eine Umrechnung in  $\text{dt ha}^{-1} \text{a}^{-1}$  notwendig. Für diese Studie wurde vereinfachend ein Gewicht von  $5 \text{ dt m}^{-3}$  für alle Holzarten angenommen.

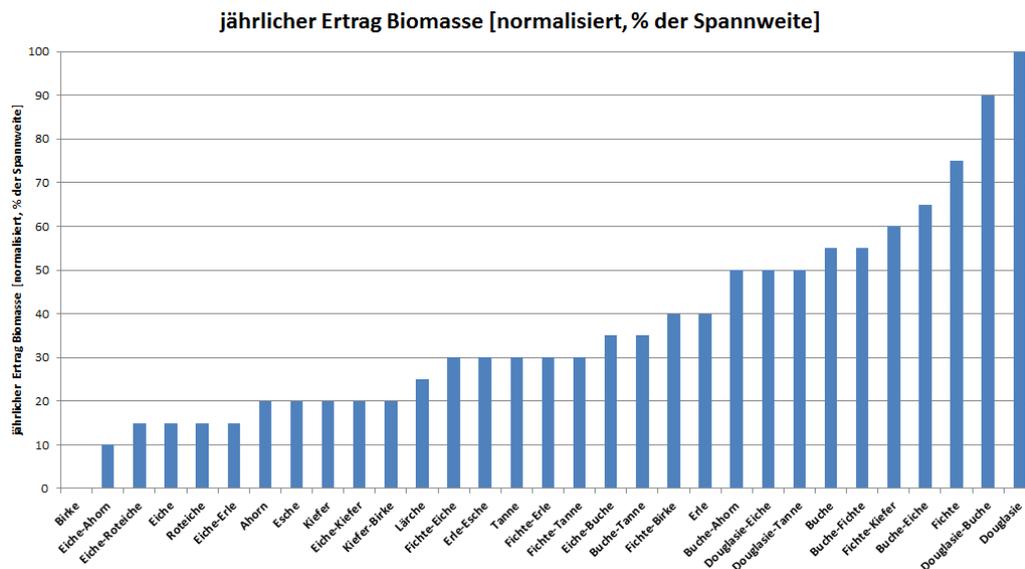


Abbildung 3-3: Biomasseproduktion der Waldklassen (normalisiert auf Waldklassen,  
eigene Darstellung)

Da die Umtriebszeiten bei Waldnutzungsarten natürlich wesentlich höher sind als bei anderen (landwirtschaftlichen) Nutzungen sind die Werte als durchschnittliche Jahreswerte bei langfristiger Nutzungskonstanz zu sehen. Die in Anhang B der Größe nach aufgelisteten Volumenwerte zeigen kleinere Werte für die Biomasseproduktion für Birke, Eiche, Ahorn, Kiefer und deren Mischformen. Hohe Erträge erzielen die Douglasie, die Fichte und die Buche (bzw. jeweilige Mischformen mit den genannten Arten als Hauptbaumart).

Abbildung 3-3 visualisiert die (ausschließlich auf Waldklassen) normalisierten Indexwerte für die Biomasseproduktion.

Die Darstellung des Ertrages nach Hauptklassen ergibt ein recht ausgewogenes Bild mit einem leichten Vorteil für Nadelbäume bzw. nadelbaumdominierte Mischwaldklassen (Abb. 3-4).

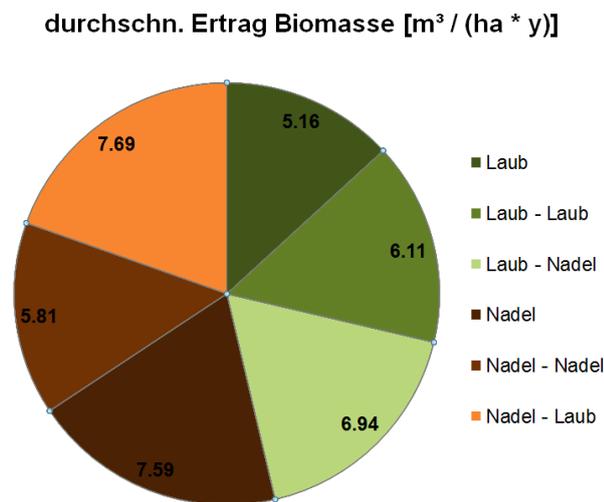


Abbildung 3-4: Biomasseproduktion der Hauptklassen (eigene Darstellung)

### 3.1.2 Landwirtschaftliche Biomasseproduktion

Die landwirtschaftliche Biomasseproduktion wurde anhand einer Internetrecherche bestimmt. Ausgehend von sächsischen Ertragsdaten (Durchschnitt von 2002 bis 2011) für die jeweiligen Feldfrüchte wurde die jeweilige durchschnittliche jährliche Biomasseproduktion durch Mittelwertbildung ausgehend von den Fruchtfolgen berechnet (SCHWEDE & ERTEL 2013:20ff.).

Für weitere durch Erntedaten oder Waldwachstumssimulation nicht abgedeckte Nutzungsklassen (z.B. Strauchland) wurden ebenfalls Werte recherchiert.

Die durch Zusammenführung mit den (umgerechneten) Walddaten und anschließende Normalisierung ermittelten normalisierten Biomasseproduktionsindikatoren können Anhang A entnommen werden. Die Biomasseproduktion der landwirtschaftlichen Klassen übertrifft dabei die Waldklassen deutlich. Während selbst die produktivsten Waldtypen nicht über einen Indexwert von mehr als 15 (Mittelwert = 7,6) verfügen, ist der Mittelwert aller landwirtschaftlichen Fruchtfolgen mit 28,9 wesentlich höher. Die höchsten Werte erreichen dabei Obstplantagen ( $328 \text{ dt ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ ) und Mais zur Silage Erzeugung ( $402 \text{ dt ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ ), am unproduktivsten sind Sonnenblumen ( $21,4 \text{ dt ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ ). Fast 70 % der Biomasseproduktion findet in der Landwirtschaft statt (Abb. 3-5).

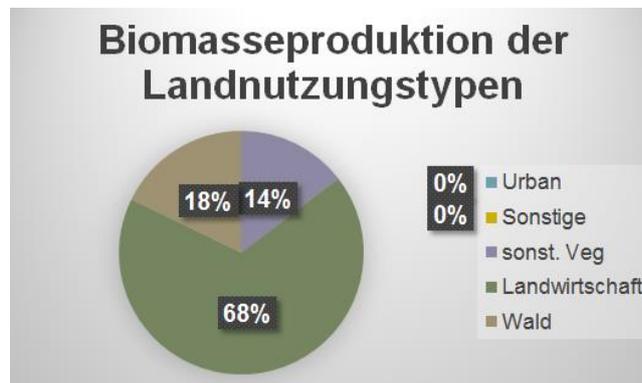


Abbildung 3-5: Biomasseproduktion nach Landnutzungstypen (eigene Darstellung)

## 3.2 Bewertungskriterium Regionalökonomie

Für die Bewertung der Regionalökonomie der Planungsregion wurden der Holzertrag [€/t/ha] für alle im Gebiet vorkommenden Einzel- und Mischbestände, der Ertrag von landwirtschaftlichen Feldern [€/t/ha] für alle Fruchtfolgen sowie der Wert eines Grundstückes zur Abschätzung der regionalökonomischen Bedeutung von urbanen Flächen berechnet.

### 3.2.1 Forstgebiete

Die Basis der Berechnung des Holzertrages für alle Einzel- und Mischbestände [ $\text{m}^3/\text{ha}$ ] bildete der errechnete Ertrag aus der BWinPro-Modellierung (siehe Kapitel 3.1).

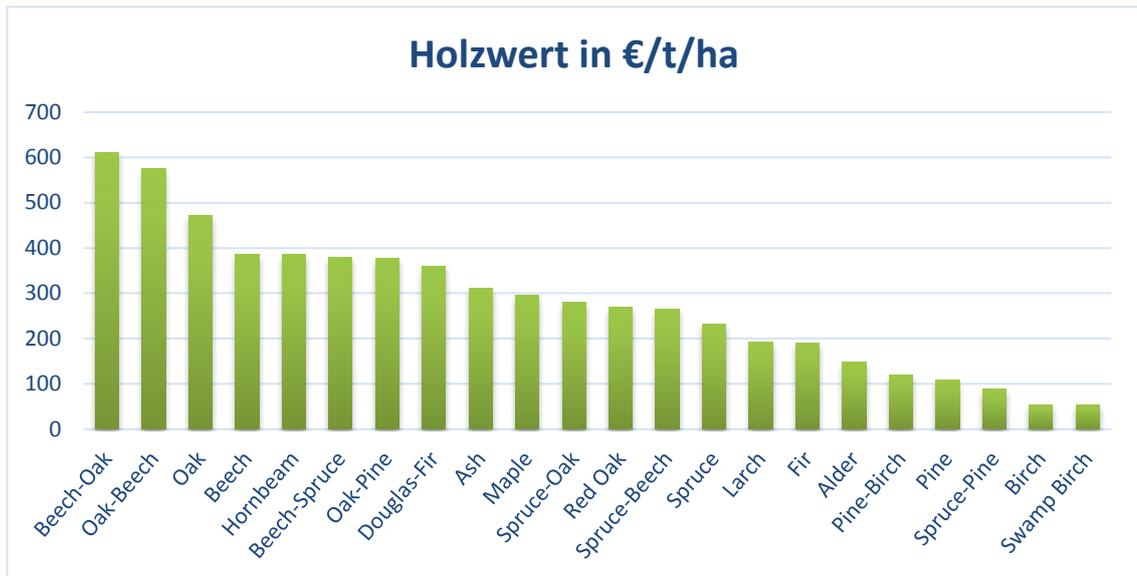


Abbildung 3-6: Holzwert in €/t/ha

Anschließend wurde der Preis in Euro pro Festmeter ohne Rinde [€/FMoR] recherchiert. Nachdem zusätzlich das Gewicht in Kilogramm pro Festmeter [kg/FM] für jede Bestandsart ausfindig gemacht wurde und eine Umrechnung in Tonnen pro Kubikmeter [t/m<sup>3</sup>] vollzogen wurde, konnte durch die Kombination des Preises, Gewichts und des Ertrages ein Wert in €/t/ha für jeden Bestandstyp angegeben werden (siehe Abbildung 3-6). Die Bestandstypen Buche und Eiche und deren Mischbestände zeigen hierbei die höchsten Holzwerte pro Hektar wohingegen Birke, Fichte und Kiefer das Schlusslicht in dieser Aufstellung bilden.

### 3.2.2 Landwirtschaftliche Flächen

Für die Berechnung des Wertes von landwirtschaftlichen Flächen wurde ähnlich zu der des Holzwertes vorgegangen: Zunächst wurde der Ertrag von Reinkulturen in Tonnen/ha [t/ha] (siehe Kapitel 3.1) als Basis für die Berechnung herangezogen und der Preis in €/t von eben jenen recherchiert. Durch Multiplikation des Preises und des Ertrages wurde der Wert in €/t/ha errechnet. Für die Fruchtfolgen wurden die Werte für ein Jahr jeweils einzeln berechnet, aufsummiert und anschließend durch die Anzahl der Folgen geteilt. Abbildung 3-7 zeigt den, mit Abstand, höchsten Wert für Fruchtfolge *L5-Zuckerrübe-Weizen-Weizen*. Im weiteren Verlauf ist der Abstand zwischen den Fruchtfolgen eher gering und es zeigen sich keine großen Sprünge.

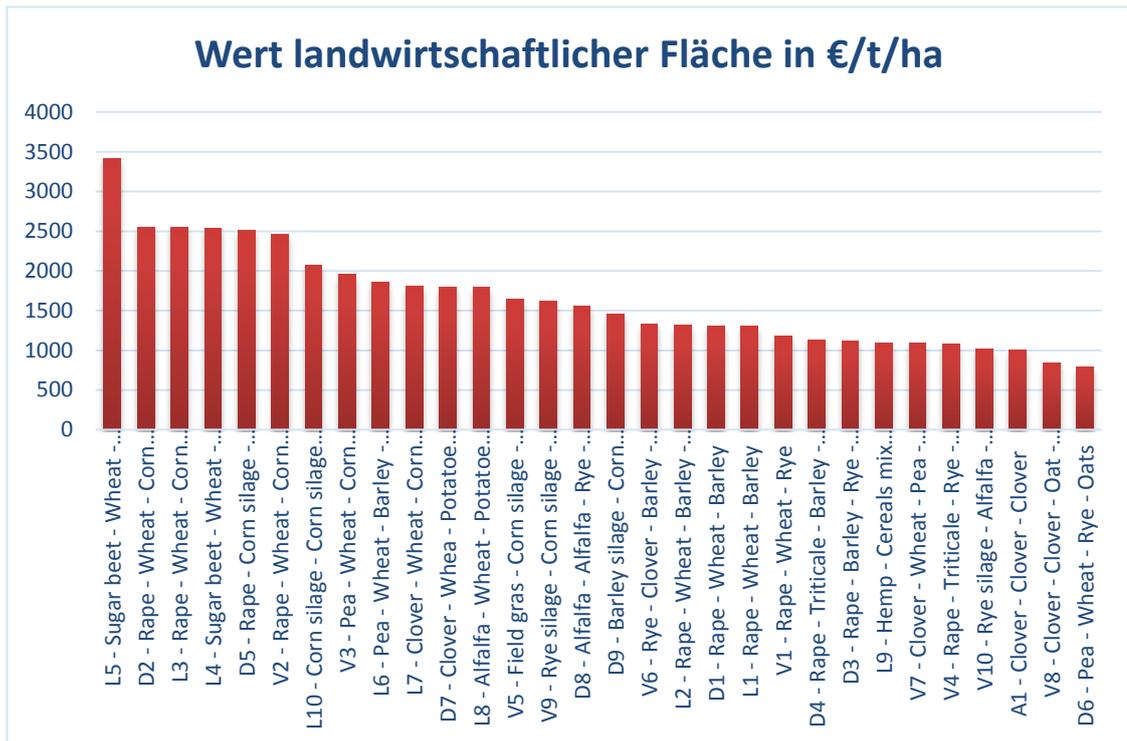


Abbildung 3-7: Wert landwirtschaftlicher Fläche in €/t/ha

### 3.2.3 Urbane Flächen

Die Berechnung für urbane Flächen erfolgte auf Basis der Grundstückspreise für den Stadtbereich Dresdens. Unterschiedliche Werte wurden gemittelt um einen Wert für bebaute Flächen pro Hektar zu erhalten. Schlussendlich wurde ein Wert von 808.100 [€/ha] ausgewiesen.

