

Vorname Jonas Aaron
Name Gütter

Vorname Raphael
Name Knevels

Geoinformatik am Institut für Geographie

Friedrich-Schiller-Universität Jena

Hausarbeit

Geo 404 - Angewandte Geoinformatik

„Integrierte Landnutzungs- und Landschaftsplanung“

Wintersemester 2014/2015

Dr. Christine Fürst

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis.....	i
Abbildungsverzeichnis.....	ii
Tabellenverzeichnis.....	ii
1 Einleitung.....	1
2 Politische Zielsetzungen.....	2
3 Szenarien.....	3
3.1 Bewertungskriterien und deren Datenbasis.....	3
3.2 Ziele und Eigenschaften.....	4
3.2.1 Ökologisches Szenario.....	5
3.2.2 Ökonomisches Szenario.....	5
3.2.3 Gemäßigtes Szenario.....	5
3.2.4 Extremes Szenario.....	5
3.3 Umsetzung.....	6
3.3.1 Ökologisches Szenario.....	6
3.3.2 Ökonomisches Szenario.....	7
3.3.3 Gemäßigtes Szenario.....	8
3.3.4 Extremes Szenario.....	9
3.4 Ergebnisse.....	10
3.4.1 Evaluierungsergebnisse.....	11
3.4.2 Flächenstatistik.....	13
3.4.3 Landschaftsmuster.....	15
4 Empfehlungen und Fazit.....	16
5 Literaturverzeichnis.....	17
Anhang.....	19

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Evaluationsergebnisse der Szenarien.....	11
Abbildung 2: Flächenstatistik. Szenarienvergleich nach Landnutzungskategorien.....	13
Abbildung 3: Status Quo - Übersicht.....	21
Abbildung 4: Ökologisches Szenario - Übersicht.....	21
Abbildung 5: Ökonomisches Szenario - Übersicht.....	21
Abbildung 6: Gemäßigtes Szenario - Übersicht.....	21
Abbildung 7: Extremes Szenario - Übersicht.....	21
Abbildung 8: Status Quo - Großansicht.....	22
Abbildung 9: Ökologisches Szenario - Großansicht.....	23
Abbildung 10: Ökonomisches Szenario - Großansicht.....	24
Abbildung 11: Gemäßigtes Szenario - Großansicht.....	25
Abbildung 12: Extremes Szenario - Großansicht.....	26
Abbildung 13: Kartenlegende.....	27

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Übersichtstabelle der Evaluationsergebnisse.....	11
Tabelle 2: Ergebnistabelle der Szenarien von verschiedenen Landschaftsparametern.....	15
Tabelle 3: Übersichtstabelle der Umsetzungsschritte.....	19
Tabelle 4: Übersichtstabelle der Zielvorgaben.....	20

1 Einleitung

Die Erstellung von Landschaftsszenarien ist ein wichtiges Instrument für die Einschätzung von Veränderungen und Eingriffen in die Landschaft, aber auch zur Ermittlung von möglichen Folgen und Anpassungsstrategien aufgrund des Klimawandels in der Planung und Politik.

Im Rahmen des Moduls 404 - Angewandte Geoinformatik wurden Problemstellungen der integrierten Landnutzungs- und Landschaftsplanung thematisiert und anhand der Waldwachstumssimulatorsoftware BWINPro und der modular aufgebauten Software GISCAM (GIS = geographic information system, CA = cellular automaton, ME = multi criteria evaluation) konkretisiert.

Als Untersuchungsgebiet stand hierbei die Planungsregion Oberes Elbtal/Osterzgebirge im Freistaat Sachsen zur Verfügung. Sie umfasst eine Fläche von insgesamt 3.434 km² und ist somit die kleinste der vier Planungsregionen in Sachsen. Die Region wird von Südosten nach Nordwesten von der Elbe durchflossen, an deren Ufer auch Dresden, die größte Stadt des Gebiets, liegt.

