

GEO 404 – Angewandte Geoinformatik
Integrierte Landnutzungs- und Landschaftsplanung

Leitung: PD Dr. Christiane Fürst

**Anwendung von GISCAMÉ zur Entwicklung von Landnutzungsszenarien für
repräsentative Landnutzungsformen in der RegioPower3 Region
(Mittelsachsen/Erzgebirge)**

Belegarbeit

vorgelegt von:

Baumberg, Verena
Matrikelnr. 118095
M.Sc. Geoinformatik, 1. FS
verena.baumberg@uni-jena.de

Berninger, Anna
Matrikelnr. 105144
M.Sc. Geoinformatik, 1. FS
anna.berninger@uni-jena.de

Trautmann, Tina
Matrikelnr. 120409
M.Sc. Geoinformatik, 1. FS
tina.trautmann@uni-jena.de

Abgabedatum: 15.05.2014

Inhalt

Abbildungen	IV
Tabellen	V
Abkürzungen	VI
1 Einleitung	7
2 Modellregion und Methodik.....	8
2.1 Untersuchungsgebiet	8
2.2 GISCAME	9
2.2.1 Grundlagen und Aufbau.....	9
2.2.2 Module	10
2.3 Bewertung.....	12
2.3.1 Hintergrund und Zweck der Bewertung.....	12
2.3.2 Erarbeitung einer Bewertungsgrundlage.....	12
2.3.3 Bewertungsgrundlage RegioPower	14
3 Szenarienentwicklung und Ergebnisse	15
3.1 Siedlungsfläche.....	15
3.1.1 Ausgangszustand	15
3.1.1 Szenario S1	16
3.1.1 Szenario S2.....	18
3.2 Landwirtschaftliche Fläche	21
3.2.1 Ausgangszustand.....	21
3.2.2 Szenario LW1	22
3.2.3 Szenario LW2.....	24
3.2.4 Szenario LW3.....	26
3.2.5 Einbezug der Landschaftsstrukturmaße	28
3.3 Forstwirtschaftliche Fläche.....	29
3.3.1 Ausgangszustand.....	29
3.3.2 Szenario FW1.....	30
3.3.3 Szenario FW2.....	32
3.3.4 Szenario FW3.....	33
3.3.5 Einbezug der Landschaftsstrukturmaße	36
3.3.6 Biomassemodul.....	37

4 Diskussion.....	39
4.1 Siedlungsfläche.....	39
4.1.1 Szenario S1.....	39
4.1.2 Szenario S2.....	40
4.1.3 Gegenüberstellung der Szenarien der Siedlungsfläche	41
4.2 Landwirtschaftliche Fläche.....	42
4.2.1 Szenario LW1.....	42
4.2.2 Szenario LW2.....	43
4.2.3 Szenario LW3.....	44
4.2.4 Gegenüberstellung der landwirtschaftlichen Szenarien	45
4.3 Forstwirtschaftliche Fläche.....	46
4.3.1 Szenario FW1.....	47
4.3.2 Szenario FW2.....	48
4.3.3 Szenario FW3.....	49
4.3.4 Gegenüberstellung der forstwirtschaftlichen Szenarien	50
4.3.5 Auswertung der Simulationen im Biomassemodul	52
5 Fazit	54
Literatur.....	56
Anhang.....	61

Abbildungen

Abbildung 1: RegioPower3 Region mit betrachteten Kacheln.....	8
Abbildung 2: Sächsisches Lössgefülle mit vereinfachter RegioPower3 Region.	9
Abbildung 3: Siedlungsfläche: Ausgangszustand und Flächenanteile der LNT.....	15
Abbildung 4: Siedlungsfläche Ausgangszustand: ÖSD-Diagramm	16
Abbildung 5: Szenario S1: räumliche Verteilung und Flächenanteile der LNT.	18
Abbildung 6: Szenario S1: ÖSD-Diagramm.....	18
Abbildung 7: Szenario S2: räumliche Verteilung und Flächenanteile der LNT.	20
Abbildung 8: Szenario S2: ÖSD-Diagramm.....	20
Abbildung 9: Landwirtschaftliche Fläche: Ausgangszustand und Flächenanteile der LNT. ...	21
Abbildung 10: Landwirtschaftliche Fläche Ausgangszustand: ÖSD-Diagramm.....	22
Abbildung 11: Szenario LW1: räumliche Verteilung und Flächenanteile der LNT.	23
Abbildung 12: Szenario LW1: ÖSD-Diagramm.....	24
Abbildung 13: Szenario LW2: räumliche Verteilung und Flächenanteile der LNT.	25
Abbildung 14: Szenario LW2: ÖSD-Diagramm.....	26
Abbildung 15: Szenario LW3: räumliche Verteilung und Flächenanteile der LNT.	28
Abbildung 16: Szenario LW3: ÖSD-Diagramm.....	28
Abbildung 17: Forstwirtschaftliche Fläche: Ausgangszustand und Flächenanteile der LNT. ...	30
Abbildung 18: Forstwirtschaftliche Fläche Ausgangszustand: ÖSD-Diagramm.	30
Abbildung 19: Szenario FW1: räumliche Verteilung und Flächenanteile der LNT.	31
Abbildung 20: Szenario FW1: ÖSD-Diagramm.....	31
Abbildung 21: Szenario FW2: räumliche Verteilung und Flächenanteile der LNT.	33
Abbildung 22: Szenario FW2: ÖSD-Diagramm.....	33
Abbildung 23: Szenario FW3: räumliche Verteilung und Flächenanteile der LNT.	35
Abbildung 24: Szenario FW3: ÖSD-Diagramm.....	36

Tabellen

Tabelle 1:	Zusätzliche in GISCAME nutzbare Module.	10
Tabelle 2:	Aktuell mit Landschaftsstrukturmaßen bewertbare Kriterien.....	12
Tabelle 3:	Kriterien und Indikatoren zur Erarbeitung der Bewertungsgrundlage.....	13
Tabelle 4:	Szenario S1: Maßnahmen zur Verbesserung des Naherholungswerts.....	17
Tabelle 5:	Szenario S2: Maßnahmen zur Verdichtung der Siedlung.	19
Tabelle 6:	Szenario LW1: Maßnahmen zur Verbesserung der Biomasse und CO ₂ - Speicherung.	22
Tabelle 7:	Szenario LW2: Maßnahmen zur Verbesserung der Biomasse und CO ₂ - Speicherung.	24
Tabelle 8:	Szenario LW3: Maßnahmen zur Verbesserung der Biomasse und CO ₂ - Speicherung.	27
Tabelle 9:	Gegenüberstellung der landschaftstrukturellen Kennwerte der Szenarien für die landwirtschaftlichen Fläche.	29
Tabelle 10:	Szenario FW2: Maßnahmen zur Erhöhung der Natürlichkeit.....	32
Tabelle 11:	Szenario FW3: Maßnahmen des integrierten Ansatzes.....	34
Tabelle 12:	Gegenüberstellung der landschaftstrukturellen Kennwerte der Szenarien für die forstwirtschaftliche Fläche.	36
Tabelle 13:	Szenarien und entsprechende Maßnahmen im Biomassemodul.....	38
Tabelle 14:	ÖSD-Bewertungen für die Siedlungsszenarien im Vergleich.....	42
Tabelle 15:	ÖSD-Bewertungen für die Landwirtschaftsszenarien im Vergleich.....	46
Tabelle 16:	ÖSD-Bewertungen für die Forstwirtschaftsszenarien im Vergleich.....	52

Abkürzungen

AAMS	Automatisiertes Attribut Management System
ABAG	Allgemeine Bodenabtragungsgleichung
BM	Biomassemodul
BM1	Szenario 1 der forstwirtschaftlichen Fläche im Biomassemodul (kontinuierlicher Waldumbau)
BM2	Szenario 2 der forstwirtschaftlichen Fläche im Biomassemodul (zeitversetzte Durchführung waldbaulicher Maßnahmen mittels Kahlschlag)
BM3	Szenario 3 der forstwirtschaftlichen Fläche im Biomassemodul (Kahlschlag)
CA	zellulärer Automat
CO ₂	Kohlenstoffdioxid
FW1	Szenario 1 der forstwirtschaftlichen Fläche (Erhöhung der Biomasseproduktion)
FW2	Szenario 2 der forstwirtschaftlichen Fläche (Erhöhung der Natürlichkeit)
FW3	Szenario 3 der forstwirtschaftlichen Fläche (integrierter Ansatz)
GIS	Geoinformationssystem
LNT(s)	Landnutzungstyp(en)
LSM	Landschaftsstrukturmaße
LW1	Szenario 1 der landwirtschaftlichen Fläche (Verbesserung der Biomasse und CO ₂ -Sequestrierung)
LW2	Szenario 2 der landwirtschaftlichen Fläche (Verbesserung der Biomasse und CO ₂ -Sequestrierung mit geringer Umstrukturierung)
LW3	Szenario 3 der landwirtschaftlichen Fläche (Verbesserung der Biomasse und CO ₂ -Sequestrierung ohne Verluste in der Nahrungs- und Futtermittelproduktion)
ÖSD(s)	Ökosystemdienstleistung(en)
r ²	Bestimmtheitsmaß/Korrelationskoeffizient
S1	Szenario 1 der Siedlungsfläche (Verbesserung des Naherholungswertes)
S2	Szenario 2 der Siedlungsfläche (Verdichtung der Siedlung)
WE	Wassererosionsmanagement

1 Einleitung

Vor dem Hintergrund des Klimawandels sind viele Gesetze und Abkommen auf internationaler und nationaler Ebene entstanden, die Strategien zum Schutz der Umwelt mit ihren bedeutsamen und teilweise einzigartigen Ökosystemen vorschlagen. Aber auch von Seiten einer wachsenden Bevölkerung mit einer stetig steigenden Nachfrage nach Nahrungsmitteln sowie Treib- und Werkstoffen wird zunehmend die Forderung nach einem nachhaltigen Umgang mit der Umwelt und ihren Rohstoffen laut, sodass auch zukünftige Generationen von Ökosystemdienstleistungen profitieren können. Ökosystemdienstleistungen bezeichnen laut DAILY (1997:3) die Vorteile, die Menschen durch ökologische Systeme erhalten. Dazu zählen sowohl unterstützende, bereitstellende und regulierende als auch kulturelle Leistungen.

Die zentrale Rolle bei der Gestaltung und Umsetzung von Strategien zum Schutz der Umwelt bei gleichzeitigem Erhalt der Ökosystemdienstleistungen spielt die integrierte Landnutzungsplanung. Das Ziel der integrierten Landnutzungsplanung liegt darin, unter Berücksichtigung von ökologischen, kulturellen und ökonomischen Gesichtspunkten Vorschläge und konkrete Handlungsanweisungen für die Gestaltung der Landnutzung zu entwerfen beziehungsweise die Entscheidungsfindung auf politischer Ebene zu beeinflussen (VON HAAREN 2004).

Aus ökologischer Perspektive werden dabei vor allem der Schutz der Artenvielfalt sowie der Erhalt und die Stärkung des Naturraumpotentials und der natürlichen Ressourcen bei der Planung und Umsetzung mit einbezogen. Weiterhin erfolgt die Beachtung der kulturellen Komponente bei der Landnutzungsplanung. Zu dieser zählen vor allem die Schaffung von Lebensqualität und adäquatem Erholungsraum sowie der Erhalt von kulturellen Werten oder Stätten. Nichtsdestotrotz wird auch die ökonomische Seite in den Planungen berücksichtigt. Es werden die Grundlagen und die Infrastruktur für weitere wirtschaftliche Entwicklung und Wachstum geschaffen. Die Verbindung all dieser Komponenten zeigt die integrative Sichtweise der Landnutzungsplanung auf und ermöglicht ein nachhaltiges Handeln, sodass Menschen und Ökosysteme auch in der Zukunft miteinander auf einer möglichst ausgeglichenen Basis interagieren können (VON HAAREN 2004).

In dieser Arbeit werden mithilfe des Softwaretools GISCAM Strategien für die Beispielregion *RegioPower3* in Sachsen, Deutschland, entwickelt. Die Region erstreckt sich von den Ausläufern des Erzgebirges bzw. Elbsandsteingebirges im Süden über urban geprägte Gebiete im Zentrum hin zu den Regionen des Sächsischen Lössgefildes im Norden. Auch hier steht der Einbezug von ökologischen, kulturellen und ökonomischen Kriterien im Zentrum der Betrachtung. Für die Ausarbeitung der Strategien wird jeweils ein Gebiet ausgewählt, welches als repräsentativ für eine entweder forstwirtschaftlich genutzte, landwirtschaftlich dominierte oder schwerpunktmäßig urban geprägte Teilregion angesehen wird. Für jede dieser Regionen werden Szenarien entworfen, die jeweils ein definiertes Ziel haben, das sich aus der Bewertung der Ökosystemdienstleistungen der Ausgangssituation der jeweiligen Teil- bzw. der Gesamtregion und dem angestrebten Schwerpunkt bei den Optimierungsstrategien ergibt. Schließlich erfolgen die Analyse der Ergebnisse und der Vergleich der unterschiedlichen Szenarien einer Teilregion, sodass eine Vorzugsvariante für jede der Landnutzungsformen ausgesprochen werden kann.

2 Modellregion und Methodik

2.1 Untersuchungsgebiet

Die RegioPower3 Region befindetet sich im Bundesland Sachsen, Deutschland, und ist in Abbildung 1 dargestellt. Sie erstreckt sich teilweise über die Landkreise Dresden, Bautzen, Sächsische Schweiz-Osterzgebirge sowie Meißen und reicht dabei von Riesa im Norden bis an die tschechische Grenze im Süden. Im Westen grenzt die Region an die Stadt Freiberg. Die östlichste Ausdehnung reicht bis zur Stadt Neustadt (Sachsen). Die Elbe fließt als größter Fluss von Südost nach Nordwest durch das gesamte Untersuchungsgebiet.

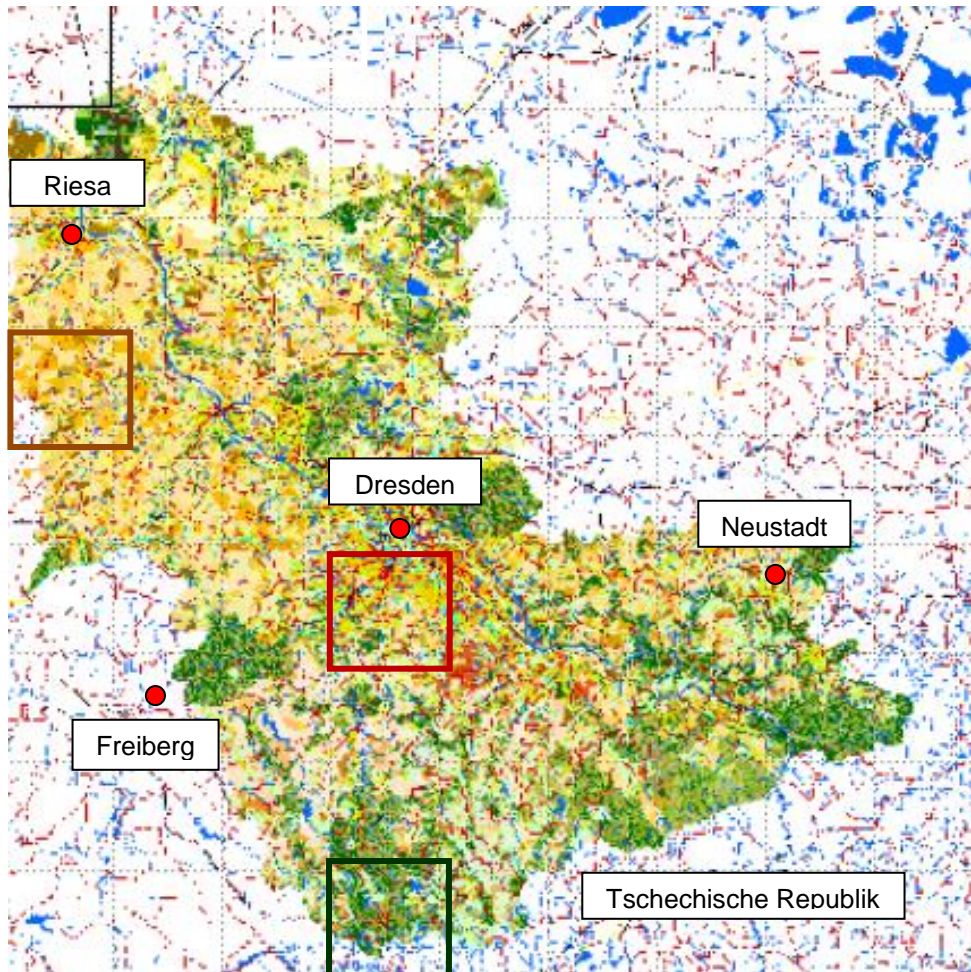


Abbildung 1: RegioPower3 Region mit betrachteten Kacheln (Siedlung rot, Landwirtschaft braun, Forstwirtschaft grün).

Über einen großen Teil der Region erstreckt sich das Sächsische Lössgefülle (Abbildung 2), das Teil des Europäischen Lössgürtels ist. Begrenzt wird das Lössgefülle im Norden durch die Altmoränen- und Talsandgebiete des Tieflandes und im Süden durch das Ost-Erzgebirge und Elbsandsteingebirge. Die fruchtbaren Böden des Lössgürtels eignen sich insbesondere für landwirtschaftliche Nutzungen und werden im Untersuchungsgebiet intensiv bewirtschaftet. Die Landwirtschaft ist aufgrund dessen der dominierende Landnutzungstyp der Region.

Zu den forstwirtschaftlich genutzten Gebieten zählen die Dresdner Heide im Osten und der Tharandter Wald im Westen. Im Norden von Riesa befindet sich die Elbniederterasse Zeithain samt der Gohrischheide. Als die größten Forstflächen sind der Nationalpark Sächsische Schweiz sowie Forstflächen des Osterzgebirges, die sich im Süden der Region befinden, zu nennen.

Dresden, Riesa und Meißen sind die größten Siedlungen in der RegioPower3 Region. Dabei weist der Landkreis Dresden mit 1000 Einwohner pro km² die höchste Bevölkerungsdichte auf, während sie in den übrigen Kreisen zwischen unter 150 und 200 Einwohner pro km² liegt (STATISTIK SACHSEN 2012).

Von den insgesamt über 50 Kacheln, in die die RegioPower3 Region in GISCAMÉ unterteilt ist, werden drei repräsentative Kacheln für Landwirtschaft, Siedlung und Forstwirtschaft ausgewählt, analysiert und Empfehlungen entwickelt. Die Lage dieser drei Kacheln ist in Abbildung 1 vermerkt.

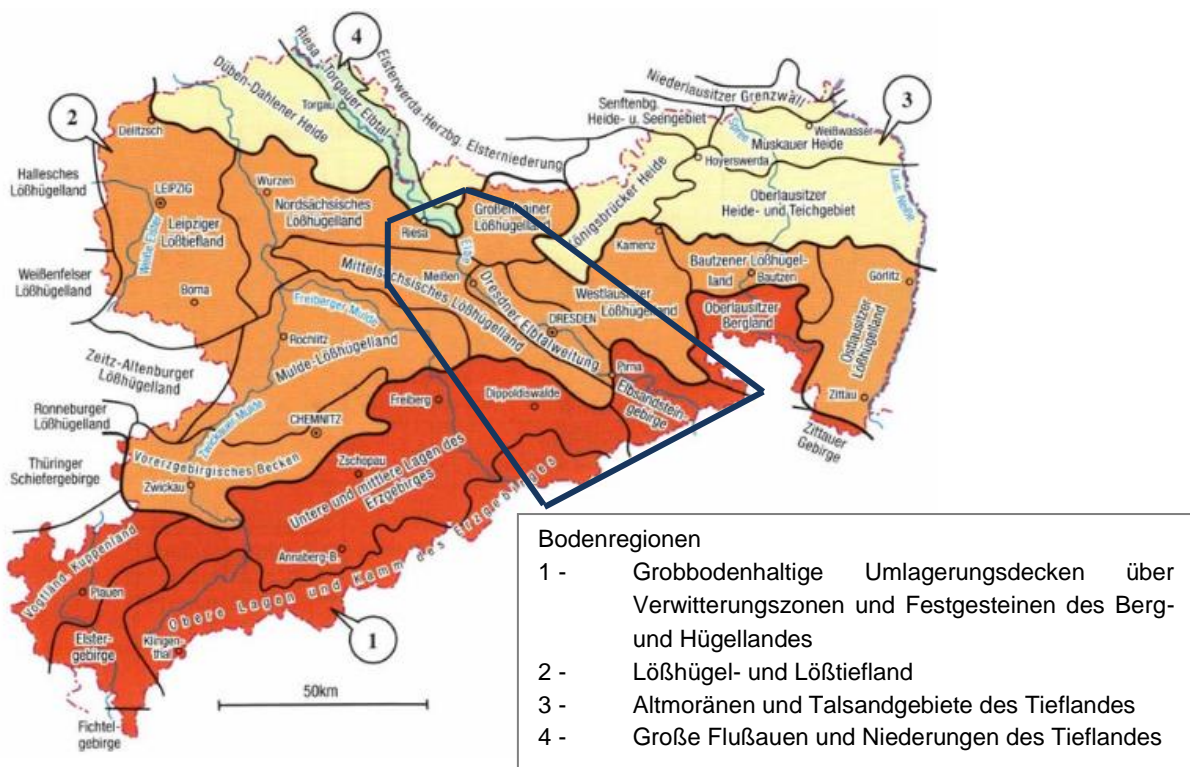


Abbildung 2: Sächsisches Lössgefilde mit vereinfachter RegioPower3 Region (verändert nach HUNGER et al. 2000:4).

2.2 GISCAMÉ

2.2.1 Grundlagen und Aufbau

Zur Entwicklung und Bewertung verschiedener Alternativen der Landnutzungsänderung findet die modular aufgebaute, über ein Webinterface nutzbare Software GISCAMÉ Verwendung. Hierbei handelt es sich um eine Gemeinschaftsentwicklung der PiSolution GmbH und dem Institut für Bodenkunde und Standortlehre der TU Dresden. Die Software dient zur Simulation, Visualisierung und Bewertung der Effekte von Landnutzungsänderungen, um Handlungsalternativen gegeneinander abzuwägen. GISCAMÉ integriert

hierzu einen multikriteriellen Bewertungsansatz in einem GIS-Modul zur Einbindung räumlicher Rahmenbedingungen und Fachinformationen sowie einen modifizierten zellulären Automaten zur Simulation zell-/zelltypspezifischer Übergänge der Landnutzungstypen.

Die Datengrundlage bilden digitale Karten und Attributdaten mit Landnutzungsinformationen, welche in das GIS-Modul eingelesen werden. Dabei erfolgt eine Segmentierung des Untersuchungsgebietes in 100 km² große Kacheln, für die jeweils Szenarien der Landnutzungsänderung entwickelt werden können. Im vorliegenden Projekt ist jede Kachel wiederum in 625 m² große Zellen unterteilt. Auswirkungen der Simulationen sind sowohl für die Teilregion als auch für das gesamte Gebiet analysierbar.

Die integrierte Bewertung der Landnutzungsszenarien beruht in GISCAME auf einem modifizierten Ansatz der Ökosystemdienstleistungen (ÖSDs), wobei in einer Bewertungsmatrix für beliebige Landnutzungsfunktionen indikatorbasiert die Einschätzung der Landnutzungstypen (LNTs) erfolgt (s. Kapitel 2.3). Darüber hinaus können Umweltparameter, Restriktionen und landschaftsstrukturelle Aspekte einbezogen werden (PIETZSCH & FÜRST 2013:o.S.).

Für die vorliegende Arbeit liegen keine Informationen bezüglich Geländehöhe, Temperatur, Niederschlagsmengen sowie Planungs- und Umweltrestriktionen vor. Daher ist die Berücksichtigung von Standortunterschieden oder gesetzlichen Vorgaben bei der Szenarientwicklung nicht möglich. Weiterhin liegen keine konkreten Informationen hinsichtlich der Nutzungsform der Waldflächen vor, weswegen im Folgenden die Begriffe *Forst* und *Wald* synonym verwendet werden.

2.2.2 Module

Neben dem Kernmodul, welches die manuelle Änderung einzelner LNTs bzw. Zellen erlaubt und die entsprechenden Effekte auf die Landnutzungsfunktionen sowie die prozentuale LNT-Verteilung berechnet, existieren zusätzliche, in Tabelle 1 aufgeführte Module. Nachfolgend soll alleinig auf die in dieser Arbeit genutzten Module BM, CA und LSM eingegangen werden.

Tabelle 1: Zusätzliche in GISCAME nutzbare Module (nach PIETZSCH & FÜRST 2013:o.S.).

Modul	Abkürzung	Funktion
Automatisiertes Attribut Management System	AAMS	Verknüpfung von Datenlayern mittels Konjunktion zur Informationsintegration
Biomasse	BM	Simulation zeitlicher und räumlicher Trends der Produktivität forstwirtschaftlicher LNTs infolge von Bewirtschaftungsmaßnahmen
zellulärer Automat	CA	Szenarien basierend auf Übergangswahrscheinlichkeiten in Abhängigkeit von LNT, Attributen, Lage
Landschaftsstrukturmaße	LSM	Einbeziehung landschaftsstruktureller Aspekte in die Bewertung ästhetischer und ökologischer Funktionen
Wassererosionsmanagement	WE	Berechnung der Bodenabträge unter verschiedenen landwirtschaftlichen LNTs und Bearbeitungsmethoden anhand der ABAG

Biomassemodul

Das Biomassemodul ermöglicht die Modellierung zeitlicher und räumlicher Dynamiken der Ressourcenbereitstellung in Bereichen forstwirtschaftlicher Nutzung. Hierzu verbindet es den zellulären Automaten mit einer primär aus Bestandwachstumsmodellen erzeugten Ertragsdatenbank mit Angaben bezüglich des altersspezifischen Ertrags, des Standvolumens oder des Brennwertes für jede vorhandene Baumart im Reinbestand. Zusätzlich sind Layer mit Informationen zu aktuellem Bestandsalter und -dichte notwendig. Die Berechnung der Parameter für Mischbestände erfolgt anhand deren prozentualen Zusammensetzung aus den entsprechenden Reinbestandsdaten. Im Gegensatz zum Kernmodul ist im BM die Teilregion manuell zu definieren. Weiterhin müssen die zu betrachtenden Zeitschritte festgelegt werden, für die neben der Ausgabe der Bestandsdaten auch Szenarien, beispielsweise Bewirtschaftungseingriffe mittels Kahlschlag oder kontinuierlichem Waldumbau, entwickelbar sind. Die verschiedenen, für eine Region berechneten Szenarien können anschließend miteinander verglichen und dem Ausgangszustand gegenübergestellt werden (PIETZSCH o.J.a:4ff.).

In der vorliegenden Arbeit findet das Biomassemodul zur Empfehlungsentwicklung für das forstwirtschaftlich repräsentative Gebiet Verwendung. Betrachtet werden sollen sowohl kurzfristige (5 und 10 Jahre), mittelfristige (50 und 100 Jahre) als auch langfristige (200 Jahre) Effekte von Bewirtschaftungseingriffen. Hierzu wird die voreingestellte Zusammensetzung der Mischbestände übernommen und zur Bewertung die Ertragsdatenbank *RegioPowerSF1.1* genutzt.

Zellulärer Automat

Der zelluläre Automat erlaubt die Simulation von Landnutzungsänderungen anhand benutzerspezifischer Übergangswahrscheinlichkeiten, die sich u.a. aus ökonomischen oder ökologischen Überlegungen in Abhängigkeit von Zelleigenschaften, -nachbarschaften und Planungsvorstellungen ergeben. Hierbei bestehen verschiedene Möglichkeiten der Szenarienformulierung, beispielsweise der Beginn von Veränderungen ausgehend von den Randbereichen einer Fläche, sodass realistischere Landschaftsmuster als bei der manuellen Änderung im Kernmodul generiert werden.

Landschaftstrukturmaße

Einige, vorwiegend ökologische und ästhetische, ÖSDs sind wesentlich von Form und Anordnung der LNTs sowie linearer Landschaftselemente wie Straßen abhängig. Um dies zu berücksichtigen, bietet das Modul LSM Möglichkeiten zur Quantifizierung der räumlichen Struktur des Untersuchungsgebietes und durch entsprechende Zu- und Abschläge eine Verfeinerung der Bewertung (PIETZSCH o.J.b:3). Tabelle 2 gibt einen Überblick der aktuell zur Verfügung stehenden Landschaftsstrukturmaße und ihrer Verwendung.

Da sich natürliche LNTs generell positiv auf ökologische und ästhetische Aspekte auswirken, ist zunächst die Reklassifizierung der LNTs entsprechend ihres Hemerobiegrades notwendig. Außerdem müssen zur Berechnung des Shannon's Diversity Index ähnliche LNTs in Diversitätsgruppen zusammengefasst werden, um eine Überschätzung der landschaftlichen Vielfalt zu vermeiden. Weiterhin können fragmentierend wirkende LNTs wie Gewässer und anthropogen genutzte Areale ausgewiesen werden (PIETZSCH o.J.b:6ff.).

In dieser Arbeit werden Landschaftszerschneidung, Biotopverbund, Landbedeckungsdiversität sowie Landschaftsdiversität zur Bewertung der Ökologischen Integrität und Landschaftsdiversität zur Einschätzung der Erholung genutzt. Die Zu- bzw. Abschläge

erfolgen entsprechend der voreingestellten Werte, welche für eine Fallstudie in Zentral-europa hergeleitet wurden (PIETZSCH o.J.b:10f) und somit auch auf das betrachtete Gebiet zutreffen. Dabei werden alle landwirtschaftlichen Flächen (mit verschiedenen Fruchtfolgen) sowie alle urbanen LNTs in je einer Diversitätsgruppe zusammengefasst, während jede Bestandsart eine separate Klasse bildet. Fragmentierend wirken urban genutzte, versiegelte Flächen sowie Gewässer. Als naturfern sind urbane Flächen und Gewässer sowie landwirtschaftlich genutzte Areale (inklusive Kurzumtriebsplantagen) eingestuft, während alle forstlichen LNTs sowie Hecken, Feuchtgebiete und Felsen als natürlich betrachtet werden.

Tabelle 2: Aktuell mit Landschaftsstrukturmaßen bewertbare Kriterien (nach PIETZSCH o.J.b:5).