### 3.2.4 Restliche Flächen

Aufgrund zeitlicher Begrenzung und niedriger Priorität für die Bewertung der Regionalökonomie in der Planungsregion wurde allen Klassen neben Forst, Landwirtschaft oder urbanen Flächen (z.B. Wasserflächen, Gesteinsflächen etc.) ein Wert von 0 zugewiesen.

## 3.3 Erholungswert (Ästhetik)

Die Erholungsfunktion unterscheidet sich grundsätzlich von anderen Funktionen/Potentialen bzw. Bewertungskriterien.

Sie gründet sich nur indirekt auf naturwissenschaftlichen bzw. naturhaushaltlichen Kriterien (MARKS et al. 1989:129). (MARKS et al. 1989:129). Daher ist die Bewertung von natürlichen Landschaftselementen, Freizeit relevanter Infrastruktur, Umweltbelastungen, optisch-ästhetischer Erlebniswert, Lage der Potentialfläche im Gefüge und die nachhaltige Nutzbarkeit möglich (ebd.). Die Ermittlung erfolgt im Wesentlichen aufgrund empirischer (subjektiver) Beurteilung. Um diese Erholungsfunktion in GISCAMÉ zu integrieren und umzusetzen, wurde die Grundidee nach Grunewald & Bastian verwendet. Ziel dabei war die Bewertung von soziokulturellen Erholungsleistungen durch Befragungen der Bevölkerung zur aktuell bewohnten Umgebung bzw. Landschaft (GRUNEWALD & BASTIAN 2013). Hierbei war vor allem eine repräsentative Anzahl an Befragten, regionale Befragungen und die Berücksichtigung der Jahreszeiten wichtig (ebd.). Vor allem der ästhetische Wert der Landnutzung stand im Zentrum der Befragungen. Die Umsetzung in GISCAMÉ geschah durch eine Befragung von sieben Probanden zum ästhetischen Wert aller Corine Landnutzungsklassen. Die Einschätzung erfolgte durch Bilder der jeweiligen Landnutzungsklassen in Sommer- und Wintermonaten und der Vergabe von Punkten von 0 (wenig ästhetisch) - 100 (sehr ästhetisch). Auf Grund der Vegetationsperioden wurde eine 7:5 Gewichtung der Sommer- bzw. Winterwerten vorgenommen. Eine anschließende Normalisierung der Befragungswerte sicherte eine repräsentativere Bewertungsskala.

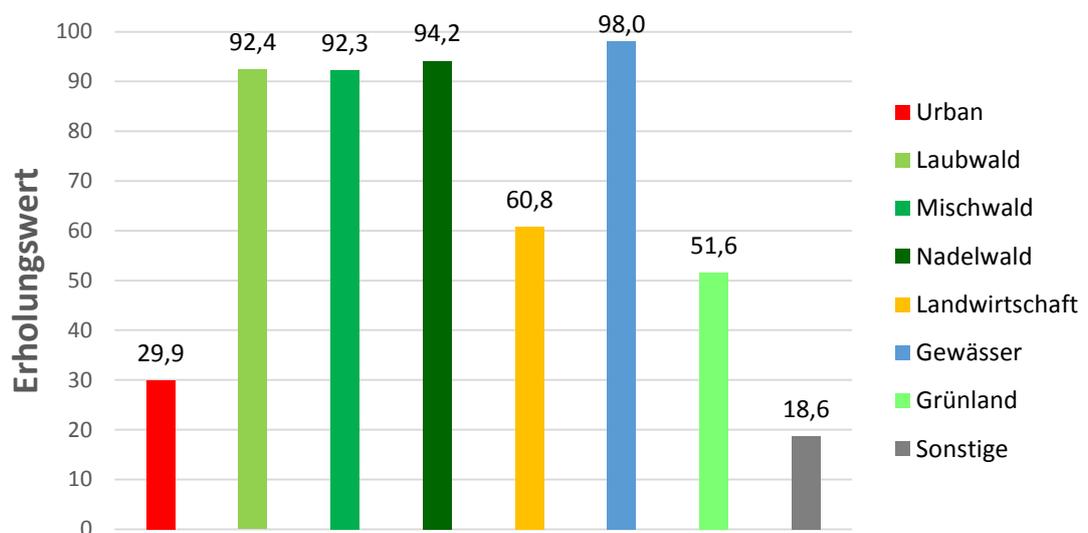
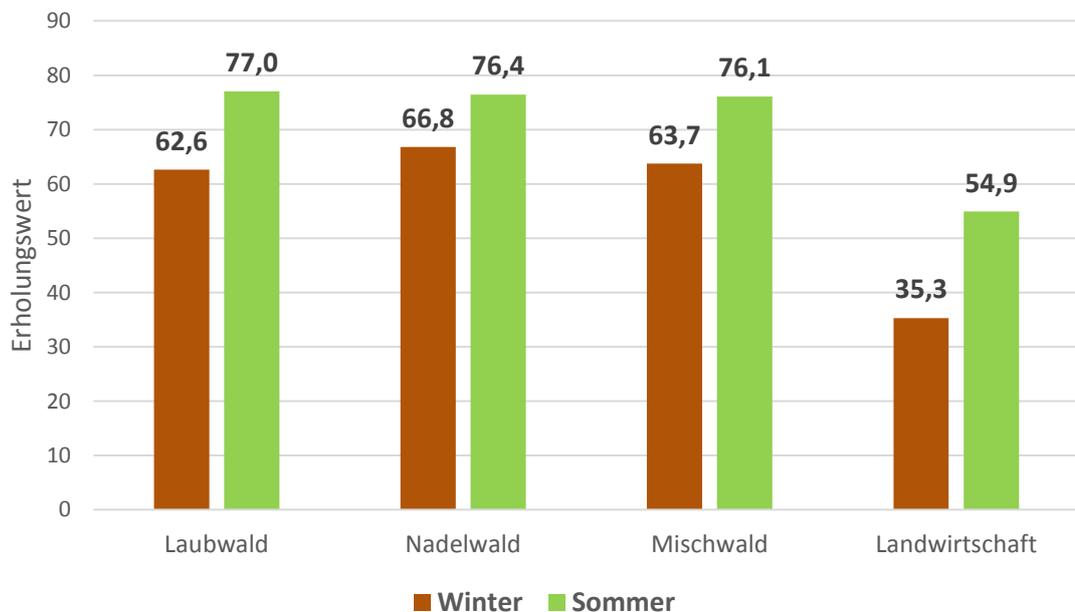


Abbildung 3-8: Erholungswerte der Landbedeckungen

Gewässer, Nadelwälder, Laubwälder & Mischwälder weisen die besten Erholungswerte auf (Abb. 3-8). Laubwälder zeigen höhere Werte für die Sommermonate auf, wohingegen Nadelwälder besonders in den Wintermonaten besonders ästhetisch abschnitten (Abb. 3-9). Dies ist durch die größere Bedeutung der Strukturvielfalt im Winter als im Sommer zu erklären (GRUNEWALD & BASTIAN 2013). Dagegen schneiden Landwirtschaft und Grünländer mittelmäßig ab, was für die Landwirtschaft vor allem durch den großen Unterschied des ästhetischen Wertes im Sommer (höhere Werte) und Winter (niedrige Werte) zu erklären ist (Abb. 3-9). Einen schlechten Erholungswert basierend auf der Ästhetik weisen urbane und „sonstige“ Klassen auf. Die Implementierung dieser Werte in GISGAME schaffte das Bewertungskriterium des Erholungswertes bzw. des ästhetischen Wertes.



*Abbildung 3-9: Erholungswerte der Landbedeckungen im Winter und Sommer*

# Kapitel 4: Planungsszenarien

## 4.1 Waldumbau im Biomassemodul (BM)

Das in GISCAME enthaltene Modul Biomasse (BM) ermöglicht die Simulation zeitlicher und räumlicher Trends der forstwirtschaftlichen Landnutzungstypen. Grundlage ist eine Ertragsdatenbank deren Inhalt zum Beispiel mit BWINPro Version 7 generiert werden kann. Für jeden forstwirtschaftlichen Landnutzungstyp müssen Ertragsdaten hinterlegt sein. Parameter sind zum Beispiel altersspezifischer Ertrag oder Brennwert. Mischbestände werden dabei auf Grundlage ihrer prozentualen Zusammensetzung behandelt. Zur Simulation des zeitlichen Trends ist die Definition von Zeitschritten und Bearbeitungsmaßnahmen notwendig (PIETZSCH o.J.:4ff.).

Die Nutzung des BM erfolgte unter Übernahme der voreingestellten prozentualen Zusammensetzung der Mischwaldklassen und unter Nutzung der vorhandenen Ertragsdatenbank, da ein Import der selbst generierten Daten aus BWINPro Version 7 aus technischen Gründen nicht möglich war. Das Biomassemodul erzeugt für jeden Zeitschritt eine Vielzahl von analysierbaren Parametern. Diese sind z.B. Durchmesser in Brusthöhe, Einschlagsmengen aufgeteilt nach Nutzungsart, Heizwerte (Abb. 4-1).

TS	DBH cm	Y m <sup>3</sup>	CAI m <sup>3</sup> /ha	Ycum m <sup>3</sup>	SV m <sup>3</sup>	MAI m <sup>3</sup> /ha	Fuel wood m <sup>3</sup>	Industry m <sup>3</sup>	Pole stand m <sup>3</sup>	Fuel value kWh	Image initial M
0	6,99 10,47 11,14	1.128.396 960.745 5.449.284 7.577.680	5,54 6,15	1.689.876 3.712.543 6.449.284 8.139.160	13.791.282 17.308.620	2,75 3,03	729.244 475.923 2.379.672 3.108.916	284.063 337.778 2.886.405 3.170.468	98.044 119.752 966.756 1.064.800	1.264.157.740 1.167.437.129 8.050.006.300 9.314.164.040	M F
5	7,27 11,14	1.141.102 983.342	5,31 5,15	1.926.618 4.214.817	14.410.807 18.696.281	2,79 3,13	732.442 484.066	291.209 350.830	100.233 124.172	1.282.590.125 1.201.269.266	M F
10	7,53 11,79	1.149.533 1.033.270	5,33 5,14	2.167.956 4.727.228	15.040.067 20.084.964	2,82 3,21	733.883 489.072	296.141 360.890	101.799 127.849	1.295.190.096 1.226.355.225	M F
15	7,79 12,40	1.157.069 1.017.393	5,34 5,13	2.412.629 3.335.764	15.662.706 21.413.329	2,85 3,28	735.759 493.377	301.643 369.978	103.174 130.723	1.306.839.945 1.246.872.623	M F
20	8,08 12,99	1.165.497 1.028.933	5,35 5,08	2.720.568 3.720.873	17.048.386 22.762.965	3,19 3,31	737.807 496.571	307.917 378.330	105.188 133.833	1.319.437.960 1.264.265.991	M F
50	12,40 13,99	1.722.138 943.747	8,35 4,35	5.476.243 7.034.787	26.634.924 25.418.111	4,41 3,12	993.545 461.932	536.659 346.076	174.885 120.288	2.074.551.336 1.162.474.192	M F
100	18,60 15,29	1.845.896 982.306	7,85 4,32	13.535.010 8.206.171	45.443.709 25.770.403	5,12 2,98	1.017.738 462.575	607.044 352.106	197.194 125.162	2.254.139.339 1.212.244.823	M F
200	16,11 12,72	1.585.159 945.970	7,57 4,62	10.270.242 6.038.110	35.523.484 23.259.396	4,44 3,08	921.264 484.473	390.298 333.290	139.708 112.863	1.871.967.196 1.151.334.193	M F

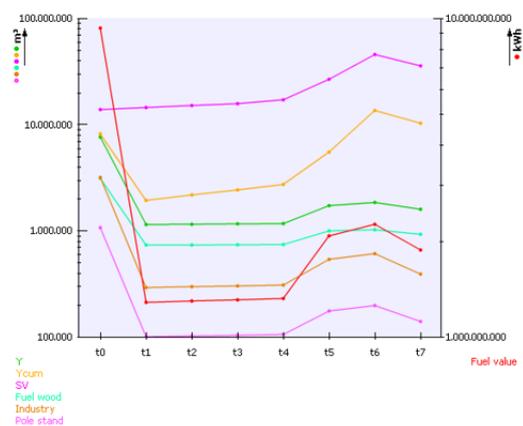


Abbildung 4-1: Ausgabe des Biomassenmoduls (BM)

Somit ermöglicht es differenziertere Aussagen zur Produktivitätsentwicklung in forstwirtschaftlich genutzten Flächen als der für die allgemeine Bewertungsmatrix genutzte Biomasseindex (siehe 3.1). Das Modul wurde testweise für zwei Szenarien verwendet, die Bewertung erfolgte jedoch auf Grundlage der allgemeinen Bewertungsmatrix.

