

GEO 404 – Angewandte Geoinformatik

Integrierte Landnutzungs- und Landschaftsplanung

Friedrich-Schiller-Universität Jena

WS 14/15

Leitung: PD Dr. Christine Fürst

**Optimierung holzartiger Biomasse-Bereitstellung im
Raum Mittelsachsen unter Berücksichtigung von Ökosys-
temdienstleistungen und Landschaftsstruktur (Teil des
„RegioPower“ - Projektes)**

vorgelegt von:

Kai Heckel

Christina Limmer

Soner Üreyen

Matrikel: 117145

Matrikel: 120038

Matrikel: 112064

kai.heckel@uni-jena.de

christina.limmer@uni-jena.de

soner.ureyen@gmail.com

Jena, den 06.05.2015

Inhalt

Abbildungsverzeichnis	III
Tabellenverzeichnis	III
1 Einleitung	1
2 Untersuchungsgebiet	2
3 Methoden.....	4
3.1 Daten & Software	4
3.2 Herleitung Bewertungsgrundlagen	5
3.2.1 Erosionsschutz.....	5
3.2.2 Biomasseproduktion (biomass production).....	6
3.2.3 Kohlenstoffspeicherung (C sequestration)	6
3.2.4 Ästhetischer Wert (aesthetics).....	6
3.2.5 Ökonomischer Wert (economic value)	7
3.3 Szenariogrundlagen	7
3.3.1 Realistisches Szenario	7
3.3.2 Multifunktionales Szenario	10
3.3.3 Ökonomisches Szenario	12
4 Ergebnisse	15
4.1 Realistisches Szenario	15
4.2 Multifunktionales Szenario	19
4.3 Ökonomisches Szenario	22
5 Diskussion	28
5.1 Realistisches Szenario	28
5.2 Multifunktionales Szenario	29
5.3 Ökonomisches Szenario	32
6 Fazit	34
Literatur	36

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Lage des Untersuchungsgebiets Oberes Elbtal, Sachsen.	2
Abbildung 2: Flächenanteile der Landnutzungsklassen.....	3
Abbildung 3: Ergebnis aus dem Biomassemodul	15
Abbildung 4: Vergleich der Anteile der Baumarten nach dem simulierten Waldumbau.	16
Abbildung 5: Landnutzung durch Änderungen im BM und CA.....	17
Abbildung 6: Bewertungskriterien realistisches Szenario.....	17
Abbildung 8: Landnutzungsveränderung nach Steigerung des Waldanteils.....	18
Abbildung 7: Flächenanteile der Landnutzungsklassen beim realistischen Szenario.....	18
Abbildung 9: Bewertungskriterien nach Steigerung des Waldanteils.....	19
Abbildung 10: Räumliche Verteilung und Flächenstatistiken.	20
Abbildung 11: <i>Impact assessment</i> des multifunktionalen Szenarios (+12 % Waldzuwachs)..	20
Abbildung 12: Räumliche Verteilung und Flächenstatistiken.	21
Abbildung 13: <i>Impact assessment</i> des multifunktionalen Szenarios (+12 % Waldzuwachs)..	21
Abbildung 14: Landnutzung ökonomisches Szenario.....	23
Abbildung 15: Bewertungskriterien ökonomisches Szenario	23
Abbildung 16: Flächenstatistik ökonomisches Szenario.....	24
Abbildung 17: Flächenstatistik ökonomisches Szenario.....	25
Abbildung 18: Beitrag der Landnutzungsklassen zur Aufforstung um weitere 10 %	25
Abbildung 19: Landnutzung ökonomisches Szenario.....	26
Abbildung 20: <i>Impact assessment</i> des ökonomischen Szenarios mit 12 % Waldzuwachs	27

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Ruleset des realistischen Szenarios mit Erhöhung des Waldanteils um 2 %.....	8
Tabelle 2: Ruleset des realistischen Szenarios mit Erhöhung des Waldanteils um 12 %.....	9
Tabelle 3: Ruleset multifunktionales Szenario nach der Landnutzungsänderung	11
Tabelle 4: Ruleset ökonomisches Szenario nach erster Modifizierung	13
Tabelle 5: Ruleset ökonomisches Szenario	14
Tabelle 6: Vergleich der LSM-Werte vor und nach der Landnutzungsänderung	22
Tabelle 7: Vergleich der LSM-Werte vor und nach der ökonomischen Transformation	27

1 Einleitung

Im Zuge der Globalisierung und vor dem Hintergrund stetig anwachsender Bevölkerungszahlen, wächst der Druck auf Boden und Land. Dies hat schwerwiegende Folgen für Faktoren wie die biologische Vielfalt, das Klima und daraus resultierend der weltweiten Ernährungssituation. Zudem verstärken sich, vor allem auf regionaler Ebene, wirtschaftliche Interessen lokaler Unternehmer/Landwirte. Diese tendieren immer stärker dazu, anstatt klassischer Nutzpflanzen, wie etwa Getreidesorten, zunehmend „NawaRo“-Pflanzen, also nachwachsende Rohstoffe anzubauen, welche kurzfristig ökonomische Vorteile besitzen, jedoch langfristig als Monokultur ökologisch nachteilig sein können. Hier gilt es, möglichst nachhaltig mit dem *trade-off* zwischen Ökologie und Ökonomie umzugehen. Um diesen Problemen zu begegnen, wurden nationale und internationale Abkommen beschlossen. Diese sollen dazu beitragen, globale Ziele auf regionale Skale zu übertragen und somit eine möglichst nachhaltige Landnutzung zu gewährleisten (WUNDER et al. 2013).

Ein Ansatz diesen Problemstellungen zu begegnen, stellt die integrierte Landnutzungsplanung dar. Dies meint die Integration heterogener Daten zu Landnutzung und den unterliegenden Umweltfaktoren, der Sichtweisen und Wertesysteme Akteure verschiedener Arbeitsbereiche sowie die integrierte Betrachtung der Folgewirkungen unterschiedlicher Landnutzungsformen auf das gesamte Ökosystem (vgl. FÜRST 2015a). Somit ergibt sich die integrierte Landschaftsplanung als komplexes Arbeitsfeld, in welchem eine Vielzahl von Leistungen (*multiple services*) in gleichem Maße berücksichtigt werden müssen. Das übergeordnete Ziel dieses Ansatzes ist die Vermeidung von *trade-offs* für die Ökosystemdienstleistungen (engl.: *ecosystem services*)(ebd.). Nach ALCAMO & BENNETT (vgl. 2003:49) sind Ökosystemdienstleistungen die Vorteile, die der Mensch durch Ökosysteme erlangt. Diese *services* können in Bereitstellungs- (Nahrung, Wasser), Regulierungs- (Überschwemmungsregulierung), kulturelle, Erholungs- sowie unterstützende Ökosystemdienstleistungen (Stickstoffkreislauf) unterschieden werden (ebd.). Die Erhaltung des Gleichgewichtes eines Ökosystems kann somit nur gewährleistet werden, wenn im Zuge einer Land(nutzungs)umwandlung keine der Ökosystemdienstleistungen zu stark eingeschränkt werden.

Ziel dieser Arbeit ist es, im Rahmen des EU Projektes „RegioPower“ mit dem Software-Paket BWINPro und der web-basierten Plattform GISCAME (*geographic information system cellular automaton multi criteria evaluation*) verschiedene Landnutzungsszenarien zu erstellen. Dabei soll die Bereitstellung von holzartiger Biomasse optimiert werden. Des Weiteren sollen Waldgebiete in zwei Schritten um 2 % bzw. 12 % vergrößert werden, wobei die zuvor erstellten Bewertungskriterien den Wert des Ausgangsszenarios nicht unterschreiten dürfen. Als

weiteres Ziel, gilt es die Landschaftsstrukturmaße (LSM) zu verbessern. Folglich sollen aus diesen Szenarien Planungsempfehlungen abgeleitet werden.

2 Untersuchungsgebiet

Das Untersuchungsgebiet umfasst die Region Oberes Elbtal/Osterzgebirge, welche im Osten Deutschlands im Freistaat Sachsen liegt und aus den Landkreisen Meißen, Sächsische Schweiz-Osterzgebirge sowie der kreisfreien Stadt Dresden besteht.

Das Untersuchungsgebiet, welches in Abbildung 1 dargestellt ist, umfasst eine Fläche von 3.434 km² und erstreckt sich von den Ebenen und Hügelländern an der Grenze zu Brandenburg im Norden bis zu den Gebirgszonen an der Grenze zu Tschechien im Süden (REGIONALER PLANUNGSVERBAND OBERES ELBTAL/OSTERZGEBIRGE 2009:o.S.). Von Süd-Ost nach Nord-West fließt die Elbe durch das Untersuchungsgebiet.

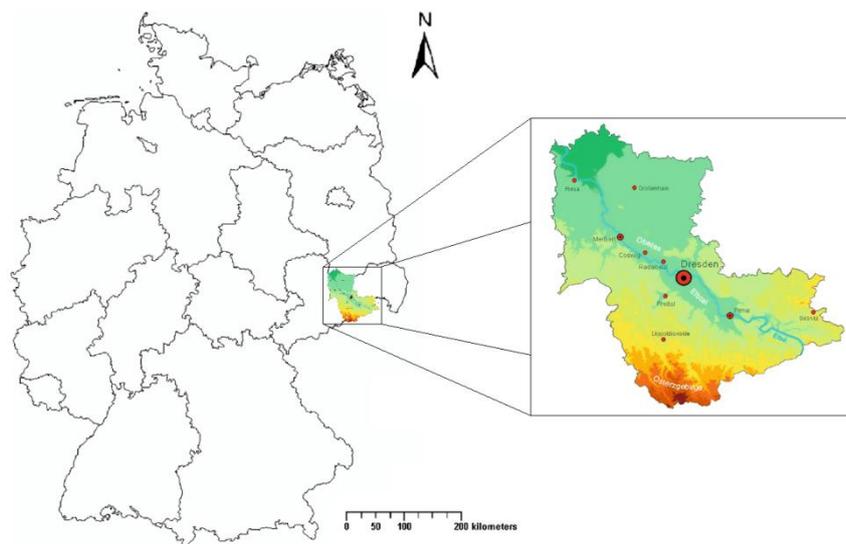


Abbildung 1: Lage des Untersuchungsgebiets Oberes Elbtal, Sachsen.

Die Region ist in verschiedene Klimazonen und Bodenregionen unterteilt und durch heterogene Landschaften geprägt. Das Elbtal, welches von Süd-Ost nach Nord-West hauptsächlich durch Siedlungen, Wein- und Gartenbau dominiert wird, besitzt fluviatile Sedimente und ein mildes Klima im Vergleich zur gesamten Region. Der Lössgürtel, der von Ost nach West verläuft und von einem Trockentiefklima geprägt ist, wird vor allem landwirtschaftlich genutzt. Die Landwirtschaft ist der dominierende Landnutzungstyp im Untersuchungsgebiet (Abbildung 2). Im Nord-Osten der Region finden sich diluvial sandige Böden, auf denen vor allem Forstwirtschaft praktiziert wird. Das Erzgebirge im Süden des Gebietes ist durch ver-

witterte Felsen und ein feuchtes Gebirgsklima geprägt und wird von Weideland und großen Waldgebieten durchzogen (WITT et al. 2013:549).

53 % des Waldes in der Region sind in Privatbesitz, während 98 % Kleinwaldbestände sind. Die Hauptbaumarten im Untersuchungsgebiet, welche in Mitteleuropa häufig auftreten, sind die Laubbaumarten Rotbuche (*Fagus sylvatica* L.) und Stieleiche (*Quercus robur* L.) (ELLENBERG & LEUSCHNER 2010) (Abbildung 2). Die Baumarten Fichte (*Picea abies* L.) und Silber- tanne (*Abies alba* Mill.) sind auf den verwitterten Böden in den Mittel- und Höhenlagen des Erzgebirges zu finden.

Water body	2381.00 ha	0.69%	Oak-Pine	54.00 ha	0.02%	D7 - Clover - Whea - Potatoe -	1126.00 ha	0.33%
Dense urban	2961.00 ha	0.86%	Oak	6929.00 ha	2.01%	D8 - Alfalfa - Alfalfa - Rye -	459.00 ha	0.13%
Loose urban	10164.00 ha	2.95%	Red Oak	452.00 ha	0.13%	D9 - Barley silage - Corn sila	167.00 ha	0.05%
Very loose urb.	9981.00 ha	2.90%	Spruce-Beech	553.00 ha	0.16%	L1 - Rape - Wheat - Barley	31428.00 ha	9.12%
Big buildings	103.00 ha	0.03%	Spruce-Pine	235.00 ha	0.07%	L2 - Rape - Wheat - Barley - W	12324.00 ha	3.58%
Sealed surfaces	3295.00 ha	0.96%	Spruce	27720.00 ha	8.04%	L3 - Rape - Wheat - Corn silag	11179.00 ha	3.24%
Fallow land	6794.00 ha	1.97%	Pine-Birch	1266.00 ha	0.37%	L4 - Sugar beet - Wheat - Corn	3306.00 ha	0.96%
Very dense urb.	1879.00 ha	0.55%	Maple	3282.00 ha	0.95%	L5 - Sugar beet - Wheat - Whea	6892.00 ha	2.00%
Hedges	878.00 ha	0.25%	Pine	13796.00 ha	4.00%	L6 - Pea - Wheat - Barley - Po	1873.00 ha	0.54%
Wetlands	326.00 ha	0.09%	Ash	1832.00 ha	0.53%	L7 - Clover - Wheat - Corn sil	1608.00 ha	0.47%
Viticulture	309.00 ha	0.09%	Alder	1481.00 ha	0.43%	L8 - Alfalfa - Wheat - Potatoe	1118.00 ha	0.32%
Orchards	2295.00 ha	0.67%	Larch	8450.00 ha	2.45%	L9 - Hemp - Cereals mix silage	801.00 ha	0.23%
Bare rock	11.00 ha	0.00%	Douglas-Fir	2361.00 ha	0.69%	L10 - Corn silage - Corn silag	5176.00 ha	1.50%
Excavation	142.00 ha	0.04%	Hornbeam	1049.00 ha	0.30%	V1 - Rape - Wheat - Rye	7534.00 ha	2.19%
Open-cast	561.00 ha	0.16%	Birch	9606.00 ha	2.79%	V2 - Rape - Wheat - Corn silag	7816.00 ha	2.27%
Sand	339.00 ha	0.10%	Swamp Birch	13.00 ha	0.00%	V3 - Pea - Wheat - Corn silage	855.00 ha	0.25%
Bridges	48.00 ha	0.01%	Spruce-Oak	13.00 ha	0.00%	V4 - Rape - Triticale - Rye -	1793.00 ha	0.52%
Greenhouses	57.00 ha	0.02%	Fir	1689.00 ha	0.49%	V5 - Field gras - Corn silage	1390.00 ha	0.40%
Urban open space	15582.00 ha	4.52%	A1 - Clover - Clover - Clover	6340.00 ha	1.84%	V6 - Rye - Clover - Barley - C	1641.00 ha	0.48%
Grassland	46439.00 ha	13.47%	D1 - Rape - Wheat - Barley	10665.00 ha	3.09%	V7 - Clover - Wheat - Pea - Ra	1988.00 ha	0.58%
Afforestation	1052.00 ha	0.31%	D2 - Rape - Wheat - Corn silag	2174.00 ha	0.63%	V8 - Clover - Clover - Oat - B	998.00 ha	0.29%
Beech-Oak	937.00 ha	0.27%	D3 - Rape - Barley - Rye - Gra	17446.00 ha	5.06%	V9 - Rye silage - Corn silage	1197.00 ha	0.35%
Beech-Spruce	162.00 ha	0.05%	D4 - Rape - Triticale - Barley	1042.00 ha	0.30%	V10 - Rye silage - Alfalfa - A	236.00 ha	0.07%
Beech	12016.00 ha	3.49%	D5 - Rape - Corn silage - Barl	1324.00 ha	0.38%			
Oak-Beech	1380.00 ha	0.40%	D6 - Pea - Wheat - Rye - Oats	1901.00 ha	0.55%			

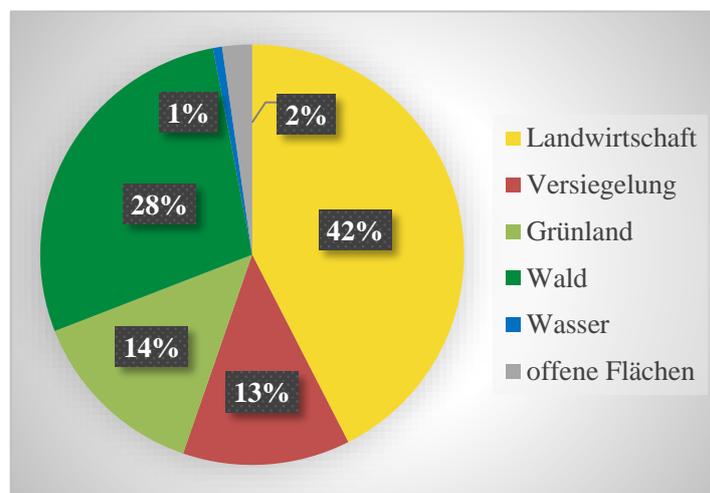


Abbildung 2: Flächenanteile der Landnutzungsklassen

Durch die, insbesondere in ländlichen Gebieten, hohe Nutzungsdichte und den demografischen Wandel infolge der Abwanderung, stellt die Region Oberes Elbtal/Osterzgebirge eine besondere Herausforderung für die regionale Planung dar.