LSM/ Methode	Bewertungskriterium		Zu-/Abschlag für
Effective Mesh-Width, Core Area Index	Landschaftszerschneidung (Fragmentierung)		Ökologische Intaktheit
Cost-Distance-Analys	Biotopverbund		
Shannon's Diversity Index, Patch Density	Landbedeckungsdiversität	Landschaftsdiversität	Ökologische Intaktheit, Ästhetik
Shape Index	Heterogenität naturnaher LNTs		

2.3 Bewertung

2.3.1 Hintergrund und Zweck der Bewertung

Zur integrierten Bewertung verschiedener Landnutzungstypen werden je nach Skalenebene, den aktuellen Gegebenheiten, gesetzlichen Rahmenbedingungen und unter Einbezug der Akteure unterschiedliche Kriterien erarbeitet, die für die Landschaftsplanung im Vordergrund stehen und die eine Operationalisierung der Bewertungsverfahren ermöglichen (VON HAAREN 2004:92).

Die Bewertung hat die Aufgabe, die Bedeutung dieser Kriterien zu quantifizieren und so die Basis für Vergleiche zu schaffen (SPITZER 1995:180). Für die Kriterien werden wiederum Indikatoren als Bewertungsmaß ausgewählt. Aufgrund des interdisziplinären und integrativen Ansatzes der Landnutzungsplanung müssen bei der Bewertung Indikatoren mit naturwissenschaftlichem, ästhetischem oder ökonomischem Hintergrund und von unterschiedlichen Skalierungen vergleichbar gemacht werden (DOLLINGER 1989:39). Sie sollten daher als ordinal oder kardinal skalierte Informationen vorliegen (VON HAAREN 2004:94). Für die multidimensionale Bewertung werden die Indikatorwerte mittels Normalisierung nach KOSCHKE et al. (2011:57) (Formel 1) auf einer Skala von 0 bis 100 eingeordnet und in eine Matrix eingetragen (SPITZER 1995:180).

$$i_{norm} = \left(\frac{i - i_{max}}{i_{min} - i_{max}} \right) \cdot 100 \quad (\text{Formel 1})$$

2.3.2 Erarbeitung einer Bewertungsgrundlage

Um einen Einblick in die Erstellung einer Bewertungsmatrix zu erlangen, ist im Zuge des Seminars GEO 404 eine Bewertung für die vorgestellte RegioPower3 Region vorgenommen

worden. Diese Bewertung basiert auf den sechs Kriterien Wassergefährdung, Erosionsrisiko, Intaktheit des Naturhaushalts, Ästhetik, Biomassebereitstellung und der CO₂-Sequestrierung der Vegetation. Tabelle 3 zeigt die Kriterien mit ihren herangezogenen Indikatoren, die Skalierung vor der Normalisierung und die Datenquellen. Im Folgenden werden die Kriterien und Indikatoren im Einzelnen vorgestellt und näher erläutert.

Tabelle 3: Kriterien und Indikatoren zur Erarbeitung der Bewertungsgrundlage.

Kriterium	Indikator	Skalierung	Quelle
Wassergefährdung	NO ₃ -Eintrag	kardinal	KLIEBSCH et al. 1998 LILBURNE et al. 2010
Erosionsrisiko	C-Faktor (ABAG)	kardinal	LORENZ et al. 2013
Naturhaushalt	Hemerobiestufe	ordinal	STEIN 2011
Ästhetik	empirische Daten (subjektives Empfinden)	ordinal	NOHL 2001
Biomasse	Ertrag	kardinal	siehe Tabelle A2
CO ₂ -Sequestrierung	Vorrat	kardinal	

Gefährdung des Grundwassers durch den Eintrag von Nitraten

Da Stickstoff im Allgemeinen und Nitrate im Besonderen eine integrale Komponente vieler essenzieller Pflanzenbestandteile sind und das Wachstum sowie die Nährstoffaufnahme der Pflanzen stimuliert (BRADY & WEIL 2008:543), ist die Stickstoffdüngung von agrarisch genutzten Flächen weit verbreitet. Ist die Nitratkonzentration beispielsweise durch Überdüngung zu hoch, werden überschüssige Nitrate ausgewaschen. Sie bewegen sich „mit dem Sickerwasser abwärts [...] und gelangen in das Grundwasser“ (BRADY & WEIL 2008:552). Die Folge ist eine Abnahme der Wasserqualität bis hin zur Gesundheitsgefährdung von Mensch und Tier. Nach ALLOWAY & AYRES (1996:300f.) nimmt die Nitratkonzentration im Grundwasser seit Jahren stetig zu – als Hauptverursacher ist die Düngung in der Landwirtschaft zu nennen. Die im Seminar erstellte Bewertung sieht daher eine hohe Gefährdung des Grundwassers bei landwirtschaftlichen Nutzungen. Vor allem Fruchtfolgen, in denen Mais angebaut wird, werden mit einem besonders hohen Gefährdungspotential belegt. Forst- oder Siedlungsflächen hingegen sind als wenig gefährdend einzustufen.

Wassererosionsrisiko

Die Bodenerodierbarkeit durch Wasser wird in dieser Bewertung auf der Basis der Allgemeinen Bodenabtragungsgleichung (ABAG) eingeschätzt. Diese fasst Schicht- und Rillenerosion zusammen und bewertet mit dem C-Faktor die Erosionsdisposition für landwirtschaftlich genutzte Flächen einschließlich Grünland (AUERSWALD 1993:1–10). Deshalb werden nur Agrarflächen als erosionsgefährdet eingestuft. Auch hier sind Fruchtfolgen mit Mais besonders betroffen.

Intaktheit des Naturhaushalts

Als Indikator für die Intaktheit des Naturhaushalts wird das Konzept der Hemerobiestufen herangezogen. Dieser Ansatz beruht darauf, dass „Vegetationseinheiten [...] nach der Intensität der anthropogenen Veränderungen“ in eine Skala eingeordnet werden (GLAWION 2002:295). Die Hemerobiestufen können daher als Maß für die anthropogene Überprägung der Landschaften gesehen werden (GLASER 2007:23). Für die Bewertung wird eine sieben-

stufige Hemerobieskala verwendet, in die die Landnutzungstypen wie bei STEIN (2011:109–140) beschrieben eingeordnet werden. Dabei zeichnen sich Forstgebiete durch eine große Intaktheit des Naturhaushalts aus, während landwirtschaftliche und vor allem urbane Regionen wesentlich niedriger eingestuft werden.

Ästhetik

Der eher subjektive Komplex der Ästhetik einer Landschaft wird mithilfe der Untersuchungen von NOHL (2001) behandelt. Die Einschätzung der Ästhetik erfolgt über empirische Untersuchungen von größeren Personengruppen. Dabei sind „landschaftsästhetische Präferenzen“ abzuleiten und auf eine Skala aufzutragen (NOHL 2001:24). Landschaften werden demnach als ästhetischer bewertet, wenn sie weniger intensiv genutzt sind und sich eher ungestört entwickeln können.

Biomassebereitstellung und CO₂-Sequestrierung

Die pflanzliche Biomasse, also die „Gesamtheit der lebenden und toten Organismen und die sich daraus ergebende organische Masse“ (DIE LANDWIRTSCHAFT 1998:640) wird über den Ertrag, den die Pflanzen pro Zeiteinheit liefern, bestimmt und bewertet. Dabei zeigt sich generell eine höhere Biomasseproduktion im Ackerbau als in der Forstwirtschaft.

Die Sequestrierung von Kohlenstoffdioxid (CO₂) in der Biomasse ergibt sich aus dem Vorrat und wird über das Verhältnis der atomaren Massen von Kohlenstoff und Sauerstoff ermittelt. Aufgrund des großen Vorrats an Biomasse sind daher Forstgebiete als CO₂-Senken zu bewerten, während auf landwirtschaftlichen Flächen kein Biomassevorrat zu finden ist und somit auch kein CO₂ sequestriert wird.

2.3.3 Bewertungsgrundlage RegioPower

Neben der im Seminar selbst erstellten Bewertungsgrundlage steht für die Region bereits eine Bewertung zur Verfügung. Sie ist aus einer Kombination von Daten, die auf kleinen Flächen erhoben und anschließend übertragen wurden, und Daten, die auf Expertenwissen beruhen, entstanden (KOSCHKE et al. 2011). Diese Bewertungsgrundlage berücksichtigt die Indikatoren Biomasse (bzw. Holzproduktion), Nahrungs- und Futtermittelproduktion, Erosionsschutz, CO₂-Sequestrierung, Erholungswert, Dürreregulierung und Ökologische Intaktheit. Ein Vergleich der Indikatoren der vorhandenen und der selbst erstellten Bewertungsgrundlage zeigt, dass beide Bewertungen die Indikatoren Biomasse (bzw. Nahrungs- und Futtermittelproduktion), CO₂-Sequestrierung, Ästhetik (bzw. Erholungswert) und Naturhaushalt (bzw. Ökologische Intaktheit) nutzen. In der vorhandenen Bewertung kommt der Indikator Dürreregulation hinzu, der sich über die Wasserbilanz berechnet (KOSCHKE et al. 2011). Im Vergleich zeigt sich eine deutliche Korrelation der jeweiligen Indikatoren zwischen den Bewertungsgrundlagen. Für die CO₂-Sequestrierung ergibt sich ein Bestimmtheitsmaß (r^2) von 0,79.

Aufgrund der Tatsache, dass die Bewertungsgrundlage RegioPower auf dem Fachwissen von Experten oder auf sorgfältig in längeren Prozessen generierten Daten beruht, sind die Bewertungen in dieser Grundlage als seriöser und wahrscheinlicher anzusehen. In dieser Arbeit wird daher für alle Betrachtungen und Szenarien die Bewertungsgrundlage *RegioPower1_modified* verwendet.

3 Szenarientwicklung und Ergebnisse

3.1 Siedlungsfläche

3.1.1 Ausgangszustand

Für die Entwicklung möglicher Szenarien in Gebieten, die eine überwiegende Nutzung als Siedlungsfläche erfahren, wird die repräsentative Kachel RegioPower3 4:6 ausgewählt. Aus Abbildung 3 wird erkenntlich, dass die ausgewählte Region von einem deutlich urbanen Charakter geprägt ist. Etwa die Hälfte des Gebietes ist Siedlungsfläche, offene städtische Fläche oder versiegelt. Die Verkehrsinfrastruktur ist mit einem dichten Netz aus unterschiedlich großen Straßen und Bahnlinien durchzogen und so ebenfalls charakteristisch für städtische Räume. Die Landwirtschaft wird von einer Fruchtfolge aus Raps, Weizen und Gerste dominiert und nimmt 17 % der Fläche ein. Forst- oder Waldgebiete sind nur vereinzelt im südlichen Teil der Kachel zu finden.

Die Betrachtung des ÖSD-Diagramms, in dem die Kriterien entsprechend der Bewertung aufgetragen sind, zeigt für die ausgewählte Kachel für alle Kriterien Werte um mehr als 10 Punkte unterhalb des Regionsdurchschnitts (Abbildung 4). Eine Ausnahme ist lediglich der Erosionsschutz, der mit 95 Punkten über dem Mittelwert der Region (90 Punkte) liegt.

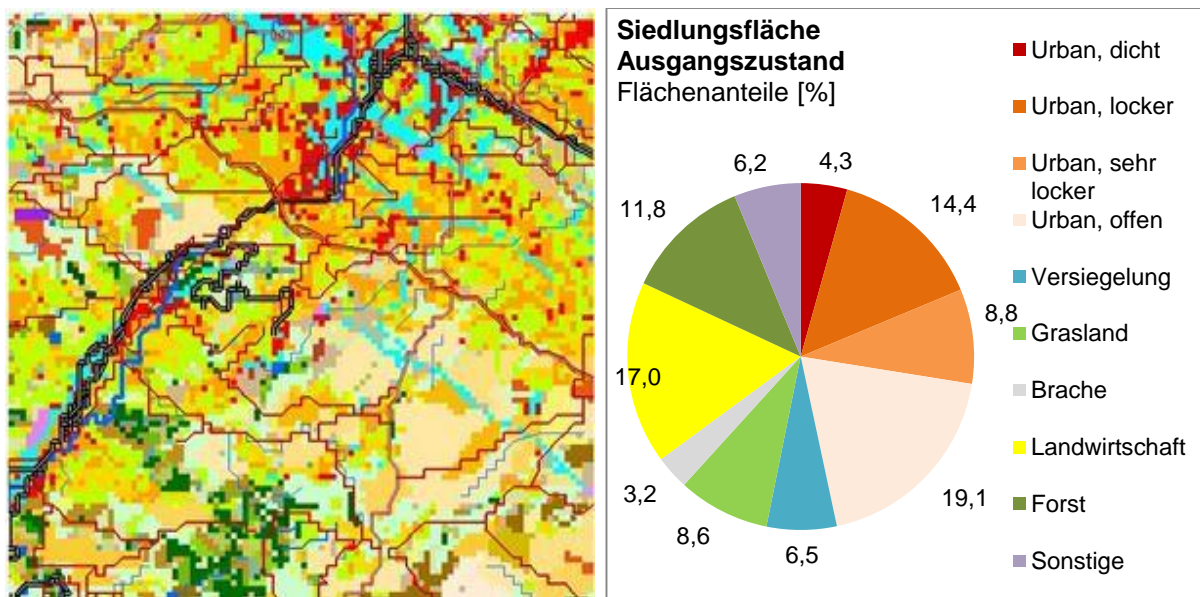


Abbildung 3: Siedlungsfläche: Ausgangszustand und Flächenanteile der LNT.

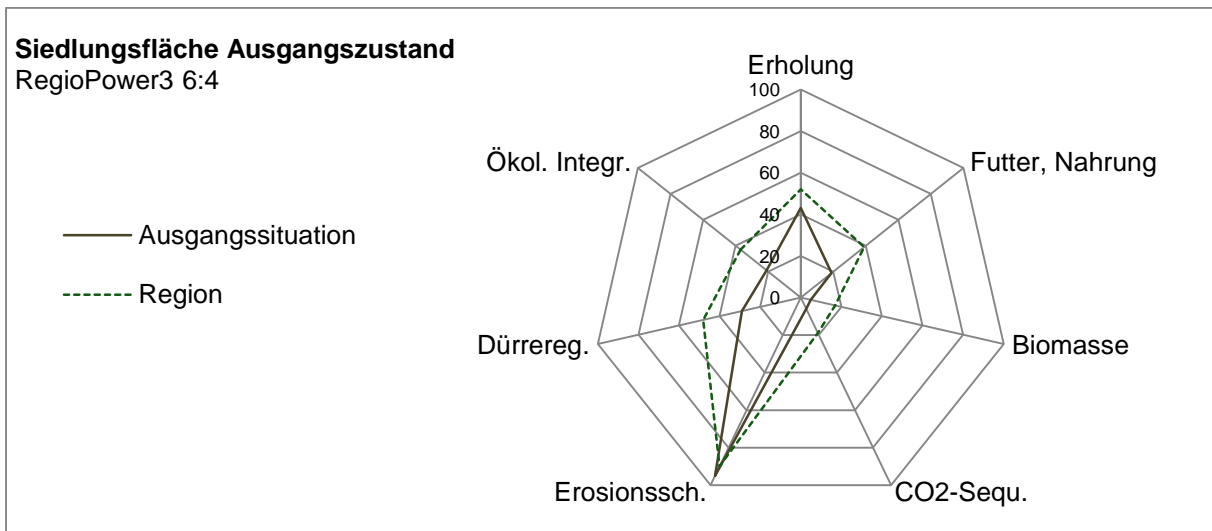


Abbildung 4: Siedlungsfläche Ausgangszustand: ÖSD-Diagramm

3.1.1 Szenario S1: Verbesserung des Naherholungswertes

Da die ausgewählte Kachel in fast allen Kriterien unterhalb des Regionsdurchschnitts einzuordnen ist, soll in diesem Szenario eine Verbesserung der Gesamtsituation erzielt werden. Ihre Schwerpunktfunktion besteht in der Schaffung von Siedlungsfläche mit Wohn-, Arbeits- und Freizeitraum, weshalb der besondere Fokus auf der Erhöhung des Erholungswertes und der ökologischen Integrität liegt.

Maßnahmen

Im Allgemeinen sehen die Maßnahmen deshalb vor, die Bebauung aufzulockern, die Versiegelung zu vermindern und Flächen für naturnahe Nutzungen zu schaffen. Im Detail (Tabelle 4) werden dazu die Uferbereiche des Flusses außerhalb der Siedlung in Feuchtgebiete renaturiert. Entlang der Feuchtgebiete sind Mischbestände aus Fichte-Sumpfbirke, Schwarzerle-Esche oder Eiche-Schwarzerle vorgesehen. Im Zentrum der Siedlung wird die Versiegelung direkt am Flusslauf teilweise entfernt und durch Grasflächen oder Schwarzerlen-Eschen-Bestände ersetzt. Im Stadtkern wird die Bebauung mit einzelnen Kleinflächen aus Eiche-Ahorn, Birke-Pappel oder Buche-Lärche aufgelockert. Im Randgebiet der Stadt wird ein Grüngürtel aus unterschiedlichen Laubbaumarten geschaffen. Dazu dienen Flächen, die zuvor als versiegelt, offene urbane Bereiche oder Ackerfläche ausgewiesen waren. Entlang einiger Straßenzüge oder an Feldrändern werden Hecken gepflanzt. Im Süden der ausgewählten Kachel befindet sich ein Fichtenbestand mit vereinzelt Kiefern oder Lärchen. Zur Vergrößerung der Forstgebiete werden einige Agrarflächen und Grasland in Lärchen-, Buchen- oder Eichenmischwälder umgewandelt. Ein Eichen-Buchen-Bestand wird gegründet, um eine Verbindung zwischen diesen Waldflächen und denen parallel zum Fluss zu gewährleisten. Ein stillgelegter Tagebau im Südwesten der Kachel wird renaturiert und mit einem Eichen-Kiefern-Mischwald bestockt. Auf einigen landwirtschaftlichen Flächen wird Maissilage in Monokultur angebaut. Diese Monokulturen werden durch vielfältigere Fruchtfolgen ersetzt.

Tabelle 4: Szenario S1: Maßnahmen zur Verbesserung des Naherholungswerts.

Ort oder LNT	Maßnahme
Flusslauf (außerstädtisch)	Feuchtgebiete
Feuchtgebiete (angrenzend)	Fichte-Sumpfbirke Schwarzerle-Esche Eiche-Schwarzerle
Flusslauf (innerstädtisch)	Schwarzerle-Esche Grasland
Randgebiet der Stadt	Grüngürtel: verschiedene Laubbaumarten
Stadtkern	vereinzelt versiegelte Flächen mit: Eiche-Ahorn Birke-Pappel Buche-Lärche
Süden der Kachel	Ausweitung der Waldflächen Umwandlung einiger Ackerflächen in Wald Verbindung des Waldes mit Waldflächen am Fluss
Tagebau (Südosten)	Renaturierung mit Eiche-Kiefer
Straßenzüge, Begrenzungen (angrenzend)	Hecken
Maissilage-Monokultur	vielfältige Fruchtfolgen (z.B. V4)

Ergebnisse und Auswirkungen der Maßnahmen

Die vorgestellten Maßnahmen verringern den Anteil an bebauter, städtischer oder versiegelter Fläche von über 50 % auf ca. 37 %. Dabei sind vor allem die Flächenanteile von lockerer Bebauung, offenen urbanen Bereichen und versiegelten Gebieten zurückgegangen (Abbildung 5). Der Prozentsatz von Grasland oder Brachflächen ist ebenfalls leicht gesunken. Vor allem zugunsten von Waldflächen ist ein Rückgang des Ackerlandes von 17 auf ca. 11 % zu verzeichnen. Der Anteil forstlich genutzter Flächen ist von 12 auf 27 % deutlich angestiegen.

Mit Ausnahme der Nahrungs- und Futtermittelerzeugung können durch die Maßnahmen dieses Szenarios alle Kriterien verbessert werden (Abbildung 6). Aufgrund der Abnahme der landwirtschaftlichen Flächen sinkt die Nahrungs- und Futtermittelproduktion von 19 auf 14 Punkte ab. Die deutlichsten Verbesserungen sind bei dem Erholungswert und der Ökologischen Integrität zu verzeichnen. Diese steigen um 15 bzw. 16 Punkte an. Die Biomassebereitstellung und die Kohlenstoffsequestrierung sind in der Ausgangssituation jeweils durch relativ niedrige Werte gekennzeichnet. Beide Kriterien werden in diesem Szenario um 9 Punkte erhöht. Der Erosionsschutz steigt um 2 Punkte auf einen Wert von 97. Das Potential zur Dürreregulation wird um 10 Punkte erhöht.

Der Einbezug der Landschaftsstrukturmaße zeigt, dass in diesem Szenario der Anteil verbundener naturnaher Flächen mit einer Erhöhung von 7,5 auf 16,2 % mehr als verdoppelt wird. Außerdem wird eine neue Kernfläche geschaffen. Der Shannon's Diversity Index zur Beschreibung der Landschaftsdiversität steigt von 1,97 auf 2,71. Der Biotopverbund wird mit den vorgestellten Maßnahmen ebenfalls verbessert.

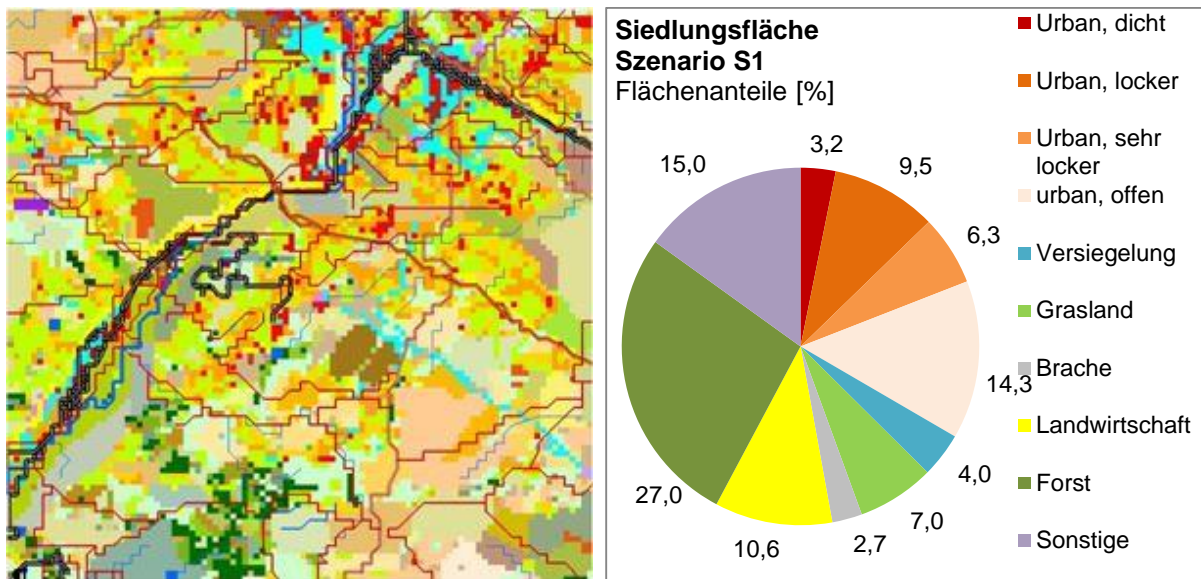


Abbildung 5: Szenario S1: räumliche Verteilung und Flächenanteile der LNT.

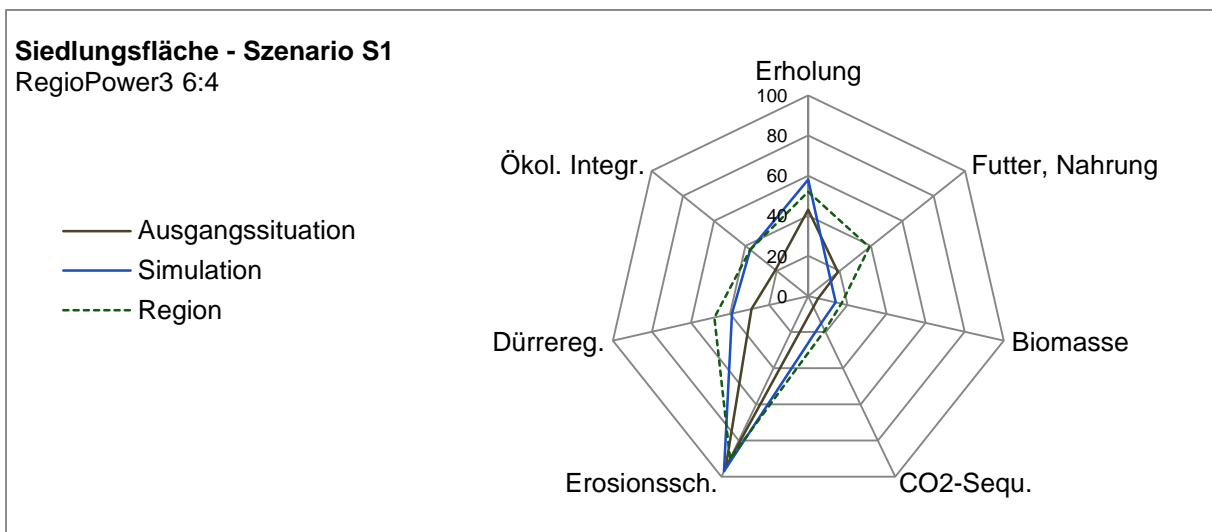


Abbildung 6: Szenario S1: ÖSD-Diagramm.

3.1.1 Szenario S2: Verdichtung der Siedlung

Die betrachtete Kachel zeichnet sich durch einen verhältnismäßig geringen Anteil dichter oder sehr dichter Bebauung aus. Der überwiegende Teil der städtischen Siedlungsstruktur ist durch lockere Bebauung und offene urbane Bereiche gekennzeichnet. In dem folgenden Szenario soll daher die Besiedelung innerhalb des Stadtkerns konzentriert werden, sodass außerhalb des urbanen Bereichs Flächen für land- und forstwirtschaftliche Nutzungen zur Verfügung stehen.

Maßnahmen

Um einen zentrierten Siedlungsschwerpunkt zu schaffen, werden innerstädtisch gelegene, dicht bebaute Flächen weiter verdichtet. Vereinzelt werden ebenso versiegelte Gebiete in der Innenstadt in sehr dichte urbane Bebauung umgewandelt. Weiterhin werden zentral

gelegene locker bebaute Flächen und vereinzelt auch Gebiete des offenen urbanen Bereichs in dichte urbane Flächen umgestaltet.

Außerhalb des dichter besiedelten Bereichs der Stadt, wo offene urbane Flächen oder sehr lockere Bebauungsformen dominieren, entstehen anstelle der Siedlungsgebiete Ackerflächen mit unterschiedlichen Fruchtfolgen oder Laubmischwälder aus Ahorn, Fichte-Sumpfbirke, Eiche-Buche oder Birke-Pappel. In größerer Entfernung zur Stadt, im Süden der Kachel, werden anstelle der sehr offenen Bebauung und vereinzelt auf landwirtschaftlichen Flächen Nadelforste aus Fichten, Tannen und Kiefern angelegt. Wie auch in Szenario S1 wird die Auenlandschaft entlang des Flusses außerstädtisch mit Feuchtgebieten renaturiert.

Tabelle 5: Szenario S2: Maßnahmen zur Verdichtung der Siedlung.

Ort oder LNT	Maßnahme
dichte urbane Flächen	sehr dichte urbane Flächen
innerstädtische versiegelte Flächen (vereinzelt)	sehr dichte urbane Flächen
Innenstadt: lockere urbane Flächen	dichte urbane Flächen
Innenstadt: offener urbaner Bereich (vereinzelt)	dichte urbane Flächen
offener urbaner Bereich und sehr lockere Bebauung (Südwesten) (teilweise)	Nadelwald, z. B. Fichte-Tanne, Fichte-Kiefer
offener urbaner Bereich und sehr lockere Bebauung (in Stadtnähe) (teilweise)	Ackerland mit verschiedenen Fruchtfolgen
landwirtschaftliche Flächen (Süden) (teilweise)	Tanne, Fichte-Buche, Fichte-Tanne, Fichte-Eiche
offener urbaner Bereich und sehr lockere Bebauung (in relativer Stadtnähe) (teilweise)	Laubwald: Eiche-Ahorn, Fichte-Sumpfbirke, Eiche-Buche, Birke-Pappel Ackerland mit verschiedenen Fruchtfolgen
Flusslauf (außerstädtisch)	Feuchtgebiete

Ergebnisse und Auswirkungen der Maßnahmen

Die Maßnahmen zur Verdichtung der Siedlungsflächen innerhalb des Kerngebietes der Stadt führen zu einem Rückgang der bebauten, städtischen oder versiegelten Fläche auf 30 % (Abbildung 7). In der Ausgangssituation ist der Anteil sehr dichter urbaner Bebauung zu vernachlässigen. In diesem Szenario beträgt der Anteil über 5 %. Auch der Prozentsatz an dichter Bebauung verdoppelt sich von ca. 4,5 auf fast 10 %. Lockere und sehr lockere Siedlungsstrukturen sind in diesem Szenario hingegen kaum noch zu finden. Ihr Anteil beträgt ca. 6 % und hat sich damit gegenüber dem Ausgangszustand gedrittelt. Ein ähnliches Bild zeigt sich für offene urbane Bereiche. Der Anteil dieser Flächen ist von 19 auf ca. 6 % zurückgegangen. Die Flächenanteile sowohl landwirtschaftlich als auch forstwirtschaftlich genutzter Gebiete werden in diesem Szenario merklich erhöht. Der Flächenanteil der Forstwirtschaft wird fast verdreifacht (von 11 auf 27 %), in der Landwirtschaft steigt der Prozentsatz von 17 auf ca. 29 %.

Auch für dieses Szenario ergibt sich eine allgemeine Verbesserung aller Indikatoren (Abbildung 8). Lediglich der Erosionsschutz verringert sich um 2 Punkte auf 93. Die Nahrungs- und Futtermittelproduktion und auch die Biomasseproduktion steigen durch die Maßnahmen jeweils um 9 Punkte auf 28 bzw. 14 an. Die deutlichste Steigerung verzeichnet die Ökologische Integrität, die um 12 Punkte auf einen Wert von 33 anwächst. Die

Kohlenstoffsequestrierung verbessert sich um 10 Punkte auf 16 und die Dürreregulation nimmt um 9 Punkte zu. Zudem ist die Bewertung der Ökosystemdienstleistungen in einem Zwischenschritt betrachtet worden. Nachdem im städtischen Bereich die Siedlungsdichten deutlich erhöht, aber noch keine Landnutzungsänderungen außerhalb der Stadt vorgenommen worden sind, zeigen sich keinerlei Änderungen bei den Ökosystemdienstleistungen.

Laut den Analysen über die Landschaftsstrukturmaße wird der Anteil verbundener naturnaher Flächen auf über 19 % gesteigert. Zu der einen vorhandenen Kernfläche aus der Ausgangssituation kommen zwei weitere hinzu und der Biotopverbund kann ebenfalls leicht verbessert werden.