### 4.1.1 Forstwirtschaftliches Szenario („BM 2 %“)

Zunächst wurde ein (bedingt) realistisches Szenario entworfen. Um über das Gesamtgebiet messbare Änderungen zu produzieren mussten dennoch recht drastische Landnutzungsänderungen vorgenommen werden:

- Brachflächen zu Douglasie (ca. 2% der Gesamtfläche)
- Aufforstungsgebiete zu Douglasie
- Kiefer zu Fichte
- Birke zu Birke/Eiche
- Lärche zu Fichte
- Tanne zu Fichte
- Buche zu Buche/Eiche
- Eiche zu Buche/Eiche
- Esche zu Buche/Eiche
- Ahorn zu Buche/Eiche
- Fichte/Buche zu Fichte

Der in Abbildung 4-2 gezeigte Vergleich der Karten des Gebietes zeigt eine geringe Änderung der optischen Gesamtstruktur der Karte, jedoch fällt die Konzentration der Waldgebiete auf nur noch sehr wenige Landnutzungstypen, nämlich den ertragreichen Typen Douglasie, Fichte für die Nadelwaldgebiete und Buche/Eiche Mischwald für die Laubwaldgebiete. Eine Auslöschung der Laubwaldgebiete ist in diesem „realistischen“ Szenario nicht vorgesehen. Die Auswertung der Ergebnisse ergibt positive Veränderungen für alle Bewertungskriterien der im Rahmen des Blockseminars erstellten Bewertungsmatrix.

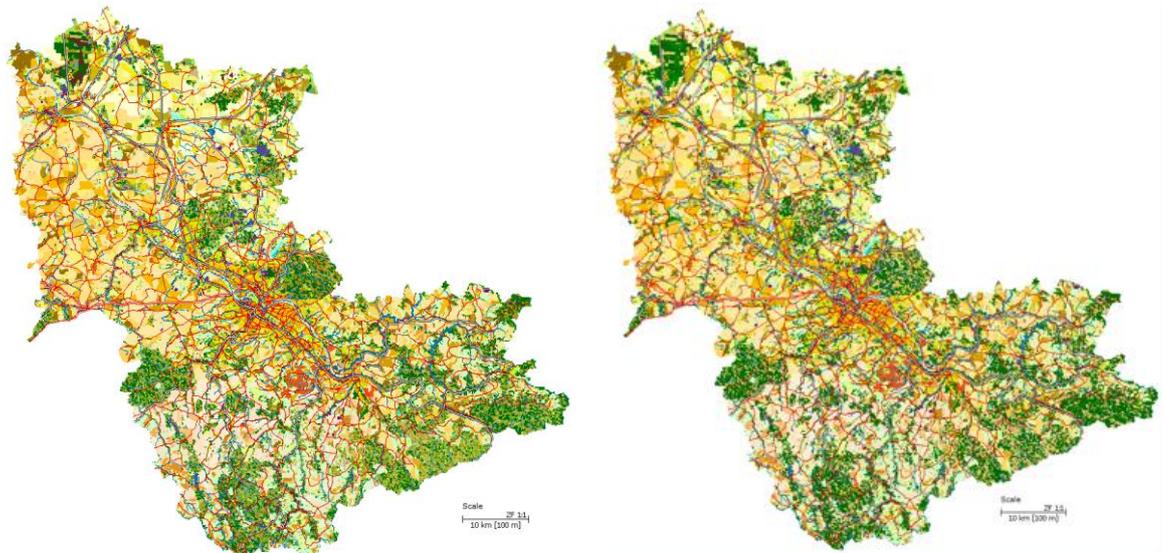


Abbildung 4-2: Vergleich Ausgangsszenario (links) mit Szenario „BM 2%“ (rechts)

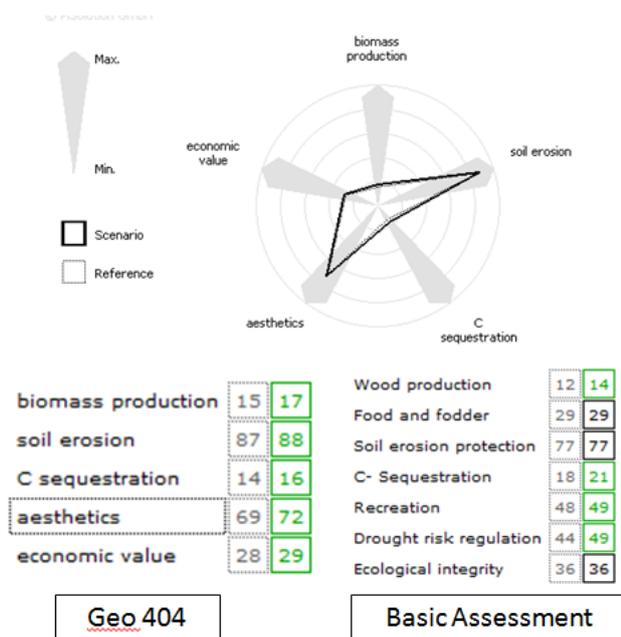


Abbildung 4-3: Bewertung des „BM 2%“ - Szenarios

Auch der Vergleich mit der bereits in GISCAMÉ für das Gebiet vorhandenen Matrix zeigt eine positive Beeinflussung der meisten Kriterien und keine Auswirkung auf eher von der generellen Landnutzung abhängige Kriterien. So ist z.B. für den Erosionsschutz jeder Waldlandnutzungstyp positiv (Abb. 4-3).

Die Biomasseproduktion (bzw. Holzproduktion im Basic Assessment) konnte jedoch nur um 2 Prozentpunkte gesteigert werden, dies allerdings mit ausgezeichneten Trade-Off Effekten auf die anderen Kriterien, insbesondere die Dürreanfälligkeit wurde verringert.

#### 4.1.2 Forstwirtschaftliches Szenario („BM 15,5 %“)

Außerdem wurde ein Extremszenario konstruiert um theoretische Grenzen der Steigerung der Biomasseproduktion in forstwirtschaftlich genutzten Gebieten zu erfahren. Hierzu wurde das vorherige Szenario weiter modifiziert. Weitere 13,5 % der Gesamtfläche (das gesamte Grasland) wurden zum Landnutzungstyp Douglasie, so dass nun 15,5 % der Gesamtfläche zusätzlich aufgeforstet wurde. Jedoch wurde auch mit dieser drastischen Maßnahme nur ein weiterer Prozentpunkt (jetzt 3) in der Biomasseproduktion erreicht. Die Trade-Off Effekte sind in beiden Bewertungsmatrizen sehr positiv, lediglich der Erholungswert (recreation) sinkt leicht (Abb 4-4).

Generell zeigt sich somit, dass das BM zur Erreichung des gesteckten Ziels einer Steigerung des Biomasseindex um 20 Prozentpunkte (unter Berücksichtigung der Trade-Off Effekte) nicht geeignet ist. Die Biomasseproduktion der forstwirtschaftlichen Landnutzungstypen ist im Vergleich zur Landwirtschaft zu gering. . Das BM findet daher sinnvoller Weise eher Anwendung in kleinräumigeren Analysen forstwirtschaftlich geprägter Gebiete.

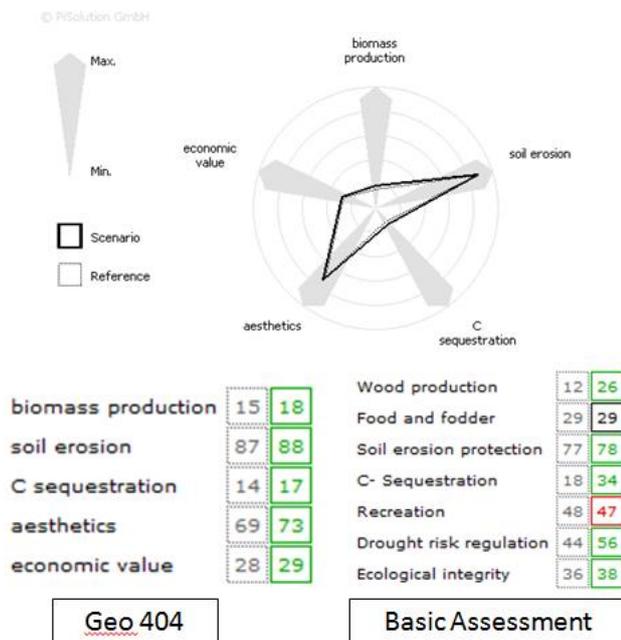


Abbildung 4-4: Bewertung des „BM 15,5 %“ - Szenarios

Daher wird im folgenden Abschnitt 4.2 das Szenario „BM 2%“ durch die Nutzung des AAMS Moduls hinsichtlich der landwirtschaftlichen Nutzung weiter verändert.

## 4.2 AAMS

Das „Automatic Attribute Management System“ (AAMS) Add-on hilft dem Nutzer von GISCAM Landnutzungs/Landbedeckungs (LUC) Daten mit Attribut Layern zu verschneiden um die Szenarienerstellung zu verbessern. Die Attribut Layer können jegliche Art von räumlichen Daten beinhalten, z.B. Bodentypen, Niederschlagswerte oder binäre Informationen wie ein Bebauungsverbot von Flächen. Somit ist es mit der Hilfe von AAMS möglich die existierende LUC basierend auf der Information von zusätzlichen Layern zu ändern und kombinierte Attribut Layer zu erstellen indem einzelne Attribut Layer miteinander verschritten werden (FRANK 2015:43).

### 4.2.1 Szenario „BM 2% enhanced“

Zur weiteren Steigerung des Biodiversitätsindexes wurden ausgehend vom „BM 2%“ Szenario folgende zusätzliche Maßnahmen (bis zum Erreichen des Zielwertes der Biomasseproduktion) durchgeführt:

- Weitere Aufforstungsflächen zu Douglasie
- priority area agriculture zu von Silomais bestimmter Fruchtfolge (L10)
- Umwandlung der Fruchtfolgen L1, L2, L3 (bestimmt von Raps, Weizen, Gerste) zu von Silomais bestimmter Fruchtfolge (L10)

Die optische Landschaftsstruktur ändert sich nun erheblich (Abb. 4-5).

Durch diese extremen Eingriffe konnte der Biomasseindex um 21 Prozentpunkte gesteigert werden, allerdings auf Kosten von 16 Prozentpunkten beim Index für Bodenerosionsschutz. Die Bewertungsmatrix „Basic Assessment“ zeigt hingegen nur einen geringen Zuwachs für den „Nahrung und Futter“ – Index. Neben einer Steigerung der Holzproduktion und der Kohlenstoffeinlagerung (durch Waldumbau verursacht) sinken alle anderen Kriterien, verursacht durch die Verstärkung von Monokulturen (Abb. 4-6).

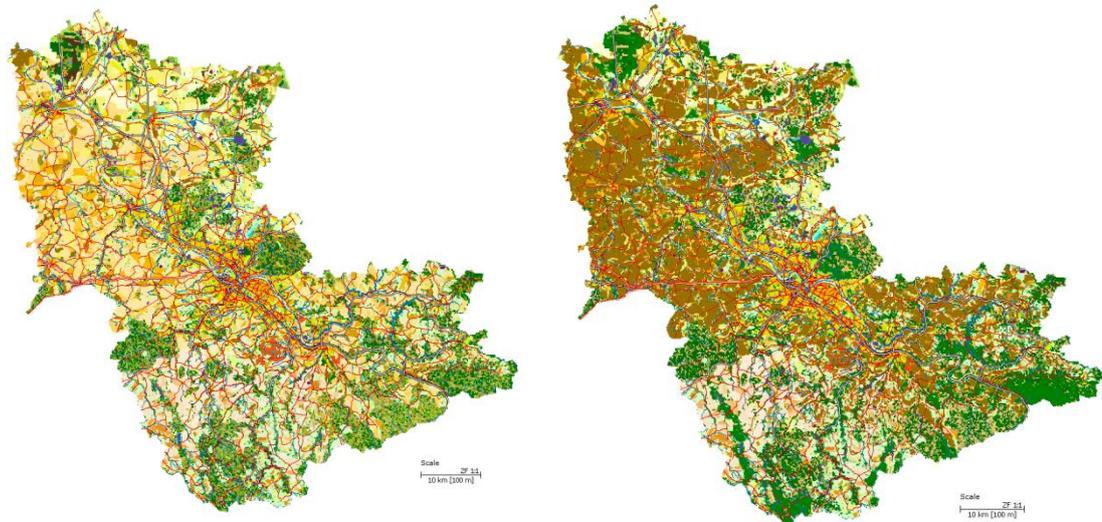


Abbildung 4-5: Vergleich Ausgangsszenario (links) mit Szenario „BM 2 % enhanced“ (rechts)

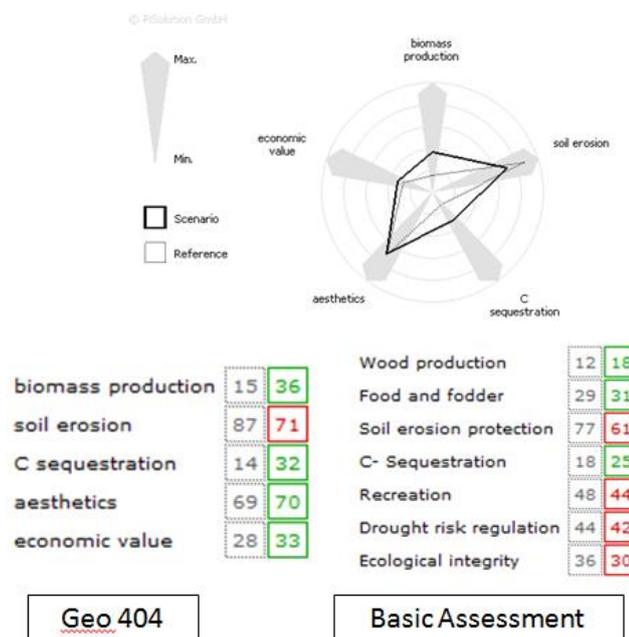


Abbildung 4-6: Bewertung des „BM 2 % enhanced“ - Szenarios

#### 4.2.2 Szenario „BM 2 % trade off“

Um die negativen Auswirkungen auf die Bodenerosionsanfälligkeit zu verringern wurde die im „BM 2% enhanced“ Szenario verwendete hochproduktive, von Silomais dominierte Fruchtfolge durch eine von Zuckerrüben und Weizen dominierte Folge (L5) ersetzt.