3 Methoden

3.1 Daten & Software

Im Rahmen dieser Arbeit fand das Programm BWINPro sowie das web-basierte Programm GISCAME Anwendung. BWINPro ist ein Waldwachstumssimulator, der es dem Nutzer ermöglicht einen ertragskundlichen Überblick über den Zustand von Rein- und Mischbeständen zu erlangen sowie Prognosen über die Entwicklung des Waldbestandes zu erstellen (DÖBBELER et al. 2011:6). Mit BWINPro wurden Bestandsdaten für Rein- und Mischbestände simuliert. Die modellierten Bestandsdaten wurden als Eingangsdaten bei der Berechnung des Bewertungskriteriums „Biomasseproduktion“ verwendet.

Mit GISCAME wurden anschließend Landnutzungsänderungsszenarien entwickelt und bewertet. Zur Erstellung eines Szenarios können die Grundfunktionen, die über den *map editor* zugänglich sind, verwendet werden. Darüber hinaus stellt GISCAME auch Erweiterungen zur Verfügung, mit denen eine detailliertere Szenario - Entwicklung und Analyse betrieben werden kann. Diese Erweiterungen sind das Automatisierte Attribut Management System (AAMS), das Biomasse Modul (BM), der Zelluläre Automat (CA) sowie das Modul Landschaftsstrukturmaße (LSM) und Wassererosionsmanagement (WE). Letzteres wurde in keinem der nachfolgend vorgestellten Szenarien verwendet.

Mit dem AAMS können Datenlayer anhand von Operatoren (und/oder), die zwischen zwei Operanden eingefügt werden, verknüpft werden. Das BM ist limitiert auf holzartige Biomasse und bietet die Möglichkeit der Bewertung des Waldzustandes sowie die Simulation zukünftiger Entwicklungen durch Landnutzungsänderungen. Mittels nutzerdefinierter Regelsets können mit dem CA Landnutzungsänderungen vorgenommen werden. Hierbei werden Wahrscheinlichkeiten innerhalb des Regelsets angegeben, mit denen die Änderung einer Landnutzungs-kategorie in eine andere Klasse beschrieben wird. Zusätzlich können die Wahrscheinlichkeiten durch weitere Attribute, wie z.B. Höhe oder Nachbarschaftsbeziehungen ergänzt werden.

Im LSM kann u.a. eingesehen werden, wie stark die Konnektivität von naturnahen Flächen ausfällt. Die Konnektivität wird z.B. durch die Infrastruktur gestört, somit entstehen einzelne Patches, die nicht miteinander verbunden sind. Durch gezielte Landnutzungsänderungen besteht die Möglichkeit einzelne Patches miteinander zu verbinden und somit die Landschaftsstruktur zu verbessern. Die Landschaftsstrukturmaße können für die Bewertung ökologischer und ästhetischer Funktionen herangezogen werden (PIETZSCH & FÜRST 2014).

3.2 Herleitung Bewertungsgrundlagen

Im Folgenden soll dargelegt werden, wie die Bewertungskriterien erarbeitet wurden. Für diese Arbeit wurden die Kriterien Biomasseproduktion, Erosionsschutz, Ökonomischer Wert, Ästhetik und Kohlenstoff-Sequestrierung in die Evaluierungsfunktion von GISCAME implementiert. Diese Bewertungskriterien ermöglichen die Bewertung der durchgeführten Landnutzungsänderungsszenarien im Vergleich zur Ausgangssituation und wurden in Gruppenarbeit im Rahmen des Moduls GEO 404 erarbeitet.

Zur Evaluierung der Güte von Landnutzungsszenarien war es nötig, Bewertungskriterien zu definieren. Diese wurden im Zuge des *environmental impact assessment* (EIA) definiert. Nach EPA (2015) ist das EIA der Prozess, der misst, wie geplante Änderungen in der Landnutzung eine zukünftige Landschaft beeinflussen würden. Hierbei ist die integrierte Bewertung aufgrund vielfältiger Rückkopplungen im Gesamtmodell „Landschaft“ als iterativer Prozess zu betrachten (FÜRST 2015a). Um die Kriterien in eine skalenunabhängige Form umzuwandeln, wurden alle Werte auf eine Skale von 0 – 100 übertragen, also normalisiert (KOSCHKE et al. 2012). Dies geschah für alle Bewertungsfaktoren gleichermaßen basierend auf Formel (1), wobei I_{min} und I_{max} den Minimal- bzw. Maximalwert des Indikators repräsentieren.

$$I_{norm} = \left(\frac{I - I_{min}}{I_{min} - I_{max}} \right) \times 100 \quad (1)$$

Nachfolgend sollen die erstellten Bewertungskriterien im Einzelnen kurz vorgestellt werden.

3.2.1 Erosionsschutz

Das Kriterium Erosionsschutz repräsentiert den C-Faktor der Allgemeinen Bodenabtragsgleichung zur Schätzung des Bodenabtrags durch Wassererosion (ABAG). Die Zuweisung von entsprechenden C-Faktor-Werten für eine Landnutzungs-kategorie erfolgte auf Grundlage von Literaturrecherche und einer Excel Anwendung der LANDWIRTSCHAFTSKAMMER NORDRHEIN-WESTFALEN (2012). Mit dieser Anwendung wurden die C-Faktoren für landwirtschaftlich genutzte Flächen, durch Eingabe der Höhenlage, Bodenbearbeitung und Fruchtfolge ermittelt. Für Wald- und versiegelte Flächen wurde angenommen, dass diese nicht von Bodenerosion betroffen sind. Für die Klassen Grünland und offene Flächen wurden Werte aus der Literatur übernommen (HLUG 2013).

3.2.2 Biomasseproduktion (*biomass production*)

Dieses Kriterium gibt Aussage darüber, wie hoch die Biomasseproduktion einer bestimmten Landnutzungs-kategorie ist. Abgeleitet wurden die Werte primär aus Daten des Internetportals des Freistaates Sachsen (SCHWEDE & ERTEL 2013). Die Daten umfassen Erntemengen und Ernteerträge Sachsens aus dem Jahr 2012. Aus den Erhebungen ging hervor, dass die Landwirtschaft als wichtigster Biomasseproduzent anzusehen ist (68 % der gesamten Biomasseproduktion). Obstgärten und Maissilage als produktivste landwirtschaftliche Nutzarten identifiziert werden. Normalisiert gilt Silomais (*corn silage*) folglich als ertragreichste Landnutzung. Die Biomasseproduktion aus Waldgebieten, in welchen Mischwälder aus Douglasie und Buche sowie Reinbestände der Douglasie als produktivste Bestände gelten, nimmt mit nur 18 % eine eher untergeordnete Rolle ein (ebd.).

3.2.3 Kohlenstoffspeicherung (*C sequestration*)

Die Funktion der Landschaft als Kohlenstoffspeicher ist von herausragender Bedeutung für den globalen Klimaschutz. Aus diesem Grund wurde das Kriterium „*C sequestration*“ in die Szenario-Bewertung einbezogen. Nach Angaben des BUNDESMINISTERIUMS FÜR ERNÄHRUNG UND LANDWIRTSCHAFT (BMEL o.J.) tragen allein die deutschen Waldgebiete jährlich zu einer Entlastung der Atmosphäre um ca. 52 Mio. Tonnen Kohlenstoffdioxid (CO₂) bei. Somit gilt dieses Kriterium als äußerst relevant im Hinblick auf integrierte Landschaftsplanung.

Die Werte für die Quantifizierung der Kohlenstoffbindung stammen aus Forststudien und landwirtschaftlichen Statistiken. So wird bspw. davon ausgegangen, dass 1 m³ Holz bei einem Gewicht von ca. 0,5 t etwa ein Drittel dieser Masse an Kohlenstoffdioxid speichern kann. Ähnliche Kalkulationen wurden weiterhin für verschiedene landwirtschaftliche Fruchtfolgen durchgeführt. Die Bestimmung klassenspezifischer Werte geschah auf Basis internetgestützter Recherche, wobei die Datenlage relativ ungünstig ist.

3.2.4 Ästhetischer Wert (*aesthetics*)

Neben ökonomischen und ökologischen Faktoren, nimmt die Ästhetik, insbesondere aus Sicht der lokalen Bevölkerung, eine wichtige Rolle in der Bewertung einer Landschaft ein. Um diese zu ermitteln, wurde eine Methode von GRUNEWALD & BASTIAN (2013) genutzt. Hierzu wurden Fotografien von allen in GISCAIME geführten Landbedeckungen gesammelt. Folgend wurden Testpersonen aufgefordert, diese Szenen auf einer Skala von 0-100 zu bewerten. Wald- und Landnutzungen wurden sowohl während des Winter und Sommers benotet. Dies liegt darin begründet, dass für die Skalierung, aufgrund der längeren Vegetationsperiode, eine

Sommer-Winter-Gewichtung von sieben zu fünf angewendet wurde. Die Anzahl der Befragten liegt bei sieben und ist, aufgrund unzureichender Zeit, nicht als repräsentativ zu bezeichnen. Normalisiert wurden am Ende der Untersuchung die Mittelwerte, die sich aus alle Befragungen ergaben.

3.2.5 Ökonomischer Wert (*economic value*)

Um den wirtschaftlichen Wert einer Landnutzungsart quantifizieren zu können, wurden diesen ebenfalls normalisierte Werte zugewiesen. Dies geschah basierend auf Kalkulationen des Wertes von bestimmten Waldbestandsarten, des Ertragswertes der Landwirtschaftstypen sowie der Grundstückspreise für urbane Landnutzung. Alle verbliebenen Klassen wurde ein Wert von 0€/ha zugewiesen, wodurch deren *economic value* gleich null ist. Aufgrund unzureichender Datenlage ist dieses Bewertungskriterium relativ subjektiv und sollte mit Vorsicht interpretiert werden.

3.3 Szenariogrundlagen

Die Vorgabe, eine um 20 Prozentpunkte erhöhte Biomasseproduktion zu erreichen, soll mit den folgenden Landnutzungsszenarien umgesetzt werden. Neben der Steigerung der Biomasseproduktion, soll auch der Anteil der Waldflächen im Untersuchungsgebiet zunehmen. Die vorgegebene Zunahme des Waldanteils beträgt 2 bzw. 12 Prozentpunkte.

In dieser Arbeit wurde zwischen drei Szenarien unterschieden. Es wurde ein realistisches, ein multifunktionales und ein ökonomisches Szenario angelegt. Infolge der sukzessiven Walderweiterung ergaben sich somit insgesamt sechs Szenarien. Um eine einfachere Vergleichbarkeit der Flächenanteile der Landnutzungsclassen zu ermöglichen, wurden die vorhandenen Klassen in sechs Klassen zusammengefasst. Diese sind Landwirtschaft, Versiegelung, Grünland, Wald, Wasser und offene Flächen. Die Klasse Grünland umfasst die Klassen *hedges*, *wetlands* und *grassland*. Die Klasse offene Flächen setzt sich zusammen aus *fallow land*, *bare rock*, *excavation*, *open-cast* und *sand*. Im Weiteren wird die methodische Vorgehensweise bei der Erstellung der einzelnen Szenarien aufgezeigt.

3.3.1 Realistisches Szenario

Bei diesem Szenario sollen die vorgegebenen Ziele durch einen realistischen Waldumbau und Anpassung der landwirtschaftlichen Nutzpflanzen erreicht werden. Dabei sollen durch die Zunahme der Biomasseproduktion, die übrigen Bewertungskriterien nicht verringert werden.

Erhöhung des Waldanteils um 2 %

Mit dem Biomassemodul wurde der Waldumbau schrittweise in fünf Jahresschritten (bis Jahr 20, dann Jahr 50) durchgeführt. Waldumbau wird in Sachsen seit etwa 20 Jahren betrieben. Die gesamte Umbaufläche im Landeswald betrug zwischen 1994 und 2011 etwa 21.500 ha. Im Privat- und Körperschaftswald wurden jährlich ca. 300 ha Wald umgebaut. Ab 2013 sollten jährlich zwischen 1.300 und 1.500 ha Landeswald umgebaut werden. Dabei erhalten die Umbauflächen einen hohen Anteil an Laubbäumen (LÜNICH et al. 2013:13). Der in diesem Szenario durchgeführte Waldumbau orientierte sich an den genannten Flächenwerten.

Aus dem Flächenanteil am Gesamtgebiet Sachsens ergibt sich eine jährliche Umbaufläche von 300 ha für das Untersuchungsgebiet. Für den Privat- und Körperschaftswald etwa 60 ha. Die Eigentumsverhältnisse der Waldflächen wurden in GISCAMÉ unter *forest ownership*

Tabelle 1: Ruleset des realistischen Szenarios mit Erhöhung des Waldanteils um 2 %.

LUC	TargetLUT	Probability (%)	Condition	
Grassland	Beech-Oak	50	DEM < 450, > 200	
A1 – Clover – Clover - Clover	L10 – Corn silage	100		
D1 – Rape – Wheat - Barley	D2 – Rape – Wheat – Corn silage			
D3 – Rape - Barley - Rye - Gra				
D4 – Rape - Triticale - Barley				
D5 – Rape - Corn silage - Barl				
D6 – Pea - Wheat - Rye - Oats				
D7 – Clover - Wheat - Potatoe				
D8 – Alfalfa - Alfalfa - Rye -				
D9 – Barley silage - Corn silage				
D10 – Barley silage, Sunflowers				
L1 – Rape - Wheat - Barley				L10 – Corn silage
L2 – Rape - Wheat - Barley - W				
L3 – Rape - Wheat - Corn silag				
L4 – Sugar beet - Wheat - Corn				
L6 – Pea - Wheat - Barley - Po				
L7 – Clover - Wheat - Corn sil				
L8 – Alfalfa - Wheat - Potatoe				
L9 – Hemp - Cereals mix silage				
V1 – Rape - Wheat - Rye	V9 – Rye silage - Corn silage			
V2 – Rape - Wheat - Corn silage				
V3 – Pea - Wheat - Corn silage				
V4 – Rape - Triticale - Rye				
V5 – Field grass - Corn silage				
V6 – Rye - Clover - Barley - C				
V7 – Clover - Wheat - Pea - Rape				
V8 – Clover - Clover - Oat				
V10 – Rye silage - Alfalfa - A				

type angezeigt. Diese Information wurde beim simulierten Waldumbau im Biomassemodul berücksichtigt. Da die Intervalle im Biomassemodul 5 Jahre betragen, wurden für ein Intervall etwa 1.500 ha Landeswald (300 ha Privat- und Körperschaftswald) umgebaut.

Die Auswahl der Umbauflächen erfolgte nach den „Leitwaldgesellschaften für das jeweils aktuelle Klima“ (LÜNICH 2013:14). Hierbei haben Flächen, bei „denen der Verlust von Waldfunktionen aufgrund klimatischer Änderungen am ehesten zu erwarten ist“ eine höhere Priorität (ebd.). Dies betrifft vor allem die unteren und mittleren Berglagen sowie das Hügelland, bei denen Fichtenreinbestände in Eichen-Buchenwälder bzw. Buchenwälder und Buchen-Tannenwälder umgebaut werden sollen. Des Weiteren soll ein Umbau von Kiefernreinbeständen in Eichenwälder durchgeführt werden (LÜNICH 2013:14f.).

Beim simulierten Waldumbau im Biomassemodul wurden neben den Eigentumsverhältnissen auch die Lage und das Alter des Bestandes berücksichtigt. Der Umbau erfolgte bei den entsprechenden Zeitschritten zunächst für ältere Bestände, die sich in unteren und mittleren Berglagen befinden. Die Erhöhung des Waldanteils wurde durch die Aufforstung von Grünland in mittleren Berglagen erreicht. Die Aufforstung wurde im Zellulären Automaten durchgeführt. Das erstellte *rulesets* wird in Tabelle 1 gezeigt.