In der abschließenden Projekthausarbeit sollten einfache, integrative und explorative Szenarien in GISCAM erstellt und anschließend optimiert werden, sodass als Gesamtergebnis eine um 20 %-Punkte erhöhte Bereitstellung von land- und forstwirtschaftlicher Biomasse ohne Trade-offs für andere Leistungen und ohne Strukturverlust erzielt wurden.

Hierfür wurden folgende Szenarien umgesetzt: Ein ökologisches Szenario, bei dem der Schwerpunkt auf Umwelt- und Klimaschutz gelegt wurde; ein Extrem-Szenario, bei dem ausschließlich Umwelt- und Klimaschutzziele verfolgt wurden, ohne Wechselwirkungen mit anderen Bereichen zu betrachten; ein ökonomisches Szenario, mit Schwerpunkt auf wirtschaftlichen Gewinnen; und schließlich ein gemäßigtes Szenario, bei dem versucht wurde, das Ziel der erhöhten Biomassenbereitstellung mit geringen und einfach realisierbaren Änderungen zu erreichen.

Im folgenden Kapitel 2 werden übergeordnete relevante politische Zielsetzungen und planerische Vorgaben des Landes Sachsen kurz vorgestellt. Im anschließenden Kapitel 3 werden die vier Szenarien in ihren Eigenschaften, ihrer Umsetzung sowie deren Ergebnis näher erläutert. Kapitel 4 enthält Handlungsempfehlungen auf Basis der durchgeführten Szenarien sowie ein abschließendes Fazit.

2 Politische Zielsetzungen

Eines der wichtigsten Zielvorhaben weltweit besteht darin, den Anstieg der globalen Durchschnittstemperatur auf höchstens 2°C gegenüber dem vorindustriellen Niveau zu begrenzen. Hierfür hat die EU (Europäische Union) einen wichtigen Baustein durch ein beschlossenes Klima- und Energiepaket festgelegt. Mit sieben Gesetzesinitiativen und dem nationalen Aktionsplan „Erneuerbare Energien“ flankiert die Bundesregierung die eingeleitete Energiewende mit dem Ziel, 18 % erneuerbare Energien am Bruttoenergieverbrauch bis 2020 zu erreichen (AHLKE et al. 2012: 91).

Die im Folgenden erwähnten Zielsetzungen sind lediglich eine kleine für diese Hausarbeit selektierte Auswahl (Übersichtstabelle Tabelle 4 im Anhang) .

Als übergeordnete Zielsetzungen sind folgende zu nennen (AHLKE et al. 2012: 91 ff.):

- Stärkung der klimagerechten Entwicklung in Städten und Gemeinden (ÜZ 1),
- Entwicklung von Vermeidungs-, Minderungs- und Anpassungsstrategien im Hinblick auf die räumlichen Konsequenzen des Klimawandels (ÜZ 2),
- Ausbau von CO₂-neutralen beziehungsweise -minimierenden erneuerbaren Energien als Alternative zu fossilen Energieträgern und Kernbrennstoffen (ÜZ 3),
- Steigerung der Flächeneffizienz erneuerbarer Energien (ÜZ 4).

Das Bundesland Sachsen greift die Zielvorgaben der EU und Bundesregierung auf und konkretisiert diese in dem im Jahr 2013 erschienen Landesentwicklungsplan (s. SÄCHSISCHES STAATSMINISTERIUM DES INNERN (2013)). Für das Leitbild „Sachsen 2025 – ein attraktiver Lebens-, Kultur- und Wirtschaftsraum“ werden die folgenden umweltrelevanten Ziele formuliert (SÄCHSISCHES STAATSMINISTERIUM DES INNERN 2013):