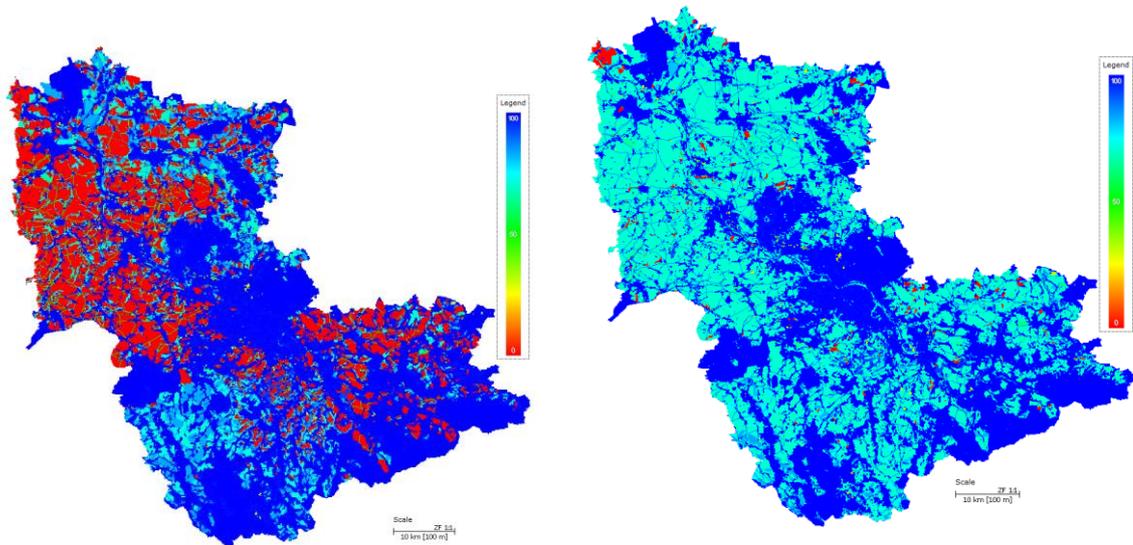


Abbildung 4-7: Vergleich Bodenerosion „BM 2 % enhanced“ (links) mit Szenario „BM 2 % trade off“ (rechts)

Diese ist günstiger für den Bodenerosionsrisikozuwachs, produziert jedoch weniger Biomasse, so dass weitere landwirtschaftliche Flächen mit dieser Fruchtfolge bebaut werden müssen. Grasland wurde ebenfalls mit der Zuckerrüben/Weizen Fruchtfolge bebaut. Das Ziel der Verringerung der Bodenerosion wurde erreicht (Abb. 4-7).

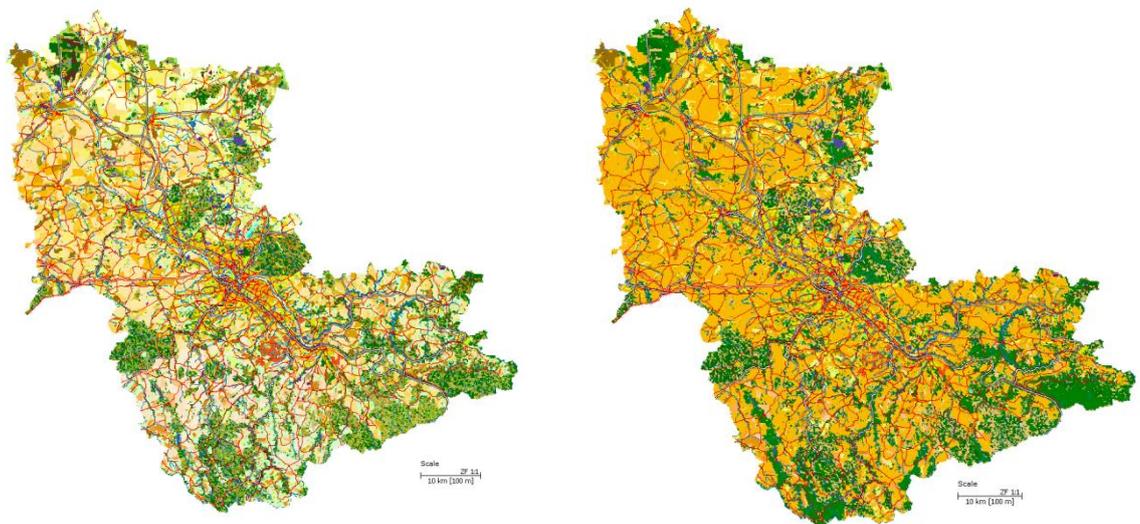


Abbildung 4-8: Vergleich Ausgangsszenario (links) mit Szenario „BM 2 % trade off“

Jedoch besteht das Gebiet dann hauptsächlich aus Flächen der genutzten Fruchtfolge (L5) und Douglasien bzw. Buche/Eichenwäldern und verliert vollständig seinen bisherigen optischen Charakter (Abb. 4-8).

Der Trade-Off für die Bodenerosion wurde auf 3 Prozentpunkte verringert, die Ästhetik leidet nun allerdings (4 Prozentpunkte). In der Basic Assessment Bewertung sind jedoch noch nachvollziehbare Trade-Offs für den Erholungswert und die besonders die ökologische Integrität vorhanden (Abb. 4-9).

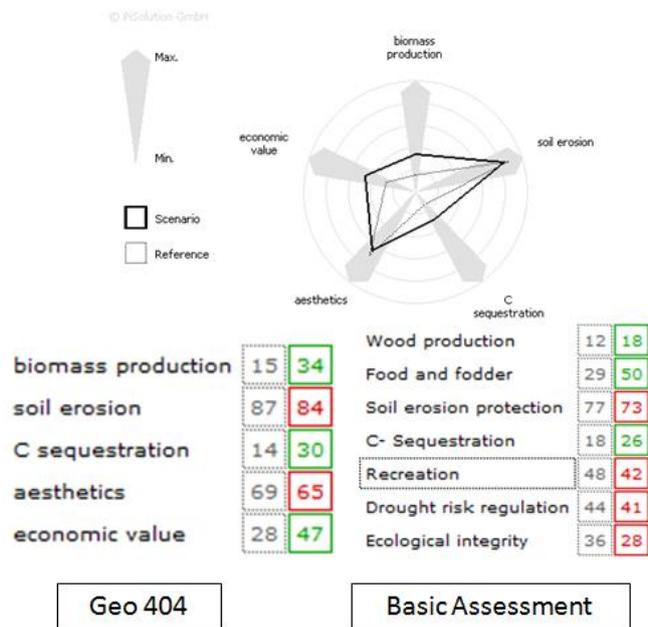


Abbildung 4-9: Bewertung des „BM 2 % trade off“- Szenarios

Connected (semi-)natural area:	23.56%
Core Area Index of (semi-)natural areas:	15.61%
Effective Mesh Size of unfragmented areas:	4.53km <sup>2</sup>
Shape Index of (semi-)natural areas:	1.46
Shannon's Diversity Index:	1.53
Patch Density:	0.28/km <sup>2</sup>

Abbildung 4-10: Landschaftsstrukturmaße des Szenarios „BM 2 % trade off“

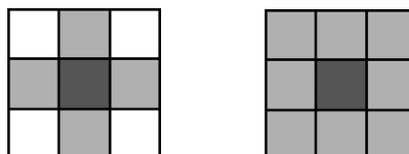
Da dieses Szenario die Zielvorgabe einer Steigerung der Biomasse um 20 mit 19 Prozentpunkten annähernd erreicht und die Trade-Off Effekte wesentlich geringer als beim vorherigen „BM 2% enhanced“ Szenario sind, wurden für dieses Szenario einige Landschaftsstrukturmaße mit dem in GISCAMe enthaltenen Modul LSM berechnet.

Dies soll den späteren Vergleich mit den Ergebnissen der mit dem zellulären Automaten erzeugten Szenarien ermöglichen (Abb. 4-10).

### 4.3 Zellulärer Automat (CA)

Der zelluläre Automat (CA) ist ein mathematisches Modell mit diskreten Raum und diskreter Zeit (PACKARD & WOLFRAM 1985:901). Der Raum wird als Gitter oder Array von Zellen repräsentiert (BECKMANN 2003:3). Die Zeit verkehrt durch Zeitschritte, die in der Regel Iterationen des Modells sind. Für jede Zelle gilt eine Menge lokaler Regeln, die festlegen, wie sich der neue Zustand dieser Zelle aus ihrem Zustand und dem der Nachbarzellen (im vorherigen Zeitschritt) ergibt (WEIMAR 1997). Übergangsregeln können deterministisch (Wahrscheinlichkeiten quantifizierbar) oder stochastisch (zufallsbedingt) sein (FÜRST 2015b:21). Hierbei gibt es zwei Möglichkeiten der Nachbarschaftsbeziehungen (Abb. 4-11). In GISCAME wird in Bezug auf Proximity-Effekte das Moore Nachbarschaftsprinzip verwendet (FÜRST et al. 2010:3).

Je nach Dimensionszahl des zugrundeliegenden Gitters unterscheidet man, 1-, 2- und höherdimensionale CA (PACKARD & WOLFRAM 1985:903). In der Landschaftsmodellierung wird der CA zur Abschätzung möglicher Raummusterentwicklungen unter vorher getroffenen Annahmen (Wahrscheinlichkeiten) und Restriktionen (Ausschlusskriterien, Randbedingungen) getroffen (FÜRST 2015b:20). Die Wahrscheinlichkeiten geben an, wie gewöhnlich oder ungewöhnlich es ist, dass eine Umwandlung eines Landnutzungstypen von einem Zeitpunkt zu einem anderen vonstattengeht, welches in GISCAME vom Nutzer bestimmt wird (0-100%) (FÜRST et al. 2010:2f.). Restriktionen beschreiben Einschränkungen, die in GISCAME für die Umwandlung einer Zelle eines Landnutzungstypen in einen anderen anhand von Attributen (Nachbarschaftsanzahl, Temperatur, Eigenschaften, Staatswald, etc.) implementiert sind und vom Nutzer bestimmt werden müssen (FÜRST et al. 2010:3)



*Abbildung 4-11: Nachbarschaftsbeziehungen nach v. Neumann und Moore (FÜRST 2015b:23)*

Mögliche Probleme des CAs sind: dass dieser zwar zeitlich dynamisch und räumlich korrekt ist - aber nicht normativ, dass eher ein Bündel möglicher Trends simuliert wird, dass unechte Zeitschritte verwendet werden, dass unterschiedliche Zeitdynamiken von Landnutzungen (LW & Wald) und Systemkompartimente (Boden nur bedingt) abgebildet werden können (FÜRST 2015b:32). Ebenfalls ist die Zustandsbewertung nur durch Kopplung mit einem Prozessmodell möglich, dass in GISCAME durch die Implementierung durch BWINPro ermöglicht wurde. Positive Eigenschaften des CAs für die integrative Landnutzungsplanung sind, dass eine Vielzahl von Zuständen, die unter bestimmten Rahmenbedingungen und nach einer bestimmten Anzahl von Iterationen auftreten, simuliert werden können und daher für die Planung Rückschlüsse auf mögliche zukünftige Risiken und den Test auf Wirksamkeiten von Politiken bzw. Vorgaben ermöglichen (FÜRST 2015b:31).

### **4.3.1 Realistisches Szenario im Zellulären Automaten (CA)**

Das Ziel dieses Versuches ist die Erstellung eines „realistischen“ Szenario unter der Berücksichtigung von etwaigen Möglichkeiten der Umgestaltung von Landnutzungstypen im CA. Dafür wurde ein Ruleset im CA Add-on von GISCAME erstellt (Tab. 4-1). Hierbei wird angegeben welche Landnutzungs-kategorie (LUC) sich mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit (Wahrs.) in eine andere Landnutzungs-kategorie (Ziel LUC), wenn sowohl Nachbarschaftsbeziehungen (Konditionen) und gewisse Standorteigenschaften (Attribute) erfüllt sind, umwandelt. „Konditionen“ und „Attribute“ beschreiben Randbedingungen, welche für eine Änderung des Landnutzungstypen valide sein müssen. Die „Konditionen“ beschreiben Bedingungen an das Nachbarschaftsgefüge des Pixels, welche durch das Nachbarschaftsmodell nach Moore beschrieben wird. Vor allem urbane Nachbarschaftsabfragen wurden im Zuge des Szenarios implementiert, sprich dass nur eine maximale Anzahl an benachbarter urbaner Pixel an das potentielle Umwandlungspixel angrenzen dürfen. Die „Attribute“ beschreiben hingegen zusätzliche Eigenschaften an die potentielle Landnutzungs-kategorie bzw. der potentielle Umwandlungsfläche, welche besonders Abfragen an Vorherrschen eines Schutzgebietes, eines Hochwasserschutzgebietes, einer Aufforstungsfläche, eines Staatswaldes oder eine gewisse Anzahl an Niederschläge der Umwandlungsfläche waren.