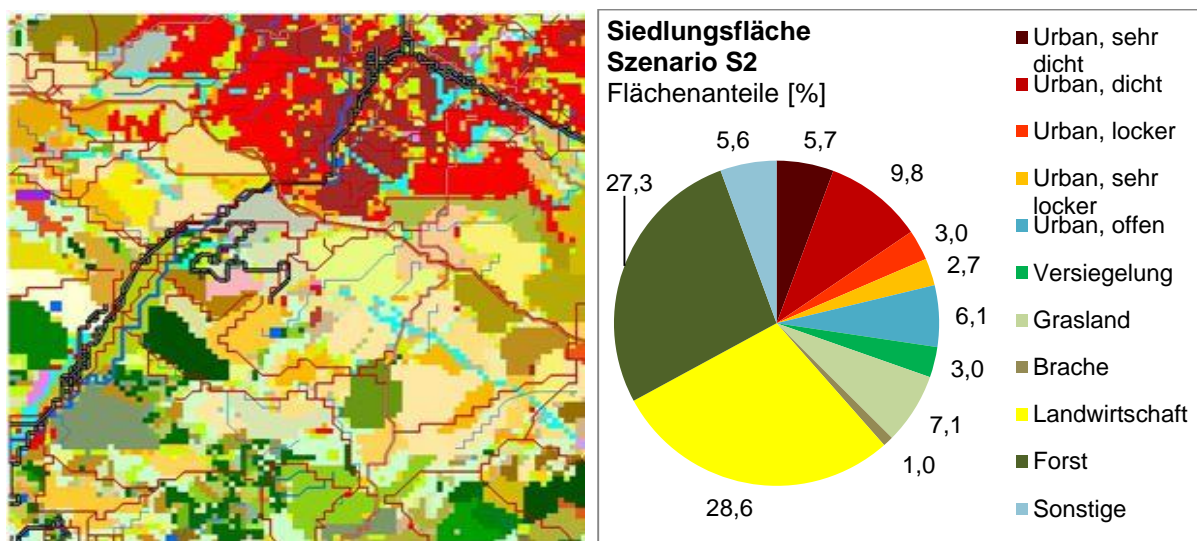


Abbildung 7: Szenario S2: räumliche Verteilung und Flächenanteile der LNT.

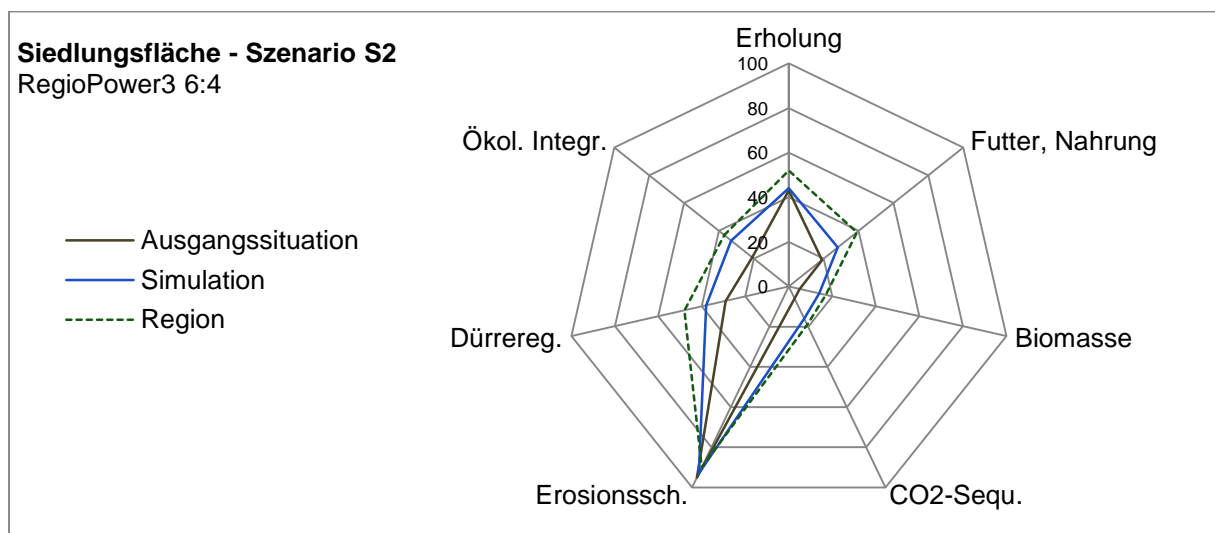


Abbildung 8: Szenario S2: ÖSD-Diagramm.

3.2 Landwirtschaftliche Fläche

3.2.1 Ausgangszustand

Die für die Landwirtschaft repräsentative Kachel 4:1 befindet sich im westlichen Randgebiet der RegioPower3 Region und liegt somit im fruchtbaren Lössgürtel von Sachsen, weswegen sie vorwiegend von Agrarwirtschaft (83,59 %) dominiert ist (Abbildung 9). Die Landwirtschaft ist dabei besonders durch Raps, Weizen, Gerste, Zuckerrübe und Mais geprägt. Im Osten der Region befindet sich eine größere Stadt, in der Nähe der Straßen sind weiterhin einige kleinräumige urbane Strukturen zu finden. Insgesamt können knapp 6 % des Untersuchungsgebietes als urbaner Raum definiert werden. Im Westen der Kachel befinden sich weiterhin zwei Tagebauanlagen. Auffällig ist die starke Zerschneidung des Gebietes durch Straßen und kleinere Flüsse. Eine weitere Besonderheit stellen eine großflächige Brache im Südosten sowie weitere kleinere Brachen in der Mitte des Untersuchungsgebietes dar. Die Gesamtfläche der ungenutzten Brachflächen liegt bei über 3 %.

Bei der Betrachtung des ÖSD-Diagramms (Abbildung 10) zeigt sich, dass vier der sechs Kriterien für die Referenzkachel unter denen der Region liegen. Lediglich die Nahrungsmittelproduktion und die Ökologische Integrität liegen über dem Regionsmittel. Besonders im Hinblick auf die CO₂-Sequestrierung und die Biomasse unterschreitet die landwirtschaftlich geprägte Kachel die Regionswerte um je über 15 Punkte.

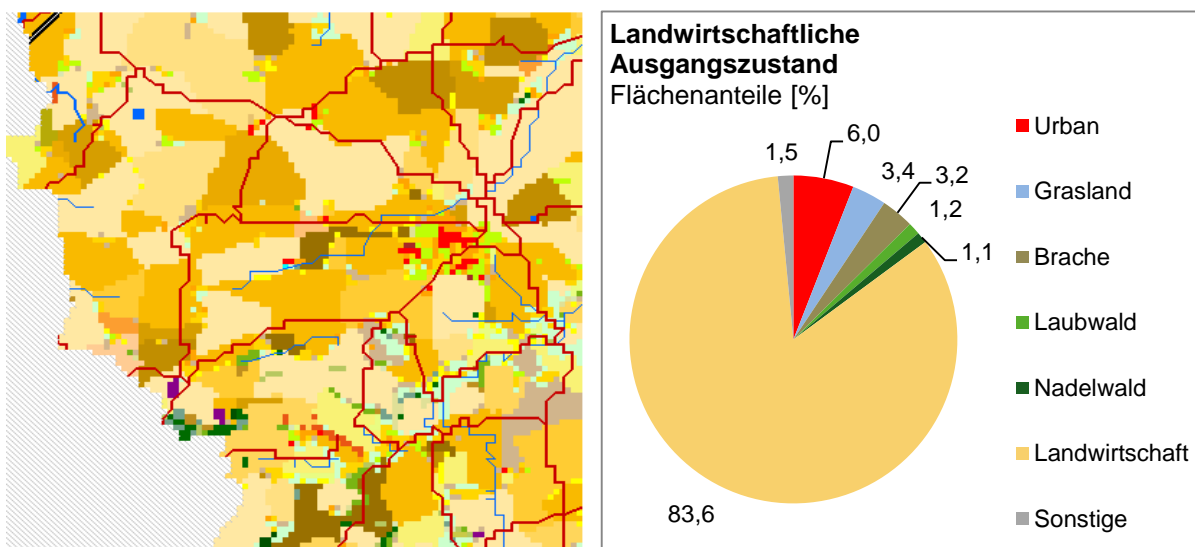


Abbildung 9: Landwirtschaftliche Fläche: Ausgangszustand und Flächenanteile der LNT.

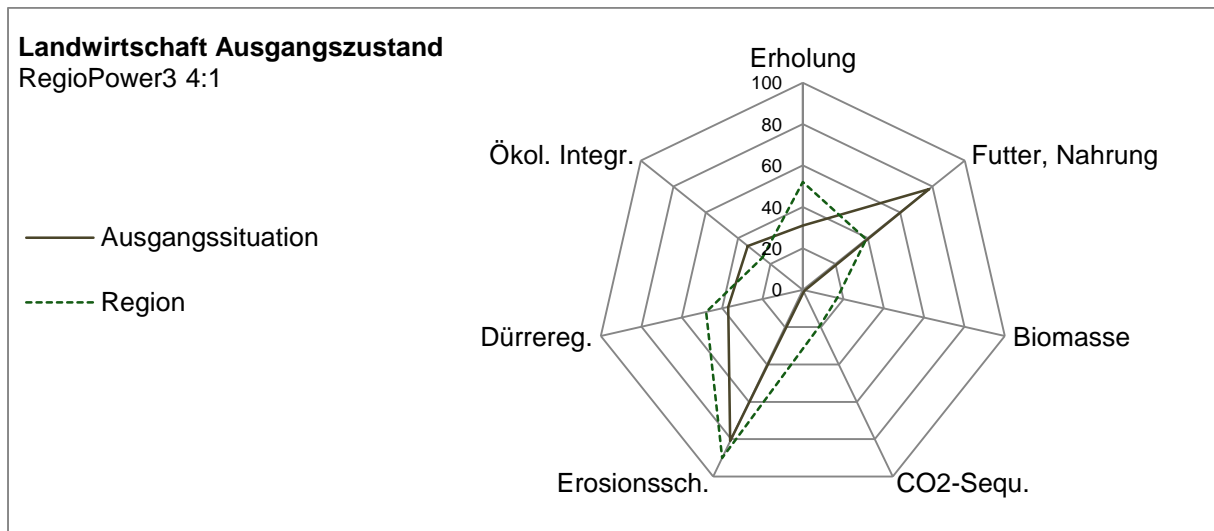


Abbildung 10: Landwirtschaftliche Fläche Ausgangszustand: ÖSD-Diagramm.

3.2.2 Szenario LW1: Verbesserung der Biomasse und CO₂-Sequestrierung

In diesem Szenario soll das Potential der Kachel im Hinblick auf eine Verbesserung der Biomasse und der CO₂-Sequestrierung erfolgen. Auch die anderen Kriterien sollen dabei dem Regionsmittel angeglichen werden. Eine Veränderung urbaner Strukturen erfolgt insgesamt nicht.

Maßnahmen

Die hierbei vorgenommenen Umbaumaßnahmen sehen vor, die Anteile an Hecken, Laub- und Nadelwäldern deutlich zu erhöhen, um insbesondere die Biomasseproduktion, die Kohlenstoffspeicherung, den Erosionsschutz sowie die Dürreregulierung zu steigern.

So werden im Bereich der agrarwirtschaftlich genutzten Flächen vermehrt Kurzumtriebsplantagen angelegt. Besonders die durch Maissilage Monokulturen geprägt Ackerfläche wird in Aufforstungsflächen umgebaut. Weiterhin erfolgt eine Umstrukturierung weniger landwirtschaftlich genutzter Flächen in einen Fichten-Buchen-Mischwald. Entlang einiger Straßenzüge werden außerdem großflächig Heckenbestände angepflanzt und zusätzlich die Grasflächen im Umkreis der Siedlung, zum Teil mit Hecken bestockt. Um weitere Nadelhölzer - bevorzugt Tanne - aufzuforsten werden die im Süden der Kachel vorhandenen Brachflächen genutzt.

Tabelle 6: Szenario LW1: Maßnahmen zur Verbesserung der Biomasse und CO₂-Speicherung.

Ort oder LNT	Maßnahme
Maissilage	Aufforstung
Sonstige landwirtschaftliche Flächen (teilweise)	Kurzumtriebsplantagen Fichte-Buche
Straßenzüge	Hecken
Grasflächen	Hecken
Brache	Tanne

Ergebnisse und Auswirkungen der Maßnahmen

Der Anteil an Landwirtschaft verringert sich durch die vorgestellten Umstrukturierungsmaßnahmen signifikant (Abbildung 11). Die agrarwirtschaftlich genutzten Flächen in Verbindung mit den Kurzumtriebsplantagen nehmen einen Anteil von etwa 62 % ein und sinken somit um etwa 22 %. Die Flächenanteile der Laub- und Nadelwälder steigen dagegen von 1 % auf 17 % und von 1 % auf 4 %. Aufforstungsflächen befinden sich auf einem Anteil von fast 2 % der Gesamtfläche vor. Auch die Anteile an Hecken haben sich um 9 % erhöht.

Aufgrund dieser Maßnahmen kann eine Erhöhung aller Ökosystemdienstleistungen mit Ausnahme der Nahrungs- und Futtermittelerzeugung erreicht werden (Abbildung 12). Besonders im Bereich der Biomasse und CO₂-Speicherung können die Werte jeweils um über 25 Punkte erhöht werden. Auch der Erosionsschutz und die Dürreregulation steigen um 11 und 7 Punkte an und liegen somit im Mittel der Region. Die Ökologische Integrität erhöht sich von 34 auf 42 Punkte und liegt damit 5 Punkte über dem Regionsmittel. Der Erholungswert wird ebenfalls der Region (52 Punkte) angepasst und steigt um 19 Punkte auf den Wert 50. Die Nahrungs- und Futtermittelerzeugung sinkt dagegen aufgrund des Verlustes von Ackerflächen um 40 Punkte auf 38, liegt damit jedoch im Regionsmittel.

Bei der Betrachtung der Landschaftsstrukturmaße zeigt sich, dass im ersten Szenario LW1 der Anteil an verbundener naturnaher Fläche von 0 % auf 9,06 % erhöht wird. Zusätzlich steigt der Anteil an Kernfläche von 0 % auf 2,24 %. Auch der Shannon's Diversity Index zur Beschreibung der Biodiversität zeigt einen Anstieg von 0,79 auf 1,32. Der Biotopverbund wird insgesamt deutlich verbessert.

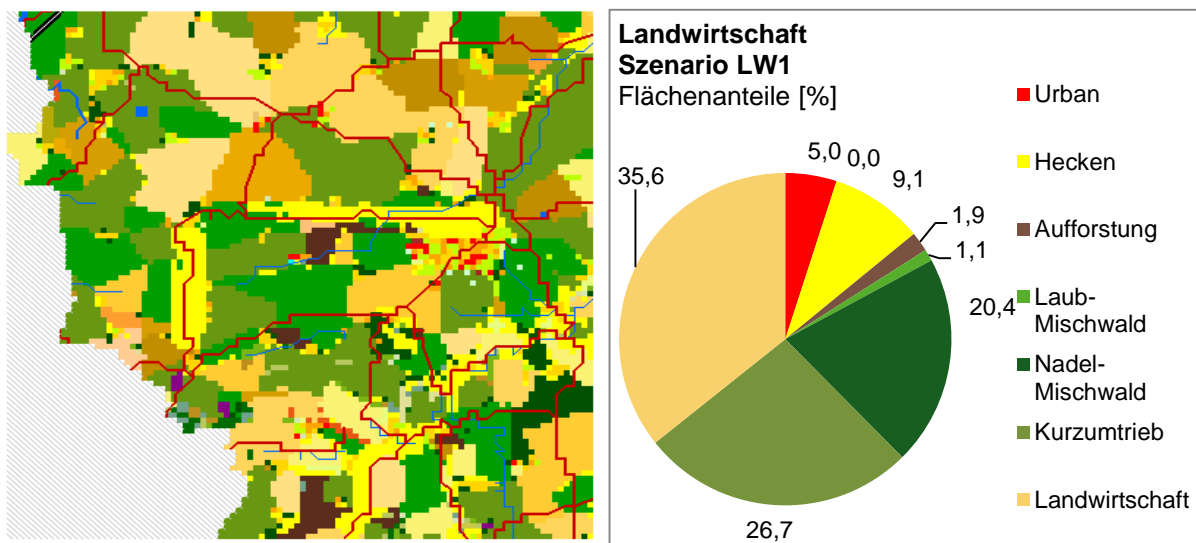


Abbildung 11: Szenario LW1: räumliche Verteilung und Flächenanteile der LNT.

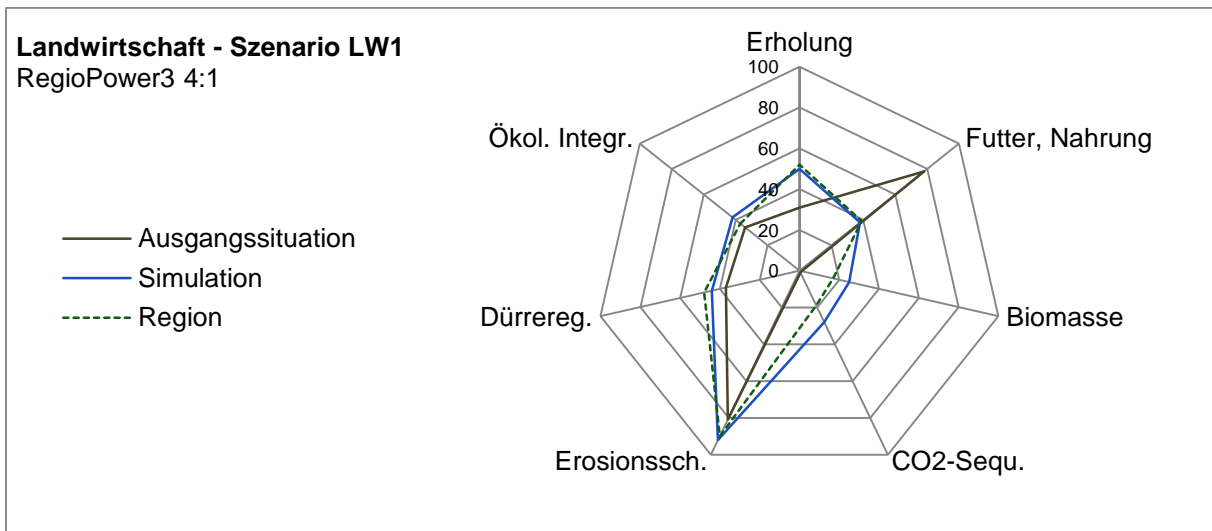


Abbildung 12: Szenario LW1: ÖSD-Diagramm.

3.2.3 Szenario LW2: Verbesserung der Biomasse und CO₂-Sequestrierung mit geringer Umstrukturierung

In dem zweiten Szenario LW2 soll das Potential der untersuchten Kachel insbesondere im Hinblick auf eine Verbesserung der Biomasse und der CO₂-Sequestrierung bei einer sehr geringen Umstrukturierung der Landnutzungstypen erfolgen. Die vorhandenen landwirtschaftlichen Flächen sowie die urbanen Strukturen sollen bestehen bleiben.

Maßnahmen

Um die ÖSDs der Kachel mit einem minimalen Aufwand zu erhöhen, werden die Brachflächen mit Douglasie-Eiche aufgeforstet sowie die vorhandenen Hecken zu Birken-Pappel-Wald aufgestockt, um einen Anstieg der Biomasse und der CO₂-Sequestrierung zu erzielen. Weiterhin erfolgt eine Umstrukturierung der Grasflächen an Straßenzügen zu Hecken. Im Bereich von Flussläufen werden Grasflächen zu Feuchtgebieten, im Bereich von Forstwirtschaft zu Mischwäldern umgebaut. Grasflächen in unmittelbarer Nähe zu landwirtschaftlichen Flächen bleiben als Weiden bestehen. Hinsichtlich der agrarwirtschaftlich genutzten Flächen erfolgen lediglich auf Maissilage-Monokulturen Umgestaltungen zur Fruchtfolge L2, um den Erosionsschutz zu fördern. Ein kleinräumiges Maissilage-Feld im Südwesten der Kachel wird zusätzlich mit einem Kiefern-Fichten-Wald bestockt.

Tabelle 7: Szenario LW2: Maßnahmen zur Verbesserung der Biomasse und CO₂-Speicherung.

Ort oder LNT	Maßnahme
Maissilage	Verbesserte Fruchtfolge L2 (90 %) , Kiefer-Fichte (10 %)
Hecke	Birke-Pappel
Grasflächen im Straßenbereich	Hecken
Grasflächen im Flussbereich	Feuchtgebiete
Grasflächen im Waldbereich	Mischwälder
Brache	Douglasie-Eiche

Ergebnisse und Auswirkungen der Maßnahmen

Abbildung 13 zeigt, dass die Flächenanteile der Laub- und Nadelwälder von 1 % auf 3 % bzw. 1 % auf 5 % ansteigen. Auch die Anteile an Hecken haben sich um etwa 1 % erhöht. Die Feuchtgebiete weisen einen Anteil von 0,5 % auf, werden aber unter „Sonstiges“ zusammengefasst. Die Grasflächenanteile haben sich dementsprechend verringert. Der Anteil an Landwirtschaft verändert sich dagegen kaum. Lediglich 0,22 % werden für die Umstrukturierungsmaßnahmen verwendet.

Für dieses Szenario ergeben sich leichte Verbesserungen in allen Bereichen der Ökosystemdienstleistungen. Auffällig ist, dass die Nahrungs- und Futtermittelproduktion ebenfalls um 1 Punkt auf 79 Punkte ansteigt. Die Biomasseproduktion und CO₂-Sequestrierung verzeichnen einen Anstieg um 4 Punkte, liegen mit Werten von jeweils 5 jedoch deutlich unter dem Regionsmittel von 17 und 19 Punkten. Sowohl der Erosionsschutz als auch die Dürreregulierung können um 2 Punkte erhöht werden, bleiben jedoch mit 83 bzw. 39 Punkten hinter den Mittelwerten der Region zurück. Die Ökologische Integrität kann um 1 Punkt auf 35 Punkte gesteigert werden und liegt damit im Regionsdurchschnitt (37 Punkte). Auch im Hinblick auf die Erholung konnte der Wert um 1 Punkt gesteigert werden.

Hinsichtlich der Betrachtung der Landschaftstrukturmaße zeigt sich, dass im zweiten Szenario der Anteil an verbundener naturnaher Fläche und an Kernfläche nicht erhöht werden konnte (Tabelle 9). Der Shannon's Diversity Index verzeichnet einen Anstieg von 0,79 auf 0,86 und somit einen Anstieg der Biodiversität. Der Biotopverbund dehnt sich im Süden der Kachel in einem geringen Maße aus.

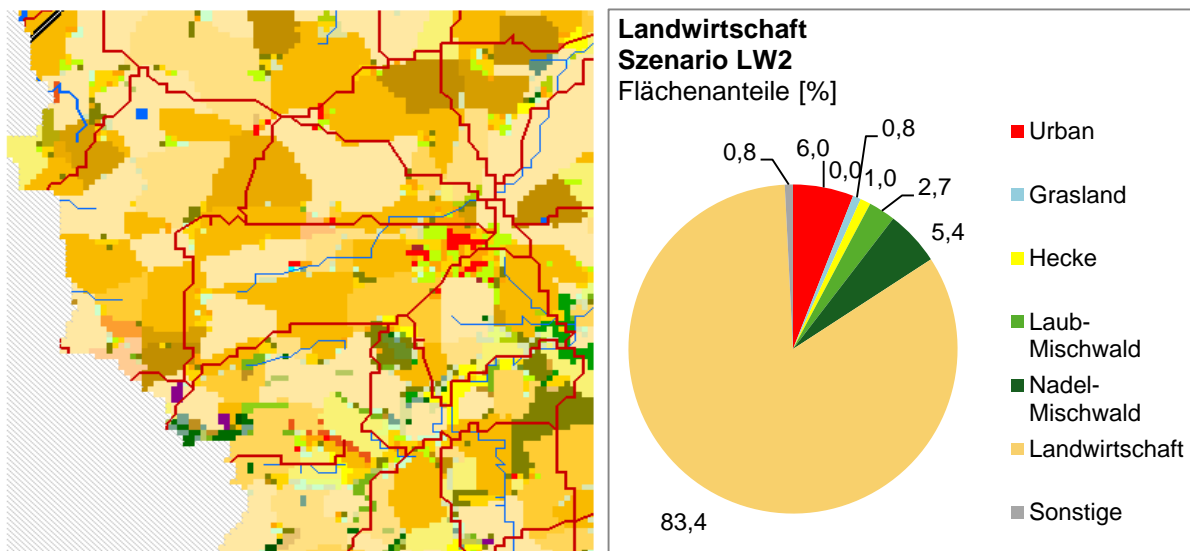


Abbildung 13: Szenario LW2: räumliche Verteilung und Flächenanteile der LNT.

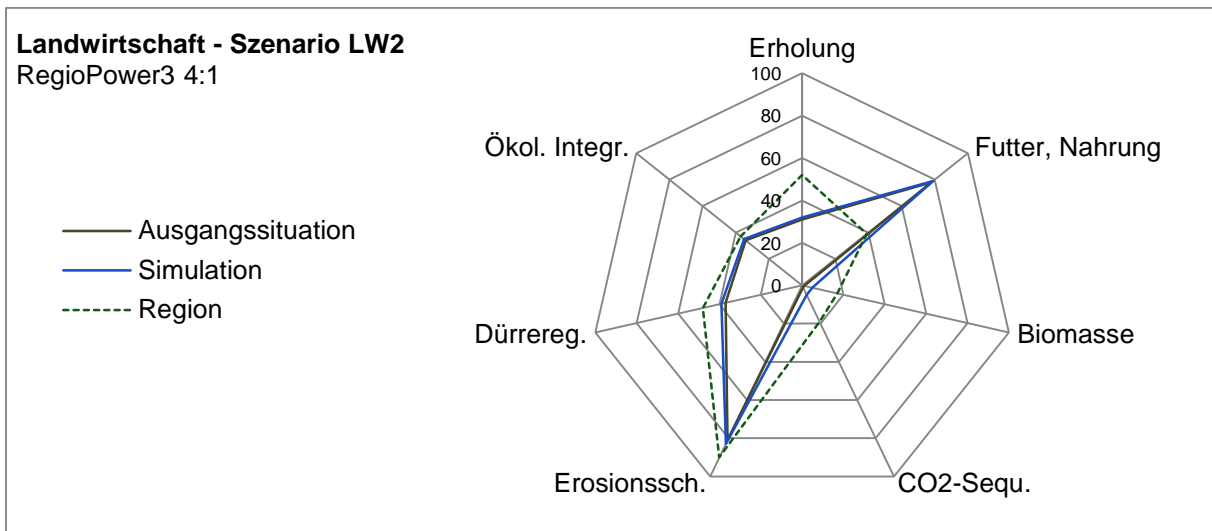


Abbildung 14: Szenario LW2: ÖSD-Diagramm.

3.2.4 Szenario LW3: Verbesserung der Biomasse und CO₂-Sequestrierung ohne Verluste in der Nahrungs- und Futtermittelproduktion

Im dritten Szenario LW3 werden möglichst realistische Maßnahmen zur Erhöhung der Biomasse und CO₂-Sequestrierung vorgestellt. Auch die anderen Ökosystemdienstleistungen sollen dabei dem Regionsmittel angepasst werden, jedoch ohne den landwirtschaftlichen Schwerpunkt der Kachel zu ändern.

Maßnahmen

In dem vorliegenden Szenario bleiben die agrarwirtschaftlich genutzten Flächen größtenteils bestehen. Sie werden lediglich hinsichtlich der Fruchtfolgen optimiert, um einen besseren Erosionsschutz zu erzielen. In Randbereichen der Siedlungen erfolgt eine Umwandlung der Fruchtfolgen in Klee und Luzerne bzw. Grasflächen. Weiterhin werden Hecken in Birken-Pappel-Wälder aufgeforstet. Auf Grasflächen im Straßenbereich entstehen dagegen Hecken. Weitere Grasflächen im Bereich von Flussläufen und in Waldnähe werden zu Feuchtgebieten renaturiert bzw. zu Mischwäldern aufgeforstet, um eine höhere CO₂-Sequestrierung zu erreichen. Grasflächen innerhalb landwirtschaftlich genutzter Flächen werden als Weiden belassen. Eine Umstrukturierung zu Douglasie-Eiche und Fichte-Tanne erfolgt auch auf den im Gebiet befindlichen Brachen. Kleinräumige landwirtschaftliche Flächen in der unmittelbaren Nähe zu Brachen werden zusätzlich mit Mischwäldern aufgestockt, um den Biotopverbund auszudehnen. Fichten-Kiefern-Wälder im Randbereich der Tagebauanlagen dienen als Lärm- und Sichtschutz. Die Seefläche im Norden des Gebietes wird des Weiteren von einem Schwarzerlen-Eschen-Wald gesäumt.

Tabelle 8: Szenario LW3: Maßnahmen zur Verbesserung der Biomasse und CO₂-Speicherung.

Ort oder LNT	Maßnahme
Hecke	Birke-Pappel
Grasflächen im Straßenbereich	Hecken
Grasflächen im Flussbereich	Feuchtgebiete
Grasflächen im Waldbereich	Mischwälder
Brache	Douglasie-Eiche, Tanne
Randbereiche der Siedlungen	Klee, Gras, Luzerne
Randbereiche der Tagebauanlagen	Fichte-Kiefer
Randbereich der Wasserfläche im Norden	Schwarzerle-Esche
Randbereich ehemaliger Brache im Süden	Kiefer-Eiche (90 %), Douglasie-Eiche, Kiefer-Fichte, Fichte-Buche, Lärche-Fichte
L4	L1, L2
L5	L6
D3	V4
L7	L8, L9
L10	A1, V4
L3	V5
L2	V7

Ergebnisse und Auswirkungen

Aus Abbildung 15 wird ersichtlich, dass die Anteile von Laub- und Nadelwald von 1 % auf 4 % bzw. 7 % ansteigen. Die Flächenanteile von Hecken erhöhen sich ebenfalls um etwa 1 %, während sich die Anteile an Grasflächen dementsprechend reduzieren. Der Anteil an Landwirtschaft verringert sich zugunsten des Waldanbaus um etwa 4 %, ist mit 79,26 % jedoch immer noch der dominierende Landnutzungstyp.