Um eine Steigerung der Biomasseproduktion um 20 Prozentpunkte zu erreichen, mussten weitere Landnutzungsänderungen, die die landwirtschaftlichen Flächen betreffen, realisiert werden. Die veränderten Klassen werden in Tabelle 1 dargestellt.

Erhöhung des Waldanteils um 12 %

Als Grundlage für dieses Szenario wurde das realistische Szenario mit einer Erhöhung des Waldanteils um 2 % verwendet. Ziel dieses Szenarios war eine zusätzliche Erhöhung des Waldanteils um 10 Prozentpunkte auf insgesamt 12 % im Vergleich zur Ausgangssituation. Die Vermehrung der Waldfläche wurde durch Aufforstung von Grünland in unteren und mittleren Berglagen sowie von Brachland erreicht. Dies wurde im Zellulären Automaten mit der Anwendung des in Tabelle 2 aufgeführten Regelsets durchgeführt. Die unteren Lagen wurden mit Buchen-Eichenwäldern und die mittleren mit Buchen-Tannenwäldern aufgeforstet. Wei-

Tabelle 2: Ruleset des realistischen Szenarios mit Erhöhung des Waldanteils um 12 %.

LUC	TargetLUT	Probability (%)	Condition
Grassland	Beech-Oak	100	DEM < 400, > 100
	Beech-Fir	100	DEM > 400
Orchards	Beech-Oak	100	
Fallow land	Beech-Oak	100	DEM < 400
	Beech-Fir	100	DEM => 400

terhin wurden auch Obstgärten in Buchen-Eichenwälder umgebaut. Durch diese Maßnahmen wurde der Waldanteil im Untersuchungsgebiet um etwa 12 Prozentpunkte gesteigert.

3.3.2 Multifunktionales Szenario

Der Grundgedanke hinter einem multifunktionalen Ansatz ist der dauerhafte Erhalt und die Entwicklung einer multifunktionalen Landschaft, in der wesentliche normativ wertvolle, kulturelle oder naturnahe Standorte zu sichern sind und in der im Wesentlichen nach ökonomischen Kriterien ablaufende Nutzungs- und Wachstumsprozesse möglich sein sollten (MOSER & MEYER 2002:15). Zudem sollte der in dieser Landschaft lebenden Bevölkerung die Möglichkeit gegeben werden, sich zu erholen und unterschiedlichen Freizeitaktivitäten nachzugehen. Neben der obligatorischen Erhöhung der Biomasseproduktion um 20 % soll in diesem Szenario demnach eine Erhöhung des Erosionsschutzes, der Kohlenstoffspeicherung, des ästhetischen Wertes und des ökonomischen Wertes angestrebt werden.

Erhöhung des Waldanteils um 2 %

Als erstes Ziel der Landnutzungsumwandlung wurde zusätzlich zur Durchsetzung einer multifunktionalen Landnutzung und einer Biomasseproduktionssteigerung eine Erhöhung des Waldanteils um 2 % im Untersuchungsgebiet angestrebt. Dabei wurde zunächst das Biomassemodul genutzt, um einen Waldumbau durchzuführen. Flächen, die der Klasse Aufforstung angehören, wurden durch die Douglastanne ersetzt. Zudem konnten einige Mischwälder und Baumbestände, die eine vergleichsweise niedrige Biomasseproduktion aufweisen, durch die Douglastanne ersetzt werden. Im weiteren Verlauf wurden die Landwirtschaftsflächen im zellulären Automaten verändert, um eine um 20 % höhere Biomasseproduktion zu erreichen. Hierbei wurden Fruchtfolgen mit einer niedrigeren Biomasseproduktion in Fruchtfolgen mit in dieser Hinsicht günstigeren Eigenschaften umgewandelt. Im Untersuchungsgebiet lassen sich drei wesentliche Gebiete mit einer unterschiedlichen Landwirtschaft aufgrund unterschiedlicher Bodenbeschaffenheiten unterscheiden. Unter Berücksichtigung der Bodenart konnten dadurch Landwirtschaftsflächen mit einem sandigen Boden (D) in die Fruchtfolge D2 (Raps, Weizen, Maissilage, Sommergerste) und die Fruchtfolge D6 (Erbsen, Weizen, Roggen, Hafer) in D9 (Silogerste, Maissilage, Wintertriticale, Winterweizen) umgewandelt werden. Lössböden (L) wurden hauptsächlich durch die Fruchtfolge L10 (Maissilage, Maissilage, Maissilage, Winterweizen) ersetzt. Für das Gebiet der verwitterten Böden (V) wurde die Fruchtfolge V9 (Sommergerste, Maissilage, Wintertriticale, Winterroggen) als vorteilhaft für

die Biomasseproduktion erachtet. Dementsprechend wurden alle anderen Ackerflächen in diesem Gebiet durch V9-Flächen ausgetauscht (Tabelle 3). Brachflächen und offene Flächen wurden durch verschiedene Baumarten, die eine relativ hohe Biomasseproduktion besitzen, ausgetauscht.

Tabelle 3: Ruleset multifunktionales Szenario nach der Landnutzungsänderung (+ 2 % Wald)

LUC	TargetLUT	Probability (%)
A1 – Clover – Clover - Clover	D2 - Rape - Wheat - Corn silage	80
D1 – Rape – Wheat - Barley		
D3 - Rape - Barley - Rye - Gra		
D4 - Rape - Triticale - Barley		
D5 - Rape - Corn silage - Barl		
D6 - Pea - Wheat - Rye - Oats	D9 - Barley silage - Corn silage	100
L1 - Rape - Wheat - Barley	L5 - sugar beet - w-wheat - w-wheat	100
L2 - Rape - Wheat - Barley - W	L10 - Corn silage - Corn silage - Corn silage - w wheat	90
L3 - Rape - Wheat - Corn silag		
L4 - Sugar beet - Wheat - Corn		
L6 - Pea - Wheat - Barley - Po		
L7 - Clover - Wheat - Corn sil		
L8 - Alfalfa - Wheat - Potatoe		
L9 - Hemp - Cereals mix silage		
V1 - Rape - Wheat - Rye	V9 - Rye silage - Corn silage	100
V2 - Rape - Wheat - Corn silage		
V3 - Pea - Wheat - Corn silage		
V4 - Rape - Triticale - Rye		
V5 - Field gras - Corn silage		
V6 - Rye - Clover - Barley - C		
V7 - Clover - Wheat - Pea - Rape		
V8 - Clover - Clover - Oat		
V10 - Rye silage - Alfalfa - A		
Bare Rock		
	Spruce	20
Excavation	Douglas Fir	80
	Spruce	20
Open-Cast	Douglas Fir	80
	Grassland	20

Erhöhung des Waldanteils um 12 %

Für das multifunktionale Szenario in Kombination mit einer Erhöhung des Waldanteils um 12 % wurde das zuvor erstellte Szenario (+ 2 %) als Basis genutzt. Die Landnutzungsänderung wurde erneut durch das Biomasse Modul umgesetzt. Um eine Verbesserung des Bodenerosionsschutzes und des ästhetischen Wertes zu bewirken, wurden viele der Ackerlandflächen durch Waldflächen ersetzt. Um die Biomasseproduktion zu erhalten und den Bodenerosionsschutz zu erhöhen, wurde die Douglastanne eingesetzt und großflächig Obstplantagen angelegt. Um den ökonomischen Wert auf einem hohen Level zu stabilisieren, wurden weiterhin Ackerflächen durch Kurzumtriebsplantagen und Obstplantagen ersetzt. Zudem wurden Flächen ohne Erosionsschutzwirkung und Grünlandflächen in Waldnähe ebenfalls durch die Douglastanne ersetzt. Um den Erosionsschutz weiter zu erhöhen wurden Grünlandgebiete um Gewässer und Straßenzüge angelegt.

Die hierbei vorgenommenen Umbaumaßnahmen sehen vor, die Anteile an Nadelwäldern deutlich zu erhöhen, um insbesondere den Erosionsschutz zu steigern und die Biomasseproduktion auf einem hohen Level zu halten.

3.3.3 Ökonomisches Szenario

Dieses Szenario soll die Auswirkungen überwiegend wirtschaftlich getriebener Landnutzungsplanung zeigen. Somit soll unter Berücksichtigung der Steigerung der Biomasseproduktion um jeweils 20 Prozentpunkte und der Ausdehnung der Waldflächen in zwei Schritten, der Faktor *economic value* möglichst stark erhöht werden. Weiterhin sollen, größere *trade-offs* möglichst minimiert werden.

Erhöhung des Waldanteils um 2 %

Zunächst wurde ein Zuwachs zum Waldanteil um 2 % simuliert. Hierzu wurde das Biomasse Modul genutzt, um die Klasse *fallow land* in einen Mischwald aus Douglasie und Buche umzuwandeln. Der Anteil von *fallow land* an der Eingangs-Landnutzung beträgt 1,97 %, wodurch der Zuwachs zur Waldfläche infolge der Umwandlung ca. 2 % beträgt. Des Weiteren wurden bereits im Biomasse Modul alle dominierenden Waldbestände in *Douglas-Fir* umgewandelt. Anschließend wurde die Landnutzung im zellulären Automaten weiter verändert. Hierbei wurden kleinere, über das Biomasse Modul nicht identifizierbare, Waldbestände in Douglasien-Reinbestände umgewandelt.

Zudem wurden alle Landwirtschaftstypen zu gleichen Wahrscheinlichkeiten entweder in *corn silage* oder in die Fruchtfolge mit der Bezeichnung „L5“ (Sugar Beet – Wheat - Wheat) transformiert. Während für das Silomais lediglich der ökonomische Wert und die Biomasseproduktion spricht, bietet L5 höheren Erosionsschutz bei vergleichbarer Biomasseproduktion. Diese Kombination kann somit den ökonomischen Wert unter Vermeidung von *trade-offs* im Erosionsschutz steigern. Das genutzte *ruleset* ist nachfolgend in Tabelle 4 visualisiert.

Tabelle 4: Ruleset ökonomisches Szenario nach erster Modifizierung (+ 2 % Wald)

LUC	TargetLUT		Probability (%)	
Douglas Fir	Beech-Oak		10	
	Douglas Fir-Beech		10	
	Spruce		10	
Oak Beech	Douglas-Fir		100	
Oak-Pine	Douglas-Fir		100	
Spruce-Beech	Douglas-Fir		100	
Spruce-Pine	Douglas-Fir		100	
Swamp-Birch	Douglas-Fir		100	
Spruce-Oak	Douglas-Fir		100	
Urban open space	Very loose urban		100	
A1 – Clover – Clover - Clover	L5 – Sugar beet – Wheat - Wheat	L10 – Corn silage	50	50
D1 – Rape – Wheat - Barley				
D2 – Rape – Wheat - Corn silage				
D3 - Rape - Barley - Rye - Gra				
D4 - Rape - Triticale - Barley				
D5 - Rape - Corn silage - Barl				
D6 - Pea - Wheat - Rye - Oats				
D7 - Clover - Whea - Potatoe				
D8 - Alfalfa - Alfalfa - Rye -				
D9 - Barley silage - Corn silage				
L1 - Rape - Wheat - Barley				
L2 - Rape - Wheat - Barley - W				
L3 - Rape - Wheat - Corn silag				
L4 - Sugar beet - Wheat - Corn				
L6 - Pea - Wheat - Barley - Po				
L7 - Clover - Wheat - Corn sil				
L8 - Alfalfa - Wheat - Potatoe				
L9 - Hemp - Cereals mix silage				
V1 - Rape - Wheat - Rye				
V2 - Rape - Wheat - Corn silage				
V3 - Pea - Wheat - Corn silage				
V4 - Rape - Triticale - Rye				
V5 - Field gras - Corn silage				
V6 - Rye - Clover - Barley - C				
V7 - Clover - Wheat - Pea - Rape				
V8 - Clover - Clover - Oat				
V9 - Rye silage - Corn silage				
V10 - Rye silage - Alfalfa - A				

Erhöhung des Waldanteils um 12 %

Dieses Szenario basierte auf den zuvor dargestellten Landnutzungsveränderungen. Um den Waldanteil um weitere 10 % zu steigern, wurden Areale der Klassen Aufforstung, versiegelte Fläche, Grünland sowie der Landwirtschaftstypen Obstgarten, L5 und L10 (Silomais) in Wald umgewandelt. Dabei erfolgte die Umwandlung aus *afforestation*, *sealed surfaces* und *orchards* mit höchster Wahrscheinlichkeit (40 %) in *Douglas-Fir* und mit geringerer Wahrscheinlichkeit (20 %) in *Beech-Oak*, *Douglas-Fir-Beech* oder *Spruce*. Die Abstufung der Wahrscheinlichkeit der Umwandlung in die *target LUT* liegt im Bestreben begründet, eine gewisse Biodiversität im Ökosystem Wald zu erhalten und gleichzeitig eine möglichst hohe Biomasseproduktion zu gewährleisten. Weiterhin wurden weite Flächen des Grünlandes in Wald umgewandelt. Dies erfolgte in ähnlichem Verhältnis wie bei den zuvor beschriebenen Umwandlungen. Jedoch wurde das Grünland nicht gänzlich in Wald umgewandelt, sondern nur partiell. Zuletzt wurde auch ein Teil der beiden verbliebenen Landwirtschaftstypen L5 und L10 in Wald umgewandelt. Allerdings wurden hierbei nur 10 % der Flächen betrachtet, um den ökonomischen Wert annähernd konstant zu halten. Das genutzt *ruleset* für dieses Szenario ist in der nachfolgenden Abbildung dargestellt.

Tabelle 5: *Ruleset* ökonomisches Szenario (+ 12 % Wald)

LUC	TargetLUT	Probability (%)
Afforestation	Beech-Oak	20
	Douglas Fir-Beech	20
	Spruce	20
	Douglas-Fir	40
Sealed surfaces	Beech-Oak	20
	Douglas Fir-Beech	20
	Spruce	20
	Douglas-Fir	40
Orchards	Beech-Oak	20
	Douglas Fir-Beech	20
	Spruce	20
	Douglas-Fir	40
Grassland	Beech-Oak	7
	Douglas Fir-Beech	7
	Spruce	7
	Douglas-Fir	12
L5 – Sugar beet – Wheat - Wheat	Beech-Oak	2
	Douglas Fir-Beech	2
	Spruce	2
	Douglas-Fir	4
L10 – Corn silage – Corn silage	Beech-Oak	2
	Douglas Fir-Beech	2
	Spruce	2
	Douglas-Fir	4

4 Ergebnisse

In diesem Kapitel wird auf die Ergebnisse der jeweiligen Landnutzungsänderungsszenarien eingegangen. Im Fokus stehen hierbei der Vergleich der Szenarien mit dem Ausgangszustand, die Bewertungskriterien sowie die Landschaftsstrukturmaße.

4.1 Realistisches Szenario

Erhöhung des Waldanteils um 2 %

In Abbildung 3 wird das Resultat aus dem Biomassemodul gezeigt. Im Zeitschritt 50 betrug der Gesamtvorrat 26,3 Millionen m³. Der Gesamtvorrat wäre somit um 1 Millionen m³ geringer, wenn kein Waldumbau betrieben worden wäre. Durch den Waldumbau wurden in den Zeitschritten zwischen 80.000 und 300.000 m³ Holz geerntet. Im Zeitschritt 15 fiel die Erntemenge am größten aus.