L10 (Corn Silage, Corn Silage) ist die Fruchtfolge bzw. Landnutzungstyp, welcher laut den Bewertungskriterien die meiste Biomasse produziert und wurde daher verwendet, um Feuchtgebiete, Wiesen, Tagebauflächen, freien urbanen Raum, Brachland, Sand, Hecken und weniger ertragsreiche Landwirtschaftsflächen teilweise umzuwandeln. Die weniger ertragsreichen Landwirtschaftsflächen wurden zusätzlich in die ertragsreichste landwirtschaftliche Fruchtfolge der jeweiligen Bodenart (Verwitterungsboden, Lössboden & Diluvialboden) umgewandelt. Douglasien bilden Wälder, welche die meiste Biomasse produzieren, daher wurden Feuchtgebiete, Wiesen, Brachland und Sand teilweise in diese Landnutzung umgewandelt. Baumarten, welche wenig Biomasse produzieren, und Aufforstungsflächen wurden teilweise zu gleichen Teilen in Douglasien, Douglasien-Buchen, Eichen-Buchen und Fichten umgewandelt, welche alle eine gute Biomassenproduktion besitzen, um die Strukturvielfalt des Waldes beibehalten und somit die Biodiversität aufrechtzuerhalten. Die restlichen Maßnahmen und deren Randbedingungen sind aus der Tabelle zu entnehmen (Tab. 4-1). Die Berechnung des CA erfolgte für 50 Wiederholungen, welches 50 Jahre simulieren soll.

*Tabelle 4-1: Ruleset des „CA realistisch“ - Szenarios im Zellulären Automaten*

LUC	Ziel LUC	Wahrs.	Konditionen	Attribute
<b>Wetlands</b>	Douglas-Fir	2	Urban <= 3 Pix	Kein Schutzgebiet
	L10	10		Kein Hochwassers.
<b>Grassland</b>	Douglas-Fir	10	Urban <= 1 Pix	Kein Schutzgebiet
	L10	5		Kein Hochwassers
	Viticulture	2		Aufforstungsfläche (Douglas-Fir)
	Greenhouses	1		Temp. >= 10°C (Viticulture).
<b>Open-Cast</b>	Water	20		
	Douglas-Fir	5		/
	L10	5		
<b>Urban open Space</b>	L10	5	Urban <= 3 Pix	Kein Schutzgebiet
<b>Sealed Surfaces</b>	Short Rotation Coppice	1	Urban <1 Pix	/

LUC	Ziel LUC	Wahrs.	Konditionen	Attribute
<b>Fallow Land</b>	L10	15		Kein Aufforstungsgebiet
	Douglas-Fir	2	/	Aufforstungsgebiet
	Greenhouses	1		/
<b>Sand</b>	Douglas-Fir	15		Niederschlag > 500 [mm/Jahr]
	L10	5	/	
	Greenhouses	2		/
<b>Hedges</b>	L10	20	Urban < 1 Pix	/
<b>Afforestation</b>	Douglas-Fir	25	/	/
	Douglas-Beech			
	Spruce			
	Beech-Oak			
<b>V1, V4, V7, V8, V10</b>	L10	9		/
	V9	4		
<b>D1, D3, D4, D5 D6</b>	L10	9		/
	D9	4		
<b>Hop</b>	L10	9		/
	L5	4		
<b>L1, L2, L9</b>	L10	9		/
	L5	4		
<b>Birch</b>				
<b>Swamp Birch</b>	Douglas	12	Douglas >=3 P.	Staatswald
<b>Poplar</b>				
<b>Oak-Maple</b>				
<b>Red Oak</b>				
<b>Spruce-Fir</b>	Douglas-Beech	12	Douglas-Beech >=3 P	Staatswald
<b>Pine-Oak</b>				
<b>Ash</b>				
<b>Spruce-Oak</b>				
<b>Oak-Red Oak</b>	Oak-Beech	12	Oak-Beech >=3 P	Staatswald
<b>Oak-Pine</b>				
<b>Oak</b>				
<b>Pine-Birch</b>				
<b>Maple</b>	Spruce	12	Spruce >=3 P	Staatswald
<b>Pine</b>				
<b>Larch</b>				

Durch die Anwendung des Rulesets für 50 Jahre ergeben sich große homogene Flächen an L10 und L5 im Nordosten bzw. Nordwesten des Untersuchungsgebietes (Abb. 4-12). Im Süden sind die landwirtschaftlichen Flächen eher durch die Fruchtfolgen D9 und V9 geprägt. Insgesamt zeigt sich, dass alle Fruchtfolgen teilweise in geringer Anzahl vorhanden sind. Ähnliches zeigt sich für die Waldarten. Ebenfalls ist eine Homogenisierung der Waldflächen zu sehen, welche größtenteils aus Spruce, Douglas, Douglas-Beech und Oak-Beech bestehen. Darüber hinaus sind zahlreiche Gewächshäuser auf den ehemaligen Sandflächen im Süden entstanden. Insgesamt konnte eine Homogenisierung der Landnutzung verzeichnet werden, die jedoch vor allem im Vergleich zu den extremen Szenarien deutlich geringer und realistischer ausgefallen ist. Im Vergleich zur Ausgangslandnutzung zeigt sich, dass die Biomasseproduktion um 20 Prozentpunkte gestiegen ist (15 → 35), der Erosionsschutz jedoch um 14% Punkte gesunken ist (87 → 73), die Kohlenstoffspeicherung um acht Punkte gestiegen ist (14 → 22), der ästhetische Wert bzw. Erholungswert um drei Punkte gesunken ist (69 → 66) und der ökonomische Wert um sechs Punkte gestiegen ist (28 → 34) (Abb. 4-12). Die Landstruktur des LSM Moduls von GISCAME ergab eine Fläche von 26,25% (Orig. 31,95%) verbundener (semi-) natürlicher Flächen und 15, 92 % (Orig. 20,09 %) für den Kernregion Index der (semi-) natürlichen Flächen.

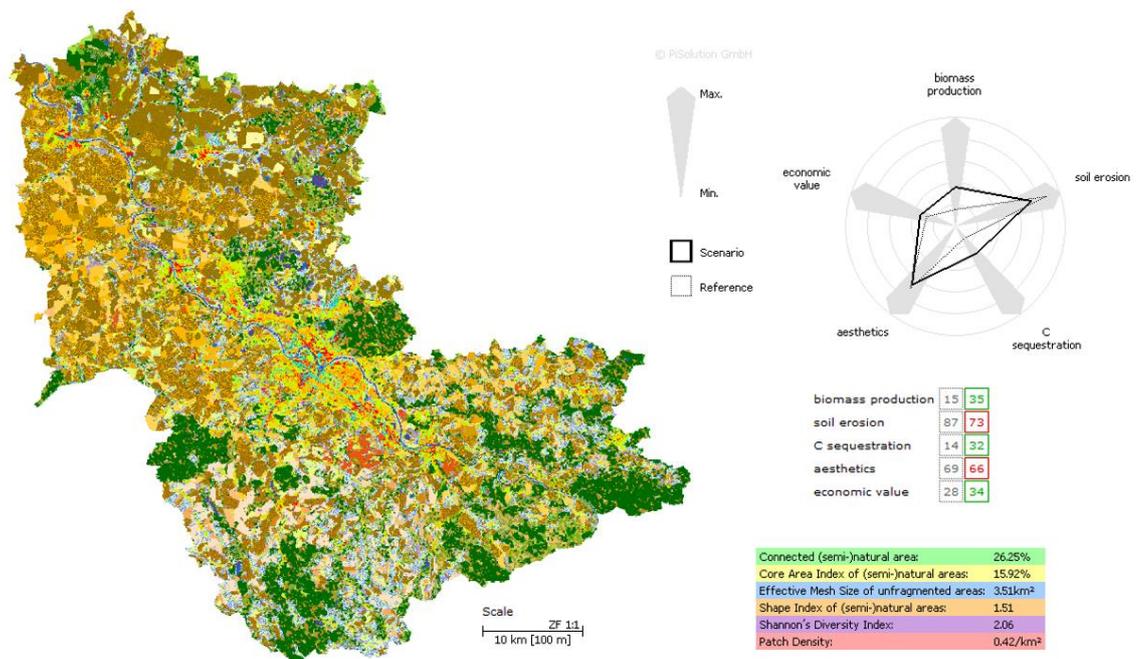


Abbildung 4-12: Ergebnisse des „CA realistisch“ - Szenarios im Zellulären Automaten

Es ergibt sich ein Shape Index Wert von 1,51 (Orig. 1,49) für die natürlichen Flächen und ein Shannon's Diversity Index Wert von 2,06 (Orig. 2,17) und damit ein leicht schlechteres Ergebnis als die Ausgangssituation (Abb. 4-12).

Diese Entwicklungen der Bewertungskriterien, durch die Umgestaltung der Landnutzung, zeigen sich ebenfalls in den Potentialkarten (Abb. 4-13). Die Biomassenproduktion ist besonders groß im Nordwesten und Nordosten, sprich in den Bereichen der Fruchtfolge L10 und vor allem gering in den urbanen Gebieten im Zentrum des Untersuchungsgebietes und im Süden in waldreichen Regionen. Der Erosionsschutz zeigt ein inverses Bild, da er vor allem in den landwirtschaftlichen Bereichen besonders gering ist (sehr gering in den Flächen der Fruchtfolge L10), jedoch sehr groß in Waldregionen und urbanen Bereichen ist (L10 - Erosionsschutz von 0 Punkten). Die C-Speicherung ist ähnlich wie die Biomassenproduktion besonders in urbanen Bereichen gering, jedoch in landwirtschaftlichen Gebiete sehr groß. Forstflächen zeigen eher eine mittelmäßige Kohlenstoffspeicherung auf. Der Erholungswert bzw. ästhetische Wert ist vor allem in den Waldbereichen sehr hoch und mittelmäßig für landwirtschaftliche Bereiche. Da mehr landwirtschaftliche Flächen vorhanden sind gibt es leichte Einbußen am ästhetischen Wert.

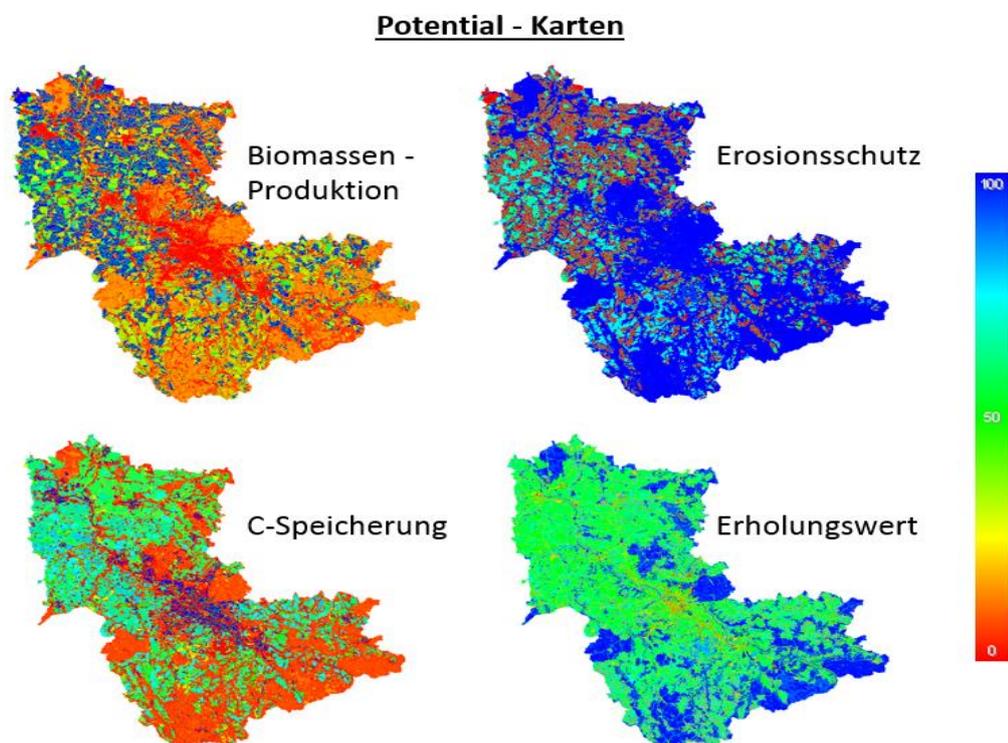


Abbildung 4-13: Potential Karten des „CA realistisch“ - Szenarios

Insgesamt zeigt sich ein gutes Ergebnis, mit realistischen Änderungen der Landnutzung. Jedoch gibt es durch das Szenario eine Verschlechterung des Erosionsschutzes und des ästhetischen Wertes, welches dafür jedoch eine Steigerung der Biomasseproduktion um 20% Punkte unter einem minimalen Verlust der Landoberflächenstruktur, ergab. Daher ist vor allem der Verlust an Erosionsschutz und ästhetischen Wert ein negativer Punkt des Szenarios.