- Verminderung der Neuinanspruchnahme von Freiflächen für Siedlungs- und Verkehrszwecke (G 2.2.1.1, 56) (Z 1),
- Beitrag landwirtschaftlich genutzter Flächen zum Erhalt der natürlichen Lebensgrundlagen, naturnaher Lebensräume und zur Förderung der biologischen Vielfalt (Z 4.2.1.3, 135) (Z 2),
- Flächenzunahme des Anteils ökologisch bewirtschafteter Flächen (Z 4.2.1.5, 135) (Z 3),
- Erhöhung des Waldanteils im Freistaat Sachsen auf 30 % für eine Erhöhung der Holzproduktion, Verbesserung der Kohlenstoffspeicherfunktion, des Wasserhaushalts und Tier- und Pflanzenwelt sowie des Klimas und der Anpassung an den Klimawandel und der menschlichen Gesundheit (Z 4.2.2.1, 138 f.) (Z 4),
- speziell in der Planungsregion Oberes Elbtal/Osterzgebirge eine Erhöhung des Waldanteils um einen Flächenanteil von 2,1% (Z 5),

- Umwandlung von Bereichen, die in der Naherholungszone von Siedlungsbereichen mit hoher Einwohnerdichte liegen und die derzeit eine geringe lokalklimatische Entlastungswirkung aufweisen, in Bereiche mit lokalklimatischer Ausgleichswirkung gegenüber sommerlicher Hitzebelastung (SÄCHSISCHES STAATSMINISTERIUM DES INNERN 2013: 140) (Z 6),
- Mehrung Gewässer begleitender Wälder, insbesondere von Auwäldern an großen Flüssen (SÄCHSISCHES STAATSMINISTERIUM DES INNERN 2013: 140) (Z 7),
- Erhöhung des Anteils standortgerechter Baumarten (Waldumbau) (Z 4.2.2.3, 138) (Z 8),
- Bepflanzungsgebot und Rekultivierung beziehungsweise Renaturierung von Brachflächen (Z 2.2.1.7, 56) (Z 9),
- Vermeidung von Bodenverdichtung, Bodenerosion sowie die Überlastung der Regulationfunktion des Bodens im Wasser- und Stoffhaushalt (G 4.1.3.1, 130) (Z 10),
- angepasste Bewirtschaftung landwirtschaftlich genutzter Böden zur Stabilisierung der Umweltsituation und Vermeidung von Ertragsausfällen (Z 4.2.1.2, 135) (Z 11),
- Zerschneidung von Landschafts- und Waldflächen ist zu vermeiden (AHLKE et al. 2012: 224) (Z 12).

3 Szenarien

In dem folgenden Kapitel wird zunächst kurz auf die vorhandene Datenbasis (3.1) für die Szenarienberechnung eingegangen. In den folgenden Unterkapiteln werden die Szenarien charakterisiert (3.2), in ihrer Umsetzung beschrieben (3.3) und die Ergebnisse präsentiert (3.4).

3.1 Bewertungskriterien und deren Datenbasis

Die Bewertungsgrundlagen der Szenarien unterteilen sich in 'biomass production', 'soil erosion', 'C-sequestration', 'aesthetics' sowie 'economic value' und wurden im Rahmen der Blockveranstaltung von dem Teilnehmerkurs erstellt.

Als 'soil erosion' ist hier der Erosionsschutz gemeint, dessen Werte auf eine Skala von 0 - kein Erosionsschutz, bis 100 - sehr hoher Erosionsschutz, normalisiert sind. Unter 'C-sequestration' wird der Kohlenstoffgehalt von Forst- und Agrarflächen verstanden. Mit dem 'economic value' ist die Kostenbewertung von Landnutzungsklassen gemeint. Hierbei wird der Holzwert in $\frac{\text{€}}{\text{t ha}}$ und der Landwirtschaftspreis in $\frac{\text{€}}{\text{t}}$ angeben.