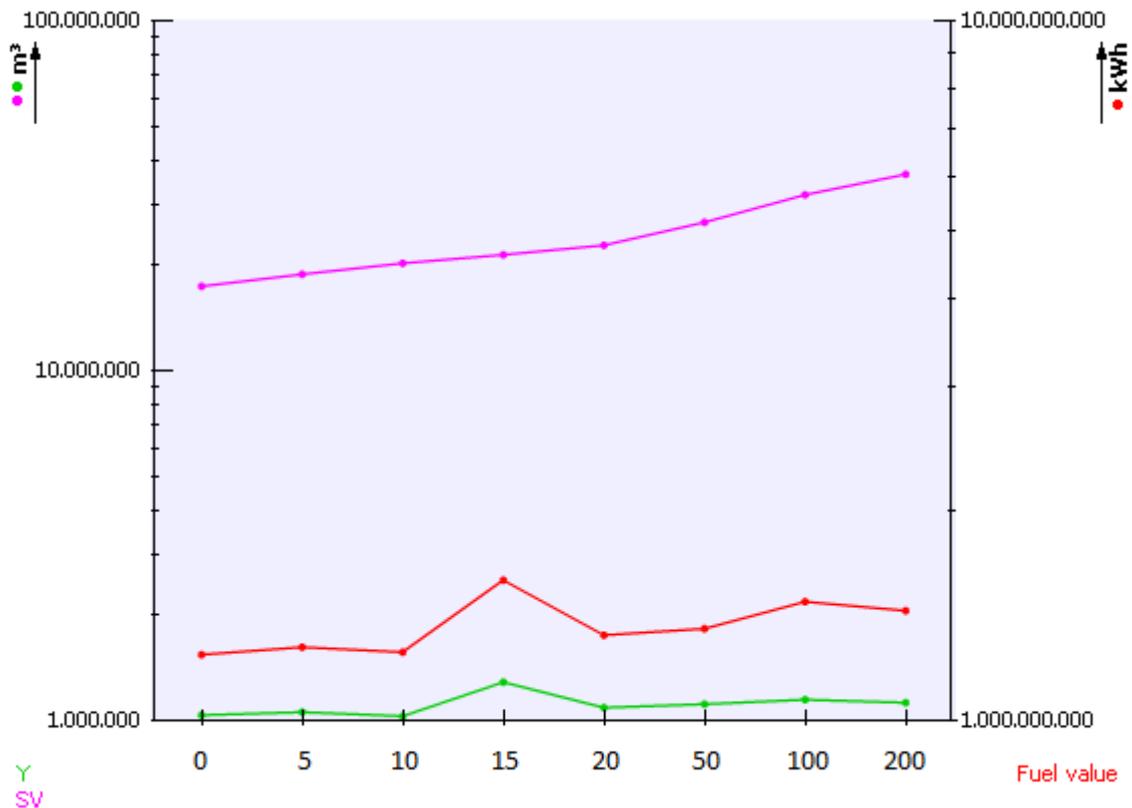


Abbildung 3: Ergebnis aus dem Biomassemodul mit Erntemenge (Y), Gesamtvorrat (SV) und Brennstoff.

Nach dem simulierten Waldumbau im Biomassemodul ist der Anteil der Fichtenreinbestände von 8,04 auf 4,52 % zurückgegangen (Abbildung 4). Der Anteil der Kiefernreinbestände hat von 4 auf 2,03 % abgenommen. Im Vergleich hat der Anteil von Laubbaumarten stark zugenommen. Der Anteil der Buchen-Eichenwälder betrug anfänglich nur 0,27 %. Nach dem Waldumbau ist der Anteil auf 5,21 % angestiegen. Ebenso hat der Flächenanteil der Buchen-

reinbestände von 3,49 auf 4,46 % zugenommen. Auch Tannen sind vermehrt eingebracht worden. Der Anteil von Buchen-Tannenwäldern beträgt nun 2,06 %.

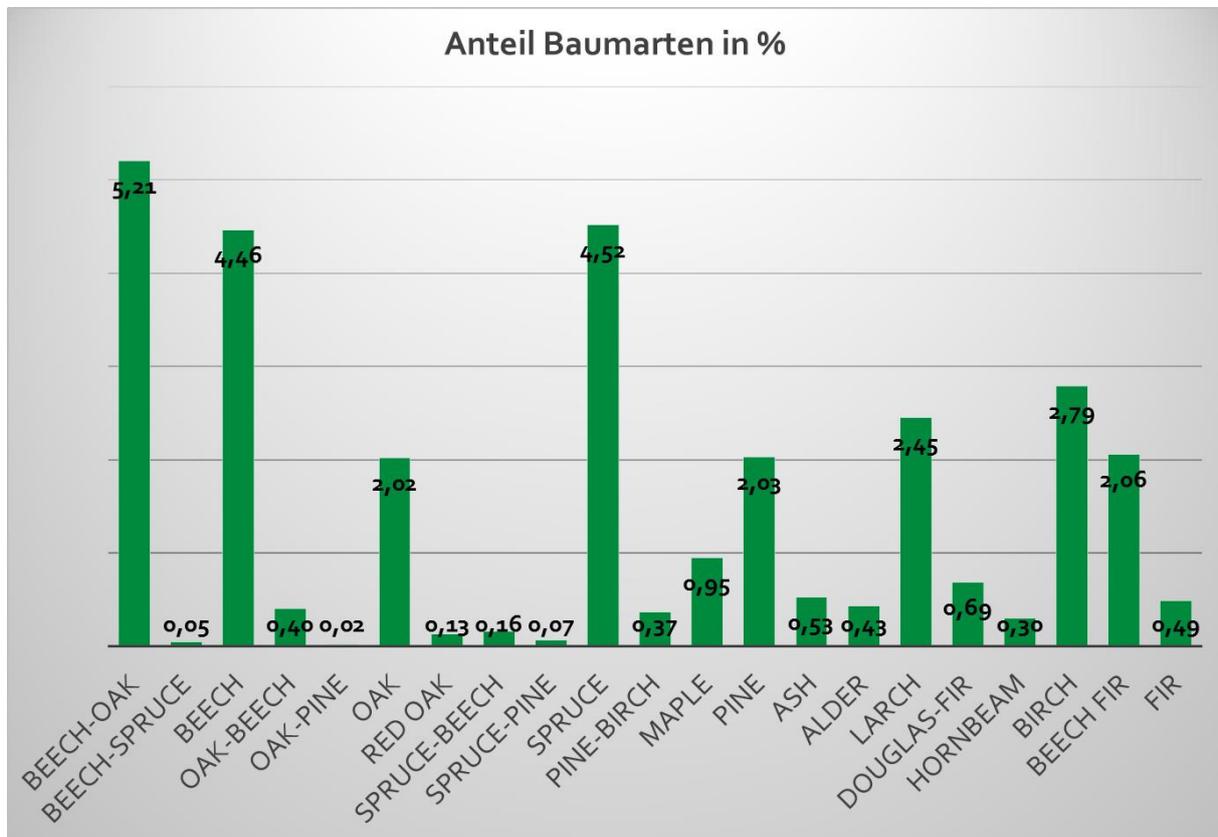


Abbildung 4: Vergleich der Anteile der Baumarten nach dem simulierten Waldumbau im BM.

In Abbildung 5 wird die Landnutzung im Untersuchungsgebiet nach dem Waldumbau im Biomassemodul und nach den Änderungen im Zellulären Automaten dargestellt. Dabei haben sich die Flächenanteile der Landnutzungsklassen kaum verändert. Lediglich der Anteil von Grünland ist um etwa 2 % zurückgegangen. Der Anteil der Waldfläche ist von 27,95 auf 30,13 % gestiegen.

Die Veränderungen der Bewertungskriterien durch das realistische Szenario sind in Abbildung 6 ersichtlich. Der Waldumbau und die Vermehrung der Waldfläche haben bis auf die Ästhetik keine weiteren Bewertungskriterien verändert (Abbildung 6, links). Die Ästhetik hat lediglich um einen Prozentpunkt zugenommen. Die Landnutzungsänderungen mit dem Zellulären Automaten bewirkten größere Veränderungen bei den Bewertungskriterien. Die Biomasseproduktion ist um 20 Prozentpunkte gestiegen, der Erosionsschutz ist allerdings um 16 Prozentpunkte zurückgegangen. Neben der Biomasseproduktion nahmen auch die Kohlenstoffspeicherung sowie der Ökonomische Wert stark zu. Die Vermehrung der Waldflächen

trug zur Verbesserung der Vernetzung der naturnahen Räume auf 32,35 % (ursprünglich 31,95 %) bei.

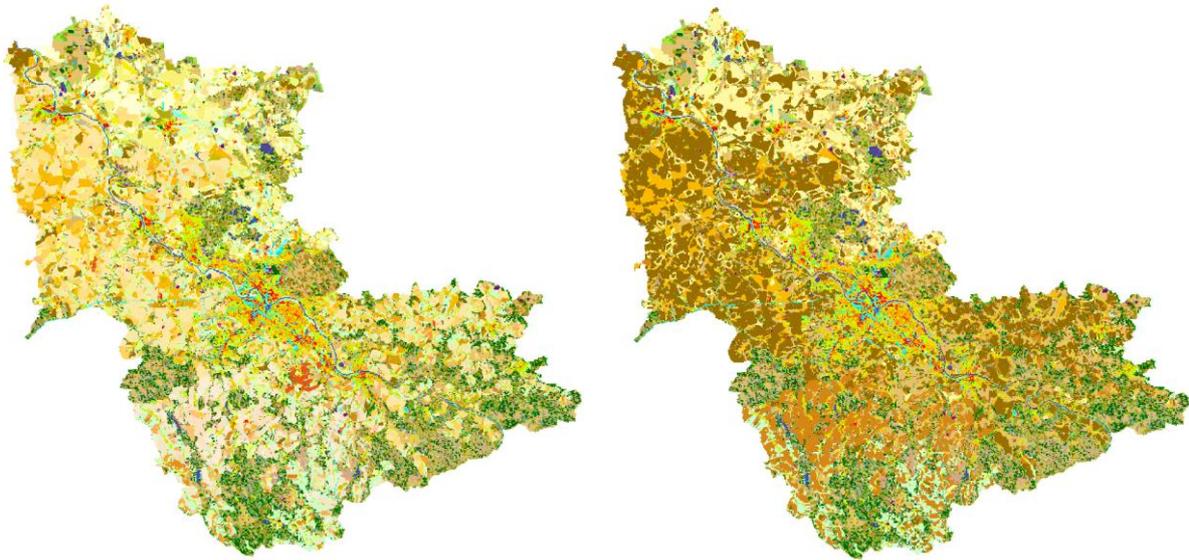


Abbildung 5: Landnutzung durch Änderungen im BM (links) und CA (rechts).

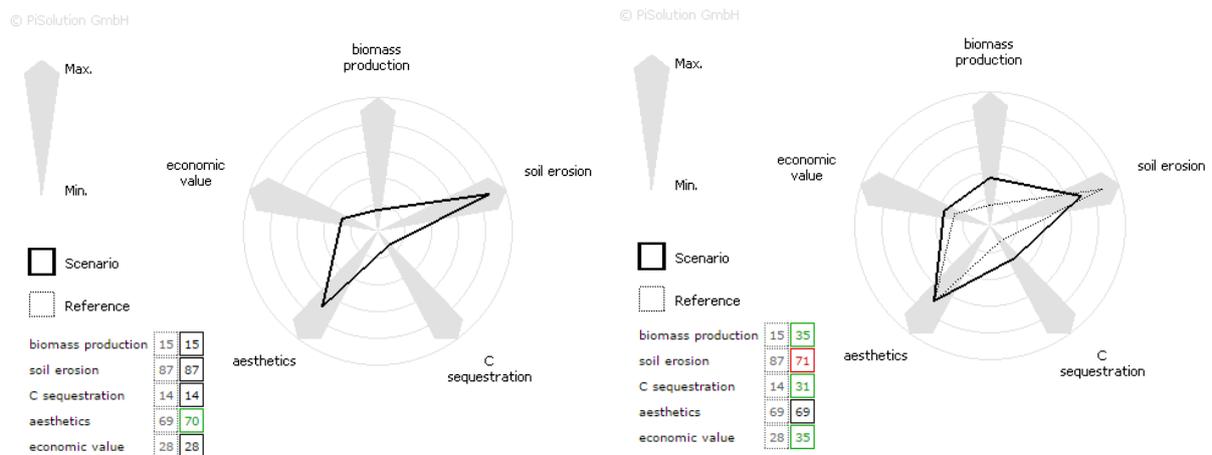


Abbildung 6: Bewertungskriterien (links: BM, rechts: BM+CA) realistisches Szenario (+ 2 % Wald)

Erhöhung des Waldanteils um 12 %

Die Erhöhung der Waldflächen führte zur Verringerung von Grünland und offenen Flächen im Untersuchungsgebiet. Die entsprechende Flächenstatistik ist in Abbildung 7 einzusehen. In Abbildung 8 wird die Landnutzung des realistischen Szenarios mit 12 % Steigerung des Waldanteils dargestellt. Der Anteil der Waldflächen betrug bei diesem Szenario 40,33 % und nahm somit um 12,38 Prozentpunkte zugenommen. Im Vergleich zur Ausgangssituation ist der Anteil des Grünlandes um 9,89 Prozentpunkte auf 3,92 % zurückgegangen. Der Anteil der

offenen Flächen betrug 0,45 % (- 1,82 %). Bei diesem Szenario steigerte sich der Anteil der Vernetzung der naturnahen Gebiete auf 34,03 %.

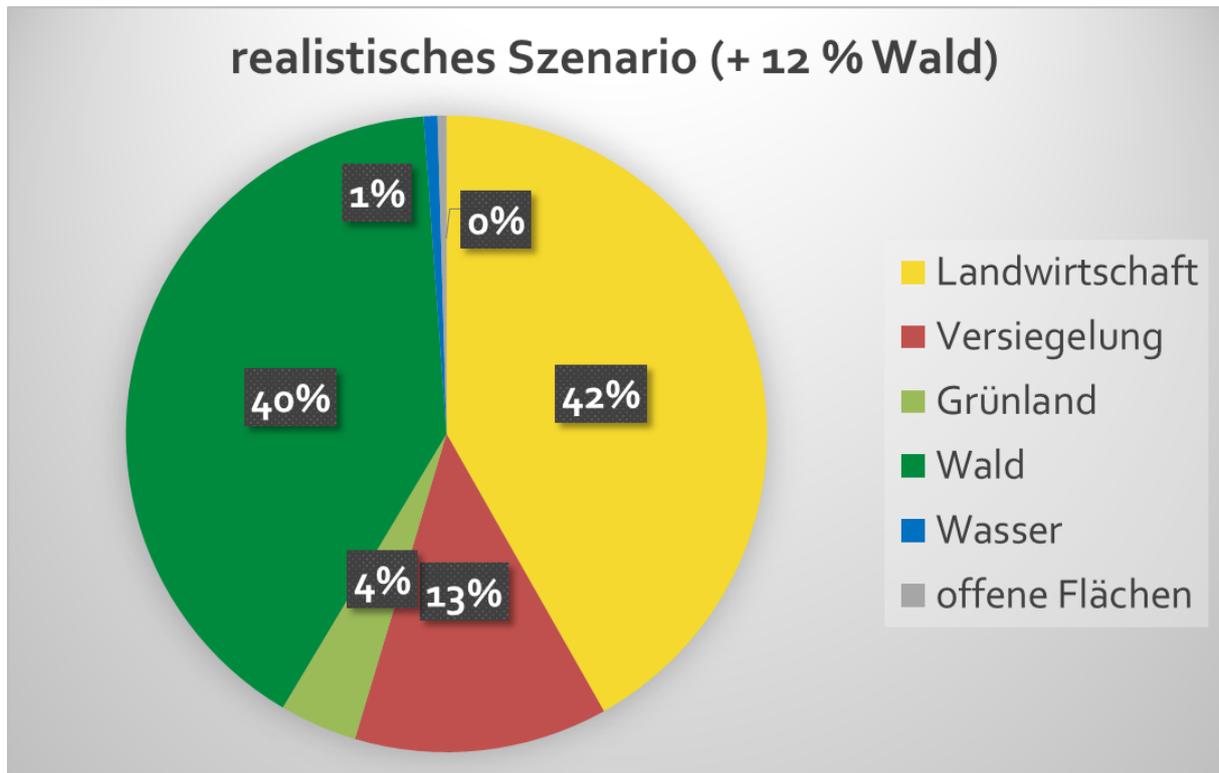


Abbildung 8: Flächenanteile der Landnutzungsclassen beim realistischen Szenario (+ 12 %).