### 4.3.2 Maximierung von Biomasse, Ökonomie und Ästhetik

In den folgenden Szenarien liegt der Fokus ausschließlich auf der Maximierung der Bewertungskriterien Biomasse, Ökonomie und Ästhetik um einen theoretischen Maximalwert des jeweiligen Kriteriums unter Beibehaltung der übergeordneten Nutzungsart (Landwirtschaft, Forst, Urban) zu erreichen.

Für das Szenario „Biomasse max.“ wurden alle in der Planungsregion vorkommenden Baumarten zum Mischbestand *Douglasie-Fichte* geändert, da dieser in der erstellten Bewertungsmatrix den höchsten Biomassewert aufweist. Ebenfalls wurden alle als „Aufforstung“ ausgewiesenen Flächen zu *Douglasie-Fichte* geändert.

Landwirtschaftliche Flächen wurden komplett in die Fruchtfolge L10 „corn silage - corn silage - corn silage - Wheat“ geändert um den Biomassenertrag für landwirtschaftlich genutzte Gebiete ebenfalls zu maximieren. Zuletzt wurde allen Brachflächen ebenfalls der landwirtschaftliche Nutzungstyp L10 zugewiesen.

Abbildung 4-14 zeigt die visuelle Änderung in der Planungsregion nach Anwendung der o.g. Änderungen. Abbildung 4-15 zeigt die Auswirkung der Änderungen bezogen auf die Bewertungskriterien. Die Biomassenproduktion erhöht sich um 35 Punkte und weist somit in Kombination mit dem Kriterium Kohlenstoffsequestrierung (Anstieg um 30 Einheiten) einen starken Anstieg aus. Hingegen geht der Ästhetik Wert leicht (3 Einheiten) und das Bodenerosionskriterium sehr stark (29 Einheiten) zurück. Die hier dargestellten Bewertungseinheiten beziehen sich auf die Bewertungskriterien „Geo 404“ die im Zuge des Seminars durch die Kursteilnehmer erarbeitet wurden.

Beim Szenario „Ökonomie max.“ wurden die Landnutzungstypen dahingehend verändert, dass alle forst- und landwirtschaftlich genutzten Flächen den höchsten Wert für Ökonomie aufweisen. Alle Baumbestände wurden daher zu *Fichte* und alle Landwirtschaftsflächen zu Typ L5 „sugar beet – wheat – wheat“ umgewandelt. Aufforstungsflächen wurden ebenfalls zu *Fichte* geändert und brachliegende Flächen zu Landnutzungstyp L5.

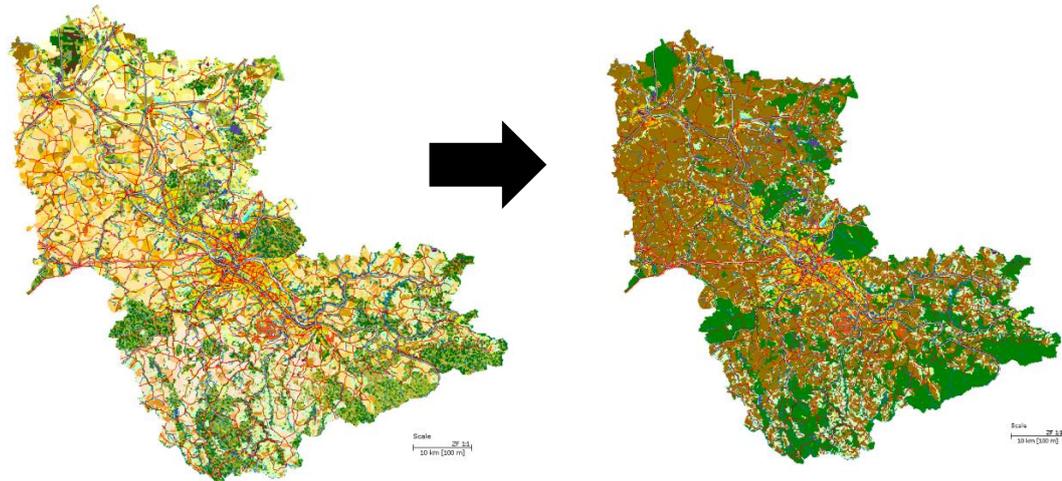


Abbildung 4-14: Visuelle Änderung der Planungsregion im Szenario „Biomasse max.“

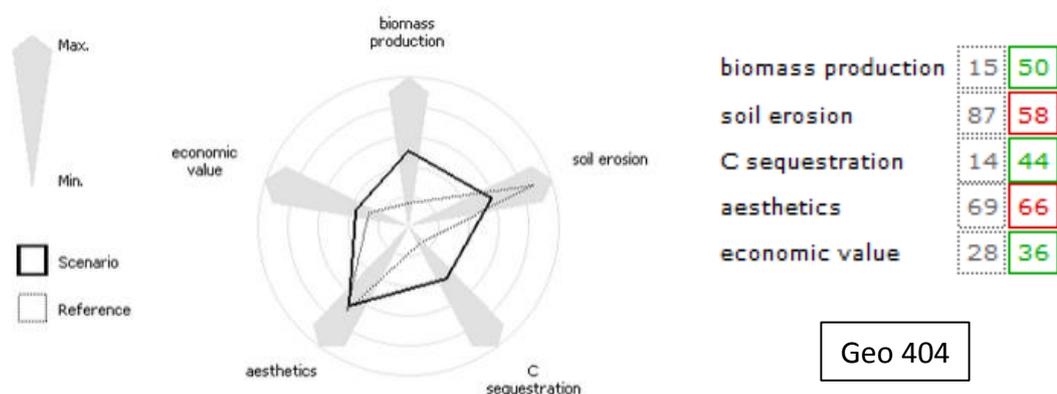


Abbildung 4-15: Auswirkung der Änderungen auf die Bewertungskriterien für das Szenario „Biomasse max.“

Abbildung 4-16 zeigt die visuelle Veränderung der Planungsregion nach Änderung der Landnutzungstypen im Szenario „Ökonomie max.“. Der ökonomische Wert als Hauptziel steigt um 15 Einheiten an. Lediglich der ästhetische Wert geht in der Region um zwei Einheiten zurück (Abb. 4-17).

Das Bodenerosionskriterium bleibt unverändert und die Biomassenproduktion sowie die Kohlenstoffsequestrierung steigen jeweils an (um 17 bzw. 15 Einheiten).

Der gleiche Ansatz wie für die beiden vorgestellten Szenarien „Biomasse max.“ und „Ökonomie max.“ wird für das Szenario „Ästhetik max.“ verwendet.

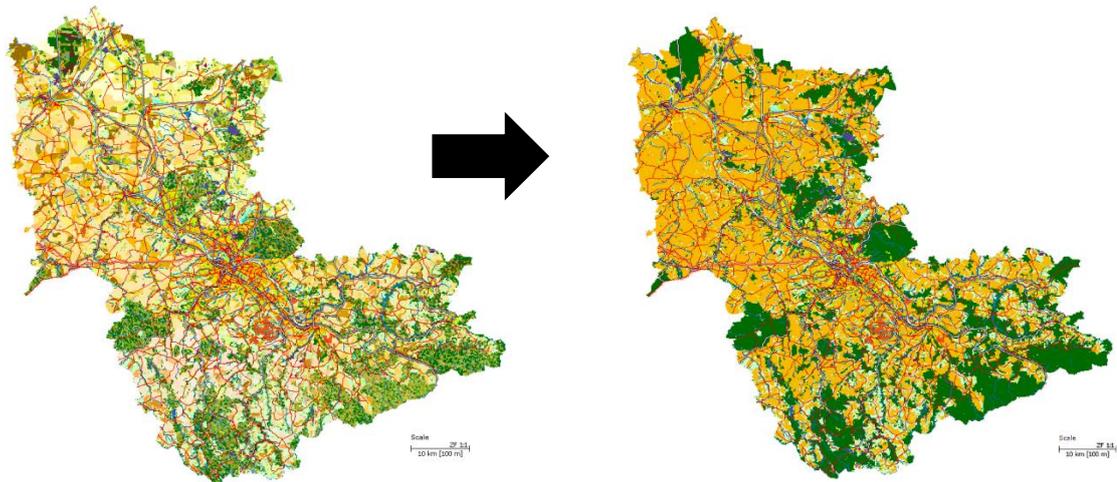


Abbildung 4-16: Visuelle Änderung der Planungsregion im Szenario „Ökonomie max.“

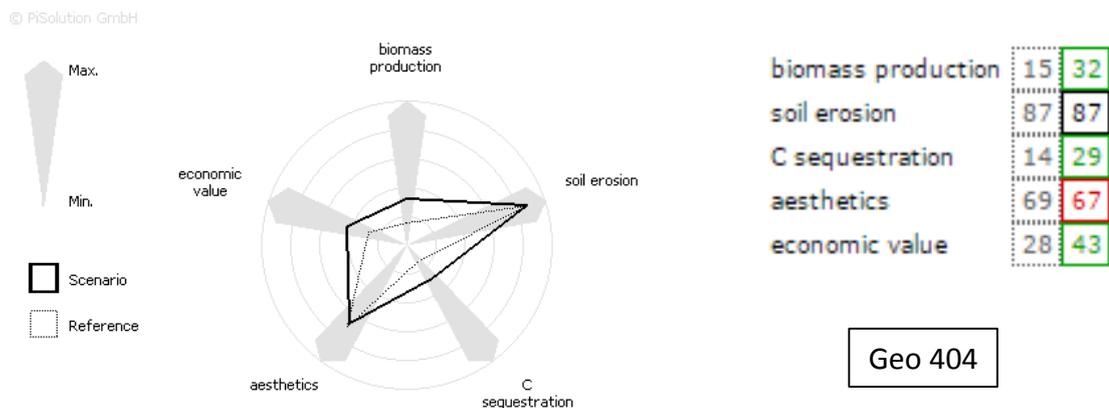


Abbildung 4-17: Auswirkung der Änderungen auf die Bewertungskriterien für das Szenario „Ökonomie max.“

Aufforstungsflächen und Baumbestände wurden zum Mischbestand Roteiche – Eiche umgewandelt.

Landwirtschaftsflächen wurden in Nutzungstyp V5 „field gras – corn silage – triticale – rye“ geändert, ebenso alle Brachflächen. Abbildung 4-18 zeigt wie sich die Planungsregion nach den Änderungen im Szenario „Ästhetik max.“ darstellt.

Im vorliegenden Szenario gibt es keine Reduzierung der Bewertungskriterien, jedoch steigen die meisten Werte nur gering an (Ökonomie (2), Bodenerosion (2), Kohlenstoffsequestrierung (3), Biomassenproduktion (4)). Das Hauptziel des Ästhetikwertes weist einen Anstieg um 7 Einheiten auf (Abb. 4-19).

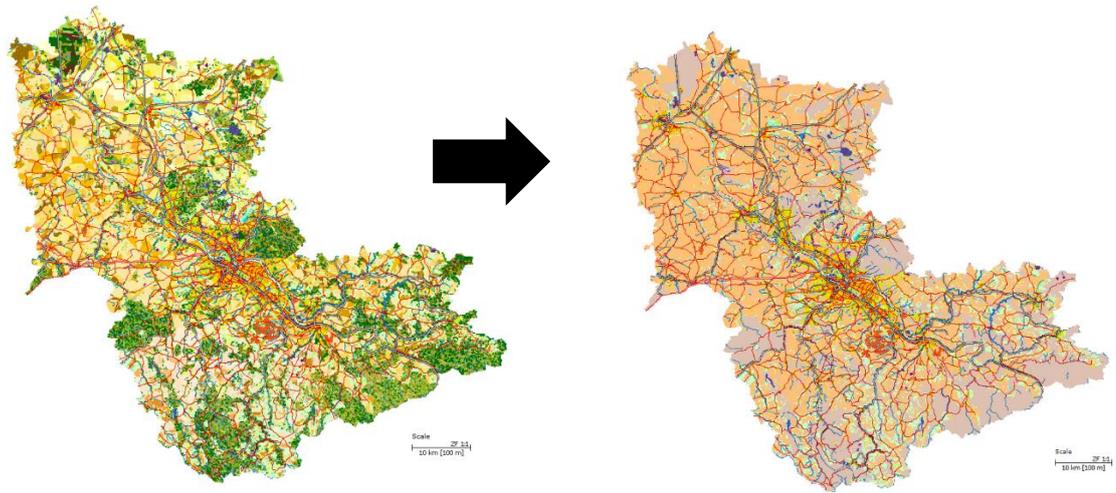


Abbildung 4-18: Visuelle Änderung der Planungsregion im Szenario „Ästhetik max.“

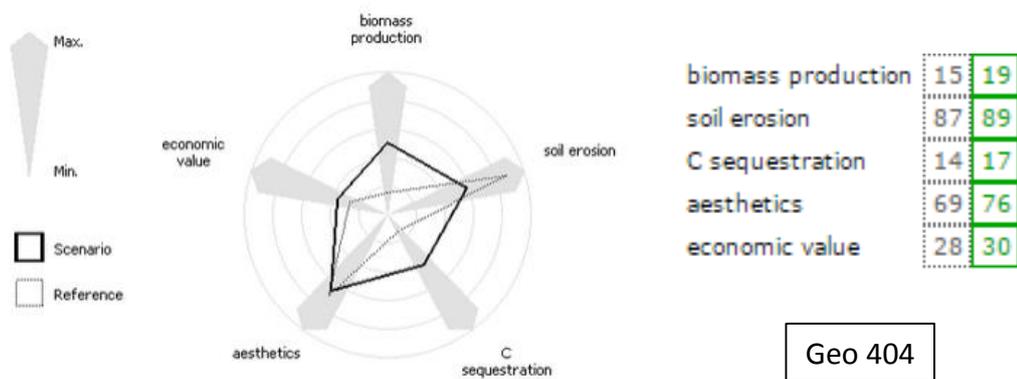


Abbildung 4-19: Auswirkung der Änderungen auf die Bewertungskriterien für das Szenario „Ästhetik max.“

# Kapitel 5: Diskussion

Im folgenden Abschnitt werden die in diesem Kurs von den Autoren erarbeiteten Bewertungskriterien sowie die Ergebnisse der erstellten Szenarien diskutiert.