Für das dritte Szenario ergeben sich zum Teil signifikante Verbesserungen in fast allen Bereichen der Ökosystemdienstleistungen. Lediglich die Nahrungs- und Futtermittelproduktion sinkt um 3 Punkte, liegt jedoch weiterhin 36 Punkte über dem Regionsdurchschnitt. Die Biomasseproduktion und CO₂-Sequestrierung verzeichnen einen Anstieg um jeweils 6 Punkte, bleiben aber dennoch deutlich unter dem Regionalmittel von 17 und 19 Punkten. Der Erosionsschutz kann um 11 Punkte auf 92 erhöht werden und ist 2 Punkte höher als der Durchschnitt der Region. Auch die Dürreregulierung (46 Punkte) wird durch einen Anstieg um 9 Punkte an das Regionalmittel (48 Punkte) angeglichen. Der höchste Anstieg in diesem Szenario kann im Hinblick auf die Ökologische Integrität erzielt werden. Diese steigt um insgesamt 16 Punkte und liegt damit 13 Punkte über dem Regionsdurchschnitt. Der Erholungswert der Kachel wird weiterhin um 5 Punkte auf 36 erhöht, liegt jedoch deutlich unter dem Regionwert von 52 Punkten.

Hinsichtlich der Betrachtung der Landschaftsstrukturmaße (Abbildung 16) zeigt sich, dass im dritten Szenario der Anteil an verbundener naturnaher Fläche um 4 % erhöht werden kann. Weiterhin steigt der Anteil an Kernfläche um 1,5 % an. Der Biotopverbund dehnt sich besonders im Süden des Gebietes in deutlichem Maße aus. Der Shannon's Diversity Index verzeichnet einen Anstieg von 0,79 auf 1,04.

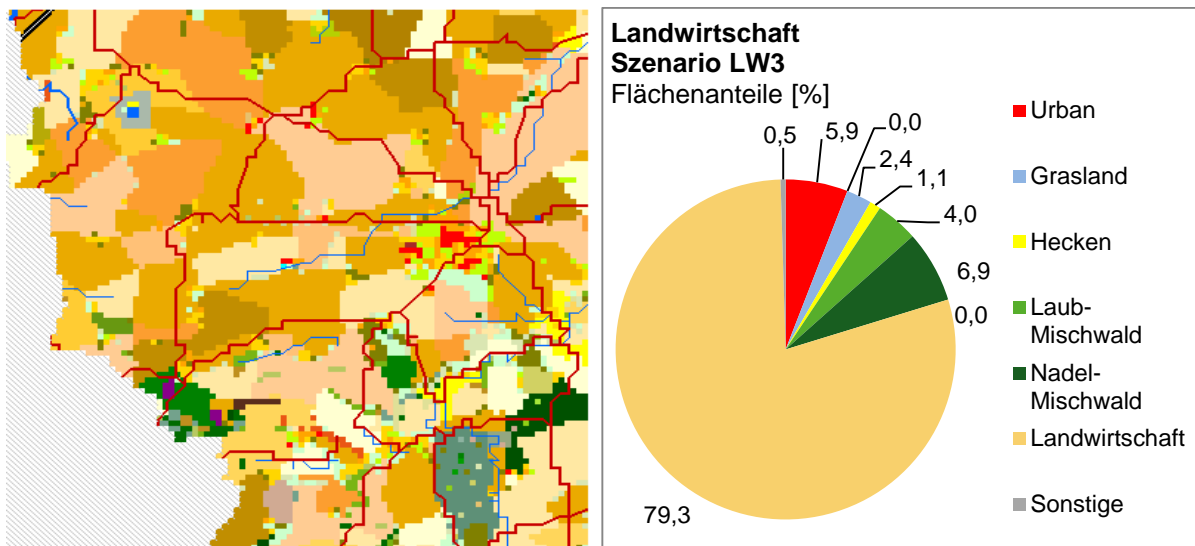


Abbildung 15: Szenario LW3: räumliche Verteilung und Flächenanteile der LNT.

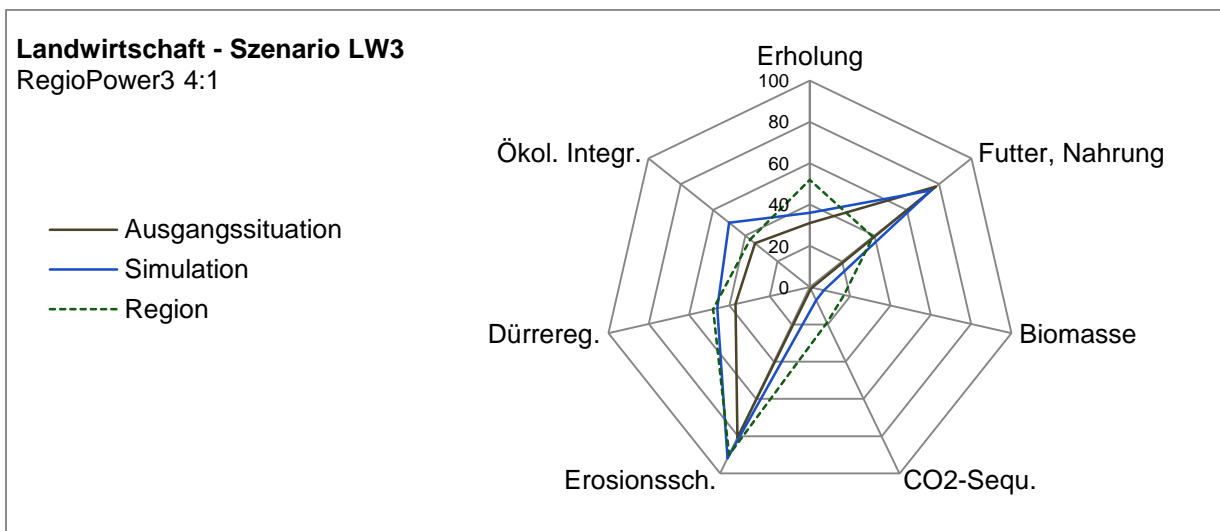


Abbildung 16: Szenario LW3: ÖSD-Diagramm.

3.2.5 Einbezug der Landschaftsstrukturmaße

In Tabelle 9 sind die landschaftsstrukturellen Kennwerte der Szenarien im Vergleich zur Ausgangssituation aufgezeigt. Es zeigt sich, dass sowohl in Szenario LW1 als auch in Szenario LW3 der Anteil naturnaher, verbundener Flächen aufgrund des Waldanbaus erhöht werden kann. In Szenario LW2 sind wegen geringer Umstrukturierungsmaßnahmen keine Veränderungen zu verzeichnen.

Unter Einbeziehung der Landschaftsstrukturmaße in die Bewertung ergeben sich bezüglich des Biotopverbunds, der Landschaftsdiversität, der Landschaftszerschneidung und der Ästhetik Verschlechterungen um jeweils 10 Punkte. Lediglich in Szenario LW1 sind die negativen Einflüsse mit 5 Punkten weniger ausgeprägt.

Tabelle 9: Gegenüberstellung der landschaftstrukturellen Kennwerte der Szenarien für die landwirtschaftlichen Fläche.

Merkmal	Ausgangszustand	Szenario LW1	Szenario LW2	Szenario LW3
verbundene naturnahe Flächen	0 %	9,06 %	0 %	4,41 %
Kernflächenindex naturnaher Flächen	0 %	2,24 %	0 %	1,54 %
Effektive Maschenweite unzerschnittener Flächen	4,05 km ²	4,08 km ²	4,05 km ²	4,06 km ²
Formindex naturnaher Flächen	1,50	1,50	1,50	1,50
Shannon's Diversity Index	0,79	1,32	0,86	1,04
Patch Density	0,23 km ²	0,49 km ²	0,31 km ²	0,30 km ²
Einbeziehung der LSM in die Bewertung				
Landschaftszerschneidung	-10	-5	-10	-10
Biotopverbund	-10	-5	-10	-10
Landschaftsdiversität	-10	-10	-10	-10
Ästhetik	-10	-10	-10	-10

3.3 Forstwirtschaftliche Fläche

3.3.1 Ausgangszustand

Für die Entwicklung forstwirtschaftlicher Szenarien wird die von Waldbeständen dominierte und daher als repräsentativ erachtete Kachel 9:4 im äußersten Süden der RegioPower3 Region verwendet. Dieses Gebiet im Erzgebirge ist geprägt von Nadelwald-Reinbeständen, vorwiegend Fichte (24 %), Kiefer (10 %) und Lärche (8 %). Bei den Laubbaumarten überwiegen Buchen-Reinbestände auf 10 % und Birkenwälder auf 8 % der Fläche. Mischbestände nehmen insgesamt lediglich 4 % der Region in Anspruch. Etwa 3 % des Gebietes werden urban genutzt, wobei das im Osten gelegene Altenberg die größte Siedlung darstellt. Ackerflächen sind lediglich auf 3,4 % der Fläche, vorwiegend im Westen der Region, vorhanden. Wie auch an Siedlungen grenzt an sie meist Grünland, das mit 19 % annähernd die Verbreitung von Laubwald erreicht. Weiterhin bestehen nahe Altenberg zwei Tagebauanlagen des 1991 aufgegebenen Zinnbergbaus sowie ein ehemaliger Grenzübergang in die Tschechische Republik.

Aufgrund der überwiegenden Waldbedeckung ist in der betrachteten Teilregion der Erosionsschutz mit 99 Punkten bereits sehr hoch. Auch bezüglich der anderen Kriterien liegt das Gebiet zwischen 5 und 20 Punkten über den Werten der gesamten Region. Lediglich die Bereitstellung von Futter und Nahrung ist mit 9 Punkten wegen des niedrigen Anteils agrarisch genutzter Flächen wesentlich geringer (Abbildung 18).

Der Einbezug der Landschaftsstrukturmaße zeigt, dass mit einem Anteil an verbundener naturnaher Fläche von 81 % und einem Kernflächenindex von 52 % bereits ein positiv zu bewertender Biotopverbund vorliegt (Tabelle 12). Auch der Shannon's Diversity Index ist mit 2,35 bereits relativ hoch. Aufgrund von Straßenzügen ergibt sich jedoch eine relativ hohe Landschaftszerschneidung, die sich wiederum negativ auf die Ökologische Integrität auswirkt. Während die bestehende Landschaftsdiversität keinen Einfluss auf die Einschätzung der Ökologischen Integrität nimmt, bedingt sie den Erholungswert positiv.

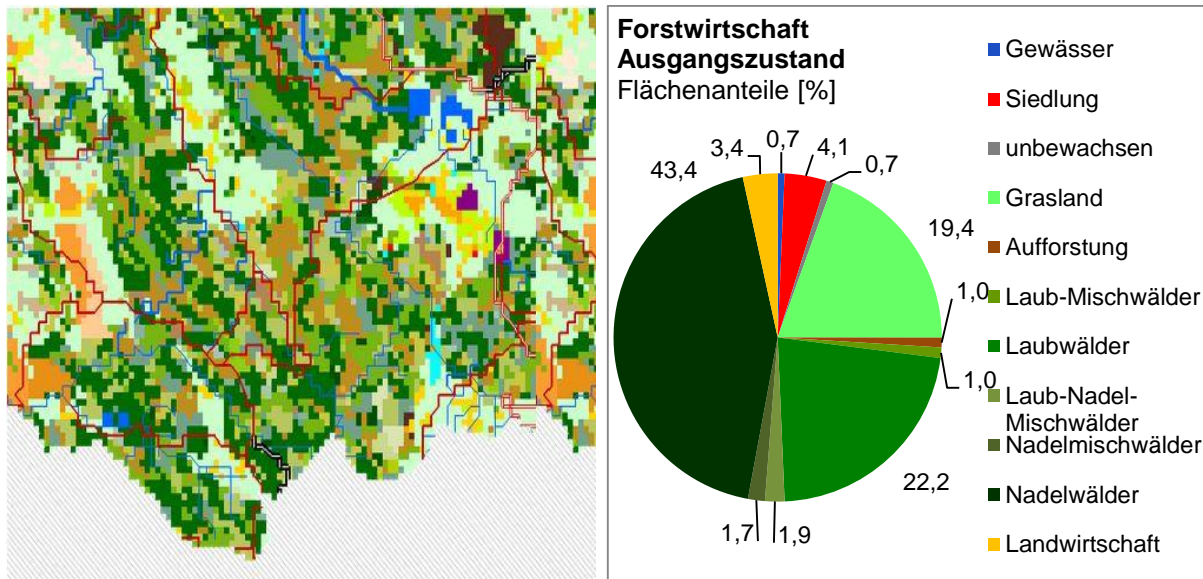


Abbildung 17: Forstwirtschaftliche Fläche: Ausgangszustand und Flächenanteile der LNT.

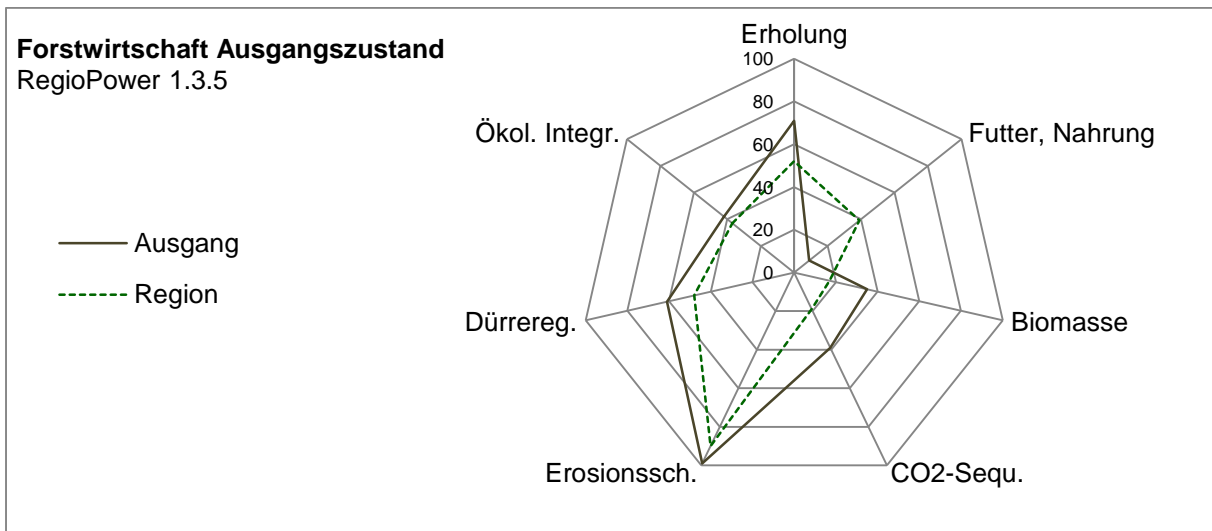


Abbildung 18: Forstwirtschaftliche Fläche Ausgangszustand: ÖSD-Diagramm.

3.3.2 Szenario FW1: Erhöhung der Biomasseproduktion

Maßnahmen

Szenario FW1 geht von einem vorwiegend ökonomischen Fokus in der Forstwirtschaft aus. Entsprechend ist das Ziel der Landnutzungsanpassung die maximal mögliche Erhöhung der Biomasseproduktion. Hierzu erfolgt ein vollständiger Waldumbau in Douglasien-Buchen-Mischwald, der die höchste Bewertung bezüglich der Biomasse aufweist. Neben bereits forstwirtschaftlich genutzten Flächen findet außerdem die Aufforstung von Grasland und Ackerflächen statt.

Ergebnisse und Auswirkungen der Maßnahmen

Im Ergebnis wachsen so auf 95 % des Gebietes Douglasien-Buchen-Wälder (Abbildung 19).

Wie beabsichtigt wirken sich die Maßnahmen äußerst positiv auf die Biomasse, die um 50 Punkte erhöht wird, aus. Infolge der Speicherung in aufgebauter Biomasse steigt auch die CO₂-Sequestrierung um 46 Punkte von 39 auf 85 Punkte an. Positive Effekte zeichnen sich außerdem bezüglich der Kriterien Erholung, Dürreregulation und Erosionsschutz ab, welche um 5 bzw. 1 Punkt zunehmen (Abbildung 20). Weiterhin ermöglichen die Maßnahmen sowohl für die Biomasseproduktion, die CO₂-Sequestrierung als auch die Ökologische Integrität die Erhöhung der Bewertung der gesamten RegioPower3 Region um 1 Punkt. Hinsichtlich der Landschaftsstrukturmaße ergibt sie eine Erhöhung der verbundenen naturnahen Flächen um knapp 4 % auf einen Anteil von 85 %, wobei ebenfalls der Kernflächenindex auf 58 % ansteigt. Im Gegensatz zeigt der Shannon's Diversity Index einen starken Abfall von 2,35 auf 0,24.

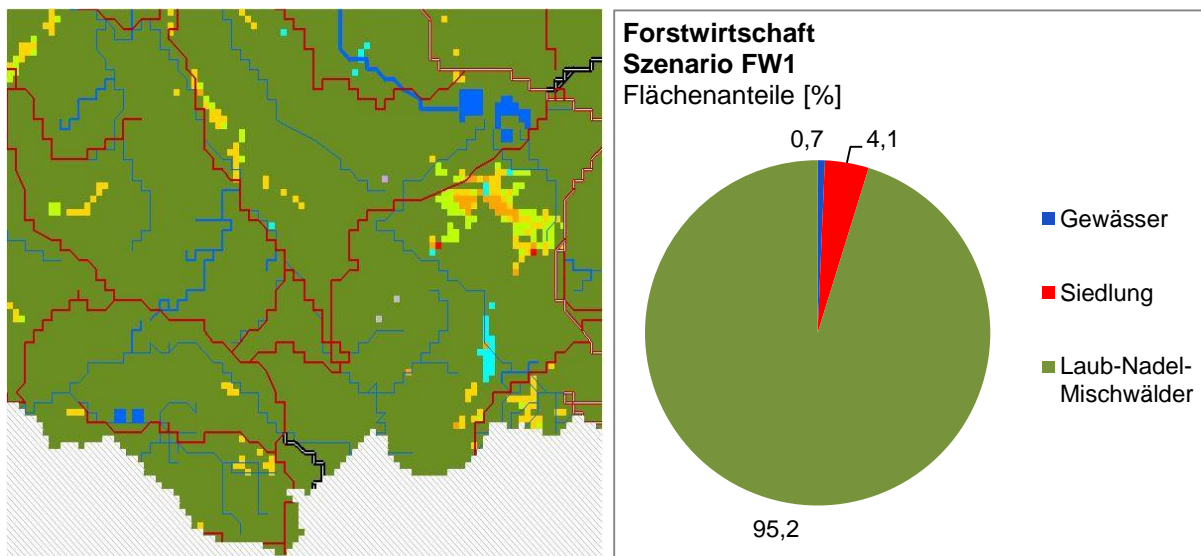


Abbildung 19: Szenario FW1: räumliche Verteilung und Flächenanteile der LNT.

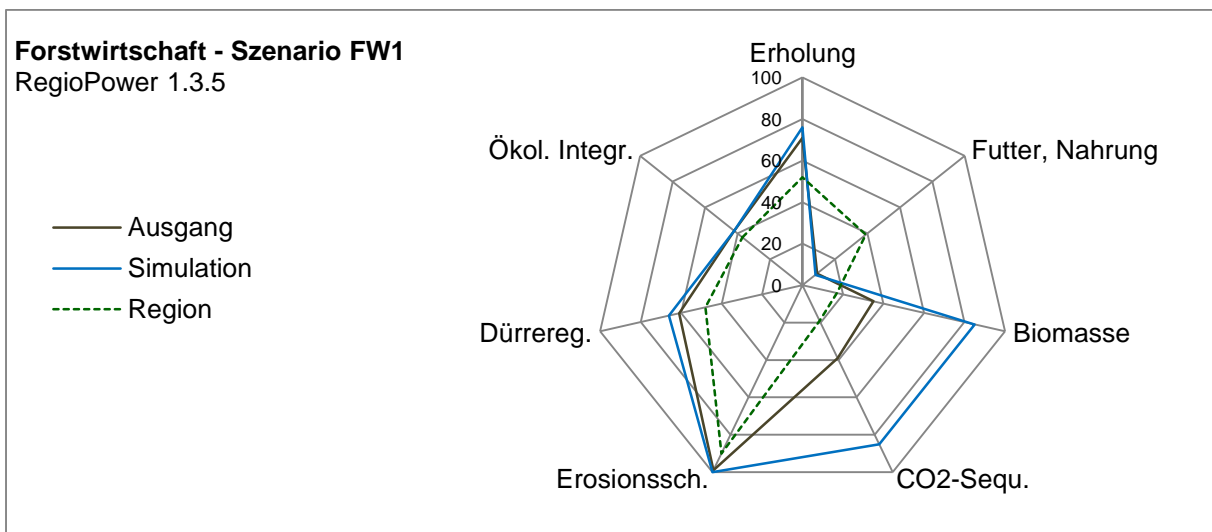


Abbildung 20: Szenario FW1: ÖSD-Diagramm.

3.3.3 Szenario FW2: Erhöhung der Natürlichkeit

Maßnahmen

In Szenario FW2 liegt der Fokus auf der Erhöhung der Natürlichkeit vorhandener Bestände mittels geringfügigen Eingriffen. Hierzu erfolgt der Umbau aller Reinbestände durch Hinzufügen einer weiteren Art in Mischbestände (Tabelle 10). Die Auswahl der Baumart berücksichtigt dabei sowohl ökologische als auch ökonomische Aspekte, um ein möglichst realistisches Ergebnis zu erzielen.

Tabelle 10: Szenario FW2: Maßnahmen zur Erhöhung der Natürlichkeit.

Ort oder LNT	Maßnahme
Birke	Birke-Kiefer
Buche	Buche-Eiche
Eiche/Roteiche	Eiche-Schwarzerle
Fichte	Fichte-Buche
Kiefer	Kiefer-Fichte
Lärche	Buche-Lärche
Tanne	Douglasie-Buche

Ergebnisse und Auswirkungen der Maßnahmen

Wie in Abbildung 21 zu sehen ist, resultiert aus den Umbaumaßnahmen ein deutlich heterogeneres Landschaftsbild, in dem Laub-Nadel-Mischwälder auf 43 % der Fläche dominieren. Dies entspricht einer Erhöhung um 41 %. Gleichzeitig steigt der Anteil von Nadelbaum-Mischbeständen um etwa 10 %, der Anteil von Laub-Mischwäldern um 14 %. Häufige Bestandsarten sind Fichte-Buche (26 %), Kiefer-Fichte (11 %) und Buche-Eiche (10 %).

Dies wirkt sich insbesondere positiv auf die Bewertung der Ökologischen Integrität, welche um 14 Punkte auf 56 erhöht wird, aus. Geringe positive Effekte zeichnen sich außerdem für den Erholungswert und die Dürreregulation ab, die um 5 bzw. 2 Punkte ansteigen. Futter und Nahrung, Biomasse, CO₂-Sequestrierung und Erosionsschutz werden hingegen nicht beeinflusst (Abbildung 22). Bezüglich der gesamten RegioPower3 Region weisen die vorgenommenen Maßnahmen keine Auswirkungen auf.

Die Betrachtung der Landschaftsstrukturmaße zeigt, dass keine Änderungen hinsichtlich des Anteils verbundener naturnaher Flächen und des Kernflächenindex vorliegen. Hingegen ist eine geringfügige Verringerung des Shannon's Diversity Index um 0,07 auf 2,28 zu verzeichnen.

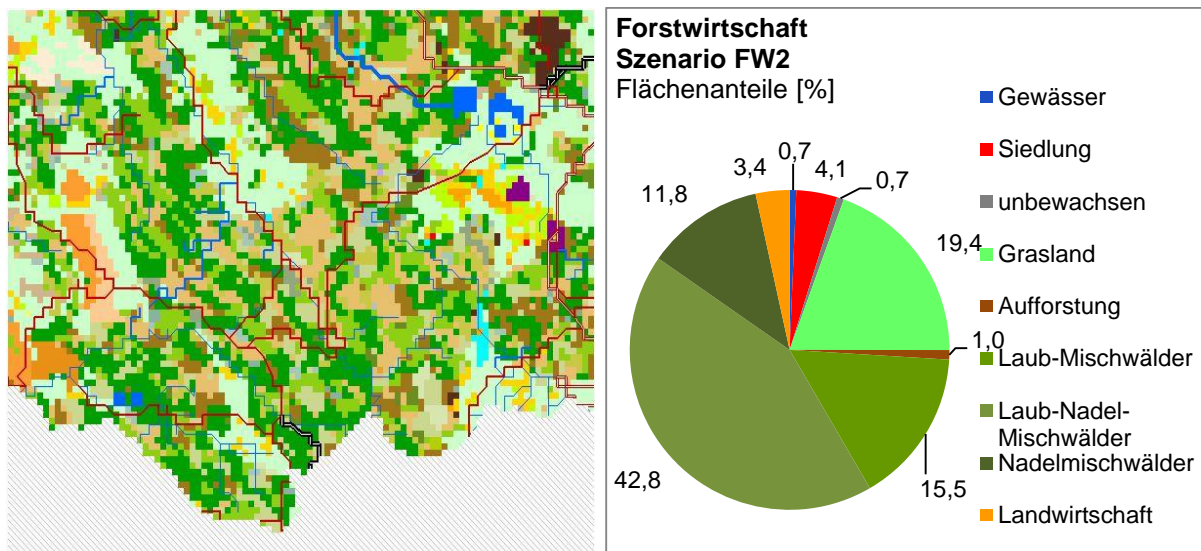


Abbildung 21: Szenario FW2: räumliche Verteilung und Flächenanteile der LNT.

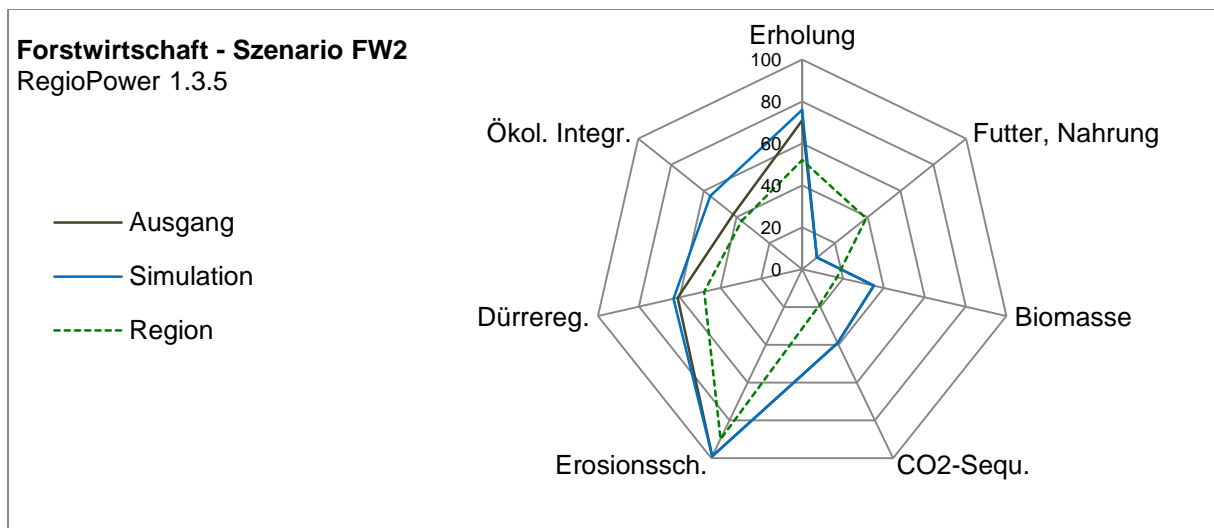


Abbildung 22: Szenario FW2: ÖSD-Diagramm.

3.3.4 Szenario FW3: integrierter Ansatz

Maßnahmen

In Szenario FW3 wird ein integrierter Ansatz verfolgt. Anhand realistischer Eingriffe soll eine möglichst natürliche, an den künftigen Klimawandel angepasste, forstwirtschaftlich dominierte Region, welche der Bevölkerung umliegender Gebiete ein hohes Maß an Erholung bietet, gestaltet werden. Um die ökonomischen Interessen der Landbesitzer zu berücksichtigen und so die Attraktivität der Maßnahmen gegenüber verschiedensten Akteuren zu steigern, wird dabei auf eine Erhöhung der Biomasseproduktion geachtet. Demnach ist das Ziel dieses Szenarios die Verbesserung aller Kriterien mit Ausnahme von Futter- und Nahrungsmittelproduktion, die in der Region eine untergeordnete Rolle spielt. Um eine differenzierte Waldentwicklung abzubilden, findet der zelluläre Automat Verwendung. Dieser erlaubt die Umwandlung verschiedener, bisher vorwiegend als

Reinbestand genutzter Flächen in unterschiedliche Mischbestände. Um zu verändernde Bereiche entlang der Straßen im Westen auszuweisen, werden diese primär manuell als die im gesamten Gebiet nicht vorhandene LNT *L10* klassifiziert. Im CA erfolgen vier Iterationen der in Tabelle 11 aufgeführten Maßnahmen, bis keine Änderungen der LNTs mehr zu verzeichnen sind.

Weiterhin finden der Umbau von Aufforstungsflächen und der Umgebung des im Nordosten gelegenen Sees sowie die Renaturierung der Tagebauanlagen und des ehemaligen Grenzübergangs statt. Außerdem kann die Aufforstung von 30 % des vorhandenen Graslands als realistisch betrachtet werden, wozu vorwiegend Arten mit hohem Erholungswert Verwendung finden (Tabelle 11).

Tabelle 11: Szenario FW3: Maßnahmen des integrierten Ansatzes.

Waldumbau im CA		
Ort oder LNT	Maßnahme	Umwandlungswahrscheinlichkeit
Acker, Grasland entlang Straßen im Westen	Ahorn-Buche	50 %
	Ahorn-Eiche	50 %
Birke	Birke-Kiefer	40 %
	Douglasie-Buche	30 %
Brache	Ahorn-Buche	50 %
	Birke-Pappel	50 %
Buche	Buche-Eiche	80 %
Eiche/Roteiche	Eiche-Buche	50 %
	Eiche-Schwarzerle	30 %
Fichte	Douglasie-Buche	20 %
	Fichte-Buche	60 %
	Fichte-Tanne	20 %
Kiefer	Douglasie-Buche	30 %
	Kiefer-Fichte	60 %
Lärche	Buche-Lärche	50 %
	Buche-Tanne	10 %
	Douglasie-Buche	30 %
Tanne	Buche-Tanne	60 %
	Douglasie-Buche	30 %
manuelle Eingriffe		
Ort oder LNT	Maßnahme	
Aufforstung	Waldumbau in Eiche-Buche	
nördlicher Tagebau	Renaturierung in Eiche-Ahorn	
südlicher Tagebau	Renaturierung in Feuchtgebiet	
an den See angrenzende LNTs	Feuchtgebiete	
versiegelter Grenzübergang	Aufforstung mit Douglasie-Buche	
30 % des Graslandes	Flussnähe	Eiche-Schwarzerle, Schwarzerle-Esche
	Siedlungsnähe	Eiche-Ahorn, Buche-Ahorn
		Fichte-Sumpfbirke

Ergebnisse und Auswirkungen der Maßnahmen

Im Ergebnis liegt ein sehr heterogenes Landschaftsbild vor, in welchem Laub-Nadel-Mischwälder, insbesondere Douglasie-Buche (14 %) und Fichte-Buche (15 %) dominieren. Es folgen Laub-Mischwälder wie Buche-Eiche (10 %) und Nadel-Mischwälder wie Kiefer-Fichte (8 %). Weiterhin nehmen natürliche Vegetationsformen wie Hecken und Feuchtgebiete mehr als 1 % der Fläche ein. Dabei ist neben 6 % des Graslandes lediglich 0,5 % der landwirtschaftlichen Nutzfläche von den Umbaumaßnahmen betroffen (Abbildung 23).