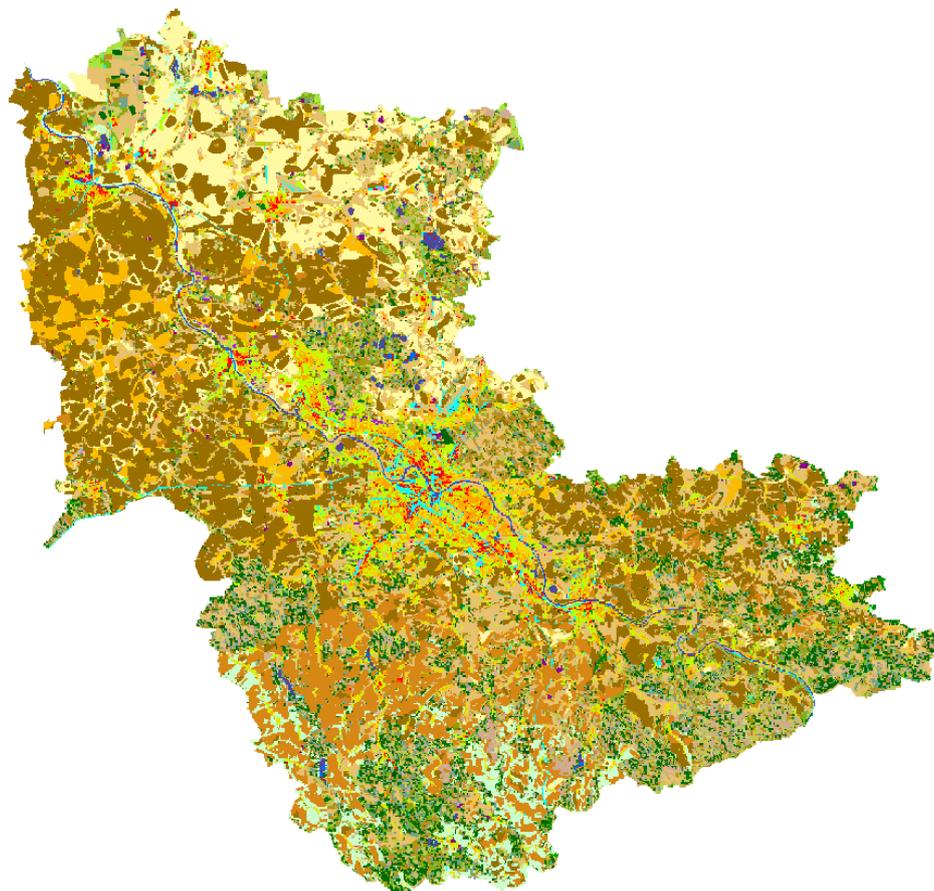


Abbildung 7: Landnutzungsveränderung nach Steigerung des Waldanteils (+ 12 %).

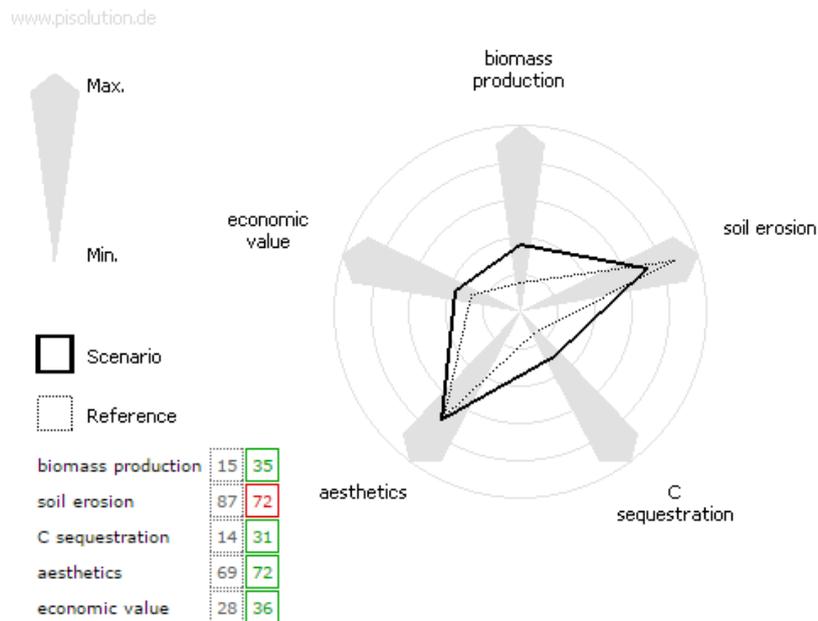


Abbildung 9: Bewertungskriterien nach Steigerung des Waldanteils (+ 12 %).

Die Steigerung des Waldanteils führte erneut zu Veränderungen bei den Bewertungskriterien. Die Bewertungskriterien für dieses Szenario werden in Abbildung 9 visualisiert. Im Vergleich zum vorigen Szenario (+ 2 %) nahm der Erosionsschutz um einen Prozentpunkt, die Ästhetik um 3 Prozentpunkte und der ökonomische Wert um einen Prozentpunkt zu. Bei der Biomasseproduktion und der Kohlenstoffspeicherung gab es keine Änderung.

4.2 Multifunktionales Szenario

Erhöhung des Waldanteils um 2 %

Das Ergebnis der Landnutzungsänderung hin zu einem multifunktionalen Szenario ist in Abbildung 10 dargestellt. Es ist zu erkennen, dass sich vor allem die Landwirtschaft durch die dominierenden Klassen L5 und L10 stark verändert hat. Die agrarwirtschaftlich genutzten Flächen nehmen einen Anteil von etwa 43% ein und steigen somit um etwa 1% an, da zumeist nur die Fruchtfolge geändert wurde und nur wenige neue Flächen hinzugefügt wurden. Die Flächenanteile des Waldes stiegen auf 30% an, womit die Erhöhung des Waldanteils um 2% gewährleistet wurde. Offene Flächen sowie Aufforstungsflächen wurden fast vollständig durch die Klassen Douglastanne, Fichte und Grünland ersetzt.

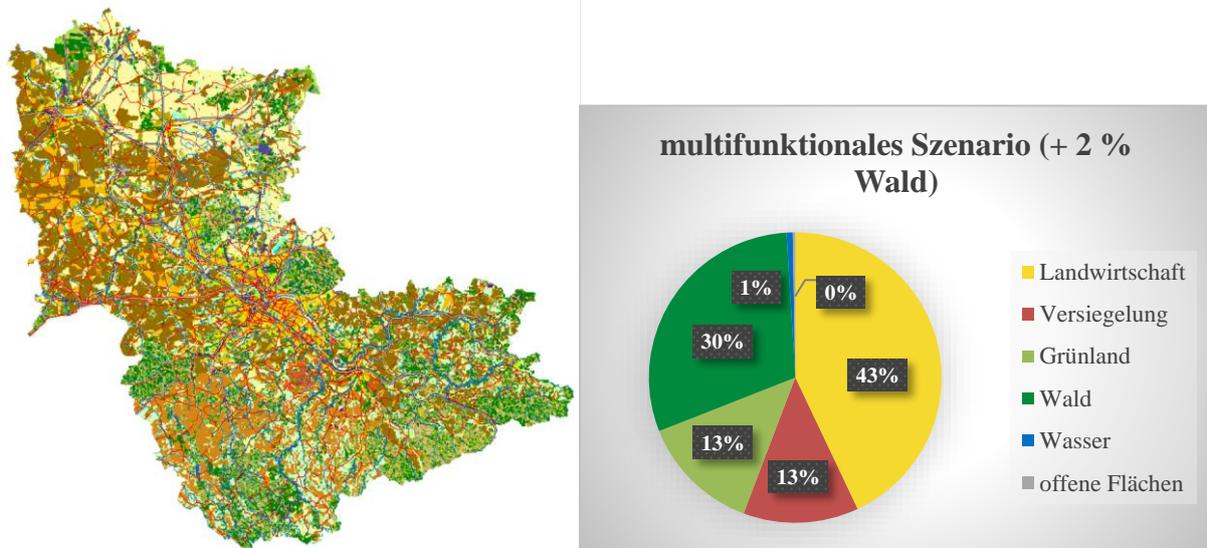


Abbildung 10: Räumliche Verteilung und Flächenstatistiken des multifunktionalen Szenarios (+2% Wald).

Diese Maßnahmen bewirken eine Erhöhung aller Bewertungskriterien mit Ausnahme des Erosionsschutzes und des ästhetischen Wertes (Abbildung 11). Die Biomasseproduktion konnte durch die zahlreichen Maissilageflächen um 20 Punkte gesteigert werden. Diese Flächen verursachen jedoch auch, dass der Erosionsschutz im Vergleich zum Referenzwert um 13 Punkte fiel. Die Kohlenstoffspeicherung und der ökonomische Wert konnten um 17 und 8 Punkte gesteigert werden. Beim ästhetischen Wert wurde durch die relativ geringe Transformation der Waldfläche keine Veränderung erzielt.

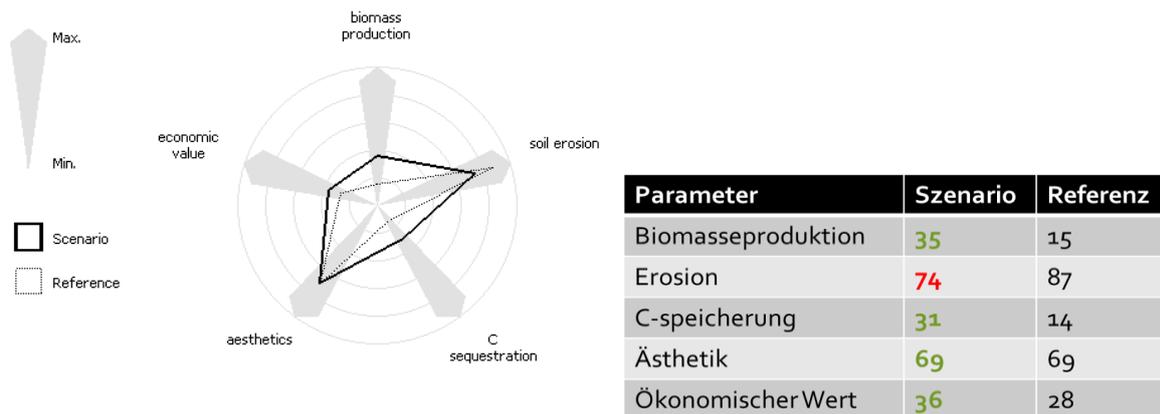


Abbildung 11: *Impact assessment* des multifunktionalen Szenarios mit 12 % Waldzuwachs.

Erhöhung des Waldanteils um 12 %

Die in Kapitel 3.3.2 vorgestellten Maßnahmen bewirkten einen Anstieg des Waldanteils um weitere 12 % gegenüber dem ersten multifunktionalen Szenario. Der Anteil der agrarwirt-

schaftlich genutzten Flächen geht dagegen um 8 % zurück, da viele Agrarflächen zugunsten der Waldflächen umgewandelt wurden. Der Prozentsatz von Grünlandflächen sinkt um 4 %, da einige Grünlandflächen am Rande eines Waldes in Douglasien umgewandelt wurden. (Abbildung 12).

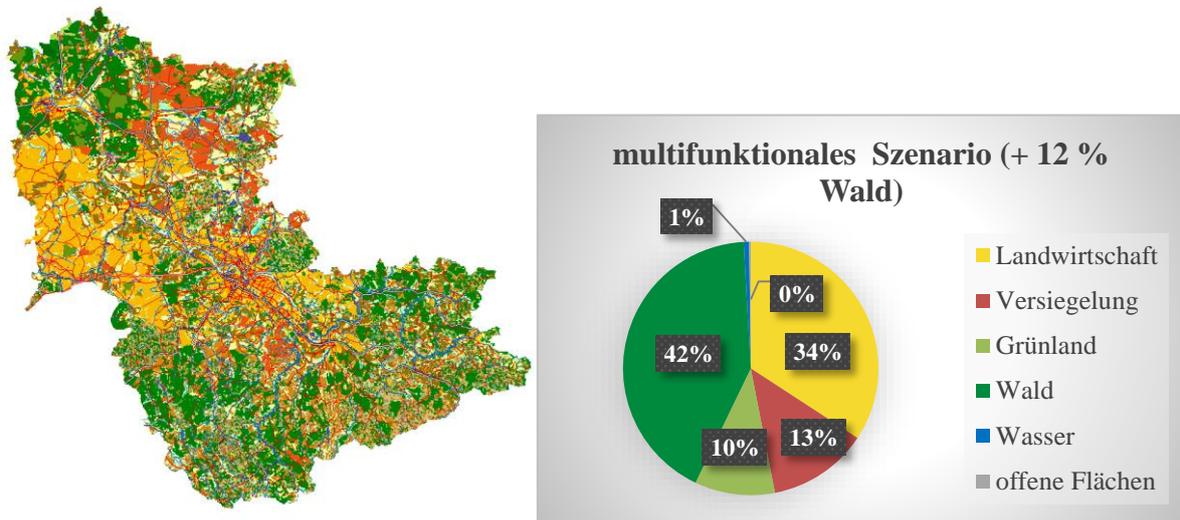


Abbildung 12: räumliche Verteilung und Flächenstatistiken des multifunktionalen Szenarios (+2% Wald).

Mit Ausnahme des Erosionsschutzes konnten durch diese Maßnahmen alle Bewertungskriterien gegenüber dem Ausgangszustand verbessert werden (Abbildung 13). Die Bedingung, dass die Biomasseproduktion im Vergleich zum Ausgangszustand um 20 Prozentpunkte gesteigert werden soll, konnte zusätzlich eingehalten werden. Der Erosionsschutz konnte hingegen nicht optimiert werden. Die Kohlenstoffspeicherung, der ästhetische und der ökonomische Wert stiegen um 16, 3 bzw. 4 Punkte.

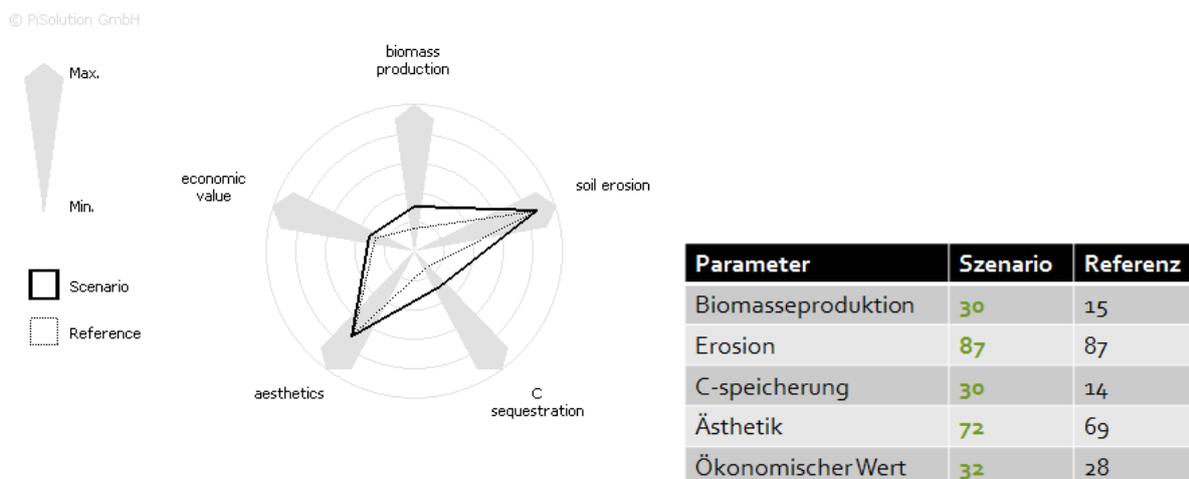


Abbildung 13: *Impact assessment* des multifunktionalen Szenarios mit 12 % Waldzuwachs.

In

Tabelle 6 werden die landschaftsstrukturellen Kennwerte des multifunktionalen Szenarios (12 %) im Vergleich zum Ausgangsszenario aufgezeigt. Es ist zu erkennen, dass der Anteil der naturnahen, verbundenen Flächen aufgrund der großen zusammenhängenden Waldflächen um etwa 10 % erhöht werden konnte. Auch der Kernflächenindex naturnaher Flächen, die effektive Maschenweite unzerschnittener Flächen und der Formindex naturnaher Flächen konnten gesteigert werden. Der Shannon's Diversity Index, welcher ein Maß für die Biodiversität darstellt, hat sich dagegen nur sehr leicht im Vergleich zum Ausgangszustand verbessert. Die Patch-Density-Wert blieb konstant.

Tabelle 6: Vergleich der LSM-Werte vor und nach der multifunktionalen Landnutzungsänderung

Parameter	Ausgangsszenario	multifunkt. Szenario (+ 12 % Wald)
Connected (semi)- natural areas (%)	31,95	42,62
Core Area Index of (semi)- natural areas (%)	20,09	24,71
Effective Mesh Size of unfragmented areas (km ²)	4,46	4,68
Shape Index of (semi)- natural areas	1,49	1,51
Shannon's Diversity Index	2,17	2,08
Patch Density (pro km ²)	0,39	0,39

4.3 Ökonomisches Szenario

Erhöhung des Waldanteils um 2 %

Die veränderte Landnutzung im Untersuchungsgebiet ist in Abbildung 14 dargestellt. Die zugehörige Legende ist in Abbildung 2 visualisiert. Wie zu erkennen, wird die Landwirtschaft in diesem Szenario durch die Landwirtschaftstypen L5 und L10 dominiert. Zudem erfolgte eine Homogenisierung der Waldflächen, überwiegend in *Douglas-Fir*.

Abbildung 15 zeigt die Veränderung der Bewertungskriterien. Wie beabsichtigt, stiegen Biomasseproduktion (+ 25 Punkte) und der ökonomische Wert der Region (+ 14 Punkte) an. Demgegenüber treten jedoch erhebliche *trade-offs* im Erosionsschutz auf (- 13 Punkte). Dies ist vor allem auf den Silomais zurückzuführen, welche einen Erosionsschutz - Faktor von 0 besitzt.