## 5.1 Bewertungsgrundlagen

### 5.1.1 Biomasse

Die Biomasseproduktionsmaximierung als Zielkriterium für eine nachhaltige Bewirtschaftung eines Gebietes ist ohne Informationen zur Verwendung der entsprechenden Produktion nur eingeschränkt sinnvoll. Maissilage hat z.B. einen entscheidend negativeren Einfluss auf den Kohlenstoffhaushalt der Erde wenn es als Futter für die Fleischproduktion verwendet wird, als bei der Verwendung zur Produktion in Biokraftwerken.

Ein weiterer, durch die begrenzte Zeitkapazität während des Seminars verursachter Schwachpunkt ist die in kürzester Zeit durchgeführte Internetrecherche zu den Ertragswerten der Feldfrüchte. So kann ein wechselnder Bezug der Angaben zu Trocken- bzw. Feuchtmasse nicht ausgeschlossen werden. Außerdem beziehen sich die Ertragsdaten für die forstlichen Landnutzungsklassen auf die insgesamt auf der Fläche stehende Biomasse, während die Ertragsdaten der Feldfrüchte sich auf die Erntemengen beziehen. Die Angaben zur gesamten produzierten Biomasse wären also, bei gleicher Bezugsbasis wie beim Wald, höher. Dies würde allerdings den beobachteten Trend der Überlegenheit der landwirtschaftlichen Nutzung in Bezug auf Biomasseproduktion nur noch verstärken.

### **5.1.2 Regionalökonomie**

Der Bewertungsmaßstab für die urbanen Flächen wurde nur mit einem Wert auf Basis der Grundstücksflächen festgelegt. Dies ist zum einen aufgrund der hohen absoluten Differenz zu den Forst- und Biomasse Flächenwerten kritisch zu sehen und zum anderen aufgrund der nicht vorhandenen räumlichen Unterscheidung in unterschiedliche urbane Klassen. Die Bewertung von Holzpreisen zur Berechnung des Flächenwertes für Forstgebiete gestaltete sich durch die unterschiedliche Angabe von Messeinheiten (Festmeter, Festmeter ohne Rinde, Trockenwert, Feuchtwert etc.) bzw. durch eine hohe Variabilität der Angaben in den Quellen schwierig und weist somit eine nicht messbare Ungenauigkeit auf. Das gleiche gilt für die Preise verschiedener Produkte in der Landwirtschaft. Hier finden sich räumliche sowie zeitlich stark variierende Preise, die aufgrund der begrenzten Zeit der Recherche einen ebenfalls schwer zu bemessenden Ungenauigkeitswert beinhalten. Weiterhin wurde die Berechnung auf Basis der Ertragswerte durchgeführt, deren Datenerhebung ebenfalls Einschränkungen aufweist (siehe Kapitel 3-1).

### **5.1.3 Erholungswert**

Der erstellte Erholungswert als Bewertungskriterium für die integrative Landnutzungsplanung zeigt einige Schwachstellen in seiner Erhebung auf. So müsste Gebieten in Verdichtungsräumen mit geringen erholungsrelevanten natürlichen Landschaftselementen, dennoch ein hoher Lagewert zugesprochen werden (Park in der Stadt etc.). Ebenfalls wurde nach Grunewald & Bastian eine Einbeziehung regional ansässiger Menschen vorgeschlagen, welches auch nicht durchgeführt wurde. Mit einer Anzahl von sieben Befragungen ist auf Grund des Zeitmangels während des Moduls die Umfrage eher nicht repräsentativ. Darüber hinaus gab es keine Berücksichtigung von: Bereichen mit guter erholungsrelevanter Infrastruktur (Freizeitparks oder Stadtparks), Erreichbarkeiten, Biodiversität und Heterogenität der Landschaft, Luftqualität und Luftausgleichsflächen (Kälte/Wärmeinseln), Besucherzahlen und Naturschutzgebieten. Ebenfalls ist bemerkbar, dass die Bewertung (eventuell auf Grund der geringen Befragungen) insgesamt so gut ausgefallen ist, dass Änderungen der Landnutzung nur geringe Variation des Erholungswertes ergeben.

## 5.2 Vergleich und Interpretation der Szenarien

### 5.2.1 Extremszenarien

Der unter Beibehaltung der übergeordneten Landnutzung (Forst, Landwirtschaft) erreichbare Biomassenmaximalwert von 50 wurde auf Basis der Bewertungsgrundlage „GEO 404“ in dem Maximierungsszenario „Biomasse max.“ ermittelt. Diesem Wert am nächsten kommen die Szenarien „BM 2% enhanced“ (36), „realistisches Szenario im CA-Modul“ (35) sowie „BM 2% trade off“ (34). Dies entspricht einer Erhöhung von 19-21 Prozentpunkten und damit dem übergeordneten Ziel der Biomasseproduktionserhöhung. Um negative trade-off Effekte zu minimieren, wurden die Änderungsmaßnahmen auf das Erreichen des Zielwertes hin optimiert.

Für das Bewertungskriterium Ökonomie wurde im Szenario „Ökonomie max.“ ein Maximalwert von 43 Prozentpunkten erreicht. Dieser Wert wird von Szenario „BM 2% trade off“ mit einem Wert von 47 übertroffen, jedoch unter Nichtbeachtung der Beibehaltung der übergeordneten Landnutzung (Forst, Landwirtschaft). Dies ist ein Beleg der wirtschaftlichen Überlegenheit des landwirtschaftlichen Anbaus erlösstarker Cash Crops gegenüber der forstlichen Nutzung der Flächen.

Das Extremszenario „Ästhetik max.“ erreicht einen Wert von 76 für den Index „Ästhetik“. Der Vergleich mit den anderen Szenarien zeigt, dass Szenario „BM 15, 5%“ mit einem Wert von 73 Prozentpunkten dem Maximalwert am nächsten kommt. Weiterhin weisen bis auf Szenario „BM 2% enhanced“ alle anderen Szenarien eine Minderung des Ästhetik Wertes auf. Dies liegt an der Fokussierung dieser Szenarien auf biomasse-bzw. ökonomiestarke Fruchtfolgen und Baumbestände, die jeweils einen geringen Ästhetikwert aufweisen.

### 5.2.2 Waldumbaumaßnahmen

Die Erreichung des Hauptziels der Steigerung des Biomasseindex um 20 Prozentpunkte ohne größere negative Trade-Off Effekte bei den anderen Kriterien ist allein durch Waldumbaumaßnahmen auf den vorhandenen Waldflächen nicht möglich. Selbst die zusätzliche Aufforstung von 15,5 % der Gesamtfläche erzielt nicht annähernd die geforderte Steigerung der Biomasseproduktion.

Da jedoch nur für forstliche Landnutzungen Ertragsdaten in der Datenbank vorhanden sind, kann das Modul nicht für die Simulation der Auswirkungen von Änderungen in den landwirtschaftlichen Klassen verwendet werden. Auch die rein durch den Waldumbau erzielten Effekte wurden nur auf Grundlage der von uns erstellten Bewertungsmatrix festgestellt. Die vielfältigen Informationen aus der zeitlichen Simulation des BM haben keine Verbindung zur Bewertungsmatrix. Die Nutzung des Biomassemoduls erscheint daher derzeit vor allem für die kleinflächigere Analyse von Bewirtschaftungsmaßnahmen in forstwirtschaftlich stark geprägten Gebieten geeignet.

### 5.2.3 CA - Szenario

Das im zellulären Automaten erstellte vermeintlich realistische Szenario zeigte eine Möglichkeit zur Steigerung des Biomasseindex um 20%. Aufgrund der bereits oben beschriebenen Problematik des geringen Potentials von Forstflächen, war vor allem die Änderung von landwirtschaftlichen Flächen durch das Ruleset nötig. Hierbei zeigten jedoch nur großflächige Änderungen dieser Landnutzung den nötigen Zuwachs an Biomasse zur 20% Steigerung. Aufgrund der fehlenden Einbeziehung von homogenen Landnutzungsflächen bzw. größeren Nachbarschaftsbeziehungen über die acht nächstliegenden Pixel hinaus, war eine Instandhaltung der Landschaftsstruktur im zellulären Automaten nur geringfügig bzw. schwer umsetzbar. Ebenfalls war die Erreichung der 20% Steigerung des Biomasseindex nur mit negativen Trade-Offs in den Bereichen Erosionsschutz und Erholungswert möglich. Dies liegt in der Landnutzung L10 begründet, die einzig ausreichend Biomasse generiert, aber gleichzeitig einen sehr niedrigen Erosionsschutz bietet. Da die Iterationen des zellulären Automaten nicht mit konkreten Zeitschritten gleichzusetzen sind, ist jedoch eine realistische zeitliche Prognose nicht möglich. Dagegen zeigte die Einbettung von Nachbarschaftsbeziehungen bzw. räumlichen Attributen von Landnutzungen im zellulären Automaten eine gute Möglichkeit um realistische Rahmenbedingungen in die integrative Landnutzungsplanung einfließen zu lassen (Besitzverhältnisse). Der Versuch im zellulären Automaten ein möglichst realistisches Szenario zur 20% Steigerung des Biomasseindex zu generieren, war nicht ohne negative Trade-Offs möglich.

### 5.2.4 Vergleich der Szenarien

Ein Vergleich der Bewertungskriterien aller Szenarien (Tab. 5-1) ergibt in drei Fällen die geforderte Steigerung des Biomasseindex um mindestens 20 Prozentpunkte („Biomass max.“, „BM 2% enhanced“, „CA realistisch“). Diese Szenarien weisen jedoch einen hohen negativen Trade-Off für das Bewertungskriterium Soil Erosion auf (-29 bis -14). Das Szenario „BM 2% trade-off“ hingegen weist bei annähernder Erreichung des Primärzieles (19 von 20 Prozentpunkten) eine wesentlich geringere Verschlechterung des Soil Erosion Indexes auf (-3 statt mindestens -14). Der negative Trade-Off des Aesthetic Indexes ist mit einem Wert von -4 Prozentpunkten im Bereich der biomasseproduktionsstärkeren Szenarien (1 bis -3).

*Tabelle 5-1: Unterschiede aller Szenarien im Vergleich zum Ausgangsszenario*

	<b>Biomass</b>	<b>Soil Erosion</b>	<b>C - Sequestration</b>	<b>Aesthetics</b>	<b>Economic</b>
Biomass max	35	-29	30	-3	8
BM 2% enhanced	21	-16	18	1	5
CA realistisch	20	-14	18	-3	6
BM 2% trade-off	19	-3	16	-4	19
Ökonomie max	18	0	15	-2	15
Ästhetik max	4	2	3	7	2
BM 15,5%	3	1	3	4	1
BM 2%	2	1	2	3	1

Anhand der im Kurs erstellten Bewertungskriterien weist das Szenario „BM 2% trade-off“ die höchste Steigerung an Prozentpunkten der Biomasse bei gleichzeitig geringen Trade-Offs auf. Betrachtet man die Landschaftsstrukturmaße des LSM Add-Ons von GISCAM2 zeigt jedoch das Szenario „CA realistisch“ bessere Werte als das Szenario „BM 2% trade off“. Hierbei ergibt sich, als Maß für potentielle Biodiversität, ein Shannon's Diversity Index von 1,53 für „BM 2% trade off“ und 2,06 für „CA realistisch“. Der Core Area Index von „CA realistisch“ (15,92%) weist ebenfalls einen aus ökologischer Sicht günstigeren Wert als „BM 2% trade-off“ (15,61%).

Für die Auswahl des „besten“ Szenarios ist es notwendig zwischen dem Biomasseproduktionsindex (inkl. Trade-Off Effekten) und den Landschaftsstrukturmaßen, hinsichtlich ihrer Bedeutung für das Ziel einer integrativen Landnutzungsplanung, abzuwägen. Da der Unterschied der Landschaftsstrukturmaße wesentlich weniger deutlich als die Verschlechterung des Bewertungskriterium Bodenerosion für das Szenario „BM 2% trade-off“ im Vergleich zu „CA realistisch“ ausfällt, wird vorgeschlagen das Szenario „BM 2% trade-off“ vorzuziehen.

## Kapitel 6: Fazit

Die vorliegende Arbeit nutzt die Software GISCAMe um für die Planungsregion „Oberes Elbtal/Osterzgebirge“ integrative Landnutzungsszenarien zu erstellen. Der Fokus bei der Erstellung der Szenarien liegt auf der Steigerung der Biomasseproduktion, bei gleichzeitig möglichst geringen negativen Effekten auf die Kriterien Ästhetik, Ökonomie, Bodenerosion und Kohlenstoffsequestrierung. Zusätzlich werden die Auswirkungen der Landnutzungsänderungen auf ausgewählte Landschaftsstrukturmaße betrachtet.