Die vorgeschlagenen Maßnahmen führen, wie in Abbildung 24 zu sehen ist, abgesehen vom bereits sehr hohen Erosionsschutz zur Steigerung aller Bewertungskriterien. Dabei wirken sie sich vor allem positiv auf die Ökologische Integrität, welche um 18 Punkte auf 60 ansteigt, aus. Daneben liegen positive Effekte für Biomasse (+9), Erholung und CO₂-Sequestrierung (jeweils +8), Dürreregulation (+4) sowie die Nahrungs- und Futtermittelproduktion (+1) vor.

Insgesamt kann mit den Maßnahmen die Ökologische Integrität der gesamten RegioPower3 Region um 1 Bewertungspunkt angehoben werden.

Bezüglich der Landschaftsstrukturmaße zeigt sich eine leichte Erhöhung des Anteils naturnah verbundener Flächen von 81,05 auf 82,49 % sowie des Kernflächenindex von 51,97 auf 53,05 %. Weiterhin wirken sich die Maßnahmen ebenfalls positiv auf die Landschaftsdiversität aus, was sich im Anstieg des Shannon's Diversity Index um 0,34 auf einen Wert von 2,69 widerspiegelt.

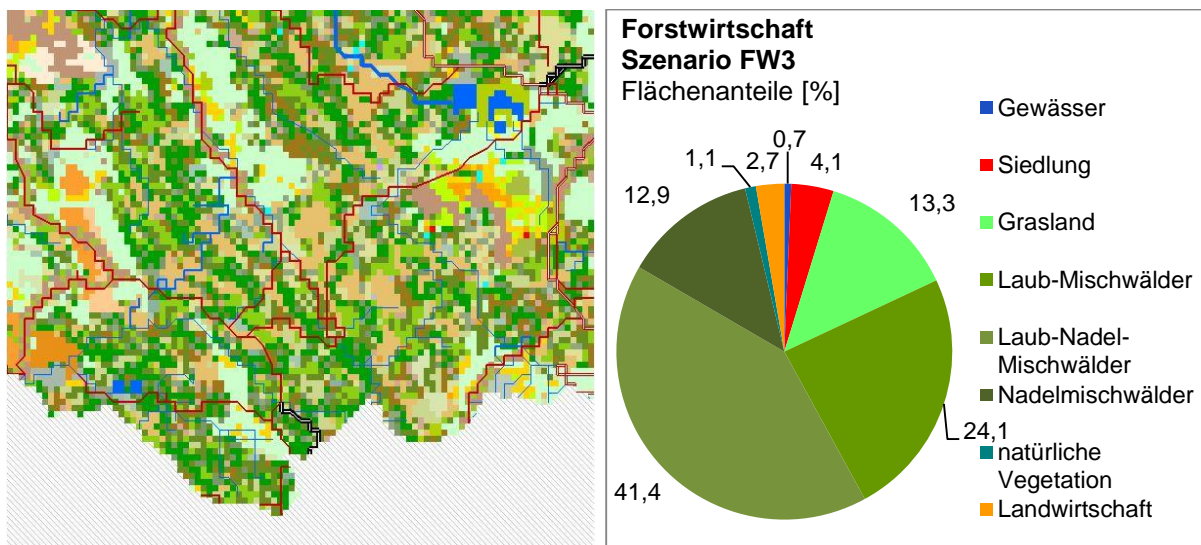


Abbildung 23: Szenario FW3: räumliche Verteilung und Flächenanteile der LNT.

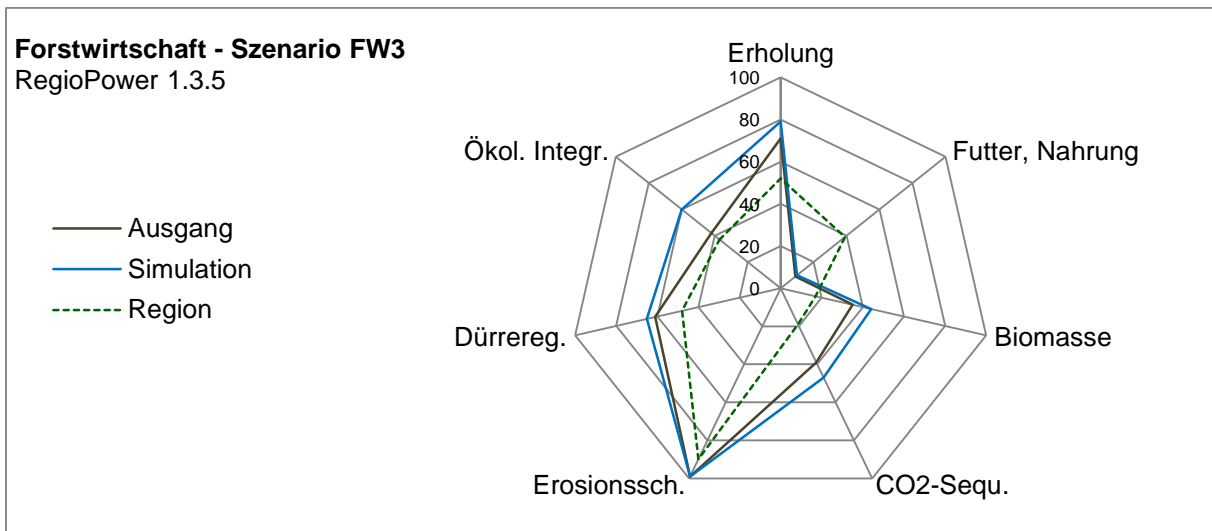


Abbildung 24: Szenario FW3: ÖSD-Diagramm.

3.3.5 Einbezug der Landschaftsstrukturmaße

Tabelle 12 zeigt die landschaftsstrukturellen Kennwerte der Szenarien im Vergleich zur Ausgangssituation. Wie zu sehen ist, kann sowohl in Szenario FW1 als auch in Szenario FW3 der Anteil naturnaher, verbundener Flächen erhöht werden.

Bei der Einbeziehung der Landschaftsstrukturmaße in die Bewertung ergeben sich keine Veränderungen bezüglich des Biotopverbunds und der Landschaftszerschneidung. Hingegen wirkt sich Szenario FW1 deutlich positiv auf Landschaftsdiversität und Ästhetik aus, während Szenario FW3 keine und Szenario FW2 negative Einflüsse auf das ästhetische Empfinden aufweist.

Tabelle 12: Gegenüberstellung der landschaftsstrukturellen Kennwerte der Szenarien für die forstwirtschaftliche Fläche.

Merkmal	Ausgangszustand	Szenario FW1	Szenario FW2	Szenario FW3
verbundene naturnahe Flächen	81,05 %	84,85 %	81,05 %	82,49 %
Kernflächenindex naturnaher Flächen	51,97 %	57,90 %	51,97 %	53,05 %
Effektive Maschenweite unzerschnittener Flächen	3,58 km ²	3,58 km ²	3,58 km ²	3,59 km ²
Formindex naturnaher Flächen	1,54	1,66	1,54	1,58
Shannon's Diversity Index	2,35	0,24	2,28	2,69
Patch Density	0,35 /km ²	0,29 /km ²	0,35 /km ²	0,34 /km ²
Einbeziehung der LSM in Bewertung				
Landschaftszerschneidung	- 10	- 10	- 10	- 10
Biotopverbund	+ 10	+ 10	+ 10	+ 10
Landschaftsdiversität	± 0	+ 10	± 0	± 0
Ästhetik	+ 5	+ 10	- 5	± 0

3.3.6 Biomassemodul

Maßnahmen

Um die Effekte forstwirtschaftlicher Maßnahmen über einen längeren Zeitraum zu bewerten, erfolgt die Entwicklung von drei Szenarien im Biomassemodul. Dabei wird ein integrierter Ansatz verfolgt, welcher den Waldumbau in Mischbestände, die Teilaufforstung von Grünflächen sowie die Renaturierung von Tagebauanlagen und dem ehemaligen Grenzübergang vorsieht. Ab dem Jahr 100 erfolgt unter Berücksichtigung des Klimawandels zusätzlich die Anpflanzung trockenresistenterer Baumarten (Tabelle 13). In Szenario BM1 finden alle Maßnahmen mittels kontinuierlicher Umwandlung statt, während Szenario BM3 dieselben Eingriffe zeitgleich mittels Kahlschlag umsetzt. Szenario BM2 führt die Umbaumaßnahmen ebenfalls mit Kahlschlag, zum Teil jedoch zeitlich versetzt, durch.

Ergebnisse und Auswirkungen der Maßnahmen

Abbildung A1 und A2 stellen die Erträge, kumulierten Erträge, Standvolumen und Brennwerte der Szenarien und der Fortführung der Ausgangssituation gegenüber. Kurzfristig sind demnach die Erträge in Szenario BM2 und BM3 wegen des Kahlschlages deutlich höher, gleichzeitig sinkt jedoch das vorhandene Standvolumen rapide. Die bei Fortführung der bisherigen Bewirtschaftung und in Szenario BM1 erzielten Erträge unterscheiden sich in den ersten 50 Jahren kaum. Infolge erneuter Bewirtschaftungseingriffe nach 100 Jahren steigt das Ertefvolumen in Szenario BM2 und BM3 stark an. Aber auch in BM1 liegt der Ertrag nun deutlich über dem mittels Fortführung der Ausgangsbewirtschaftung erreichbaren Mengen. Dies zeigt sich ebenfalls im kumulierten Ertrag nach 200 Jahren, der bei allen drei Szenarien annähernd gleich und etwa doppelt so hoch ist wie ohne Änderung der Bewirtschaftungsmaßnahmen.

Tabelle 13: Szenarien und entsprechende Maßnahmen im Biomassemodul.

Jahr	Szenario BM1		Szenario BM2		Szenario BM3	
	urspr. LNT	Maßnahme	urspr. LNT	Maßnahme	urspr. LNT	Maßnahme
0	Buche	Buche-Eiche	Buche (> 50 Jahre)	Buche-Eiche	Buche	Buche-Eiche
	Kiefer	Kiefer-Fichte	Kiefer	Kiefer-Fichte	Kiefer	Kiefer-Fichte
	Fichte	Fichte-Buche			Fichte	Fichte-Buche
	Eiche/Roteiche	Eiche-Schwarzerle			Eiche/Roteiche	Eiche-Schwarzerle
	Tanne	Douglasie-Buche			Tanne	Douglasie-Buche
	Lärche	Buche-Lärche			Lärche	Buche-Lärche
	Aufforstung	Eiche-Buche			Aufforstung	Eiche-Buche
	Grenzübergang	Douglasie-Buche			Grenzübergang	Douglasie-Buche
	Tagebau (Mitte)	Eiche-Ahorn			Tagebau (Mitte)	Eiche-Ahorn
	Tagebau (Süden)	Feuchtgebiet			Tagebau (Süden)	Feuchtgebiet
	Brache	Birke-Pappel				
5			Fichte	Fichte-Buche		
			Aufforstung	Eiche-Buche		
			Grenzübergang	Douglasie-Buche		
			Tagebau (mitte)	Eiche-Ahorn		
			Tagebau (Süden)	Feuchtgebiet		
10	50 % Grasland	Esche-Schwarzerle	50 % Grasland	Esche-Schwarzerle	50 % Grasland	Esche-Schwarzerle
		Birke-Pappel		Birke-Pappel		Birke-Pappel
			Eiche/Roteiche	Eiche-Schwarzerle		
			Lärche	Buche-Lärche		
			Birke	Birke-Kiefer		
50			Tanne	Douglasie-Buche		
100	Schwarzerle-Esche	Buche-Eiche	Schwarzerle-Esche	Buche-Eiche	Schwarzerle-Esche	Buche-Eiche
	Fichte-Buche	Douglasie-Buche	Fichte-Buche	Douglasie-Buche	Fichte-Buche	Douglasie-Buche
	Kiefer-Fichte	Kiefer-Eiche	Kiefer-Fichte	Kiefer-Eiche	Kiefer-Fichte	Kiefer-Eiche
	Birke-Pappel	Birke-Kiefer	Eiche-Buche (Aufforstung Jahr 5)	Eiche-Buche	Birke-Pappel	Birke-Kiefer
			Buche-Eiche	Buche-Eiche		

4 Diskussion

4.1 Siedlungsfläche

Stellvertretend für alle Siedlungsflächen in der RegioPower3 Region werden Analysen zu Ökosystemdienstleistungen und Maßnahmen sowie Empfehlungen zur Verbesserung der ÖSDs an der ausgewählten Kachel 6:4 durchgeführt. Diese Kachel zeigt diverse Merkmale, die charakteristisch für städtische oder dicht besiedelte Regionen sind. Der Kern der Stadt ist zwar deutlich als Zentrum zu erkennen und ist auch dichter besiedelt bzw. weist einen höheren Versiegelungsgrad als das Umland auf, aber der Anteil sehr dichter und dichter Bebauung ist verhältnismäßig gering. Auffällig ist der hohe Grad der Stadtrandzersiedelung. In den suburbanen Bereichen der Stadt hat sich ein ausgeprägter und breiter Rand sehr lockerer Bebauung ausgebildet (NEUMANN 1989). Aufgrund des hohen Flächenbedarfs, der daraus resultiert, liegt der Anteil besiedelter oder versiegelter Fläche bei ca. 50 %. Dementsprechend niedrig ist der Prozentsatz der Waldflächen oder landwirtschaftlich genutzter Gebiete.

Da Ökosystemdienstleistungen vorwiegend von Landnutzungstypen bereitgestellt werden, die nicht fast ausschließlich aus einer anthropogenen Komponente bestehen, wie es bei urbanen Gebieten der Fall ist, sind die ÖSD-Bewertungen dieser Kachel generell niedrig einzustufen. Der Erosionsschutz ist auf dieser Kachel höher als der Regionsdurchschnitt, was aber als eine Folge des hohen Versiegelungsgrads angesehen werden muss und daher nicht ausnahmslos positiv zu bewerten ist (SUDHAUS 2007:121). Die übrigen Ökosystemdienstleistungen liegen in ihrer Bewertung deutlich unter dem Regionsmittelwert. Ökosystemdienstleistungen stellen ein unverzichtbares Gut für den Menschen, seine Umwelt und die Interaktion zwischen den beiden Gruppen dar (GRUNEWALD & BASTIAN 2013:2) und sind unerlässlich für eine auf Nachhaltigkeit beruhende Gestaltung der Landschaft. Der bestehende Zustand der Kachel erfüllt diese Funktionen nur bedingt. Im Folgenden werden die Auswirkungen mit ihren Vor- und Nachteilen diskutiert, die eine Verbesserung hinsichtlich der Ökosystemdienstleistungen erwarten lässt.

4.1.1 Szenario S1

Mit Szenario S1 wird eine Entwicklung vorgestellt, die bei der Optimierung einen besonderen Fokus auf den Erholungswert und die Ökologische Integrität legt. Die Hauptfunktion der Siedlung und ihrer Umgebung ist in der Schaffung eines Umfeldes zu sehen, in dem der Mensch gerne lebt und sich wohl fühlen kann. Besonders wichtig ist daher die Möglichkeit zur Erholung innerhalb der Stadt oder auch in Stadtnähe. Als weiterer integraler Bestandteil wird die Ökologische Integrität der Landschaft gesehen, denn eine ökologisch intakte Landschaft ist aufgrund ihrer Natürlichkeit und der hohen Biodiversität als sehr ästhetisch einzuordnen (NOHL 2001:24). Dieser Ansatz zur Verbesserung hat daher ein ökologisch-soziales Leitbild, bei dem durch eine Optimierung wichtiger ökologischer Komponenten eine Erhöhung des Wohn- und Freizeitwertes der Region erzielt wird.

Aufgrund dessen werden keine nennenswerten Änderungen an der Siedlungsstruktur vorgenommen. Stattdessen wird versucht, eine Verbesserung auf Basis der vorhandenen Siedlungsstruktur zu erreichen.

Innerhalb der Kernstadt werden Grünanlagen gebildet oder kleine Grünflächen angelegt. Diese erlauben eine umweltorientierte Gestaltung der Stadt. Sie bilden „Distanzflächen zum Schutz vor Verkehr“, können aber auch Teilräume sinnvoll abgrenzen oder im Sommer als Schattenspende wirken. Dabei ist allerdings zu beachten, dass die Schadstoffbelastung an Straßen mit hohem Verkehrsaufkommen besonders hoch ist und die Baumarten entsprechend gewählt werden sollten (NEUMANN 1989:153ff.).

Im suburbanen Raum wird ein Grüngürtel geschaffen, der die gesamte Stadt umgibt. Dieser Grüngürtel wird mit Laubbaumarten bepflanzt, die als eher ästhetisch eingeschätzt werden und sich positiv auf die Ökologische Integrität und den Erholungswert auswirken. Grünzüge können aufgrund ihrer Eigenschaften und der relativen Stadtnähe sehr gut als Naherholungsgebiet genutzt werden. Außerdem ermöglichen sie eine Abgrenzung zwischen einzelnen Gemeinden oder Stadtteilen und verhindern die weitere Zersiedelung. Die ökologische Komponente der Grünzüge spielt ebenfalls eine Rolle. Sie bilden je nach Flächengröße einen Refugialraum für Flora und Fauna und wirken sich damit positiv auf den Biotop- und Artenschutz aus. Grünzüge schaffen außerdem eine Frischluftschneise und haben daher auch eine klimatische Funktion. Hinzu kommt, dass sie zum Schutz des Wasserhaushaltes beitragen (WEILAND & WOHLLEBER-FELLER 2007:57).

Außerhalb der Siedlungsflächen werden einige der landwirtschaftlich genutzten Gebiete in Waldflächen umgewandelt, um die negativen Auswirkungen durch einseitige Flächennutzung (hier Maissilage-Monokultur), den unsachgemäßen Einsatz von Düngemitteln und die zu hohe Bewirtschaftungsintensität einzuschränken (LINCKH et al. 1997:61). Im außerstädtischen Bereich werden ebenfalls vorwiegend Laubbaumarten gepflanzt, vereinzelt aber auch Mischwälder, da Nadelbäume über ein höheres Potential zur Kohlenstoffsequestrierung verfügen und die Biodiversität erhöht wird.

Die Umwandlung in Waldgebiete, sowohl innerstädtisch im Grüngürtel als auch außerstädtisch, führt zu diversen positiven Effekten. 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. Außerdem wird der Boden effektiv vor Wind- und Wassererosion geschützt. Wie bereits bei den Grüngürteln erwähnt, trägt der Wald zur Verbesserung des Lokalklimas bei. Während sich Siedlungen im Sommer stark aufheizen, bleibt der Wald verhältnismäßig kühl. So entsteht ein Luftstrom, der die Siedlungsgebiete kühlt. Wälder bieten zudem einen natürlichen Lärm- und Immissionsschutz bei Staubimmissionen. Für Flora und Fauna bilden Wälder Lebens- und Rückzugsräume, Nahrungs- und Rastplätze. Waldgebiete tragen zu einem abwechslungsreichen Landschaftsbild bei und bieten eine Erholungs- und Entspannungsfunktion für den Menschen durch Strukturreichtum, Stille und große Luftreinheit.

Entlang des Flusses sieht dieses Szenario Feuchtgebiete vor. Feuchtgebiete sind ein einzigartiger Lebensraum, der ein Habitat für viele seltene Tier- und Pflanzenarten darstellt. Feuchtgebiete erhöhen die Uferfiltrationskapazität und so das Retentionspotential im Falle von Hochwasser. Sie tragen daher zur Ökologischen Integrität, zum Hochwasserschutz und zur Landschaftsvielfalt bei. An die Feuchtgebiete schließen sich naturnahe Wälder aus feuchtigkeits-toleranten Laubbaumarten an (Schwarzerle, Sumpfbirke, Esche).

Die Schaffung von Waldflächen in Verbindung mit der Pflanzung von Hecken entlang von Straßenzügen oder als Feldbegrenzungen werden Biotope und Freiräume miteinander vernetzt. So kann dazu beigetragen werden, dass Isolationseffekte „Rückzugs- und Wiederausbreitungsgebiete der Fauna nicht durch unüberwindbare Barrieren voneinander [getrennt sind]“ (NEUMANN 1989:159ff.). Schon schmale Grünsteifen und vor allem Hecken genügen oftmals für die Vernetzung von Lebensräumen.

4.1.2 Szenario S2

Das Szenario S2 konzentriert sich auf die Siedlungsstruktur. Wie bereits erwähnt, ist selbst der Innenstadtbereich nur verhältnismäßig locker bebaut. Es fällt eine deutliche Streuung der Siedlungsstruktur in den Randbereichen auf. Aus einer ökonomischen Perspektive, wie sie

diesem Ansatz inhärent ist, zeigt sich daher ein hoher Flächenaufwand für Siedlungsgebiete, die Bebauungs- und Einwohnerdichte ist aber eher gering. Dieses Szenario sieht daher ein ökonomisch geprägtes Leitbild vor, das die Flächennutzung effektiver gestaltet.

Die Umgestaltung der Siedlungsstruktur ist folglich das wesentliche Element dieses Ansatzes. Im ersten Schritt erfolgt eine deutliche Erhöhung der Bebauungsdichte im Stadtkern. Wider Erwarten führt das aber nicht zu einer Verminderung der Ökosystemdienstleistungen. Die Ursache dafür ist der Bewertungstabelle zu entnehmen. Sie sieht für alle städtischen Bebauungsformen und Versiegelung (Ausnahme: offene urbane Bereiche) eine identische Bewertung vor. Lediglich der Erholungswert variiert minimal. In der Realität ist aber ein anderes Bild zu erwarten. Denn bezüglich der Biomasse, der Kohlenstoffsequestrierung und der Biodiversität ist ein Unterschied zwischen Einfamilienhäusern mit Gärten, Mehrfamilienhäusern mit öffentlichen Grünflächen oder tatsächlichen Innenstadtbereichen mit sehr wenig Grün anzunehmen.

Eine weitere Maßnahme betrifft die stark zersiedelten Randbereiche der Stadt. Die vor allem aufgrund von schlechter Bodenvorratspolitik oder mangelnder Bodenordnungsmaßnahmen entstehende Stadtrandzersiedelung (NEUMANN 1989:137) führt zu einem Verlust an Fläche, die so der Land- und Forstwirtschaft nicht zur Verfügung steht. Daher sieht dieses Szenario eine Umstrukturierung vor, bei dem die zentrumsfernen, zersiedelten Bereiche umgewidmet werden. Auf den frei werdenden Flächen wird Land- und Forstwirtschaft betrieben. Bei den landwirtschaftlichen Nutzungen werden Monokulturen vermieden und auf unterschiedliche Fruchtfolgen und ein abwechslungsreiches Landschaftsbild gesetzt. In Stadtnähe wachsende Forstbestände sind meist Laubmischwälder, während produktivere Nadelforste in größerer Entfernung zur Stadt entstehen.

Als Folge dieser Maßnahmen geht die Versiegelung bzw. die Bebauung der Flächen merklich zurück und der Anteil naturnaher Gebiete steigt an, was sich positiv auf den Biotopverbund und die Dürreregulierung auswirkt.

4.1.3 Gegenüberstellung der Szenarien der Siedlungsfläche

Im direkten Vergleich zeigen sich Vor- und Nachteile bei beiden Szenarien, die eine Änderung der bestehenden Landnutzungsformen in dem betrachteten Gebiet vorschlagen. Durch die ökonomische Herangehensweise kann mit den Maßnahmen des zweiten Szenarios die Produktivität des Gebietes deutlich erhöht werden. Sowohl der Anteil landwirtschaftlicher als auch forstwirtschaftlicher Fläche wird stark gesteigert. Für die Ökosystemdienstleistungen (Tabelle 14) bedeutet das, dass die Futter- und Nahrungsmittelproduktion sowie auch die Biomasseproduktion um jeweils 9 Punkte zunehmen. Als Folge kann eine hohe Kohlenstoffsequestrierung gewährleistet werden. Ausgehend von steigendem Lebensmittel-, Futtermittel-, und Holzbedarf in Verbindung mit der durch den Klimawandel bedingten Notwendigkeit, CO₂ zu sequestrieren, ist dieses Szenario eine sinnvolle Alternative zu der Ausgangssituation.

Allerdings sollten die starken Eingriffe in die Siedlungsstruktur, die dieses Szenario vorschlägt, nicht außer Acht gelassen werden. Es ist zum einem mit einem großen finanziellen Aufwand verbunden, bestehende Siedlungsformen rückzubauen und die Stadtkerne zu verdichten. Hinzu kommt, dass mit Widerständen bei den Akteuren gerechnet werden muss. Das Eigenheim im Grünen ist für viele Akteure Heimat, Altersvorsorge und teilweise auch Statussymbol. Es ist nicht davon auszugehen, dass Akteure bereit sind, ein solches Objekt, in das viel monetärer und temporärer Aufwand geflossen ist, aufzugeben.

Die weitläufige, zersiedelte Struktur der Randbereiche trägt auch viele positive Effekte in sich. Sie reißt die Monotonie auf und macht die Landschaft abwechslungs- und struktureicher

(NEUMANN 1989:145). Zudem schafft eine lockere Bebauung mit ausreichend Vegetation eine Abschirmungsmöglichkeit gegenüber Störeffekten wie Straßen oder Nachbarn (NEUMANN 1989:146).

Das Szenario S1 behält daher die bestehende Siedlungsstruktur bei und verbessert den Wohnwert noch darüber hinaus. Bei diesem Szenario ist eher mit der Zustimmung der betroffenen Akteure zu rechnen. Obwohl die Optimierung von Erholungswert und Ökologischer Integrität im Zentrum steht, verbessern die Maßnahmen in diesem Szenario auch alle anderen Ökosystemdienstleistungen. Nur die Futter- und Nahrungsmittelproduktion nimmt leicht ab. Dieses Szenario erreicht also trotz der klaren Fokussierung positive Nebeneffekte. Die Verbesserungen, die mit diesem Szenario erreicht werden können, sind bei den Ökosystemdienstleistungen Erholungswert, Biomassebereitstellung, Erosionsschutz, Dürreregulation und Ökologische Integrität optimaler oder ebenso gut wie bei Szenario S2 (Tabelle 14). In der Gesamtbetrachtung ermöglicht Szenario S1 somit eine Optimierung der Ausgangssituation um 56 Punkte (Verslechterungen mit eingerechnet). Szenario S2 erreicht eine Verbesserung von 48 Punkten.

Aufgrund dieser ausführlichen Betrachtung der Ausgangssituation und der vorgestellten Maßnahmen zur Optimierung der Ökosystemdienstleistungen wird das Szenario S1 (Verbesserung des Erholungswertes) bevorzugt und zur Umsetzung empfohlen. Dieses Szenario ermöglicht weitreichende Optimierungen, ohne dabei übermäßig in bestehende Strukturen einzugreifen.

Tabelle 14: ÖSD-Bewertungen für die Siedlungsszenarien im Vergleich.

	Ausgangszustand	Werte der Kriterien		Veränderung		
		Szenario S1	Szenario S2	Szenario S1	Szenario S2	S1-S2
Erholung	43	58	44	15	1	14
Nahrung, Futter	19	14	28	-5	9	-14
Biomasse	5	14	14	9	9	0
CO ₂ -Sequestrier.	6	15	16	9	10	-1
Erosionsschutz	95	97	93	2	-2	4
Dürreregulierung	29	39	38	10	9	1
Ökol. Integrität	21	37	33	16	12	4

4.2 Landwirtschaftliche Fläche

Die für die Landwirtschaft repräsentative Kachel 4:1 wird stellvertretend für die Analyse der Ökosystemdienstleistungen von agrarwirtschaftlichen Flächen der RegioPower3 Region herangezogen. Etwa 84 % der Fläche der ausgewählten Kachel weisen eine agrarwirtschaftliche Nutzung auf, während lediglich 8 % von einer naturnahen Landnutzung geprägt sind. Die Nahrungs- und Futtermittelproduktion ist infolge der intensiven Bewirtschaftung doppelt so hoch wie im Regionsmittel. Die übrigen Ökosystemdienstleistungen liegen aufgrund der einseitigen Bewirtschaftung jedoch deutlich unter denen der Region.

4.2.1 Szenario LW1

Im landwirtschaftlichen Szenario LW1 wird das Potential der ausgewählten Kachel hinsichtlich der CO₂-Speicherung und der Biomasse, aber auch der anderen ÖSDs untersucht.

Insbesondere im Hinblick auf den Klimawandel spielt die Bindung von Kohlenstoffdioxid als das bedeutendste Treibhausgas eine entscheidende Rolle (NIGGLI 2007:1). Wälder besitzen einerseits die Fähigkeit, anders als Ackerland, Kohlenstoff zu speichern (RINKLEBE & MAKESCHIN 2003:1), bieten gleichzeitig jedoch auch ein deutlich höheres Potential für die Bereitstellung von Biomasse in Form von Holz (RINKLEBE & MAKESCHIN 2003:8). Innerhalb dieses Szenarios erfolgt daraus resultierend eine Teilumwandlung der Landnutzung von Agrarwirtschaft zu Fichten-Buchen-Wäldern. Die Fichte gehört mit 35 % ebenso wie die Kiefer (31 %) zu den dominierenden Baumarten in Sachsen (SACHSEN.DE 2014.:o.S.). Um die ökologische Vielfalt zu erhöhen und nicht ausschließlich Nadelwald-Monokulturen zu begünstigen, werden Mischbestände aus Fichten und Buchen für die Aufstockung ausgewählt. Lediglich auf den vorhandenen Brachflächen werden Tannen aufgrund ihres hohen Holzertrags aufgeforstet. Ein weiterer positiver Effekt ist der beträchtliche Erosionsschutz des Waldes im Vergleich zu agrarwirtschaftlich genutzten Flächen. Aufgrund der Bearbeitung des Bodens und der zeitweise brachliegenden Äcker ist das Erosionspotential in bewirtschafteten Gebieten als erheblich höher einzuschätzen als in dauerhaft bewaldeten Regionen (GRASS & SCHEFFER 2003:1). Um die Interessen der Landwirte ebenfalls zu berücksichtigen, werden weitere Ackerflächen nicht in Wälder, sondern in Kurzumtriebsplantagen umgewandelt. Diese bilden eine Sonderform der Landwirtschaft mit einem höheren Natürlichkeitsgrad als Agrarflächen und „stellen eine wichtige Ergänzung der Holzpotentiale aus dem Wald dar“ (SCHMIDT & GEROLD 2008:154,156). Weitere Vorteile einer landwirtschaftlichen Nutzung mit Kurzumtriebsplantagen sind nach SCHMIDT & GEROLD (2008:155) die Bereitstellung alternativer Energien, die Schaffung von Stoffkreisläufen, die Schonung der natürlichen Ressourcen Boden und Wasser sowie die Erhaltung der Artenvielfalt.