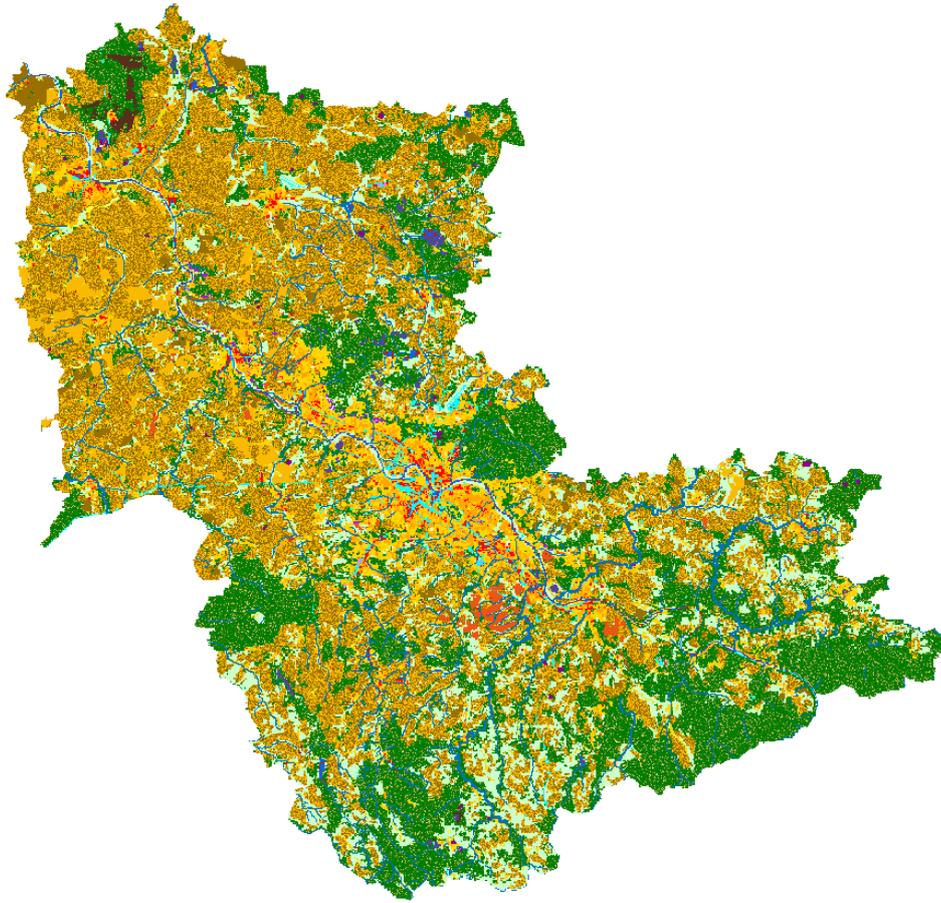


Abbildung 14: Landnutzung ökonomisches Szenario (+ 2 % Wald)

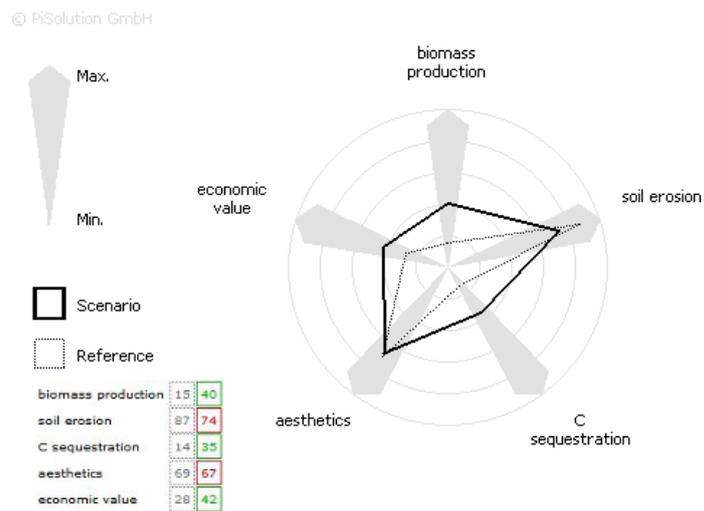


Abbildung 15: Bewertungskriterien ökonomisches Szenario (+ 2 % Wald)

Da der Zuwachs der Waldfläche um 2 % durch die Auflösung der Klasse *fallow land* bewerkstelligt wurde, sinkt der Anteil der offenen Flächen folglich um 2 % (Abbildung 16). Der absolute Zuwachs des Waldes beträgt 6.794 ha (von 96.328 auf 103.122 ha). Die Flächenanteile der restlichen Landnutzungsarten blieben in diesem Szenario unverändert.

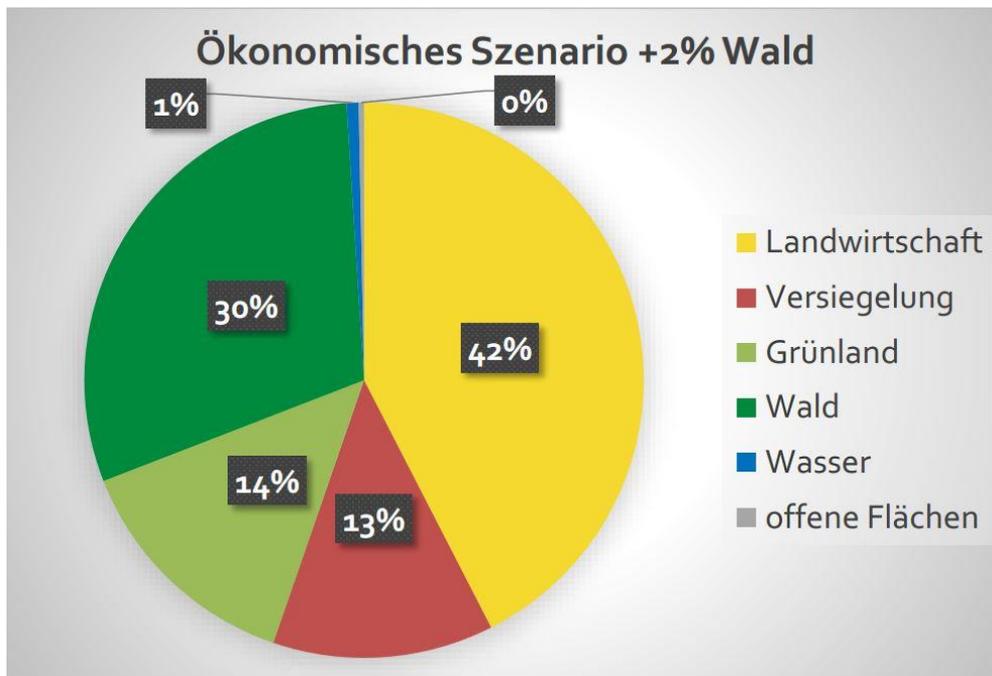


Abbildung 16: Flächenstatistik ökonomisches Szenario (+ 2 % Waldanteil)

Erhöhung des Waldanteils um 12 %

Die Erhöhung des Waldanteiles um weitere 10 % im Vergleich zum ersten ökonomischen Szenario führt zu einer drastischen Veränderung der Flächenstatistik, welche nachfolgend in Abbildung 17 dargestellt ist. Der Waldanteil beträgt ca. 40 %. Die Flächen für die Walderweiterung von 2 % auf 12 % stammen primär aus der Landnutzungsart Grünland (ca. 15.000 ha) sowie aus den Landwirtschaftsklassen L5 und L10 (zusammen ca. 14.200 ha). Zudem wurden die Klassen *afforestation*, *sealed surfaces* und *orchards* in Waldflächen umgewandelt (Tabelle 5) und vergrößern das Waldgebiet somit um weitere 6.600 ha. Der Beitrag der einzelnen Landnutzungsarten zur Aufforstung ist in Abbildung 18 visualisiert. Aufgezeigt sind Flächen verschiedener Landnutzungsarten vor (+ 2 %) sowie nach der Aufforstung (+ 12 %). In blau dargestellt ist zudem der absolute Beitrag der jeweiligen Klasse zur Erweiterung der Wälder im Untersuchungsgebiet.

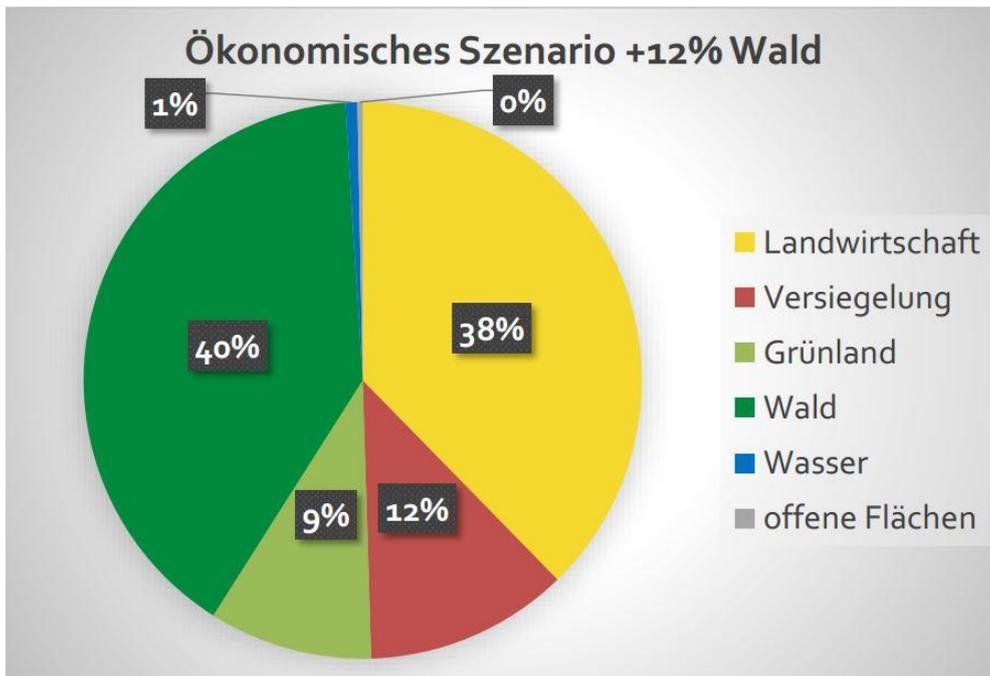


Abbildung 17: Flächenstatistik ökonomisches Szenario (+ 12 % Waldanteil)

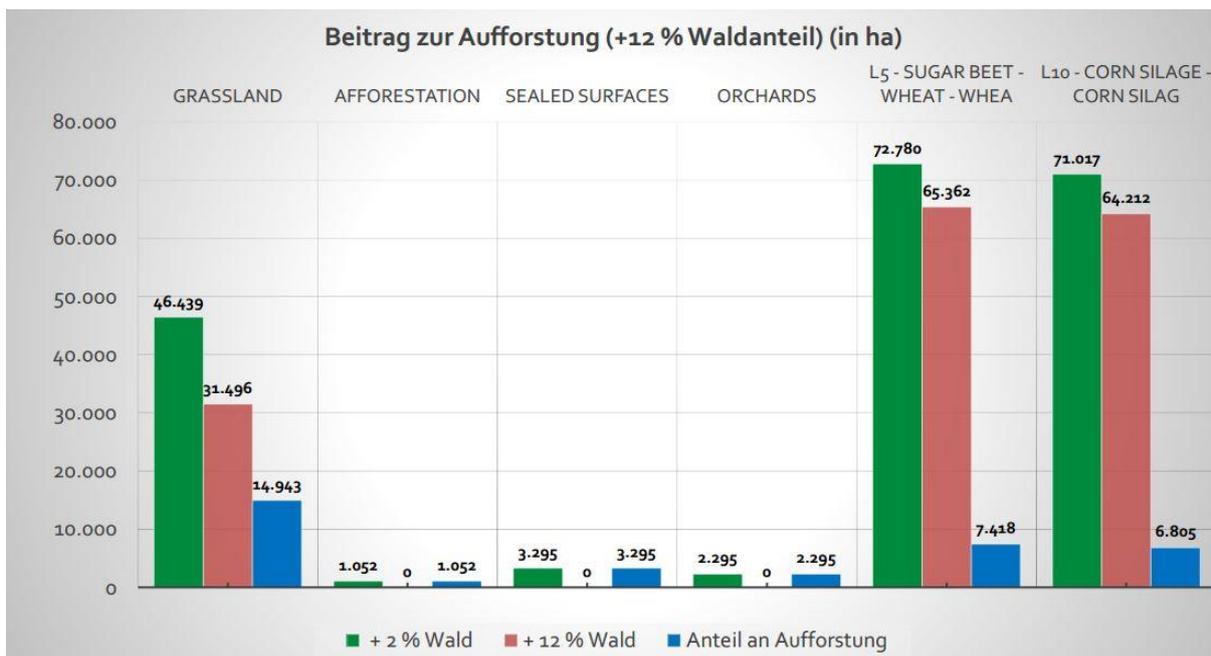


Abbildung 18: Beitrag der Landnutzungsclassen zur Aufforstung um weitere 10 %

Abbildung 19 zeigt die veränderte Landnutzung im Untersuchungsgebiet. Auffällig ist etwa das Verschwinden der *afforestation* – Flächen um das Gebiet der Elbniederterasse Zeithain (Norden), in welchem sich nach der Umwandlung ausschließlich Waldbestände (dunkelgrün) befinden. Im Süden wurden zudem viele Hektar Grünland (hellgrün) in Waldgebiete umgewandelt.

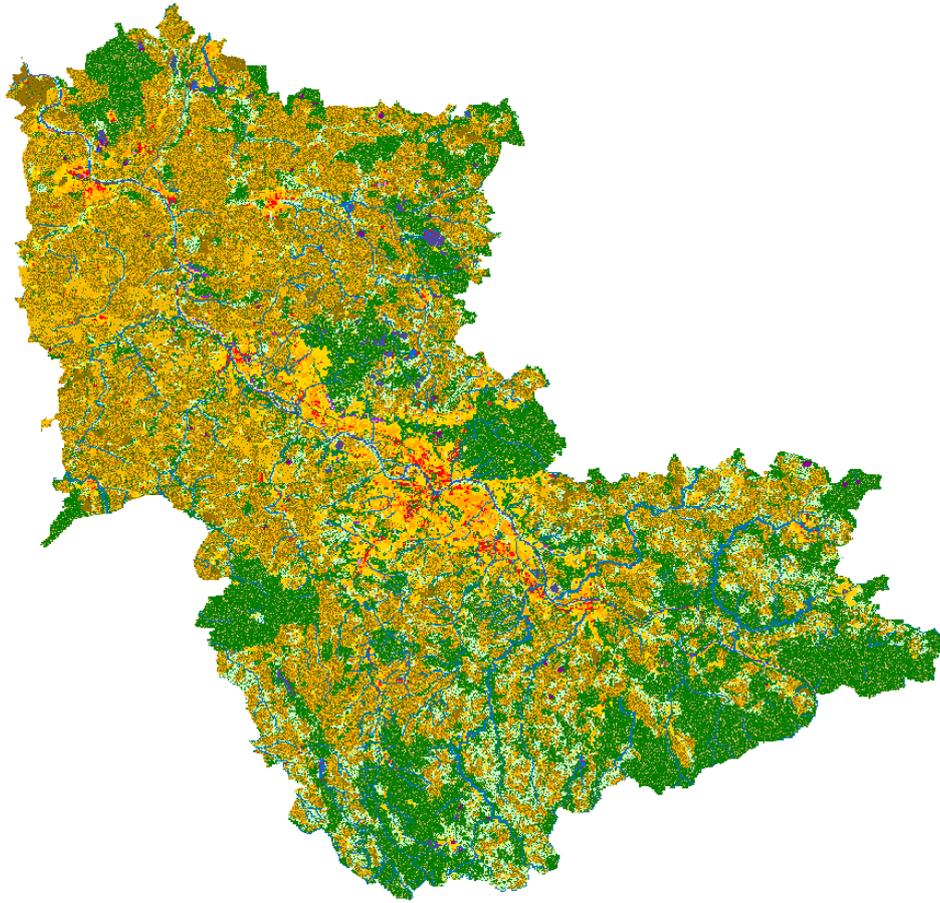


Abbildung 19: Landnutzung ökonomisches Szenario (+ 12 % Wald)

Die Veränderungen der Landnutzung spiegeln sich auch im *environmental impact assessment* wider, welches auf den in Kapitel 3.2 dargelegten Kriterien basiert. Im Vergleich zum ökonomischen 2 % - Szenario zeigt sich, dass durch die erhöhte Artenvielfalt der Waldbestände sowie die Verkleinerung landwirtschaftlicher Flächen der Erosionsschutz gesteigert werden konnte (+ 2 Punkte). Zudem konnte eine Erhöhung des Erholungswertes *aesthetics* erreicht werden (+ 3 Punkte). Das Ziel eines Zuwachses von 20 Punkten im Bereich der Biomasseproduktion konnte ebenso gewährleistet werden. Der ökonomische Wert der Region ging hingegen durch die Dezimierung landwirtschaftlicher Flächen im Vergleich zum 2 % - Szenario leicht zurück (Abbildung 20).