Das Primärziel „Steigerung des Biomasseproduktionsindex um 20 Prozentpunkte“ ist nur durch großflächige (und damit unrealistische) Maßnahmen erreicht worden. Das Steigerungspotential durch Änderungen (bzw. Aufforstungen) von forstwirtschaftlichen genutzten Flächen ist sehr begrenzt (maximale Erhöhung des Index um 3 Prozentpunkte bei zusätzlicher Aufforstung von 15,5 % der Gesamtfläche).

Das stärkste Steigerungspotential bezogen auf die Biomasseproduktion weisen landwirtschaftlich genutzte Flächen auf. Vor allem die Ersetzung der Fruchtfolgen landwirtschaftlich genutzter Flächen mit der Fruchtfolge L10 (Maissilage) ermöglicht, aufgrund ihrer enormen Biomassenproduktion, eine starke Steigerung des entsprechenden Indexes. Durch den schlechten Bodenerosionsschutz dieses Landnutzungstyps und die Erzeugung von großflächigen Monokulturen, ergeben sich starke Trade-Off Effekte für das Bewertungskriterium der Bodenerosion und die Landschaftsstrukturmaße. Die Erzeugung von Monokulturen mit der Fruchtfolge L5 (Zuckerrüben und Weizen) als Kompromiss zwischen Biomasseproduktion und Erosionsschutz („BM 2% trade off“) liefert geringere negative Trade-Off Effekte bezogen auf die Bewertungskriterien und ist daher vorzuziehen.

Unter Berücksichtigung des Biodiversitätspotentials (quantifiziert durch Landschaftsstrukturmaße) ist eine kombinierte Änderung der Landnutzung auf die ertragsreichsten Fruchtfolgen der jeweilig vorherrschenden Bodentypen (Diluvialböden, Lössböden und Verwitterungsböden), wie im Szenario „CA realistisch“, sinnvoll.

Abschließend ist festzuhalten, dass die Anwendung von Landnutzungsänderungen auf die gesamte Planungsregion unrealistisch erscheint. Die Verwendung individualisierter Maßnahmen auf funktional homogene Teilgebiete (z.B. vorwiegend Forstwirtschaft, Urban, Landwirtschaft usw.) mit ähnlicher naturräumlicher Ausstattung wäre sinnvoller.

# Literatur

BECKMANN, H.G. (2003): Zelluläre Automaten.

<<http://www.vlin.de/material/ZAutomaten.pdf>> (Last Update: 2003-05-04) (Access: 2015-04-28).

FRANK, S. (2015): GISCAME Handbook v2.1.

FÜRST, C. (2015a): Einführung in die Fachplanung. Bonn: ELI - The European Land-use Institute.

FÜRST, C. (2015b): Einstieg Systeme der Landnutzungsplanung. Bonn: ELI - The European Land-use Institute.

FÜRST, C. (2015c): Vorlesungsunterlagen GEO 404: Einstieg in die Modellierung.

FÜRST, C., C. LORZ, K. PIETZSCH&L. KOSCHKE, et al. (2010): Pimp your landscape - a cellular automaton approach to estimate the effects of land use pattern changes on environmental services: Proceedings International Conference on Integrative Landscape Modelling.

GRUNEWALD, K.&O. BASTIAN (2013): Ökosystemdienstleistungen: Konzept, Methoden und Fallbeispiele. Berlin, Heidelberg: Springer.

HARTH, M.: Multikriterielle Bewertungsverfahren als Beitrag zur Entscheidungsfindung in der Landnutzungsplanung - unter besonderer Berücksichtigung der Adaptiven Conjoint-Analyse und der Discrete Choice Experiments. Universität Halle. Dissertation. Universität Halle.

MARKS, R., J.M. MÜLLER, H. LESER&H.J. KLING (1989): Anleitung zur Bewertung des Leistungsvermögens des Landschaftshaushaltes (BA LVL): Forschung zur deutschen Landeskunde. Trier: Der Zentrallausschuss.

NAGEL, J. (2006): Tree Growth Open Source Software <<http://www.nw-fva.de/~nagel/treegross/>> (Last Update: 2007) (Access: 2015-05-10).

PACKARD, N.H. & S. WOLFRAM (1985): Two-Dimensional Cellular Automata. – *Journal of Statistical Physics* 38, (6), 901–946.

- R. P. OBERES ELBTAL / OSTERZGEBIRGE (2014): Regionalstrategie Daseinsvorsorge: ein Produkt des Modellvorhabens Aktionsprogramm regionale Daseinsvorsorge in der Planungsregion Oberes Elbtal/Osterzgebirge. Radebeul.
- R. P. OBERES ELBTAL / OSTERZGEBIRGE (2015a): Lage <<http://www.rpv-elbtalosterz.de/index.php?id=lage>> (Last Update: n.a.) (Access: 2015-04-29).
- R. P. OBERES ELBTAL / OSTERZGEBIRGE (2015b): Planungsregion <<http://www.rpv-elbtalosterz.de/index.php?id=planungsregion>> (Last Update: n.a.) (Access: 2015-04-29).
- R. P. OBERES ELBTAL / OSTERZGEBIRGE (2015c): Verwaltungsstruktur <<http://www.rpv-elbtalosterz.de/index.php?id=verwaltungsstruktur>> (Last Update: n.a.) (Access: 2015-04-29).
- SCHINKE, B., S. HARMELING, R. SCHWARZ&S. KREFT, et al.: Globaler Klimawandel: Ursachen, Folgen, Handlungsmöglichkeiten. Bonn: Germanwatch.
- SCHWEDE, H.&U. ERTEL (2013): Erntemengen und Ernteerträge in Sachsen 2012 <[http://www.statistik.sachsen.de/download/300\\_Voe-Zeitschrift/ZS\\_2013\\_2\\_SN\\_SchwedeErtel19bis25.pdf](http://www.statistik.sachsen.de/download/300_Voe-Zeitschrift/ZS_2013_2_SN_SchwedeErtel19bis25.pdf)> (Last Update: 2013) (Access: 2015-05-10).
- STATISTISCHE ÄMTER DES BUNDES UND DER LÄNDER (2015): Regionalatlas Deutschland <<https://www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/LaenderRegionen/Regionales/Regionalatlas/Regionalatlas.html>> (Last Update: n.a.) (Access: 2015-04-29).
- UMWELTFORSCHUNGSZENTRUM (UFZ) HELMHOLTZ (2011): Forschung für die Umwelt <[http://www.ufz.de/index.php?de=12245&www\\_gloss%5Bgloss\\_id%5D=19](http://www.ufz.de/index.php?de=12245&www_gloss%5Bgloss_id%5D=19)> (Last Update: 2011) (Access: 2015-05-10).
- WEIMAR, J.R. (1997): Simulation with cellular automata. Berlin: Logos.

# Anhang A

Landuse	BIOMASS	Soil erosion protection	C-Sequestration	Recreation	economic value
Water body	0	100	0	100	0
Dense urban	0	100	0	17	100
Loose urban	0	100	0	57	100
Very loose urban	0	100	0	59	100
Big buildings	0	100	0	25	100
Sealed surfaces	0	100	0	4	0
Fallow land	0	30	0	29	0
Very dense urban	0	100	0	31	100
Hedges	5	100	9	60	0
Wetlands	0	90	0	66	0
Viticulture	10	38	13	77	0
Orchards	80	94	100	82	0
Hop	5	94	6	60	0
Bare rock	0	100	0	42	0
Excavation	0	30	0	4	0
Open-cast	0	30	0	12	0
Sand	0	30	0	45	0
Bridges	0	100	0	46	0
Greenhouses	40	100	50	14	0
Urban open space	5	99	9	49	0
Grassland	15	99	18	77	10
Afforestation	10	98	15	36	0
Beech-Oak	15	100	17	100	18
Beech-Spruce	10	100	14	94	11
Beech	10	100	14	93	11
Oak-Maple	5	100	5	90	13
Oak-Beech	10	100	10	96	17
Oak-Pine	5	100	7	88	11
Oak	5	100	7	90	14
Red Oak	5	100	6	97	8
Spruce-Beech	10	100	11	95	8
Spruce-Pine	10	100	15	94	3
Spruce	15	100	18	99	7
Spruce-Fir	5	100	9	92	6

## Anhang A

Landuse	BIOMASS	Soil erosion protection	C-Sequestration	Recreation	economic value
Pine-Birch	5	100	7	91	4
Maple	5	100	7	94	9
Pine	5	100	7	91	3
Pine-Oak	5	100	6	88	7
Ash	5	100	7	90	9
Alder	10	100	11	92	4
Larch	5	100	8	94	6
Douglas Fir-Beech	15	100	21	96	11
Douglas-Fir	20	100	23	86	10
Hornbeam	10	100	0	93	11
Birch	5	100	3	94	2
Oak-Red Oak	5	100	6	100	10
Poplar	0	100	0	92	2
Swamp Birch	5	100	3	81	2
Beech-Fir	10	100	14	90	9
Beech-Maple	10	100	13	89	10
Spruce-Oak	5	100	9	100	8
Douglas Fir-Oak	10	100	13	93	13
Fir	10	100	9	100	6
Short Rotation Coppice	10	100	15	54	0
A1 - Clover - Clover - Clover	20	74	17	65	29
D1 - Rape - Wheat - Barley	15	83	11	64	38
D2 - Rape - Wheat - Corn silage - Barley	35	69	29	65	74
D3 - Rape - Barley - Rye - Grain Maize - Triticale	15	70	11	64	32
D4 - Rape - Triticale - Barley - Clover - Rape - Rye - Barley	10	79	10	64	33
D5 - Rape - Corn silage - Barley - Sunflower	15	66	10	64	73
D6 - Pea - Wheat - Rye - Oats	10	81	10	62	23
D7 - Clover - Wheat - Potatoes - Rye - Sunflower	25	71	22	65	52
D8 - Alfalfa - Alfalfa - Rye - Corn silage - Lupine - Triticale	35	66	27	63	46
D9 - Barley silage - Corn silage - Triticale silage - Wheat	35	70	30	55	42
L1 - Rape - Wheat - Barley	15	75	11	54	42
L2 - Rape - Wheat - Barley - Wheat	15	81	11	64	38
L3 - Rape - Wheat - Corn silage - Barley	15	74	12	64	38
L4 - Sugar beet - Wheat - Corn silage - Barley - Wheat - Barley	35	60	29	64	75
L5 - Sugar beet - Wheat - Wheat	40	66	32	52	74
L6 - Pea - Wheat - Barley - Potatoes - Barley	60	71	50	52	80
L7 - Clover - Wheat - Corn silage - Field bean - Barley	30	71	25	63	54
L8 - Alfalfa - Wheat - Potatoes - Barley - Field bean - Triticale	45	62	38	66	53
L9 - Hemp - Cereals mix silage - Rape - Wheat	30	70	24	64	52
L10 - Corn silage - Corn silage - Corn silage - Wheat	15	76	13	58	32
V1 - Rape - Wheat - Rye	100	0	82	59	61

## Anhang A

Landuse	BIOMASS	Soil erosion protection	C-Sequestration	Recreation	economic value
V2 - Rape - Wheat - Corn silage - Rye	15	83	10	64	34
V3 - Pea - Wheat - Corn silage - Rye	35	72	28	64	72
V4 - Rape - Triticale - Rye - Clover - Rape - Triticale - Rye - Lupine	35	73	28	63	57
V5 - Field grass - Corn silage - Triticale - Rye	15	82	11	64	32
V6 - Rye - Clover - Barley - Corn silage - Oat	35	76	30	73	48
V7 - Clover - Wheat - Pea - Rape - Barley - Rye	30	75	26	58	39
V8 - Clover - Clover - Oat - Barley - Pea - Rye	15	83	11	63	32
V9 - Rye silage - Corn silage - Triticale silage - Rye	15	84	12	63	25
V10 - Rye silage - Alfalfa - Alfalfa - Wheat	55	72	46	58	47
A1 - Clover - Clover - Clover	20	80	14	58	30

# Anhang B

Klassen	Hauptklassen	Ertrag Biomasse [m <sup>3</sup> / (ha * y)]
Birke	Laub	2.06
Eiche-Ahorn	Laub - Laub	3.22
Eiche-Roteiche	Laub - Laub	4.16
Eiche	Laub	4.29
Roteiche	Laub	4.11
Eiche-Erle	Laub - Laub	4.1
Ahorn	Laub	4.61
Esche	Laub	4.59
Kiefer	Nadel	4.37
Eiche-Kiefer	Laub - Nadel	4.52
Kiefer-Birke	Nadel - Laub	4.72
Lärche	Nadel	5.54
Fichte-Eiche	Nadel - Laub	5.7
Erle-Esche	Laub - Laub	5.76
Tanne	Nadel	6.11
Fichte-Erle	Nadel - Laub	5.92
Fichte-Tanne	Nadel - Nadel	5.99
Eiche-Buche	Laub - Laub	6.35
Buche-Tanne	Laub - Nadel	6.88
Fichte-Birke	Nadel - Laub	7.24
Erle	Laub	7.18
Buche-Ahorn	Laub - Laub	8.34
Douglasie-Eiche	Nadel - Laub	8.85
Douglasie-Tanne	Nadel - Nadel	8.7
Buche	Laub	9.31
Buche-Fichte	Laub - Nadel	9.43
Fichte-Kiefer	Nadel - Nadel	10
Buche-Eiche	Laub - Laub	10.86
Fichte	Nadel	12
Douglasie-Buche	Nadel - Laub	13.69
Douglasie	Nadel	15.12

Werte nachträglich geändert (lt.  
Frau Dr. Fürst)