Um den Biotopverbund zusätzlich zu erhöhen, werden unmittelbar an Straßen Hecken aufgestockt. Nach dem NABU (o.J.:1) sind Hecken geeignet um ein „günstiges Kleinklima“ zu bilden. Zusätzlich wirken die Gehölzstrukturen lärmdämpfend und schmutzfilternd (NABU o.J.:1). Weitere Hecken werden auf vorhandenen Grasflächen aufgestockt, um einen höheren Anteil an Biomasse zu erwirtschaften.

4.2.2 Szenario LW2

In Szenario LW2 sollen die ÖSDs bereits mittels sehr geringer Umstrukturierung erhöht werden, da im Allgemeinen eine vollständige Landschaftsumstrukturierung nicht zielführend ist. Deshalb ist es sinnvoll, bereits mit kleinräumigen Eingriffen Verbesserungen der ÖSDs zu erzielen, ohne den landwirtschaftlichen Charakter der Kachel zu verändern. Das Hauptaugenmerk liegt auch in diesem Szenario auf der Erhöhung der CO₂ Sequestrierung und der Biomasse, während die Nahrungs- und Futtermittelproduktion insgesamt nicht abnehmen soll.

Aus diesem Grund werden die Agrarflächen der Region nicht signifikant verändert. Lediglich die Maissilage-Monokulturen werden aufgrund ihres erhöhten Umweltgefährdungspotentials, wie Bodenerosion und Stickstoffauswaschung (GRASS & SCHEFFER 2003:1), zu der umweltverträglicheren Fruchtfolge Raps-Weizen-Gerste-Weizen (L2) umgewandelt. Etwa 10 % der Maissilage-Monokultur werden in einen Kiefern-Fichten-Forst umgewandelt, um eine Verbesserung des durch die einseitige Nutzung geschädigten Bodens zu erreichen. Kiefern und Fichten sind in der analysierten Region besonders geeignet (SACHSEN.DE 2014.:o.S.).

Um auch Laubbaumarten im Gebiet zu integrieren, werden zusätzlich vorhandene Hecken zu Birken-Pappel-Beständen aufgeforstet. Hierbei handelt es sich nach UNSELD et al. (2010:14) um Bäume, die aufgrund ihres schnellen Wachstums besonders als Vorwälder geeignet sind. Hecken und Gehölze sollten dennoch nicht vollständig umgewandelt werden. Wie bereits in

Szenario LW1 erwähnt, sind Hecken nicht nur lärm- und schmutzdämpfend, sondern eignen sich außerdem als Biotopverbunde (NABU o.J:1). Sie werden daher auf die in Straßennähe befindlichen Grasflächen aufgestockt bzw. entwickeln sich selbstständig, wenn die Grasflächen nicht bewirtschaftet werden.

Im Flussbereich erfolgt die Umwandlung vorhandener Grasflächen in Feuchtgebiete. Dieser „vom Wasser geprägte Lebensraum“ erhöht die Biodiversität in der Region, aufgrund des für hydrophile Tiere entstehenden Lebensraums (BENDER & SCHÄFER 2009:1). Weitere Vorteile sind nach BENDER & SCHÄFER (2009:1) die „Wasserspeicherung, Grundwasseranreicherung [und] Wasserreinigung [...]“. Zusätzlich „verhindern sie Bodenerosion und tragen zur Stabilisierung der örtlichen Klimabedingungen bei“. Bei unmittelbar an Wälder angrenzenden Grasflächen erfolgt eine Umwandlung in verschiedene Mischwälder, um die Biodiversität und die Holzproduktion zu steigern.

Die nicht genutzten Brachen in der Region nehmen einen Anteil von 3,23 % ein und werden vollkommen mit Douglasien-Eichen-Forst aufgestockt. Douglasien weisen im Hinblick auf den Klimawandel eine größere Stabilität sowie Wuchsleistung auf als einheimische Baumarten (HÖLTERMANN et al. 2008:75). Besonders im Hinblick auf Trockenheit ist die Douglasie besser angepasst als die in Sachsen vorherrschende Fichte. Allerdings ist es nach HÖLTERMANN et al. (2008:76) schwierig, die „langfristigen Folgen für Flora und Fauna“ abzuschätzen. Hinzu kommt, dass die Douglasie als weniger ästhetisch als andere Baumarten eingeschätzt wird (HÖLTERMANN et al. 2008:76). Um diesen Umständen entgegenzuwirken, werden keine Douglasien-Reinbestände, sondern Douglasien-Eichen-Bestände aufgeforstet.

4.2.3 Szenario LW3

In Szenario LW3 findet eine realitätsnahe Anpassung der Landnutzungstypen im Hinblick auf die vorangegangenen Szenarien Anwendung. Der landwirtschaftliche Charakter der Region soll dabei erhalten bleiben, die ÖSDs jedoch insgesamt deutlich gesteigert werden. Im Vordergrund steht dabei die Erhöhung der Biomasseproduktion, Kohlenstoffspeicherung sowie des Erosionsschutzes.

Auch hier erfolgt eine Umwandlung der Hecken in Birken-Pappeln-Bestände sowie der Grasflächen in Feuchtgebiete, Hecken oder Mischwälder. Die Brache wird ebenfalls wie in Szenario LW2 mit Douglasie-Eiche, aber auch mit Tanne aufgeforstet, um die Biodiversität zu erhöhen und die invasive Douglasie nicht in einem unverhältnismäßigen Maße anzubauen. Im Randbereich der größten Brache wird zusätzlich ein Mischwald mit dem Hauptbestandteil Kiefer-Eiche auf einer agrarwirtschaftlich genutzten Fläche angebaut, um die Fläche zu einem Biotopverbund auszudehnen.

Weitere Aufforstungen erfolgen in der unmittelbaren Nähe zu der nördlichsten Tagebauanlage. Die angelegten Fichten-Kiefern-Bestände dienen in diesem Gebiet als Sicht- und Lärmschutz. Auch im Bereich der Wasserfläche im Norden der Kachel werden Aufforstungen mit Schwarzerle-Esche durchgeführt. Schwarzerlen und Eschen sind Baumarten, welche in Flussnähe oder an stehenden Gewässern zu finden sind (KRÜGER 2010:53). Ebenso wie die Feuchtgebiete weisen Uferstreifen eine hohe Biodiversität auf (KRÜGER 2010:50), die durch den Schwarzerlen-Eschen-Bestand vor den Einflüssen der Agrarwirtschaft geschützt wird. Weiterhin sind diese Arten in der Lage durch ihr intensives Wurzelwerk Ufer von stehenden und fließenden Gewässern unmittelbar zu befestigen und Erosion zu vermindern (KRÜGER 2010:53). Laut der auf Expertenwissen basierenden Bewertungstabelle in GISCAME sind Unterschiede zwischen den Fruchtfolgen hinsichtlich des Erosionspotentials, der Dürreregulierung sowie der Ästhetik und der menschlichen Erholung gegeben, nicht jedoch im Hinblick auf die

Nahrungsmittelproduktion. Zum Erhalt der Nahrungs- und Futtermittelproduktion werden so die agrarwirtschaftlich genutzten Flächen nicht vollständig umstrukturiert, sondern mit ökologisch besser geeigneten Fruchtfolgen bewirtschaftet.

Die Fruchtfolgen L3, L4 und L7 (Erklärung s. Tabelle A4) weisen einen geringen Erosionsschutz auf, was auf die erosionsbegünstigende Maissilage in der Fruchtfolge zurückzuführen ist (VOGEL et al. 2013:1). Es erfolgt eine Umwandlung von L4 und L7 zu den maislosen Fruchtfolgen L1 und L2 bzw. L8 und L9. Die Fruchtfolge L3 wird in V5 umgewandelt. In V5 ist zwar ebenfalls Maissilage enthalten, aufgrund der Fruchtfolge mit Gräsern wird das Erosionspotential hier jedoch verringert. Die Maissilage-Monokultur (L10) weicht zugunsten der Fruchtfolgen A1 und V4. Aufgrund ihrer Vielfältigkeit bietet V4 ebenfalls einen höheren Erholungs- und Ästhetikwert als D3 und wird auch in diesen Bereichen angebaut.

L5 wird weiterhin in die vielfältigere Fruchtfolge L6 umgewandelt, was die Ökologische Integrität sowie die Dürreregulierung erhöht. Ein weiterer Vorteil von L6 ist der Anbau von Leguminosen in Form von Erbsen. Diese haben ein ausgesprochen gutes Stickstoffbindungspotential und liefern somit einen Beitrag zur Kostenminderung und Ressourcenschonung, da weniger stickstoffhaltige Mineraldünger verwendet werden müssen (KREITMAYR & MAYR 2010:43).

Um das Erosionspotential in der Region generell zu senken, ist es von Vorteil auf den Einsatz von Pflugsaat zu verzichten. Eine Alternative hierzu ist die konservierende Bearbeitung mittels Mulchsaat. Hierbei liegt die Eingriffstiefe in den Boden mit 5-8 cm deutlich unter den Werten der Pflugbearbeitung (25-30 cm) (BERG et al. 2012:42). Zusätzlich verbleiben bei einer pfluglosen Bearbeitung vermehrt Pflanzenreste auf dem Acker, was als Mulchzone den Boden vor Erosion und Verschlammung schützt (KREITMAYR & MAYR 2010:42; BERG et al. 2012:35). Von Nachteil ist jedoch, dass aufgrund der weniger tiefen Bodenbearbeitung Schädlinge wie Mäuse und Schadgräser begünstigt werden und es demzufolge zu Ernteeinbußen kommen kann (BERG et al. 2012:51). Auch der Feldaufgang nimmt bei der Verwendung der Mulchsaat im Vergleich zur der tiefgründigeren und intensiveren Bodenbearbeitung ab (BERG et al. 2012:49).

In GISGAME werden die Fruchtfolgen zwischen Bearbeitung mit Pflugsaat und Mulchsaat ebenfalls differenziert. Die Nahrungs- und Futtermittelproduktion beträgt in beiden Bearbeitungsstrategien jedoch 100 und nimmt nicht, wie angenommen, unter konservierenden Bearbeitungen ab. Demnach wird in vorliegendem Szenario bei allen angebauten Fruchtfolgen eine Mulchsaat verwendet. Insgesamt sollte hierbei jedoch jede landwirtschaftliche Fläche auf die optimale Bewirtschaftungsform angepasst werden, was mittels der vorliegenden Daten nicht umzusetzen ist.

4.2.4 Gegenüberstellung der landwirtschaftlichen Szenarien

Im Vergleich der ÖSDs der vorgestellten Szenarien zeigt sich, dass Szenario LW1 die größten Verbesserungen an der Bewertung erzielt (Tabelle 15). Der Charakter der Kachel konnte in diesem Szenario jedoch nicht beibehalten werden. Die Nahrungsmittelproduktion, welche in der für die Landwirtschaft repräsentativen Kachel im Vordergrund steht, nimmt um 40 Punkte ab und liegt somit im Durchschnitt der Region. Eine Anpassung der gesamten Landwirtschaft in diesem Maße wäre nicht zielführend, da die Maßnahmen äußerst kostenintensiv sind und die Nahrungs- und Futtermittelversorgung nicht mehr gewährleistet wird. Die vielfältigen Fruchtfolgen der unterschiedlich bewirtschafteten Flächen bieten zusätzlich eine Abwechslung des Landschaftsbildes, was durch den Umbau zu Kurzumtriebsplantagen und großflächigen Wäldern nicht gegeben ist.

Das zweite Szenario LW2 zeigt erfolgreich, dass Änderungen zu Gunsten aller ÖSDs auch bereits mit kleinen Eingriffen in die bestehende Landnutzung möglich sind. In diesem Szenario

können die Biomasse und die Kohlenstoffspeicherung durch die Aufforstung brachliegender Flächen sowie einem Aufstocken von Grasflächen zu Hecken und vorhandenen Hecken zu Vorwäldern um jeweils 4 Punkte erhöht werden. Die Nahrungs- und Futtermittelproduktion nimmt ebenfalls um 1 Punkt zu, da geeigneterer Fruchtfolgen angebaut werden. Der landwirtschaftliche Charakter der Kachel bleibt somit bestehen und wird darüber hinaus verbessert. Gleichzeitig wird die aufgrund von ungeeigneten Fruchtfolgen begünstigte Erosion gemindert (GRASS & SCHEFFER 2003:1).

Das dritte Szenario LW3 bietet einen integrativen Ansatz. Auch hier können signifikante Verbesserungen in den ÖSD-Bewertungen erzielt werden, ohne jedoch den agrarwirtschaftlichen Charakter der untersuchten Region zu verändern. Die Nahrungs- und Futtermittelproduktion sinkt lediglich um 3 Punkte, während die übrigen ÖSDs um 5-16 Punkte ansteigen. Im Vergleich zu Szenario LW2 erhöhen sich die Produktion der Biomasse und die Kohlenstoffspeicherung um weitere 2 Punkte. Zur Steigerung des Erosionsschutzes und der Dürreregulierung dient insbesondere die Änderung von Pflug- zu Mulchsaat. Mit einer Erhöhung von 11 und 9 Punkten ist die Verbesserung selbst gegenüber dem Szenario LW1 stärker ausgeprägt.

In der Gesamtbetrachtung erreicht das zweite Szenario lediglich 15 Punkte. Szenario LW1 erzielt eine Verbesserung von 56 Punkten, während in Szenario LW3 die Gesamtbewertung um 50 Punkte erhöht wird (bereits abzüglich der Verschlechterungen). Im Hinblick auf die Investitionen und Maßnahmen, die die Umsetzung dieses Szenarios mit sich bringt, wird jedoch das dritte Szenario präferiert.

Tabelle 15: ÖSD-Bewertungen für die Landwirtschaftsszenarien im Vergleich.

	Ausgangszustand	Werte der Kriterien			Veränderung		
		Szenario LW1	Szenario LW2	Szenario LW3	Szenario LW1	Szenario LW2	Szenario LW3
Erholung	31	50	32	36	19	1	5
Futter, Nahrung	78	38	79	75	-40	1	-3
Biomasse	1	25	5	7	24	4	6
CO2-Seq.	1	28	5	7	27	4	6
Erosionssch.	81	92	83	92	11	2	11
Dürrereg.	37	44	39	46	7	2	9
Ökol. Integr.	34	42	35	50	8	1	16

4.3 Forstwirtschaftliche Fläche

Stellvertretend für forstwirtschaftlich dominierte Areale in der RegioPower3 Region erfolgt die Durchführung von Analysen zu Ökosystemdienstleistungen und Bewirtschaftungsmaßnahmen sowie die Entwicklung von landschaftsplanerischen Empfehlungen für die Kachel 9:4. Sie ist gekennzeichnet durch einen hohen Wald- und Graslandanteil von 70 bzw. 19 %, wohingegen die urbane und landwirtschaftliche Nutzung eine geringere Bedeutung aufweisen. Da im Vergleich zur Gesamtregion der Anteil agrarisch genutzter Flächen mit 3,4 % um ein Vielfaches geringer ist, liegt auch die Futter- und Nahrungsmittelproduktion deutlich unter dem Regionsdurchschnitt. Aufgrund der Dominanz naturnaher Landnutzungstypen ergibt sich jedoch

bezüglich der anderen Ökosystemdienstleistungen eine Bewertung, die wesentlich über dem Regionsmittel liegt. Vor allem das großflächig vorhandene, weitgehend naturnahe Ökosystem Wald erbringt vielfältige Funktionen, die sich in der quantitativen Beurteilung widerspiegeln. So stellt Wald den „wirksamste[n] Verhinderer von Erosion überhaupt“ dar (OTTO 1994:167), da die Interzeption der Baumkronen die Infiltration begünstigt und in der Regel erosiven Oberflächenabfluss verhindert. Der Erosionsschutz der Kachel ist daher äußerst positiv zu bewerten. Weiterhin wirkt die relativ höhere Wasserspende in Trockenperioden dürreregulierend (OTTO 1994:158ff.). In Wäldern erfolgt ein erhöhter Aufbau von Biomasse, sodass Kohlenstoff langfristig gebunden wird. Sie sind deshalb die größten terrestrischen Kohlenstoffspeicher. Naturnahe Bestände stellen außerdem den Lebensraum zahlreicher Arten dar und bieten mit ihrem angenehmen Klima, der Stille und Luftreinheit wichtige Erholungsfunktionen für die Bevölkerung (KATHOL 1998:18; s. Kapitel 4.1).

Im Folgenden wird diskutiert, inwieweit sich die entwickelten Szenarien auf die Bereitstellung dieser Ökosystemfunktionen in der Region auswirken sowie Vor- und Nachteile der entsprechenden Maßnahmen erläutert.

4.3.1 Szenario FW1

Laut KATHOL (1998:15) ist die Holzproduktion nach wie vor die wichtigste Funktion des Waldes. In Szenario FW1 liegt daher der Fokus primär auf der Erhöhung der Biomasseproduktion und der damit verbundenen ökonomischen Leistung. Hierzu erfolgen der vollständige Waldumbau sowie die Aufforstung von Grasland und Ackerflächen in den hinsichtlich der Biomasse am höchsten bewerteten Douglasien-Buchen-Mischwald.

Die ursprünglich aus Nordamerika stammende Douglasie zählt aufgrund ihrer hohen Wuchsleistung, einem geringen Produktionsrisiko im Alter und „hervorragenden Holzeigenschaften“ weltweit zu den wichtigsten Nutzhölzern (BORCHERT & HAHN 2008:51). Im Vergleich zur aktuell im Untersuchungsgebiet dominierenden Fichte bietet sie einige Vorteile. So ist ihr Holz fester und resistenter und die Erträge sind je nach Standort vergleichbar bzw. höher. Außerdem erzielt sie u.a. in den USA stets die höchsten Schnittholzpreise der Nadelbaumarten (BORCHERT & HAHN 2008:52; LWF o.J.). Da sie zudem trockenere Standorte bevorzugt und weniger windwurfanfällig ist, weckt sie „unter den Zeichen des Klimawandels [...] immer mehr Interesse bei den Waldbesitzern“ (BORCHERT & HAHN 2008:51). Demgegenüber stehen höhere Kosten für die Anpflanzung, ein höheres Risiko in der Jugendphase sowie die generelle Gefährdung durch Spätfrost und Schneebruch (KATHOL 1998:45). Um das Produktions- und Preisrisiko zu streuen, „empfiehlt es sich, nicht allein auf Douglasie zu setzen“ (BORCHERT & HAHN 2008:53). Szenario FW1 sieht daher den Anbau zusammen mit Buche vor. Diese ist in Deutschland die konkurrenzstärkste und ursprünglich häufigste Baumart (ALTENKIRCH et al. 2002:22; KATHOL 1998:46). Sie ist relativ risikoarm, bietet eine hohe Betriebs- und Planungssicherheit und liefert vielseitig nutzbares Holz (LWF o.J.). Aufgrund ihres Herzwurzelsystems ist sie ebenfalls äußerst stabil und nur in vernässten Lagen windwurfgefährdet. Jedoch sind junge Bäume frostempfindlich und oftmals von Wildverbiss betroffen (LWF o.J.). Moderate Klimaänderungen führen, wie Studien von KÖLLING et al. (2007:586) zeigen, nicht zur Einschränkung ihres Verbreitungsgebietes, sondern vielmehr zur zunehmenden Ausdehnung auf Gebirgslagen. Die Buche kann daher „als wichtigste Baumart der gegenwärtigen und zukünftigen natürlichen Waldgesellschaft“ angesehen werden (KÖLLING et al. 2007:586).

4.3.2 Szenario FW2

Szenario FW2 legt den Fokus auf die Erhöhung der Naturnähe und der Ökologischen Integrität der vorhandenen Wälder. Hiermit sollen die Ziele einer nachhaltigen Waldwirtschaft verfolgt werden, welche die Funktionsfähigkeit des Systems langfristig sichert und „den Waldbestand als Ganzes dem natürlichen Gleichgewicht annäher[t]“ (KATHOL 1998:52). Diesbezüglich bestehen noch einige Defizite, da in der Region wie im gesamten Erzgebirge vorwiegend eine nadelholzdominierte Bewirtschaftung mit altersklassenbetonten Fichtenforsten vorliegt (MOSANDL 1996:53). Hingegen fehlen artenreiche, strukturierte Bergmischwälder (GEROLD 1996:126). Reinbestände kommen von Natur aus nur auf Extremstandorten, die zu kalt, zu trocken oder zu nass sind, vor (OTTO 1994: 169). Ihre Dominanz im Untersuchungsgebiet ist daher auf die forstwirtschaftliche Tätigkeit zurückzuführen, welche aufgrund ökonomischer Aspekte wie einem schnellerem Wachstum und einer einfacheren Aussaat die ursprünglich vorherrschenden Buchen-Mischwälder durch Nadelholz ersetzte (KATHOL 1998:13f). Zwar sind solche Wirtschaftswälder nicht per se störungsanfälliger, jedoch ist Nadelgehölz labiler gegenüber Winterstürmen, Schnee, Waldbränden sowie Nadelfraß durch Insekten und besitzt ein geringeres Regenerationsvermögen (ALTENKIRCH et al. 2002:31f). Wegen der aktuellen Umweltveränderungen und damit verbundenen Unsicherheiten sind sie daher „bevorzugt umzubauen“ (KÖLLING et al. 2007:588). Szenario FW2 sieht deswegen die Beimengung weiterer Arten in die bestehenden Reinbestände vor, womit sowohl Biodiversität und Strukturvielfalt als auch die Risikoverteilung erhöht wird (THOMASIU 1996:25). Die Wahl der Baumarten berücksichtigt dabei einerseits ökologische, andererseits auch ökonomische Aspekte, um die Akzeptanz der Maßnahmen bei den Forstwirten zu steigern. So wird in den Fichten- und Lärchen-Reinbeständen zusätzlich Buche eingeführt und auf weiteren Flächen Fichte, Kiefer und die zuvor vorgestellte Douglasie angebaut.

Zwar steigt das Anbaurisiko der Fichte, die anfällig für Windwurf und Trockenheit ist, zukünftig an (KÖLLING et al. 2007:587), jedoch ist sie aufgrund ihrer geringen Anbaukosten infolge sehr guter Naturverjüngung, ihres schnellen Wachstums sowie der Unempfindlichkeit gegenüber Frost, Unkraut und Wildverbiss für Forstwirte äußerst attraktiv (LWF o.J.). Außerdem ist davon auszugehen, dass zumindest in den niederschlagsreichen Hochlagen des Erzgebirges innerhalb der Umtriebszeit von 80–100 Jahren der Ertrag des relativ anspruchslosen Baumes nicht wesentlich sinkt, sofern Mischbestände mit „dauerwaldartigen Strukturen“ vorliegen (CORNELSEN 2000:45; KATHOL 1998:41; LWF o.J.).

Im Gegensatz zur Fichte ist die Kiefer bei ähnlichen Holzpreisen sehr gut an Trockenheit angepasst und infolge ihres tiefreichenden Pfahlwurzelsystems weniger windwurfgefährdet. Ihre Anspruchslosigkeit und Unempfindlichkeit gegenüber Hitze und Frost machen sie daher ebenfalls zu einer wirtschaftlich attraktiven Baumart in der Region (KATHOL 1998:43; LWF o.J.).

Da Buchen-Eichen-Mischwälder die potentielle natürliche Vegetation Mitteleuropas darstellen (KATHOL 1998:13), wird in den Buchen-Reinbeständen Eiche hinzugefügt. Sie zählt laut LWF (o.J.) zu den wertvollsten heimischen Holzarten. Zwar ist infolge ihres langsamen Zuwachses die Umtriebszeit mit 140–180 Jahren hoch und die Ertragsleistung relativ gering, dies „wird [jedoch] durch einen hohen Holzpreis wieder ausgeglichen“ (KATHOL 1998:46). Auch bezüglich der zukünftigen klimatischen Entwicklung erweist sie sich aufgrund ihrer massiven Pfahlwurzeln als besonders sturmfest und trockenresistent. Zudem besitzen Eichenwälder wegen ihrer lichten Kronen eine besonders hohe Biodiversität (LWF o.J.).

Weiterhin soll im Bereich feuchter Grundwasserböden den Eichenbeständen Schwarzerle beigemischt werden. Diese sind mit ihrem tiefen Wurzelwerk ebenfalls sturmfest und stabilisieren Hänge sowie den Uferbereich der Flüsse (KATHOL 1998:49f)).

Von Eingriffen in die bestehenden Ackerflächen und Grasländer wird aufgrund des erwarteten Widerspruchs der Landwirte abgesehen. Grasflächen zählen zudem zur Kulturlandschaft und sind daher naturschutzrelevant. Es handelt sich um Ökosysteme mit einer hohen biologischen Diversität, welche die Strukturvielfalt der Landschaft erhöhen, indem sie Waldflächen unterbrechen und so artenreiche, ästhetische Waldrandbereiche schaffen (DIERSCHKE & BRIEMLE 2008:10).

4.3.3 Szenario FW3

In Szenario FW3 steht ein integrativer Ansatz im Vordergrund, welcher die „nachhaltige Sicherung aller Waldfunktionen [...] durch standortgemäße Baumartenwahl [und] durch eine höchstmögliche Struktur- und Arten-Diversität“ zum Ziel hat (ALTENKIRCH et al. 2002:34). Hierbei wird berücksichtigt, dass sich in den letzten Jahren die Anforderungen dahingehend verändert haben, dass der Wald neben der Energie- und Bauholzgewinnung zunehmend als Ökosystem wahrgenommen wird, welches die Lebensqualität steigert und sich günstig auf Klima, Wasserhaushalt und Luftreinheit auswirkt (KATHOL 2002:15).

Wie bereits in Szenario FW2 werden Reinbestände aufgrund der genannten Vorteile in Mischbestände umgebaut. Um hierbei die Arten- und Strukturvielfalt zu erhöhen, erfolgt ein deutlich heterogener Waldumbau sowohl bezüglich der Artzusammensetzung als auch der räumlichen Anordnung. So tragen im Ergebnis erneut hauptsächlich Buche sowie Fichte, Kiefer, Douglasie und Eiche zum Bestandsaufbau bei, daneben wird jedoch vermehrt Tanne angepflanzt. Bei ihr handelt es sich ursprünglich um die Nadelbaumart mit der größten natürlichen Verbreitung in Mitteleuropa. Ihre Ertragsleistung liegt auf dem Niveau der Fichte, wobei der Holzpreis etwas niedriger ist (KATHOL 1998:42). Bezüglich der Klimaerwärmung ist die Tanne eher zur Ansiedlung in den höheren Lagen der Region geeignet, da sie ein kühles, feuchtes Klima bevorzugt. Nichtsdestotrotz stellt sie eine wichtige Baumart bei der Adaption der Wälder an den Klimawandel dar, da sie mit ihren tiefreichenden Wurzeln gut an Extremereignisse wie Dürre, Sturm und Sturzfluten angepasst ist (MÖBNANG 2004:20). Ökologisch empfiehlt sich die Tanne aufgrund ihrer besonderen Eignung zur Beimischung zu Buche und Fichte sowie zum Aufbau eines stufigen Plenterwaldes (KATHOL 1998:42).

Die kleinräumige Ausdehnung der einzelnen Bestände erzeugt dabei eine Strukturvielfalt, welche sich positiv auf die Artenvielfalt auswirkt und ökologische Nischen schafft (GRANKE 2005:11). Außerdem bietet dieses mosaikartige Vorgehen die Möglichkeit, bei der Umsetzung der Maßnahmen die jeweiligen Standorteigenschaften verstärkt zu berücksichtigen.

Neben dem Umbau bestehender Forstflächen wird in den aus Birken und Eichen aufgebauten Aufforstungsflächen Buche angesiedelt. Aufgrund ihrer hohen Artenvielfalt sind Eichen-Birken-Wälder zwar ökologisch wertvoll, jedoch ist die Birke eine typische Pionierbaumart, die nur auf sehr extremen Standorten langfristig stockt und eine kurze Umtriebszeit von 30–50 Jahren besitzt (LWF o.J.; KATHOL 1998:51). Das sukzessive Hinzufügen der Buche hat das Ziel, einen beständigen Dauerwald zu schaffen.

Brachliegende Flächen sind aufgrund fehlender Bedeckung und Stabilisierung durch Wurzelwerk besonders erosionsanfällig. Daher und aufgrund stärkerer Extrema des Lokalklimas hagert der Boden zunehmend aus (KATHOL 1998:37). Eine Aufforstung wirkt dem entgegen. Hierzu eignet sich unter anderem die lichtbedürftige, anspruchslose und frostunempfindliche Birke. Sie findet außerdem häufig „an Bestandesrändern zur abwechslungsreichen Gestaltung des Landschaftsbildes“ Verwendung (KATHOL 1998:51). Neben der Birke wird Pappel aufgeforstet, welche ebenfalls eine kurze Umtriebszeit von 30–50 Jahren aufweist und viel Licht benötigt. Sie ermöglicht eine schnelle und leistungsfähige Holzproduktion und wird häufig für Hecken und

Allein genutzt. Zu beachten ist, dass Pappeln frische, gut durchlüftete Böden benötigen und daher vorwiegend auf grundwassernahen Standorten siedeln (LWF o.J.). Eine weitere Baumart, welche sich gut zur Erstaufforstung eignet und „viele ökologische und wirtschaftliche Vorteile“ bietet, ist Ahorn (LWF o.J.). Die Baumart kommt gewöhnlich in buchenreichen Wäldern des Hügel- und Berglandes vor, sodass diese Kombination auch im Untersuchungsgebiet favorisiert wird.

Versiegelte Flächen wirken sich negativ auf den Boden- und Wasserhaushalt sowie das Kleinklima aus (UBA 2013:o.S.). Da in Deutschland die Flächenversiegelung stetig zunimmt, empfiehlt sich der Rückbau nicht mehr genutzter Bereiche. So sieht Szenario FW3 für die ehemalige Grenzanlage in die Tschechische Republik die Aufforstung mit wirtschaftlich relevanten Douglasien-Buchen-Wäldern vor. Dies soll neben der effizienteren Flächennutzung zur Erhöhung der Ökologischen Integrität und Infiltration sowie zur Verringerung der Landschaftszerschneidung beitragen.