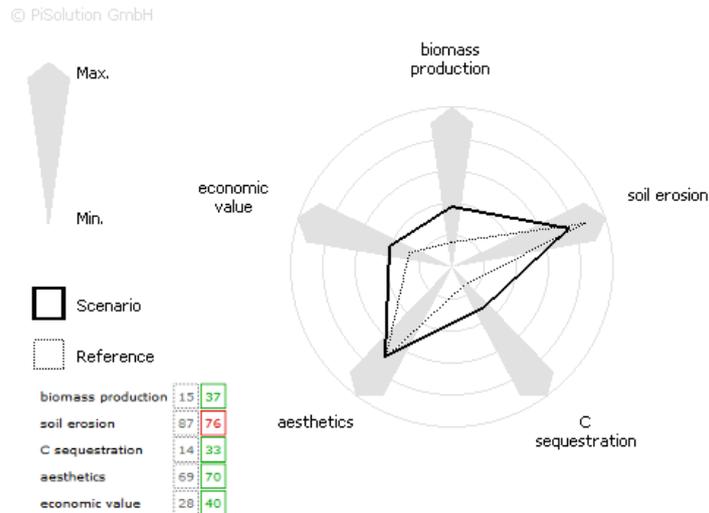


Abbildung 20: *Impact assessment* des ökonomischen Szenarios mit 12 % Waldzuwachs

Als weiteres Feature zur Bewertung der Landschaftsstruktur und deren Heterogenität kann das *AddOn Landscape Structure Module* herangezogen werden. Dieses lässt Aussagen darüber wie gut eine Landschaft vernetzt ist. Somit kann bspw. der Kernflächenindex naturnaher Flächen genutzt werden, um die Zerschneidung der Naturräume zu bewerten. Je größer dieser Wert ist, umso mehr *core areas*, in denen sich Wildtiere frei bewegen können, existieren im Untersuchungsraum. Betrachtet man die veränderten LSM – Werte zwischen dem Ausgangsszenario und dem ökonomischen Szenario mit 12 % Waldzuwachs, so zeigt sich, dass die relevanten Landschaftsparameter allesamt angestiegen sind (Tabelle 7).

Tabelle 7: Vergleich der LSM-Werte vor und nach der ökonomischen Transformation

Parameter	Ausgangsszenario	Ökon. Szenario (+ 12 % Wald)
Connected (semi)- natural areas (%)	31,95	35,81
Core Area Index of (semi)- natural areas (%)	20,09	21,68
Effective Mesh Size of unfragmented areas (km ²)	4,46	4,64
Shape Index of (semi)- natural areas	1,49	1,51
Patch Density (pro km ²)	0,39	0,45

5 Diskussion

5.1 Realistisches Szenario

Erhöhung des Waldanteils um 2 %

Das Ziel dieses Szenarios war es, die Biomasseproduktion um 20 Prozentpunkte zu erhöhen. Dabei sollte dieses Szenario die Realitätsnähe nicht verlieren. Der simulierte Waldumbau orientierte sich an den „Leitwaldgesellschaften für das jeweils aktuelle Klima“ (Kapitel 3.1.1). Demnach werden Fichten- und Kiefernreinbestände durch Laubbaumarten ersetzt. Unter Berücksichtigung des Klimawandels zählt die Fichte zu den anfälligsten Baumarten. Allerdings ist die Fichte in Deutschland auch die am häufigsten vorkommende Baumart. Im Untersuchungsgebiet haben Fichtenreinbestände einen Flächenanteil von 8 %. Lang anhaltende Trockenperioden können zu stärkeren Schäden bei Fichten führen. Durch die Trockenheit wird auch der Borkenkäferbefall bei Fichten gefördert. Die Klimaprojektionen für Deutschland, die höhere Temperaturen und niedrigere Niederschlagssummen in Sommermonaten voraussagen, deuten darauf hin, dass die Anbaumöglichkeiten der Fichte stark eingeschränkt sind und der Umbau der Reinbestände vorangetrieben werden muss (KÖLLING et al. 2009:42f.). Mit der Einbringung von standortgerechten Baumarten wie Buche, Eiche und Weißtanne können die ursprünglichen Laubmischwälder wiederhergestellt werden.

Bei der Einbeziehung der Bewertungskriterien zeigte sich der Umbau in Laubmischwälder als vorteilhaft. Buchen-Eichenwälder haben im Vergleich zu Fichtenreinbeständen einen deutlich höheren ökonomischen Wert, dieser beträgt 18 respektive 7 %. Des Weiteren haben Buchen-Eichenwälder auch einen höheren ästhetischen Wert, jedoch fiel die Kohlenstoffspeicherung mit einem Prozentpunkt ungünstiger aus als bei Fichtenreinbeständen. Bei der Biomasseproduktion erwiesen die Laubmischwälder (Buche-Eiche, Eiche, Buche-Tanne) eine deutlich höhere Produktivität um 5 bis 10 Prozentpunkte auf. Durch die Aufforstung von Grünland in Buchen-Eichenwälder profitierten hauptsächlich die Bewertungskriterien ästhetischer und ökonomischer Wert. Bei den restlichen Bewertungskriterien gab es keine oder sehr geringe Abweichungen um einen Prozentpunkt.

Abbildung 5 zeigt, dass die Waldumbau- und Aufforstungsmaßnahmen keine Veränderung bei den Bewertungskriterien, bis auf die Ästhetik, bewirkten. Somit konnte die Vorgabe von 20 Prozentpunkten mehr Biomasseproduktion durch alleinige Waldumbaumaßnahmen nicht erreicht werden. Deshalb musste ein Eingriff in die landwirtschaftlichen Nutzpflanzen erfolgen. Hierbei wurden unter Berücksichtigung der Bodenarten die Fruchtfolgen ausgewählt, die einen hohen Beitrag zur Biomasseproduktion leisteten. Dies waren die Fruchtfolgen D2 (Raps, Weizen, Silomais), L5 (Zuckerrübe, Weizen, Weizen), L10 (Silomais, Silomais, Silo-

mais) und V9 (Siloroggen, Silomais). Die Fruchtfolge L10 wies den schlechtesten Erosionsschutz auf, deshalb wurde bei der Auswahl der weiteren Fruchtfolgen neben der Biomasseproduktion auch auf einen hohen Erosionsschutz Wert gelegt.

Aus diesen zusätzlichen Maßnahmen resultierte eine um 20 Prozentpunkte erhöhte Biomasseproduktion. Allerdings musste hierbei ein verringerter Erosionsschutz von 71 % (ursprünglich 87 %) in Kauf genommen werden. Ein weiterer Nachteil war auch die Verschlechterung der Biodiversität, durch den verstärkten Anbau von Monokulturen.

Erhöhung des Waldanteils um 12 %

Dieses Szenario basierte auf dem realistischen Szenario mit einer Steigerung des Waldanteils von 2 %. Zusätzlich zu den bereits getätigten Maßnahmen wurden in diesem Szenario weitere 10 % des Untersuchungsgebiets aufgeforstet. Als Aufforstungsflächen dienten vor allem Grünland, Obstgärten und offene Flächen. Die Aufforstung von Grünland und offenen Flächen führte zu einer leichten Verbesserung des Erosionsschutzes. Weiterhin nahm auch die Ästhetik um 3 Prozentpunkte auf 72 % zu. Dies ist mit der sehr hohen ästhetischen Bewertung von Buchen-Eichenwäldern zu begründen.

Die Landschaftsstrukturmaße deuten auf einen positiven Effekt durch die betriebene Aufforstung. Die Vernetzung der naturnahen Flächen stieg auf 34,03 % und der Kernflächenindex der naturnahen Flächen auf 20,96 %, somit konnten bestehende Landschaftszerschneidungen leicht verbessert werden. Das Erreichen von höheren Landschaftsstrukturmaßen wurde aufgrund von Infrastrukturen wie Straßen und Bahntrassen erschwert.

5.2 Multifunktionales Szenario

Mit dem multifunktionalen Szenario wird eine Entwicklung vorgestellt, die einen besonderen Fokus auf die Optimierung aller Bewertungskriterien legt. Multifunktional bedeutet in diesem Zusammenhang jedoch nicht, dass alle Probleme, die in einer Landschaft auftreten, gelöst werden können. Im Ergebnis konnten alle in dieser Arbeit berücksichtigten Bewertungskriterien angehoben werden. Einige wichtige Kriterien, wie z.B. die Biodiversität finden jedoch keine Beachtung. Die Multifunktionalität ist jedoch gefährdet, wenn nur einige Funktionen beachtet werden. Um die Bedingungen an die Landschaft zu erfüllen (20 % mehr Biomasse, 2-12 % mehr Wald) wurden einige Änderungen umgesetzt, deren Realitätsnähe fragwürdig ist. Monokulturen wie die Maisilage und die Douglastanne stehen nicht für eine ökologische und nachhaltige Landschaft. Im Folgenden werden die Ergebnisse der zwei multifunktionalen Szenarios diskutiert.

Erhöhung des Waldanteils um 2 %

Bei diesem Szenario stand im Vordergrund, neben der Steigerung aller Bewertungsgrundlagen, den Waldanteil um 2 % zu erhöhen. Um die Vorgabe, die Biomasseproduktion um 20 Prozentpunkte zu steigern, einzuhalten, wurde zunächst ein intensiver Waldumbau vorgenommen. Viele Laubbaumbestände wurden durch die Douglastanne ersetzt. Zusätzlich zum Waldumbau wurden vor allem viele der brachliegenden Flächen im Untersuchungsgebiet in Waldflächen umgebaut und Aufforstungsflächen in einen bestehenden Wald aus Douglasien umgewandelt. Die ursprünglich aus Nordamerika stammende Douglasie zählt aufgrund ihrer hohen Wuchsleistung und einem geringen Produktionsrisiko weltweit zu den wichtigsten Nutzhölzern (BORCHERT & HAHN 2008:51). Besonders im Vergleich zu den im Untersuchungsgebiet dominierenden Baumarten Fichte und Kiefer ist die Douglasie weniger anfällig für zu trockenen oder zu nassen Boden. Das Holz der Douglastanne ist fester und resistenter gegen Schädlinge und die Erträge sind je nach Standort vergleichbar bzw. höher. Außerdem erzielt sie u.a. in den USA die höchsten Schnittholzpreise bei Nadelbaumarten (BORCHERT & HAHN 2008:52). Darüber hinaus bevorzugt die Douglastanne trockenere Standorte und ist weniger windwurfanfällig, wodurch sie im Hinblick auf den Klimawandel als besonders geeignete Baumart gehandelt wird (BORCHERT & HAHN 2008:51). Viele der von Wäldern produzierten Ökosystemdienstleistungen werden gemeinsam, nach Art einer Koppelproduktion, erzeugt. Das betrifft etwa Biomasse und Kohlenstoffsequestrierung (URQUHART 2006:494). Ein Vorteil der Anpflanzung von Nadelwäldern gegenüber landwirtschaftlich genutzten Flächen ist deren hohes Potential zur Kohlenstoffspeicherung (WÖRDEHOFF 2012:5, RINKLEBE & MAKESCHIN 2003:1). Sogar bei einer Erhöhung des Waldanteils um 2 % und einem Waldumbau hin zu Nadelwäldern konnte die Kohlenstoffspeicherung um 17 Prozentpunkte gesteigert werden. Die Umwandlung in Waldgebiete hat zudem viele weitere Vorteile für die Landschaft. Nach LINCKH et al. (1997:30ff.) kommt den Wäldern eine wichtige Erholungs- und Schutzfunktion zu. Wälder wirken sich auf die Qualität des Wassers aus und erfüllen eine Speicherfunktion im Wasserhaushalt. Ein weiterer positiver Effekt ist der beträchtliche Erosionsschutz des Waldes im Vergleich zu agrarwirtschaftlich genutzten Flächen (OTTO 1994:167). Durch die Interzeption der Baumkronen wird erosiver Oberflächenabfluss gemindert und die Wurzeln stabilisieren zudem den Boden. Durch die häufige Bearbeitung des Bodens und der zeitweise brachliegenden Äcker ist das Erosionspotential in bewirtschafteten Gebieten als erheblich höher einzuschätzen als in bewaldeten Regionen (GRASS & SCHEFFER 2003:1).

Die Landwirtschaftsfläche wurde so umgewandelt, dass die Biomasseproduktion noch einmal erheblich gesteigert werden konnte. Dabei wurde vor allem auf die Bodenbeschaffenheit geachtet, indem nur geeignete Fruchtfolgen auf den entsprechenden Bodengebieten eingesetzt wurden. Das heißt, dass z.B. eine Umwandlung der Ackerflächen im Lössgebiet nur in Fruchtfolgen der Kategorie L erfolgte. Die Steigerung der Biomasseproduktion wurde hauptsächlich durch die Umwandlung der Lössgebietsfruchtfolgen in die Fruchtfolge L10 Maissilage erzielt. Maissilage braucht für den gleichen Ertrag weniger Fläche als Getreide, begünstigt jedoch sehr stark die Bodenerosion, weshalb dieses Bewertungskriterium sank.

NOHL (2001:24) stellte fest, dass eine ökologisch intakte Landschaft aufgrund ihrer Natürlichkeit und einer hohen Biodiversität als sehr ästhetisch wahrgenommen wird. Durch die Douglastanne und den hohen Anteil an Maissilage wurde die Biodiversität jedoch eingeschränkt, wodurch der Wert des Bewertungskriteriums Ästhetik nicht angehoben werden konnte.

Erhöhung des Waldanteils um 12 %

Das zweite multifunktionale Szenario beinhaltete eine Erhöhung des Waldanteils um weitere 12 % bei gleichzeitigem Erhalt der Biomasseproduktion. Alle anderen Bewertungskriterien sollten ebenfalls erhalten bzw. gesteigert werden. Die starke Erhöhung des Waldanteils wirkte sich vor allem positiv auf den Erosionsschutz im Untersuchungsgebiet aus. Wälder bieten ebenfalls ein hohes Potential für die Bereitstellung von Biomasse in Form von Holz, wodurch die Biomasseproduktion trotz geringerer Landwirtschaftsflächen erhalten blieb (RINKLEBE & MAKESCHIN 2003:8). Es wurden keine nennenswerten Änderungen an der Siedlungsstruktur vorgenommen. Stattdessen wurde versucht, die Landschaft im Umkreis der Städte zu verbessern, um den Menschen eine naturnahe Erholungsregion zur Verfügung zu stellen, in denen ihnen die Möglichkeit gegeben wird, unterschiedlichen Freizeitaktivitäten nachzugehen. Zudem wurde das Hauptaugenmerk darauf gelegt, die Landwirtschaftsfläche so zu reduzieren, dass die Biomasseproduktion aufrechterhalten wird, die Waldfläche jedoch gesteigert wird. Einige der landwirtschaftlichen Flächen wurden in Waldgebiete umgewandelt, um die negativen Auswirkungen der Monokulturen (Maissilage) wie den verminderten Erosionsschutz, den überhöhten Einsatz von Düngemitteln und Pflanzenschutzmitteln und die hohe Bewirtschaftungsintensität einzuschränken und den Menschen eine Erholungsmöglichkeit zu bieten (LINCKH et al. 1997:61). Viele der Maissilage-Monokulturen wurden aufgrund ihres erhöhten Umweltgefährdungspotentials, wie der Bodenerosion und Stickstoffauswaschung zu der umweltverträglicheren Fruchtfolge Zuckerrübe-Winterweizen-Winterweizen (L5) umgewandelt (GRASS & SCHEFFER 2003:1). Durch die Schaffung von Grünlandflächen entlang von Straßenzügen oder

als Feldbegrenzungen wurden Biotope und Freiräume miteinander vernetzt. Ebenso wurden Grünlandflächen entlang von Flüssen gesetzt um einen Hochwasser- und Erosionsschutz herzustellen. Es wurden außerdem viele Obstplantagen geschaffen, da sie den Erosionsschutz erhalten und zudem eine höhere Biomasseproduktion als Waldflächen besitzen.

5.3 Ökonomisches Szenario

Um den ökonomischen Wert des Untersuchungsgebiets zu erhöhen, wurden zwei Szenarien mit jeweils unterschiedlichem Waldzuwachs entwickelt. Als wirtschaftlich hochwertig wurden hierbei der Waldbestandstyp *Douglas-Fir* sowie die Landwirtschaftsklasse L5 *Corn Silage* identifiziert. Deren Relevanz für den wirtschaftlichen Wert soll nachfolgend kurz erläutert werden.

Nach einer Forstinventur aus dem Jahr 2008 beträgt die für Douglasien genutzte Fläche in Deutschland ca. 214.000 ha, also etwa 1,9 % aller reeller Waldflächen der Bundesrepublik (POLLEY et al. 2009). Die Standortbedingungen des Hemerophyten (durch den Menschen aus Nordamerika eingebracht) sind im Untersuchungsgebiet als gut einzuschätzen, da die Standorts- und Klimaverträglichkeit in Deutschland sowie in weiten Teilen Europas potentiell hoch sind (VTI 2011). Der größte Vorteil dieser Bestandsart ist die enorme Wuchsleistung sowie der damit verbundene ökonomische Wert. Während ein Festmeter Fichte im Jahr 2013 einen Wert von ca. 100 € besaß, belief sich der Betrag der Douglasie zum gleichen Zeitpunkt auf etwa 250 € (FORSTPRAXIS 2013). Tatsächlich werden in Deutschland heutzutage bevorzugt heimische Bäume wie Fichte oder Buche gesetzt, wodurch eine großflächige Umwandlung in Douglasien eher unwahrscheinlich ist, wenngleich wirtschaftlich überaus attraktiv.

Der zweite betrachtete ökonomisch wertvolle Landnutzungstyp ist Silomais. Mais gilt in Deutschland als wichtigste Ackerfutterpflanze und gilt als Primärquelle für Rindermast und Milcherzeugung. Deutschlandweit wird Silomais auf einer Fläche von etwa 1,65 Mio. ha angebaut und nimmt somit einen Anteil an der gesamten Ackerfläche Deutschlands von 17,6 % ein (ENTRUP & KIVELITZ 2010). Der geringe Erosionsschutz gilt jedoch als großer Nachteil dieses Bewirtschaftungsart. Dieser machte sich unter anderem auch in den Bewertungskriterien der durchgeführten ökonomischen Szenarien bemerkbar. Da der Fokus bei diesen auf rein wirtschaftlicher Betrachtung liegt, wurde dieser *trade-off* jedoch akzeptiert.

Erhöhung des Waldanteils um 2 %

Die Umwandlung der Brachflächen (*fallow land*) in Wälder kann als Versuch der Aufforstung angesehen werden. Wenngleich derartige Prozesse in der Regel eher schrittweise stattfinden,

ist diese Art der Landschaftsänderung als durchaus realistisch anzusehen. Die Aufforstung der Brachflächen ist dabei nicht nur von ökonomischem sondern auch ästhetischem Wert. Zwar sinkt dieser „Erholungswert“ (Abbildung 15), jedoch ist dies wohl eher auf die verstärkte Nutzung von Monokulturen (L5 & L10) sowie die Reduzierung der Anzahl von unterschiedlichen Waldbestandstypen zurückzuführen. Die Vorgaben der Biomasseerhöhung konnten mit den beschriebenen Umwandlungen erreicht und sogar übererfüllt werden. Der Hauptnachteil dieses Landnutzungsszenarios liegt in der Nutzung von Silomais und dem damit verbundenen hohen Erosionspotenzial. Dieses *trade-off* könnte, ungeachtet etwaiger ökonomischer Vorzüge, in der Realität zu großen landwirtschaftlichen Schäden führen.

Erhöhung des Waldanteils um 12 %

Wie bereits zuvor beschrieben, wurde die Erweiterung des Waldes um weitere 10 % in diesem Szenario durch die Umwandlung verschiedener Klassen erreicht (Tabelle 5). Ein Blick auf die Bewertungskriterien zeigt, dass durch die Erhöhung der Artenvielfalt der Waldbestände der Erholungswert (*aesthetics*) gesteigert werden konnte. Als größtes *trade-off* des vorherigen ökonomischen Szenarios, konnte das hohe Erosionspotenzial identifiziert werden. Dieses konnte durch teilweise Umwandlung landwirtschaftlicher Flächen in Waldbestände verringert werden. Dies ist auf die Umwandlung von jeweils 10 % der Landwirtschaftstypen L5 und L10 in die Waldbestände Buche-Eiche (2 %), Douglasie-Buche (2 %), Douglasie (4 %) und Fichte (2 %) zurückzuführen. Damit gehen jedoch auch Einbußen im ökonomischen Wert (- 2 Punkte) der Landschaft einher. Dennoch konnte die Biomasseproduktion des Ausgangsszenarios um 22 Punkte gesteigert werden. Die Erreichung der Vorgaben hinsichtlich Biomasseproduktion sowie Steigerung des wirtschaftlichen Wertes der Region konnten somit erreicht werden.

6 Fazit

Ziel dieser Arbeit war es, verschiedene Landveränderungsszenarien zu simulieren. Hierbei wurde zunächst versucht, eine möglichst realitätsnahe Umwandlung der Landschaft zu generieren. Gemäß aktueller Landwirtschaftsbau-Trends sieht das realistische Szenario einen Umbau der Fichten- und Kiefernreinbestände in standortgerechte Laubmischwälder sowie einen stärkeren Anbau von ertragreichen landwirtschaftlichen Nutzpflanzen vor. Der simulierte Waldumbau und die zusätzliche Aufforstung wurden unter Berücksichtigung zukünftiger Klimaentwicklungen durchgeführt. Diese Maßnahmen führten zu einem Anstieg der Biodiversität im Untersuchungsgebiet. Weiterhin wurde die Landnutzung an die stetig steigende Nachfrage nach Bioenergie sowie Lebensmitteln angepasst. Dies lässt sich etwa an der starken Erhöhung der Biomasseproduktion erkennen, welche in allen Szenarien um 20 Prozentpunkte stieg.

Ein weiteres Szenario sollte eine möglichst multifunktionale Landnutzung im Untersuchungsgebiet modellieren, indem alle Bewertungskriterien ansteigen und keine *trade-offs* entstehen. Dabei wurde ein umfangreicher Waldumbau durchgeführt und die Landwirtschaft nach und nach umgestellt. Die Douglasanne und die Maissilage besitzen einen hohen ökonomischen Wert und eine hohe Biomasseproduktion und hatten in den Landnutzungsklassen Wald und Landwirtschaft eine besondere Bedeutung, da sie die Biomasseproduktion erheblich steigerten. Zudem konnte der Biotopverbund durch die Zunahme der Waldfläche verbessert werden. Die Ausbreitung der Waldgebiete und Grünländer förderte zudem den Anstieg des ästhetischen Wertes, da der im Untersuchungsgebiet lebenden Bevölkerung eine Möglichkeit gegeben wird, sich zu erholen und verschiedenen Freizeitaktivitäten nachzugehen. Weiterhin wurde der Erosionsschutz verbessert, da die Bäume die Interzeption erhöhen und mit ihren Wurzeln den Boden stabilisieren. Somit entstand eine multifunktional geprägte Landnutzung, in der alle Bewertungskriterien angehoben wurden.

Als finales Szenario wurde eine Umwandlung der Landnutzung unter Berücksichtigung rein ökonomischer Gesichtspunkte vollzogen. Um den wirtschaftlichen Wert sowie die Biomasseproduktion zu maximieren, wurden hierbei weite Teile der Landwirtschaftsflächen in solche mit maximalem *economic value* umgesetzt. Zu diesem Zweck wurden insbesondere Douglasien-Bestände verbreitet gesetzt, um zunächst Waldflächen wirtschaftlich interessanter zu gestalten. Tatsächlich rücken sowohl letztgenannte Baumart als auch die in allen Szenarien bevorzugt genutzte Maissilage in der aktuellen Landnutzungsplanung stärker in den Fokus. Aufgrund der steigenden globalen Nachfrage nach Futter für Nutztiere (z.B. Rinder) nimmt die Bedeutung dieser Landnutzung weiter zu. Der Ruf des *corn silage* als kostengünstigstes

Grobfutter mit hoher Energiedichte bei hohen Hektarerträgen ist bewiesen und eine flächenhafter Anbau dieser Getreideart somit durchaus denkbar (vgl. KWS o.J.). Das ökonomische Szenario konnte sowohl den wirtschaftlichen Wert des Untersuchungsgebietes sowie dessen Biomasseproduktion steigern.

Alle vorgestellten Szenarien konnten die Vorgaben zur Steigerung der Biomasseproduktion erfüllen. Dies konnte jedoch nur durch extrem extensive Landnutzungsänderungen erreicht werden, welche, wenn überhaupt, in der Realität nur langfristig und als sukzessiver Ansatz zu bewerkstelligen wären. Dennoch führte der Zwang dieses Kriterium einzuhalten und somit extreme Landnutzungsänderungen zu vollziehen, welche tatsächlich kaum praktikabel wären, zum Verlust der Realitätsnähe der Szenarien. Des Weiteren ist der Waldumbau, der in allen Szenarien erfolgt, aufgrund des hohen Anteils an Privatwald, administrativ eher schwer durchführbar. Globale Trends deuten jedoch daraufhin, dass wirtschaftliche bedeutende „NawaRo“ - Pflanzen und deren Anbau zukünftig stärkeren Einfluss auf die Landnutzung nehmen werden. Somit könnte die integrierte Landnutzungsplanung zukünftig durchaus stärker auf Monokulturen setzen. Die hieraus entstehenden *trade-offs* gilt es in der Folge zu minimieren, um das Umweltgefüge zwischen Mensch und Natur nicht aus dem Gleichgewicht zu bringen.

Literatur

- ALCAMO, J. & E.M. BENNETT (2003): Millennium Ecosystem Assessment Program. Ecosystems and Human Well-being. Island Press.
- BORCHERT, H. & J. HAHN (2008): Die Douglasie. Eine wirtschaftlich lohnende Baumart. Wald-Wissenschaft-Praxis LWF aktuell 65, 51 – 53.
- DÖBBELER, H., M. ALBERT, M. SCHMIDT, J. NAGEL & J. SCHRÖDER (2011): BWINPro. Programm zur Bestandesanalyse und Prognose. Göttingen. Niedersächsische / Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt.
- ELLENBERG, H. & C. LEUSCHNER (2010⁶): Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen: In ökologischer, dynamischer und historischer Sicht. UTB, Stuttgart.
- ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA, 2015): Environmental Impact Assessment. <http://www.epa.ie/monitoringassessment/assessment/eia/#.VSqa_JM6x2S> (Stand: 2015) (Zugriff: 2015-04-15)
- FRANK, S., C. FÜRST, L. KOSCHKE, A. WITT & F. MAKESCHIN (2012): Assessment of landscape aesthetics – Validation of a landscape metrics-based assessment by visual estimation of the scenic beauty. – Ecological Indicators 32, 222 – 231.
- FÜRST, C. (2015): Integrierte Landnutzungs- und Landschaftsplanung. Einführung. Vorlesungsskript. Friedrich-Schiller-Universität.
- FÜRST, C. (2015a): Integrierte Landnutzungs- und Landschaftsplanung. Einstieg Bewertung und Impact Assessment. Friedrich-Schiller-Universität Jena.
- geeigneter Landnutzungsszenarien für die Wasserhaushaltsberechnung im Rahmen des Projekts KliWES. Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, Freistaat Sachsen.
- GRASS, R. & K. SCHEFFER (2003): Direkt- und Spätsaat von Silomais nach Wintererbsenvorfrucht – Erfahrungen aus Forschung und Praxis. In: Ökologischer Landbau der Zukunft. Wien: Universität für Bodenkultur Wien, 45 – 48.
- GRUNEWALD, K. & O. BASTIAN (2013): Ökosystemdienstleistungen: Konzept, Methoden und Fallbeispiele. Springer Verlag. Berlin, Heidelberg.

- HESSISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT UND GEOLOGIE (2013): C-Faktor. <<http://www.hlug.de/start/boden/auswertung/bodenerosion/bodenerosionsatlas/c-faktor.html>> (Stand: 2013-12-02) (Zugriff: 2015-03-15).
- KÖLLING, C., T. KNOKE, P. SCHALL & C. AMMER (2009): Überlegungen zum Risiko des Fichtenanbaus in Deutschland vor dem Hintergrund des Klimawandels. *Forstarchiv*, 80, 2, 42 – 54.
- KOSCHKE, L.; C. FÜRST; S. FRANK & F. MAKESCHIN (2012): A multi-criteria approach for an integrated land-cover-based assessment of ecosystem services provision to support landscape planning. In: *Ecological Indicators*, 21, 54 – 66.
- KWS (o.J.): Mais in der Rinderfütterung. Ernte und Konservierung. <https://www.kws.de/global/show_document.asp?id=aaaaaaaaaaqarce&download=1> (Stand: o.J.) (Zugriff: 2015-05-15)
- Landschaft und zur Ermittlung zugehöriger landschaftsästhetischer Erlebniswerte. <<http://www.landschaftswerkstatt.de/dokumente/erlebnisbereiche.pdf>> (Stand: 2001) (Zugriff: 2015-04-18).
- LANDWIRTSCHAFTSKAMMER NORDRHEIN-WESTFALEN (2012): C-Faktoren in Nordrhein-Westfalen. <<https://www.landwirtschaftskammer.de/landwirtschaft/ackerbau/boden/c-faktoren.htm>> (Stand: 2012-02-28) (Zugriff: 2015-03-15).
- LINCKH, G., H. SPRICH, H. FLAIG & H. MOHR (1997): Nachhaltige Land- und Forstwirtschaft. Voraussetzungen, Möglichkeiten, Maßnahmen. Heidelberg:Springer.
- LÜNICH, K., L. KRAUB, E. BÖHM & P. GRÜDL (2013): Begründeter Vorschlag für die Auswahl
- MOSER, P. & B. MEYER (2002): Szenarienentwicklung und –operationalisierung für die suburbane Kulturlandschaft. – *Stadtökologische Forschungen* 33, 21, 1 – 42.
- MOSER, P. & B. MEYER (2002): Szenarienentwicklung und –operationalisierung für die suburbane Kulturlandschaft. – *Stadtökologische Forschungen* 33, 21, 1 – 42.
- NOHL, W. (2001): Ästhetische und rekreative Belange in der Landschaftsplanung. Teil 2: Entwicklung einer Methode zur Abgrenzung von ästhetischen Erlebnisbereichen in der Landschaft und zur Ermittlung zugehöriger landschaftsästhetischer Erlebniswerte. Werkstatt für Landschafts- und Freiraumentwicklung: Kirchheim.
- OTTO, H.-J. (1994): Waldökologie. UTB, Stuttgart:Ulmer.

- PIETZSCH & FÜRST (2014): GISCAME. ADD-ONS. <http://www.giscame.com/giscame/deutsch_giscame_add-ons.html> (Stand: 2014) (Zugriff: 2015-04-15).
- REGIONALER PLANUNGSVERBAND OBERES ELBTAL/OSTERZGEBIRGE (2013): Planungsregion. <<http://www.rpv-elbtalosterz.de/index.php?id=planungsregion>> (Stand: 2013-12-12) (Zugriff: 2015-04-24).
- RINKLEBE, J. & F. MAKESCHIN (2003): Der Einfluss von Acker- und Waldnutzung auf Boden und Vegetation – ein Zeitvergleich nach 27 Jahren. In: Forstwissenschaftliches Centralblatt.
- SCHWEDE, H. & U. ERTEL (2013): Erntemenge und Ernteerträge in Sachsen 2012. <http://www.statistik.sachsen.de/download/300_Voe-zeitschrift/ZS_2013_2_SN_SchwedeErtel19bis25.pdf> (Stand: 2013) (Zugriff: 2015-04-05)
- URQUHART, J. (2006): Woodland management and public good outputs: appraising the *trade-offs* in English woodlands. *Small-Scale Forestry* 6, 3, 257 – 271.
- Witt, A., C. Fürst, S. Frank, L. Koschke & F. Makeschin (2013): Regionalisation of climate change sensitive forest development types for potential afforestation areas. –*Journal of Environmental Management* 127, 548 – 555.
- WÖRDEHOFF, R., H. SPELLMANN, J. EVERS, C. T. AYDIN & J. NAGEL (2012): Kohlenstoffstudie Forst und Holz Schleswig Holstein. Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt, Göttingen.
- WUNDER, S.; A. HERMANN; D.A. HEYEN; T. KAPHENGST; L. SMITH; J. VON DER WEPPEN & F. WOLFF (2013): Governance screening of global land use. *GLOBALANDS – Global Land Use and Sustainability*. Berlin. Institut für Ökologie und Ökonomie.