Weiterhin erfolgt die Rekultivierung der ebenfalls ungenutzten Tagebauanlagen. Diese werden zum einen als äußerst unästhetisch empfunden (UFZ 1998:o.S.), zum anderen sind sie aufgrund ihres geringen Bedeckungsgrades und starken Hangneigungen sehr erosionsanfällig (RETZLAFF et al. 2013:2). Indem die Umwandlung in ein Feuchtgebiet – eventuell mit integriertem See – bzw. die Aufforstung mit Eiche-Ahorn erfolgt, entstehen Naherholungsgebiete, welche die touristische Attraktivität der Region steigern. Feuchtgebiete stellen einerseits Erholungsräume dar, andererseits sind sie Lebensraum zahlreicher Tier- und Pflanzenarten, wirken sich positiv auf den Wasserhaushalt aus und sind somit „bedeutende[...] Ökosysteme“ (BfN 2013:o.S.). Aus diesen Gründen sieht eine weitere Maßnahme die Etablierung zusätzlicher Feuchtgebiete um den See nördlich von Altenberg vor.

Da Ahorn in Waldrandbereichen eine landschaftspflegliche Baumart ist und aufgrund der herbstlichen Laubfärbung als äußerst ästhetisch empfunden wird, erfolgt ebenfalls die Aufforstung von Ahorn-Mischbeständen auf Grasland in Siedlungsnähe.

Entlang der Straßen und Flussläufe im landwirtschaftlicher geprägten Westen findet ebenfalls die Anpflanzung von Ahorn-Mischbeständen statt. Ihre Wurzeln sichern einerseits die Flussufer vor Erosion, andererseits erhöht die Maßnahme den Biotopverbund und dient dem Wind-, Lärm- und Sichtschutz. Auf Grasland erfolgt in Flussnähe zusätzlich die Ansiedlung von (Stiel-) Eiche, Schwarzerle und Esche, welche an hohe Grundwasserstände angepasst sind. Ihr tiefreichendes Wurzelsystem stabilisiert den Boden und sorgt für eine hohe Standfestigkeit der Bäume (KATHOL 1998:48f).

4.3.4 Gegenüberstellung der forstwirtschaftlichen Szenarien

Tabelle 16 stellt die Bewertung der Szenarien der Ausgangssituation gegenüber. Wie zu sehen ist, führen in Szenario FW1 der Umbau und die Aufforstung zu Douglasien-Buchen-Wäldern zur gewünschten Erhöhung der Biomasseproduktion sowie entsprechender Gewinne. Neben den im Fokus stehenden ökonomischen Aspekten können außerdem Verbesserungen anderer ÖSDs erreicht werden. So wird gleichzeitig – zumindest bezüglich der Baumarten – die Anpassung der Bestände an klimatische Veränderungen optimiert. Zudem stellt die Erhöhung des Waldanteils aufgrund der zusätzlichen Akkumulation von Kohlenstoff eine global-klimatisch relevante Maßnahme dar, um den CO₂-Anstieg in der Atmosphäre zu drosseln (THOMASIU 1996:21). Infolge der Aufforstung von erosionsgefährdeten Ackerflächen und Grasland kann außerdem der bereits sehr hohe Erosionsschutz auf ein Maximum gesteigert werden. Auch die regulierende Wirkung von Waldbeständen auf den Wasserhaushalt wird in der Bewertung deutlich. Als weiterer positiver Nebeneffekt zeigt sich die Erhöhung der Erholungsleistung. Da

Wälder aufgrund ihrer lärmdämmenden Wirkung, der Filterung der Luft von Schadstoffen und Stauben sowie des kühleren Bestandesinnenklimas ein vergleichsweise höheres Regenerationspotential bieten, ist dieser Anstieg ebenfalls auf die Bepflanzung von Ackerflächen und Grasflächen zurückzuführen (OTTO 1994: 164ff.). Hingegen liegt durch den homogenen Anbau von Douglasien-Buchen-Beständen keine Steigerung der Ökologischen Integrität vor, was auf die Naturferne der unter ökonomischen Gesichtspunkten angelegten Wälder deutet.

Die in Szenario FW2 mit geringfügigen Eingriffen erzielte Bewertung der ÖSDs ist insgesamt positiv zu beurteilen. Der Umbau in Mischbestände erhöht trotz Berücksichtigung ökonomischer Faktoren im Gegensatz zu Szenario FW1 die Ökologische Integrität des Gebietes deutlich. Auch die Erholungsleistung steigt infolge der abwechslungsreicheren Gestaltung an (KATHOL 1998:18). Die Einführung von vorwiegend Buchen-Mischbeständen beeinflusst außerdem die Dürreregulation positiv. Da die Wahl der Baumarten deren Ertragsleistung berücksichtigt, liegen keine ökonomischen Verluste infolge sinkender Biomasseproduktion vor. Auch auf die Futter- und Nahrungsmittelproduktion, die CO₂-Sequestrierung sowie den Erosionsschutz wirken sich die Eingriffe wegen des Erhalts der ursprünglichen Flächennutzung nicht aus.

Im Vergleich ermöglicht Szenario FW3 eine weitere Erhöhung der Ökologischen Integrität. Daneben führt die Einbringung ästhetischer Arten wie Ahorn und Birke, das Anlegen von Feuchtgebieten sowie die abwechslungsreiche Landschaftsgestaltung zur stärksten Steigerung des Erholungswertes. Die Etablierung von Feuchtgebieten und die Erweiterung der Bestandsflächen führen ebenfalls zur Anhebung der Dürreregulation, Biomasse und CO₂-Sequestrierung. Trotz der Aufforstung einiger Ackerflächen steigt außerdem die Futter- und Nahrungsmittelproduktion. Dies reflektiert die potentielle Nutzung des Waldes u.a. als Waldweide sowie als Nahrungslieferant, wie für Pilze und Wildkräuter (MAYER et al. 2004:42; HECK 2010:6).

Die Betrachtung der Landschaftsstrukturmaße zeigt, dass Szenario FW3 bezüglich der verbundenen naturnahen Fläche und des Shannon's Diversity Indexes eine Erhöhung gegenüber der Ausgangssituation bzw. Szenario FW2 ermöglicht, auch wenn die Werte, die bei einer vollständigen Aufforstung möglich wären, nicht erreicht werden. Analog ergibt sich bei der Einbeziehung der LSM in die Bewertung die Einordnung des neutralen Szenarios FW3 zwischen Szenario FW2, wo z.T. negative Effekte auftreten, und Szenario FW1, in welchem sich die LSM durchweg positiv auswirken. Eine Verbesserung der bestehenden Landschaftszerschneidung ist in keinem Szenario möglich, da hierzu der Straßenrückbau und Eingriffe in die Siedlungsstruktur notwendig wären. Die Umsetzung solcher Maßnahmen ist jedoch sehr unwahrscheinlich, da gegenwärtig eher neue Straßen angelegt bzw. bestehende ausgebaut werden.

Szenario FW1 zeigt zwar die gewünschten ökonomischen Wirkungen und darüber hinaus eine Steigerung fast sämtlicher ÖSDs, die ausbleibende Erhöhung der Ökologischen Integrität lässt jedoch auf eine geringe ökologische Stabilität schließen. Diese ist jedoch Voraussetzung für den Erhalt der gesamten Leistungsfähigkeit (KATHOL 1998:19). Insbesondere die großflächige Homogenisierung der Region, die Veränderung der Artenzusammensetzung durch Einführung der Douglasie als Neophyt sowie die Vernachlässigung von Standortunterschieden führen im Zuge der Ertragssteigerung zur Entwicklung „besonders störanfällige[r]“ Wirtschaftswälder (ALTENKIRCH et al. 2002:31,33). Dies ist umso problematischer, da infolge des Klimawandels Störungen wie Stürme, sommerliche Hitzeperioden und Schädlingskalamitäten zunehmen werden (OTTO 1994:156). Außerdem ist der Umbau aller Waldbestände sowie im Speziellen die Aufforstung von Ackerflächen und Grasland aufgrund divergierender Interessen der Landeigner

unwahrscheinlich und mit enormem Kosten-, Arbeits- und Zeitaufwand verbunden. Darüber hinaus stellen Ackerflächen und Grasland eigenständige Ökosysteme dar, welche die Strukturvielfalt und Biodiversität der gesamten Landschaft erhöhen. Ihre vollständige Aufforstung ist daher weder realistisch noch wünschenswert.

Die Maßnahmen von Szenario FW2 berücksichtigen hingegen Interessen der Landwirte und ermöglichen durch minimale Eingriffe die Umsetzung einer nachhaltigeren Waldwirtschaft, welche die Ökologische Integrität und den Erholungswert steigert. Im Vergleich haben die Umbaumaßnahmen einen geringen Kostenaufwand sowie durch Erhaltung der ursprünglichen Art im Bestand und sukzessive Pflanzung der neuen Art einen geringeren Arbeitsaufwand.

Der integrierte Ansatz von Szenario FW3 ermöglicht gegenüber Szenario FW2 mittels einer realistischen Erweiterung des Maßnahmenkatalogs eine zusätzliche und vielfältigere Steigerung der ÖSDs der Region. Hier wird eine Landschaft geschaffen, deren abwechslungsreiche Biotopstruktur und Artenvielfalt bessere Möglichkeiten zur Selbstregulation bietet. Die gesteigerte Ökologische Integrität lässt auf eine höhere Stabilität der Waldökosysteme schließen, welche laut KATHOL (1998:57) höhere Sicherheiten, geringere Kosten und mehr Ertrag – auch im Zusammenhang mit einer Klimaänderung – gewährleistet. Die abwechslungsreiche Landschaft mit naturnahen Wäldern in denen Laubholz- oder Mischkulturen sowie Naturverjüngung gefördert werden, erhöht die Attraktivität als Fremdenverkehrs- und Ausflugsgebiet (KATHOL 1998:18). Dies korreliert mit der seit Aufgabe des Zinnbergbaus 1991 stetig gestiegenen Bedeutung des Tourismus in der Bergregion (HENTZSCHEL o.J.).

Zur wirtschaftlichen Förderung der Region in Zusammenhang mit einer nachhaltigen, an den Klimawandel angepassten Forstwirtschaft empfiehlt sich daher die Umsetzung der in Szenario FW3 vorgestellten Maßnahmen.

Tabelle 16: ÖSD-Bewertungen für die Forstwirtschaftsszenarien im Vergleich.

	Ausgangszustand	Werte der Kriterien			Veränderung		
		Szenario FW1	Szenario FW2	Szenario FW3	Szenario FW1	Szenario FW2	Szenario FW3
Erholung	71	76	76	79	5	5	8
Futter, Nahrung	9	8	9	10	-1	0	1
Biomasse	35	85	35	44	50	0	9
CO ₂ -Sequ.	39	85	39	47	46	0	8
Erosionssch.	99	100	99	99	1	0	0
Dürrereg.	61	66	63	65	5	2	4
Ökol. Integr.	42	42	56	60	0	14	18

4.3.5 Auswertung der Simulationen im Biomassemodul

Die Bewertung unterschiedlicher forstlicher Bewirtschaftungen, mit denen Maßnahmen des in Szenario FW3 vorgeschlagenen integrierten Ansatzes über einen längeren Zeitraum umgesetzt werden, erfolgt mittels des Biomassemoduls.

Die Analysen zeigen, dass durch einen kompletten Kahlschlags kurzfristig wesentlich höhere Erträge möglich sind. Dabei ist zu beachten, dass Kahlschläge dennoch „viele waldbauliche und wirtschaftliche Nachteile“ aufweisen (KATHOL 1998:54). So führen sie zur Vergrasung, Auslagerung oder Vernässung des Bodens sowie zum Verlust von Nährstoffen. Neben den

pedologischen Beeinträchtigungen wird auch das Mikroklima dahingehend beeinflusst, dass extreme Witterungsbedingungen häufiger auftreten. Wiederaufforstungen sind vermehrt Strahlung, Überhitzung, Trockenheit, Frost und Wind ausgesetzt, wodurch ihr Wachstum beeinträchtigt wird. Zudem liegen günstige Bedingungen für viele Schädlinge und Pilzkrankheiten vor, sodass Massenvermehrungen nicht selten sind. Die Aufforstung an sich ist außerdem kostenintensiv, arbeitsaufwendig und wegen der problematischen Waldhygiene mit einem hohen Risiko verbunden (KATHOL 1998:54). Weiterhin steigt infolge der fehlenden Bedeckung das Erosionsrisiko. Der vorbeugende Hochwasserschutz des Waldes durch seine Infiltrationsfähigkeit und Wasserretention ist nicht mehr gegeben, weshalb bei Starkregenereignissen lokal das Risiko für mittlere Flussüberschwemmungen und Sturzfluten steigt. Darüber hinaus wird dem Verlust von Waldbestockung auch eine „verschärfende Wirkung“ für das Auftreten extremer, großräumiger Hochwasserereignisse beigemessen (KENNEL 2004:40).

Szenario BM2, welches vorsieht, nicht alle Flächen zeitgleich kahlszuschlagen, zeigt mit BM1 vergleichbare Erträge. Zudem werden diese kontinuierlicher erbracht, da sich die Erntemaßnahmen über mehrere Jahre erstrecken. Somit ist der jeweilige jährliche Kosten-, Arbeits- und Zeitaufwand geringer. Nichtsdestotrotz liegt nach wie vor dieselbe ökologische Problematik vor. Die waldbauliche Bewirtschaftung mittels Kahlschlag ist daher nur kleinräumig in Ausnahmefällen zu empfehlen. Stattdessen sollte ein kontinuierlicher Waldumbau möglichst mit Verjüngung unter Schirm oder in Femelgruppen erfolgen (KATHOL 1998:37).

Szenario BM3 zeigt, dass hiermit im Endeffekt vergleichbare Erntemengen möglich sind. Die vorgeschlagenen waldbaulichen Maßnahmen erzielen nach 200 Jahren insgesamt eine Ertragssteigerung um 190 % gegenüber dem mit Fortführung der bisherigen Bewirtschaftung möglichen Ertefvolumen. Neben der Vermeidung der aufgezeigten negativen Effekte führen der Verzicht auf Kahlschläge und die vorgenommenen Neuaufforstungen zur zusätzlichen Erhöhung des gespeicherten Kohlenstoffs (OTTO 1994:158). In Kombination mit natürlicher Waldverjüngung ermöglichen solche ökologisch fundierten Waldbauprogramme die „nachhaltige Sicherung aller Waldfunktion“ (ALTENKIRCH et al. 2002:34).

5 Fazit

Die vorliegende Arbeit entwickelt mithilfe des Softwaretools GISCAM Strategien für die Optimierung der Landnutzung für jeweils überwiegend urban, landwirtschaftlich und forstwirtschaftlich geprägte Gebiete innerhalb der RegioPower3 Region in Sachsen. Die Landnutzungsanpassung erfolgt dabei im Hinblick auf ökologische, ökonomische und kulturelle Kriterien, die in der Bewertung durch die Ökosystemdienstleistungen Biomasseproduktion, CO₂-Sequestrierung, Nahrungs- und Futtermittelproduktion, Dürreregulation, Erosionsschutz, Ökologische Integrität und Erholung repräsentiert sind.

Bei der Betrachtung der für Siedlungsflächen charakteristischen Kachel 4:6 zeigt sich im Ausgangszustand eine Unterschreitung jeder Ökosystemdienstleistung mit Ausnahme des Erosionsschutzes von mehr als 10 Punkten im Vergleich zum Regionsdurchschnitt. Ziel der Landnutzungsänderung ist daher die Annäherung der Werte an das Regionsmittel, wobei der Fokus insbesondere auf dem Erholungswert und der Ökologischen Integrität liegt. Die vorgestellten Szenarien zeigen, dass eine Verbesserung der ÖSD-Bereitstellung durchaus möglich ist. Die kritische Gegenüberstellung der Szenarien verdeutlicht, dass Szenario S1 mit einer Verbesserung der bestehenden urbanen Struktur eine deutliche Optimierung der Ausgangssituation ermöglicht und aufgrund der generellen Beibehaltung der Siedlungsstruktur zur Umsetzung empfohlen wird.

Im Hinblick auf landwirtschaftlich dominierte Gebiete zeigt sich in der gewählten Kachel 4:1, dass in der Ausgangssituation vier der sechs betrachteten ÖSDs unter dem Regionsdurchschnitt liegen. Besonders auffallend ist hierbei die niedrige Kohlenstoffsequestrierung sowie die geringe Biomasseproduktion, welche die Werte der Region um je mehr als 15 Punkte unterschreiten. Bei der Landnutzungsänderung steht daher die Anpassung dieser Werte an das Regionsmittel im Vordergrund, ohne dabei die charakteristisch hohe Nahrungs- und Futtermittelproduktion der Teilregion zu senken. Sowohl in Szenario LW2 als auch Szenario LW3 können diese Ziele umgesetzt werden. Holistisch betrachtet ist dabei Szenario LW3 zu präferieren, da die vorgestellten Maßnahmen kostengünstiger und mit geringerem Aufwand erfüllt werden können. Insbesondere empfiehlt sich die Umstellung der Ackerbearbeitung von Pflug- zu Mulchsaat, wodurch bereits eine wesentliche Verbesserung der Ökosystemdienstleistungen ermöglicht wird.

Bei der für forstwirtschaftlich genutzte Flächen repräsentativen Kachel 9:4 liegen mit Ausnahme der Futter- und Nahrungsmittelproduktion alle ÖSDs über dem Regionsmittel. Verbesserungspotential besteht vorwiegend hinsichtlich der ökonomisch relevanten Biomasseproduktion und der Natürlichkeit der Forste. Die Analyse der vorgeschlagenen Landnutzungsänderungen zeigt, dass insgesamt der integrative Ansatz in Szenario FW3 als empfehlenswert zu erachten ist. Dieser verfolgt mittels Umbau der Reinbestände in Mischbestände und der Erhöhung der landschaftlichen Vielfalt das Ziel, eine möglichst natürliche und an den Klimawandel angepasste, forstwirtschaftlich geprägte Region mit einem hohen Erholungswert zu etablieren. Dabei ist für die Umstrukturierung des Forstes die Wahl von ökologisch wertvollen, an den Klimawandel angepassten und wirtschaftlich interessanten Baumarten zu beachten. Weiterhin wird aufgrund ökologischer Konsequenzen ausdrücklich die Vermeidung von Kahlschlägen angeraten.

Insgesamt ermöglicht die Umsetzung der empfohlenen Maßnahmen für alle betrachteten Landnutzungsformen eine Steigerung der fokussierten Ökosystemdienstleistungen, ohne dabei die Bereitstellung anderer Funktionen wesentlich zu beeinträchtigen. Weiterhin zeigen sich nicht

nur positive Auswirkungen in dem jeweiligen Teilgebiet, sondern auch für die gesamte RegioPower3 Region.

Diese repräsentativ durchgeführten Analysen zeigen die verschiedenen Optimierungspotentiale für die Teilregion und stellvertretend für viele Gebiete. Die dabei entwickelten Szenarien zeigen die unterschiedlichen Handlungsoptionen und sprechen Vorzugsvarianten aus. Neben der Gesamtoptimierung werden dabei jeweils Schwerpunkte gesetzt, sodass den Forderungen nach einer ausgeglichenen und bedarfsorientierten Verteilung der ökologischen, ökonomischen und kulturellen Anforderungen an eine Landschaft gerecht werden kann.

Literatur

- ALLOWAY, B.J. & D.C. AYRES (1996): Schadstoffe in der Umwelt. Chemische Grundlagen zur Beurteilung von Luft-, Wasser- und Bodenverschmutzungen. Heidelberg: Spektrum.
- ALTENKIRCH, W., C. MAJUNKE & B. OHNESORGE (2002): Waldschutz auf ökologischer Grundlage. Stuttgart: Ulmer.
- AUERSWALD, K. (1993): Bodeneigenschaften und Bodenerosion. Relief Boden Paläoklima 8. Berlin: Gebrüder Borntraeger.
- BENDER, M. & T. SCHÄFER (2009): Seen und Feuchtgebiete. In: <<http://www.bpb.de/gesellschaft/umwelt/dossier-umwelt/61192/seen-und-feuchtgebiete?p=all>> (Stand: 2009) (Zugriff: 2014-04-08).
- BERG, V., O. LAUFER & M. SCHNORBACH (2012): Bodenbearbeitungsversuche der Landwirtschaftskammer Rheinland-Pfalz. In: Bodenbearbeitungssysteme im Fokus von Ökonomie und Ökologie- Handreichung für eine differenzierte Beurteilung. o. A.: Landwirtschaftskammer und Landesregierung Rheinland-Pfalz.
- BFN (BUNDESAMT FÜR NATURSCHUTZ) (2013): Schutz von Feuchtgebieten ökonomisch und ökologisch notwendig. <http://www.bfn.de/0401_pm.html?tx_ttnews%5Btt_news%5D=47641> (Stand: 2013-12-03) (Zugriff: 2014-04-12).
- BMELV (BUNDESMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN) (2013): Landwirtschaft und Ernährung. <<http://berichte.bmelv-statistik.de/SJT-1000200-0000.pdf>> (Stand: 2013) (Zugriff: 2013-03-13).
- BORCHERT, H. & J. HAHN (2008): Die Douglasie. Eine wirtschaftlich lohnende Baumart. Wald-Wissenschaft-Praxis LWF aktuell 65 2008, 51-53.
- BRADY, N.C. & R.R. WEIL (2008¹⁴): The Nature and Properties of Soils. Upper Saddle River: Pearson.
- CORNELSEN (2000): Unsere Welt. Mensch und Raum. Atlas für Thüringen. Berlin: Cornelsen.
- DAILY, G. C. (1997): Nature's Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems. Washington D.C./Covelo: Island Press.
- DIE LANDWIRTSCHAFT (Hrsg.) (1998¹¹): Pflanzliche Erzeugung. Grundlagen des Acker- und Pflanzenbaus, Grundlagen des integrierten Landbaus, Produktionstechnik der Kulturpflanzen, Dauergrünland, Nachwachsende Rohstoffe, ökologischer Landbau, Naturschutz, Landschaftspflege. München: BLV.
- DIERSCHKE, H. & G. BRIEMLE (2008): Kulturgrasland. Wiesen, Weiden und verwandte Staudenfluren. In: POTT, R. (Hrsg.): Ökosysteme Mitteleuropas aus geobotanischer Sicht. Stuttgart: Ulmer.
- DOLLINGER, F. (1989): Landschaftsanalyse und Landschaftsbewertung. Mitteilungen des Arbeitskreises für Regionalforschung 2. Wien: Arbeitskreis für Regionalforschung.
- GEROLD, D. (1996): Empfehlungen für den Waldumbau im Mittelgebirge auf der Grundlage von Bestandeszieltypen. Schriftenreihe der Sächsischen Landesanstalt für Forsten Heft6/96. Graupa: LAF, 118-140.

- GLASER, R. (2007): Ordnung muss sein, naturräumliche und landschaftsökologische Gliederungen. In: GLASER, R., H. GEBHARDT & W. SCHENK (Hrsg.): Geographie Deutschlands. Darmstadt: WBG, 20–28.
- GLAWION, R. (2002³): Ökosysteme und Landnutzung. In: LIEDTKE, H. & J. MARCINEK (Hrsg.): Physische Geographie Deutschlands. Gotha: Perthes, 289–320.
- GRANKE, O. (2005): Mit Vielfalt und Struktur nah an der Natur. LWF aktuell 51. 11-13.
- 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. & BASTIAN, O. (2013): Ökosystemdienstleistungen (ÖSDs) – mehr als ein Modewort? In: GRUNEWALD, K. & BASTIAN, O. (Hrsg.): Ökosystemdienstleistungen. Konzept, Methoden und Fallbeispiele. Heidelberg: Springer, 1–12.
- HASELHOFF, W., K.-H. HABEKORN & M. HOFFMANN (2010): Futterroggen. <http://www.landwirtschaft.sachsen.de/landwirtschaft/download/Hasselhoff_Futtertag_2010.pdf> (Stand: 2010) (Zugriff: 2013-03-13).
- HECK, D. (2010): Den Wald nachhaltig nutzen. Norderstedt: GRIN.
- HENTZSCHEL, M (o.J.): Altenberg im Erzgebirge. <<http://bergwacht-altenberg.de/altenberg.html>> (Stand: unbekannt) (Zugriff: 2014-04-07).
- HÖLTERMANN, A., F. KLINGENSTEIN & A. SSYMANK (2008): Naturschutzfachliche Bewertung der Douglasie aus Sicht des Bundesamtes für Naturschutz (BfN). In: <http://www.bfn.de/fileadmin/MDB/documents/themen/landwirtschaft/lwf_wissen_59_13.pdf> (Stand: 2008) (Zugriff: 2014-04-08).
- HUNGER, W., A. WEISE & M. WÜNSCHE (2000): Die Böden im Freistaat Sachsen. Beiheft zur Übersichtskarte. Leipzig: Verlag der Sächsischen Akademie der Wissenschaften zu Leipzig und Landesvermessungsamt Sachsen.
- IBRAHIM, E.S. (2012): Biomass Potentials for Bioenergy Production from built-up areas. <http://www.itc.nl/library/papers_2012/msc/nrm/ibrahim.pdf> (Stand: 2012) (Zugriff: 2013-03-13).
- KATHOL, G. (1998⁵): Waldwirtschaft. Die Landwirtschaft Band 6. München: BLV.
- KENNEL, M. (2004): Vorbeugender Hochwasserschutz durch Wald und Forstwirtschaft in Bayern. Freising: LWF.
- KLIEBSCH, K., U. MÜLLER & R.R. VAN DER PLOEG (1998): Nitrataustrag aus einer ländlichen Siedlungsfläche in Nordwestdeutschland. – Zeitschrift für Pflanzenernährung, Düngung, Bodenkunde 161, 571–576.
- KÖLLING, C., L. ZIMMERMANN & H. WALENTOWSKI (2007): Klimawandel: Was geschieht mit Buche und Fichte? AFZ – Der Wald 11 2007, 584-588.
- 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. – Ecological Indicators 21, 54–66.

- KREITMAYR, J. & K. MAYR (2010): Bewirtschaftungskonzepte bei Cross-Compliance-Auflagen. In: Erosionsschutz-Aktuelle Herausforderungen für die Landschaft der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL). Freising-Tüntenhausen: LfL.
- KRÜGER, S. (2010): Naturnaher Bachwald, Schritt für Schritt. In: Naturschutzarbeit in Sachsen 52, 50-59.
- LANDWIRTSCHAFTSKAMMER NORDRHEIN-WESTFAHLEN (2008): Gras und Klee gras als Futter oder für die Biogasanlage. <<http://www.landwirtschaftskammer.de/landwirtschaft/-ackerbau/gruenland/feldfutterbau-2008.htm>> (Stand: 2008) (Zugriff: 2013-03-13).
- LILBURNE, L., T. WEBB, R. FORD & V. BIDWELL (2010): Estimating nitrate-nitrogen leaching rates under rural land uses in Canterbury. Report-Nr. R10/127. Environment Canterbury. Regional Council.
- LINCKH, G., H. SPRICH, H. FLAIG & H. MOHR (1997): Nachhaltige Land- und Forstwirtschaft. Voraussetzungen, Möglichkeiten, Maßnahmen. Heidelberg: Springer.
- LORENZ, M., C. FÜRST & E. THIEL (2013): A methodological approach for deriving regional crop rotations as basis for the assessment of the impact of agricultural strategies using soil erosion as example. – Journal of Environmental Management 127, S37–S47.
- LWF (BAYRISCHE LANDESANSTALT FÜR WALD UND FORSTWIRTSCHAFT) (2008): Die Eichen mögen es warm. Wald BLW 48, 48-50.
- LWF (BAYRISCHE LANDESANSTALT FÜR WALD UND FORSTWIRTSCHAFT) (o.J.): Waldbaumarten. <<http://www.lwf.bayern.de/wald-baumarten/index.php>> (Stand: unbekannt) (Zugriff: 2014-03-16).
- LANDWIRTSCHAFTSKAMMER NIEDERSACHSEN (2012): Portal Pflanze. <<http://www.lwk-niedersachsen.de/index.cfm/portal/pflanze/nav/278/article/19844.html>> (Stand: 2012) (Zugriff: 2013-03-13).
- MAYER, A.C., V. STÖCKLI, N. GOTSCH, W. KONOLD & M. KREUZER (2004): Waldweide im Alpenraum. Neubewertung einer traditionellen Mehrfachnutzung. Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen 155, 38-44.
- MOSANDL, R. (1996): Strategien und Hemnisse beim Übergang zum „naturnahen“ Waldbau im sächsischen Mittelgebirge. Schriftenreihe der Sächsischen Landesanstalt für Forsten Heft6/96. Graupa: LAF, 53-63.
- MÖSSNANG, M. (2004): Die Weißtanne. Königin mit Potential. Waldbauliches zum Baum des Jahres 2004. Naturnaher Waldbau LWF aktuell 46 2004, 19-21.
- NABU (NATURSCHUTZBUND DEUTSCHLAND) (o.J.): Hecken und heimische Gehölze. In: <<http://www.nabu.de/ratgeber/hecken.pdf>> (Stand: o.J.) (Zugriff: 2014-04-07).
- NEUMANN, P. (1989): Umweltschutz und Stadtentwicklung. Ökologisch-orientierte Planungsmaßnahmen für Siedlungsbereiche mit Wohnnutzung in Stadtrandlage. Münster: Waxmann.
- NIGGLI, U. (2007): Klimawandel-Emissionen senken, Kohlenstoff binden: Bio-Landbau ist gefragt. In: Ökologie & Landbau 143, 3, 47-49.
- 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. <<http://www.landschaftswerkstatt.de/dokumente/erlebnisbereiche.pdf>> (Stand: 2001) (Zugriff: 2014-03-19).
- OTTO, H.-J. (1994): Waldökologie. UTB für Wissenschaft. Große Reihe. Stuttgart: Ulmer.
- PIETSCH G. (2006): Ergebnisse aus Luzerneversuchen in Raasdorf. <http://www.nas.-boku.ac.at/fileadmin/data/H03000/H93000/H93300/Personen/Pietsch/Luzerne_Seminar_GP.pdf> (Stand: 2006) (Zugriff: 2013-03-13).
- PIETZSCH, K. & C. FÜRST (2013): GISGAME. Softwaretool für Planung, Wirtschaft, Wissenschaft und Bildung. <<http://www.giscame.com/giscame/index.html>> (Stand: 2013) (Zugriff: 2014-03-18).
- PIETZSCH, K. (o.J. a): GISGAME. Biomass Module. Manual.
- PIETZSCH, K. (o.J.b): GISGAME. Landscape Structure Module. Manual.
- PROPLANTA (2008): Ertrag und Ernte von Sonnenblumen. <http://www.proplanta.de/-Fotos/Anbauflaeche-Ertrag-und-Erntemenge-von-Sonnenblumen-in-den-Bundeslaendern-2007_Bild1225806617.html> (Stand: 2008) (Zugriff: 2013-03-13).
- RETZLAFF, J., D. KRÜGER & U. JÄCKEL (2003): Oberflächennahe Böschungssicherung in Tagebaufolgelandschaften. 3. Altbergbau-Kolloquium Freiberg.
- RINKLEBE, J. & F. MAKESCHIN (2003): Der Einfluss von Acker- und Waldnutzung auf Boden und Vegetation – ein Zeitvergleich nach 27 Jahren. In: Forstwissenschaftliches Centralblatt
- SACHSEN.DE (2014): Wald und Forstwirtschaft. In: <<http://www.forsten.sachsen.de/wald/135.htm>> (Stand 2014-01-01) (Zugriff: 2014-04-07).
- SCHMIDT, P. A. & D. GEROLD (2008): Kurzumtriebsplantagen - Ergänzung oder Widerspruch zur nachhaltigen Waldwirtschaft. In: Schweiz Z Forstwes 159, 6, 152-157.
- SCHOBER, R. (1995⁴): Ertragstabellen wichtiger Baumarten bei verschiedener Durchforstung. Frankfurt a. M.: Sauerländer.
- SPIESS, N.N. & N.N. GAUGELHOFER (2010): Der Hanf. <Landwirtschaft. http://www.hanfboerse.com/hanf_infos/%286%29%20Landwirtschaft.pdf> (Stand: 2010) (Zugriff: 2013-03-13).
- SPITZER, H. (1995): Einführung in die räumliche Planung. Stuttgart: Ulmer.
- STATISTA (2013): Hektarerträge ausgewählter Getreidearten. <<http://de.statista.com/statistik/daten/studie/226127/umfrage/hektarertrag-von-getreide-in-deutschland-seit-1960/>> (Stand: 2013) (Zugriff: 2013-03-13).
- STATISTIK SACHSEN (2012): Bevölkerungsdichte am 31.Dezemer 2012 nach kreisfreien Städten und Landkreisen. <http://www.statistik.sachsen.de/download/010_GB-Gebiet/Bevdichte_122012.pdf> (Stand: 2013-01-01) (Zugriff: 2014-04-05).
- STATISTISCHES BUNDESAMT (2014): Feldfrüchte und Grünland. <<https://www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/Wirtschaftsbereiche/LandForstwirtschaftFischerei/FeldfruechteGruenland/Tabellen/FeldfruechteZeitreihe.html>> (Stand: 2014) (Zugriff: 2013-03-13).
- STEIN, C. (2011): Hemerobie als Indikator zur Landschaftsbewertung – Eine GIS-gestützte Analyse für den Freistaat Sachsen. Diplomarbeit. <<http://www.qucosa.de/fileadmin/data/>

- qucosa/documents/12935/DA_Hemerobie_Stein.pdf> (Stand: 2011-04-14) (Zugriff: 2014-03-19).
- SUDHAUS, D. (2007): Die Dimension der Zeit. Von der Natur- zur Kulturlandschaft. In: GLASER, R., H. GEBHARDT & W. SCHENK (Hrsg.): Geographie Deutschlands. Darmstadt: WBG, 97–122.
- THOMASIIUS, H. (1996): Geschichte, Anliegen und Wege des Waldumbaus in Sachsen. Schriftenreihe der Sächsischen Landesanstalt für Forsten Heft6/96. Graupa: LAF (Sächsische Landesanstalt für Forsten), 11-52.
- UBA (UMWELT BUNDESAMT) (2013): Bodenversiegelung. <<http://www.umweltbundesamt.de/daten/bodenbelastung-land-oekosysteme/bodenversiegelung>> (Stand: 2013-10-08) (Zugriff: 2014-04-12).
- UFZ (HELMHOLTZ ZENTRUM FÜR UMWELTFORSCHUNG) (1998): Tagebaue – Landschaften auf Zeit. Pressemitteilung vom 8. April 1998. <<http://www.ufz.de/index.php?de=2261>> (Stand: 2011-12-13) (Zugriff: 2014-04-12).
- UNSELD, R., M. WENZEL, TH .WEICH, H. STARK, A. WEINREICH & J. BAUHHUS (2010): Energie-Vorwälder in Südwestdeutschland – Alternative Bewirtschaftungsformen zur Steigerung der energetisch nutzbaren Biomasse im Wald. Forst und Holz 65, Heft 10, 14-17.
- VOGEL, E., D. DEULMICH & M. KAUPENJOHANN (2013): Bodenerosion durch Energiemais-Evaluierung von Erosionsschutzkonzepten mit Erosion-3D. In: Tagungsbeitrag zu DGB-Workshop „Erosion“ 2013. <<http://www.dgbes.de>> (Stand: 2013) (Zugriff:2014-04-08).
- VON HAAREN, C. (2004): Regeln und Anforderungen bei Erfassung, Bewertung und Prognose. In: von HAAREN, C (Hrsg.): Landschaftsplanung. UTB 8253. Stuttgart: Ulmer, 85–100.
- WEILAND, U. & S. WOHLLEBER-FELLER (2007): Einführung in die Raum- und Umweltplanung. UTB 8363. Paderborn: Schöningh.
- WICKEL, A. (1996): Waldumbau aus ökologischer Verantwortung. Schriftenreihe der Sächsischen Landesanstalt für Forsten Heft 6/96. Graupa: LAF, 7-10.

Anhang

Tabelle A1: Bewertungstabelle „geo404 FINAL“ mit den im Seminar ermittelten Werten.

LNT	Bio- masse	CO ₂ Seq.	NO ₃ Risiko	Erosions Risiko	Ästhetik	Natur- Haush.
Very dense urb.	0	0	0	0	20	0
Dense urban	0	0	0	0	30	0
Loose urban	0	0	1	0	40	20
Very loose urb.	0	0	4	0	50	20
Big buildings	0	0	0	0	20	0
Sealed surfaces	0	0	0	0	20	0
Fallow land	0	1	4	0	20	60
Hedges	0	2	3	0	60	60
Wetlands	0	1	5	0	80	80
Viticulture	0	1	9	0	60	20
Orchards	42	2	6	0	60	20
Hop	4	0	25	0	30	20
Bare rock	0	0	1	0	50	100
Excavation	0	0	0	0	20	20
Open-cast	0	0	0	0	20	20
Sand	0	0	1	0	50	100
Bridges	0	0	4	0	20	0
Greenhouses	4	0	8	0	30	20
Urban open space	0	1	8	0	50	40
Grassland	38	1	4	0	50	80
Afforestation	0	3	4	0	40	80
Beech-Oak	9	63	3	0	70	100
Beech-Spruce	12	63	7	0	70	80
Beech	12	58	5	0	60	80
Oak-Beech	9	63	3	0	70	100
Oak-Pine	7	68	2	0	70	80
Oak	7	68	1	0	60	80
Spruce-Beech	12	63	7	0	60	80
Spruce-Pine	10	68	6	0	50	80
Spruce	13	68	8	0	40	80
Pine-Birch	8	45	3	0	70	80
Pine-Spruce	10	68	6	0	50	80
Pine	8	69	3	0	40	80
Larch-Oak	7	70	2	0	70	80
Larch-Spruce	10	70	5	0	50	80
Larch	8	73	2	0	40	80
Birch-Poplar	13	73	2	0	70	100
Birch-Pine	8	45	3	0	70	80
Birch	8	21	2	0	60	80
Beech-Larch	10	65	3	0	70	80
Spruce-Oak	7	86	5	0	70	80
Fir	18	74	1	0	40	80
Short Rotation Coppice	16	10	8	0	50	60
Pine-Oak	10	69	2	0	70	80
Oak-Red Oak	7	86	1	0	70	100
Oak-Maple	11	55	1	0	70	100
Beech-Fir	15	66	3	0	70	80
Beech-Maple	12	57	3	0	70	100
Spruce-Fir	16	71	5	0	50	80
Spruce-Swamp Birch	6	40	5	0	60	100

Black Alder-Ash	9	45	2	0	100	100
Oak-Black Alder	8	56	2	0	70	100
Red Oak	7	68	1	0	60	80
Douglas Fir-Oak	14	84	1	0	50	80
Douglas Fir-Beech	15	90	8	0	50	80
A1 - Clover - Clover - Clover	23	0	42	16	40	60
D1 - Rape - Wheat - Barley	38	0	62	28	30	50
D2 - Rape - Wheat - Corn silage	38	0	83	53	30	50
D3 - Rape - Barley - Rye - Grass	14	0	52	44	30	50
D4 - Rape - Triticale - Barley	9	0	48	31	30	50
D5 - Rape - Corn silage - Barley	38	0	67	59	30	50
D6 - Pea - Wheat - Rye - Oats	9	0	53	31	30	50
D7 - Clover - Whea - Potatoe	41	0	70	46	30	50
D8 - Alfalfa - Alfalfa - Rye	8	0	46	48	40	60
D9 - Barley silage - Corn silage	82	0	79	50	30	45
D10 - Barley silage - Sunflower	35	0	54	34	30	45
L1 - Rape - Wheat - Barley	38	0	62	22	30	50
L2 - Rape - Wheat - Barley - Wheat	7	0	62	25	30	50
L3 - Rape - Wheat - Corn silage	38	0	83	46	30	50
L4 - Sugar beet - Wheat - Corn	51	0	77	39	30	45
L5 - Sugar beet - Wheat - Wheat	50	0	72	33	30	45
L6 - Pea - Wheat - Barley - Potatoe	29	0	54	28	30	50
L7 - Clover - Wheat - Corn silage	43	0	76	46	30	50
L8 - Alfalfa - Wheat - Potatoe	36	0	43	28	30	50
L9 - Hemp - Cereals mix silage	34	0	33	23	30	50
L10 - Corn silage - Corn silage	100	0	100	100	30	45
V1 - Rape - Wheat - Rye	7	0	68	23	30	50
V2 - Rape - Wheat - Corn silage	38	0	83	58	30	50
V3 - Pea - Wheat - Corn silage	40	0	76	67	30	50
V4 - Rape - Triticale - Rye	9	0	53	29	30	50
V5 - Field gras - Corn silage	69	0	69	65	30	45
V6 - Rye - Clover - Barley	12	0	44	55	30	50
V7 - Clover - Wheat - Pea - Rape	13	0	56	38	30	50
V8 - Clover - Clover - Oat - Barley	16	0	40	40	30	60
V9 - Rye silage - Corn silage	60	0	77	54	30	45
V10 - Rye silage - Alfalfa - Alfalfa	12	0	48	44	30	45
D9 - Barley silage - Corn silage	82	0	79	50	30	50
L2 - Rape - Wheat - Barley - Wheat	7	0	62	25	30	5
L7 - Clover - Wheat - Corn silage	43	0	76	46	30	45
L10 - Corn silage - Corn silage	100	0	100	100	30	40
V2 - Rape - Wheat - Corn silage	38	0	83	59	30	50
V8 - Clover - Clover - Oat - Barley	16	0	40	40	30	45
Alder	9	43	8	0	80	80
Ash	9	46	2	0	80	80
Maple	9	46	2	0	80	80
Swamp Birch	6	18	2	0	60	100
Douglas Fir	21	100	8	0	50	80
Fluss Kategorie1	0	0	0	0	80	80
Fluss Kategorie2	0	0	0	0	60	80
Fluss Kategorie3	0	0	0	0	60	80
Fluss Kategorie4	0	0	0	0	60	60
Fluss Kategorie5	0	0	0	0	70	60

Tabelle A2: Quellenangaben für die Berechnung der Biomasse und CO₂-Sequestrierung.

LNT	Quelle
alle Baumarten	SCHOBER 1995
Roggen, Hirse, Gerste, Weizen, Mais	STATISTA 2013
Hafer, Maissilage, Triticale, Erbsen	STATISTISCHES BUNDESAMT 2014
Klee	LANDWIRTSCHAFTSKAMMER NRW 2008
Luzerne	PIETSCH 2006
Raps, Zuckerrüben, Kartoffeln	BMELV 2013
Gras	LWK NDS 2012
Roggensilage	HASELHOFF et al. 2010
Hanf	SPIESS & GAUGELHOFER 2010
Sonnenblume	PROPLANTA 2008
Gersensilage	LANDWIRTSCHAFT MV (o.J.)
urban, Gärten, Halden, Bauflächen, Sand	IBRAHIM 2012

Tabelle A3: Bewertungstabelle „RegioPower1_modified“ mit den gegebenen Werten.

LNT	Bio- masse	Nahr./ Futter	Erosions Schutz	CO ₂ Seq.	Erho- lung	Dürre- regul.	Öko- logie
Very dense urban	0	0	100	0	0	0	0
Dense urban	0	0	100	0	5	0	0
Loose urban	0	0	100	0	10	0	0
Very loose urban	0	0	100	0	15	0	0
Big buildings	0	0	100	0	0	0	0
Sealed surfaces	0	0	100	0	0	0	0
Fallow land	0	0	100	0	70	60	65
Hedges	10	0	100	0	100	45	85
Wetlands	0	0	100	0	90	100	100
Viticulture	0	10	70	0	50	60	15
Orchards	0	40	70	0	50	60	15
Hop	0	0	0	0	30	60	15
Bare rock	0	0	100	0	20	0	100
Excavation	0	0	25	0	0	0	0
Open-cast	0	0	25	0	0	0	0
Sand	0	0	25	0	10	0	0
Bridges	0	0	100	0	50	0	0
Greenhouses	0	0	100	0	0	0	0
Urban open space	0	0	100	0	100	35	15
Grassland	0	0	100	0	60	30	15
Afforestation	15	0	100	0	40	40	85
Beech-Oak	50	10	100	55	100	85	65
Beech-Spruce	55	10	100	65	100	95	65
Beech	50	10	100	55	90	90	45
Oak-Beech	45	10	100	45	100	70	65
Oak-Pine	45	10	100	50	100	60	65
Oak	45	10	100	45	90	60	45
Spruce-Beech	70	10	100	75	80	95	65
Spruce-Pine	70	10	100	80	80	85	65
Spruce	70	10	100	80	70	95	45
Pine-Birch	50	10	100	55	90	55	65
Pine-Spruce	50	10	100	70	80	65	65
Pine	55	10	100	65	70	55	45
Larch-Oak	50	10	100	55	100	55	65
Larch-Spruce	60	10	100	65	100	65	65
Larch	50	10	100	60	90	55	45

Birch-Poplar	35	10	100	35	100	45	85
Birch-Pine	35	10	100	35	100	50	85
Birch	30	10	100	25	90	50	45
Beech-Larch	30	10	100	25	100	80	65
Spruce-Oak	65	10	100	75	90	85	65
Fir	95	10	100	95	90	60	45
Short Rotation Coppice	50	10	100	60	40	20	15
Pine-Oak	50	10	100	60	90	55	65
Oak-Red Oak	50	10	100	55	80	60	65
Oak-Maple	45	10	100	50	100	60	85
Beech-Fir	60	10	100	65	90	85	65
Beech-Maple	55	10	100	60	100	80	85
Spruce-Fir	80	10	100	85	90	85	85
Spruce-Swamp Birch	60	10	100	65	100	85	85
Black Alder-Ash	60	10	100	45	100	50	85
Oak-Black Alder	50	10	100	45	100	55	85
Red Oak	45	10	100	60	100	60	45
Douglas Fir-Oak	100	10	100	95	80	65	65
Douglas Fir-Beech	0	10	100	100	80	70	65
A1 - Clover - Clover - Clover	0	100	90	0	50	10	35
D1 - Rape - Wheat - Barley	0	100	70	0	30	60	35
D2 - Rape - Wheat - Corn silage	0	100	60	0	25	50	35
D3 - Rape - Barley - Rye - Grass	0	100	65	0	20	55	55
D4 - Rape - Triticale - Barley	0	100	75	0	35	60	60
D5 - Rape - Corn silage - Barley	0	100	55	0	30	15	40
D6 - Pea - Wheat - Rye - Oats	0	100	75	0	25	60	40
D7 - Clover - Whea - Potatoe	0	100	65	0	30	30	60
D8 - Alfalfa - Alfalfa - Rye	0	100	65	0	25	35	55
D9 - Barley silage - Corn silage	0	100	60	0	25	55	40
D10 - Barley silage - Sunflower	0	100	75	0	30	55	40
L1 - Rape - Wheat - Barley	0	100	85	0	30	50	35
L2 - Rape - Wheat - Barley - Wheat	0	100	80	0	25	50	35
L3 - Rape - Wheat - Corn silage	0	100	65	0	25	40	40
L4 - Sugar beet - Wheat - Corn	0	100	70	0	25	35	55
L5 - Sugar beet - Wheat - Wheat	0	100	75	0	25	20	15
L6 - Pea - Wheat - Barley - Potatoe	0	100	80	0	25	40	55
L7 - Clover - Wheat - Corn silage	0	100	65	0	25	35	55
L8 - Alfalfa - Wheat - Potatoe	0	100	80	0	25	35	60
L9 - Hemp - Cereals mix silage	0	100	80	0	25	55	40
L10 - Corn silage - Corn silage	0	100	25	0	15	10	15
V1 - Rape - Wheat - Rye	0	100	80	0	30	55	35
V2 - Rape - Wheat - Corn silag	0	100	55	0	25	45	40
V3 - Pea - Wheat - Corn silage	0	100	50	0	20	45	40
V4 - Rape - Triticale - Rye	0	100	80	0	35	60	70
V5 - Field gras - Corn silage	0	100	50	0	30	45	40
V6 - Rye - Clover - Barley	0	100	55	0	30	10	55
V7 - Clover - Wheat - Pea - Rape	0	100	70	0	30	45	60
V8 - Clover - Clover - Oat - Barley	0	100	70	0	35	40	55
V9 - Rye silage - Corn silage	0	100	60	0	20	55	40
V10 - Rye silage - Alfalfa - Alfalfa	0	100	65	0	25	30	35
A1 - Clover - Clover - Clover	0	100	100	0	15	20	35
D1 - Rape - Wheat - Barley	0	100	95	0	30	65	35
D2 - Rape - Wheat - Corn silage	0	100	95	0	25	55	35
D3 - Rape - Barley - Rye - Grass	0	100	95	0	20	65	55
D4 - Rape - Triticale - Barley	0	100	95	0	35	65	60

D5 - Rape - Corn silage - Barley	0	100	95	0	30	55	40
D6 - Pea - Wheat - Rye - Oats	0	100	95	0	25	65	40
D7 - Clover - Whea - Potatoe	0	100	90	0	30	40	60
D8 - Alfalfa - Alfalfa - Rye	0	100	95	0	25	45	55
D9 - Barley silage - Corn sila	0	100	95	0	25	65	40
D10 - Barley silage - Sunflower	0	100	95	0	30	40	60
L1 - Rape - Wheat - Barley	0	100	95	0	30	60	35
L2 - Rape - Wheat - Barley - Wheat	0	100	95	0	25	60	35
L3 - Rape - Wheat - Corn silage	0	100	95	0	25	50	40
L4 - Sugar beet - Wheat - Corn	0	100	95	0	25	40	55
L5 - Sugar beet - Wheat - Wheat	0	100	95	0	25	30	15
L6 - Pea - Wheat - Barley - Po	0	100	95	0	25	50	55
L7 - Clover - Wheat - Corn silage	0	100	95	0	25	40	55
L8 - Alfalfa - Wheat - Potatoe	0	100	95	0	25	40	60
L9 - Hemp - Cereals mix silage	0	100	95	0	25	60	40
L10 - Corn silage - Corn silage	0	100	95	0	15	20	15
V1 - Rape - Wheat - Rye	0	100	95	0	30	60	35
V2 - Rape - Wheat - Corn silage	0	100	95	0	25	55	40
V3 - Pea - Wheat - Corn silage	0	100	95	0	20	55	40
V4 - Rape - Triticale - Rye	0	100	95	0	35	55	70
V5 - Field gras - Corn silage	0	100	95	0	30	50	40
V6 - Rye - Clover - Barley	0	100	95	0	30	45	55
V7 - Clover - Wheat - Pea - Rape	0	100	95	0	30	50	60
V8 - Clover - Clover - Oat - Barley	0	100	95	0	35	45	55
V9 - Rye silage - Corn silage	0	100	95	0	20	60	40
V10 - Rye silage - Alfalfa - Alfalfa	0	100	95	0	25	35	35
Alder	0	10	0	0	0	0	0
Ash	60	10	100	55	100	90	65
Maple	0	10	0	0	0	0	0
Swamp Birch	0	10	0	0	0	0	0
Douglas Fir	0	10	0	0	0	0	0
Fluss Kategorie1-5	0	0	100	0	100	100	100
Straße/Bahn Kategorie1-5	0	0	100	0	0	0	0
Gewässer Kategorie1-5	0	0	100	0	100	100	100

Tabelle A4:Übersicht der bei der Analyse landwirtschaftlicher Flächen verwendeten Fruchtfolgen mit Kurzbezeichnung.

A1 - Clover - Clover - Clover - Clover
D3 - Rape - Barley - Rye - Grain Maize - Triticale
L1 - Rape - Wheat - Barley
L2 - Rape - Wheat - Barley - Wheat
L3 - Rape - Wheat - Corn silage - Barley
L4 - Sugar beet - Wheat - Corn silage - Barley - Wheat - Barley
L5 - Sugar beet - Wheat - Wheat
L6 - Pea - Wheat - Barley - Potatoe - Barley
L7 - Clover - Wheat - Corn silage - Field bean - Barley
L8 - Alfalfa - Wheat - Potatoe - Barley - Field bean - Triticale
L9 - Hemp - Cereals mix silage - Rape - Wheat
L10 - Corn silage - Corn silage - Corn silage - Wheat
V4 - Rape - Triticale - Rye - Clover - Rape - Triticale - Rye - Lupine
V5 - Field gras - Corn silage - Triticale - Rye
V7 - Clover - Wheat - Pea - Rape - Barley - Rye

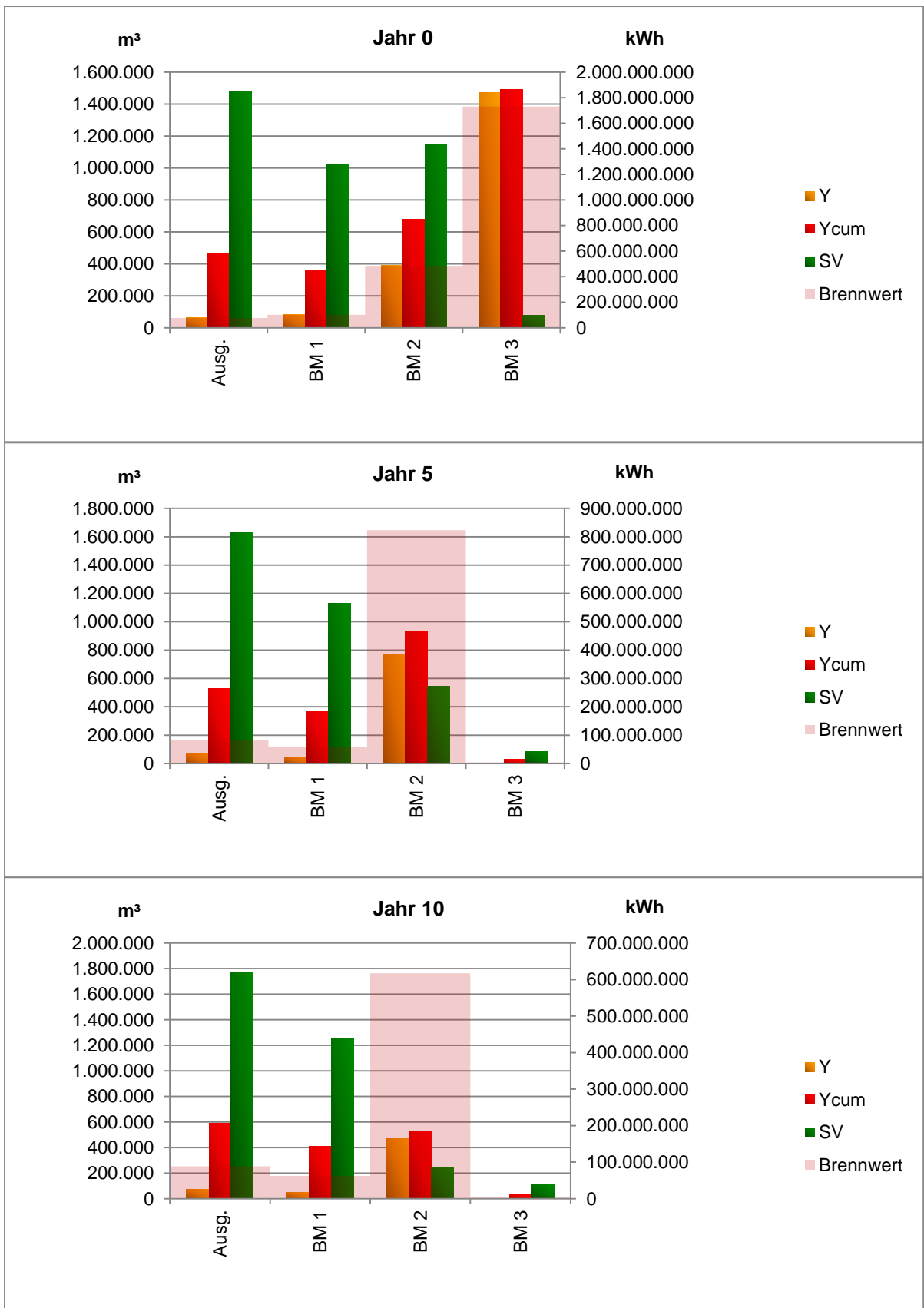


Abbildung A1: Gegenüberstellung von kurzfristigen Auswirkungen der herkömmlichen Bewirtschaftung und der im Biomassemodul entwickelten Szenarien auf Ertrag (Y), kumulierten Ertrag (Ycum), Standvolumen (SV) und Brennwert.

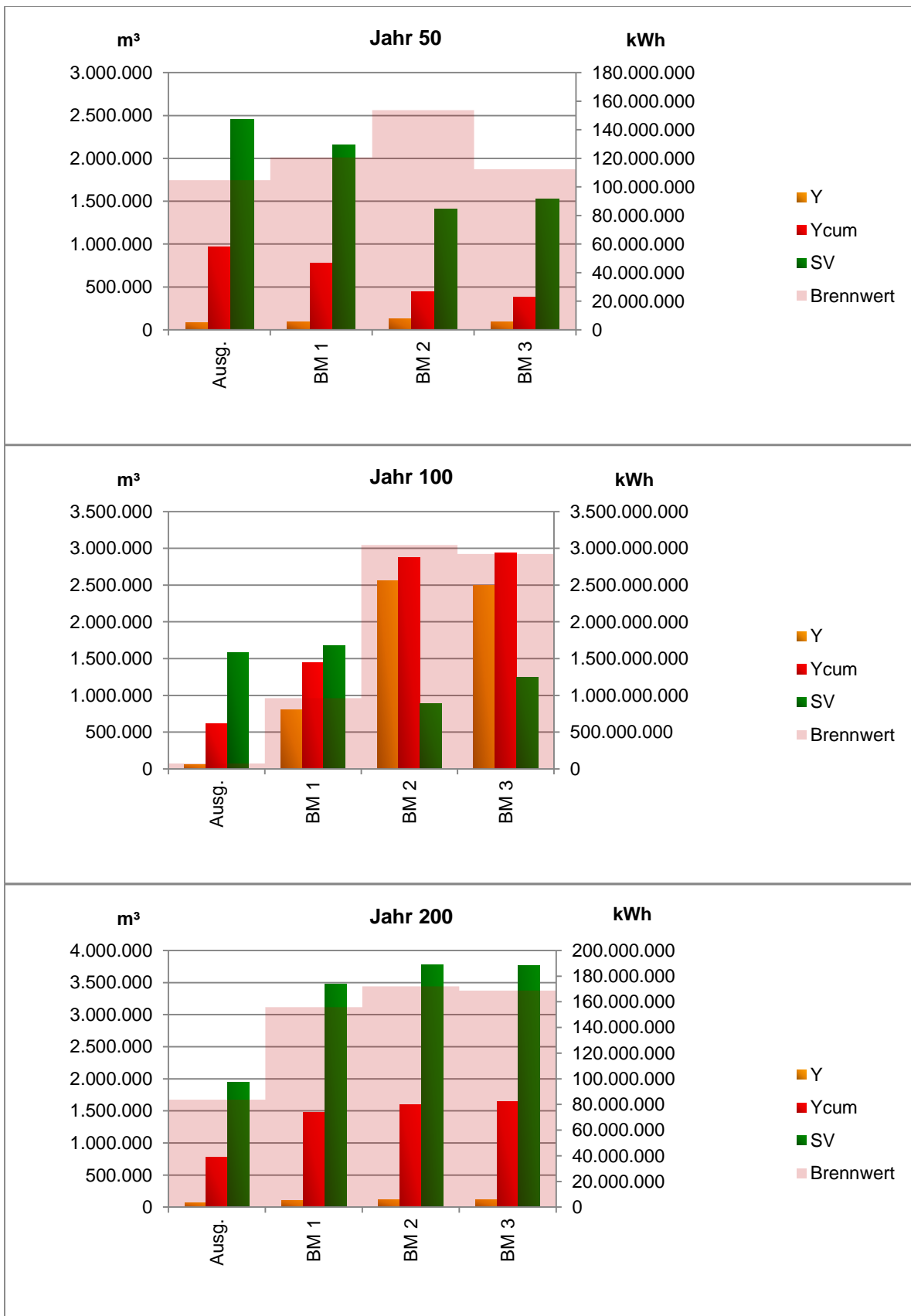


Abbildung A2: Gegenüberstellung von mittel- und langfristigen Auswirkungen herkömmlicher Bewirtschaftung und der im Biomassemodul entwickelten Szenarien auf Ertrag (Y), kumulierten Ertrag (Ycum), Standvolumen (SV) und Brennwert.

Selbstständigkeitserklärung

Hiermit versichern wir, dass wir die vorliegende Belegarbeit eigenständig und ohne fremde Hilfe verfasst, keine anderen als die angegebenen Quellen verwendet und die den genutzten Quellen entnommenen Passagen als solche kenntlich gemacht haben.

Diese Arbeit ist in dieser oder einer ähnlichen Form in keinem anderen Kurs vorgelegt worden.

Jena, den 14.05.2014

Verena Baumberg

Anna Berninger

Tina Trautmann