Während des Seminars beschäftigte sich intensiv Jonas Gütter mit der 'biomass production' und Raphael Knevels setzte sich mit den 'aesthetics' auseinander, die daher im Folgenden etwas genauer erläutert werden:

Als 'aesthetics' wurde im Rahmen dieses Moduls die Erholungsfunktion verschiedener Landschaftsnutzungen im Sinne einer ökosystemaren Dienstleistung verstanden. Die Ermittlung der Erholungsfunktion findet häufig aufgrund empirischer Beurteilung und subjektiver Einschätzung statt. In dem Ansatz von MARKS et al. (1989) findet die Schätzung basierend auf natürlichen Landschaftselementen ohne die Erfassung von freizeitrelevanten Infrastrukturen sowie Umweltbelastungen oder einer differenzierten Bewertung nach unterschiedlichen Erholungsaktivitäten statt (MARKS et al. 1989: 129-136). Der hier gewählte Ansatz beruft sich jedoch auf die Methodik von GRUNEWALD & BASTIAN (2012). Nach diesen wird die Bewertung von soziokulturellen Ökosystemdienstleistungen basierend auf einer monetärer Bewertung (€) der Bevölkerung zu ihrer aktuell bewohnten Umgebung und Landschaft durchgeführt. Hierbei werden den Befragten Winter- und Sommer-Aufnahmen zur finanziellen Einstufung gezeigt und ausgewertet (GRUNEWALD & BASTIAN 2012: 237-240). In unserem Ansatz fand diese Bewertung angepasst an die GISGAME-Landnutzungsklassen auf einer normalisierten Skala von 0 - kein Erholungswert, bis 100 - sehr hoher Erholungswert, statt.

Für die Angabe der 'biomass production' dienten je nach Landnutzungstyp unterschiedliche Daten als Grundlage. Im Fall von Ackerflächen wurde der landwirtschaftliche Ertrag als Näherungswert für die Biomasseproduktion herangezogen. Der Freistaat Sachsen stellt Erntemengen und -erträge auf seinem Webportal öffentlich zur Verfügung. Aus dieser Quelle wurde der Großteil der Werte für die Ackerflächen bezogen. Für Anbaufolgen verschiedener Pflanzen wurden Mittelwerte gebildet. Im Falle von Waldflächen wurde die Biomasseproduktion für die spezifischen Arten einzeln recherchiert. Für die meisten Baumarten konnten ausreichende Informationen gefunden werden, in einigen Fällen ist jedoch eine Validierung durch Experten zu empfehlen. Für einige weitere Landnutzungstypen wie etwa Hecken konnte in der Literatur keine Angabe zur Biomasseproduktion gefunden werden. Diese Werte wurden daher auf Basis der bekannten Landnutzungstypen geschätzt.

3.2 Ziele und Eigenschaften

Im Rahmen dieser Arbeit wurden vier Szenarien mit teilweise überlappenden Zielsetzungen berechnet. In diesem Unterkapitel werden die Szenarien kurz charakterisiert und ein Zielbezug (s. Kapitel 0) hergestellt. Sämtliche Szenarien wurden darauf ausgelegt, eine Erhöhung der Biomasseproduktion um 20 %-Punkte zu erreichen. Dieses generelle Ziel wird im einzelnen nicht jedes Mal erwähnt, ist aber in jedem der beschriebenen Szenarien enthalten.

3.2.1 Ökologisches Szenario

In diesem Szenario standen ökologische Aspekte im Vordergrund. Anlehnend an Z 4 sollte der Waldanteil um 12 %-Punkte zunehmen und somit eine erhöhte Kohlenstoffspeicherung in dem Gebiet garantieren (ÜZ 3). Hierbei sollte zudem darauf geachtet werden, dass die biologische Vielfalt erhalten blieb und der Anteil standortgerechter sowie an den Klimawandel-angepasste Bäume erhöht wurde (Z 8). Um einen nachhaltigen und schonenden Umgang mit der Ressource Boden zu gewährleisten, durfte sich die Erosionsschutzzahl in dem Untersuchungsgebiet nicht vermindern (Z 10, Z 11).

3.2.2 Ökonomisches Szenario

Für das ökonomische Szenario wurde der Schwerpunkt auf den wirtschaftlichen Nutzen der Landschaft gelegt. Neben dem generellen Ziel der Erhöhung der Biomasseproduktion wurde eine Steigerung des ökonomischen Wertes in die Zielsetzung mitaufgenommen. Hierfür wurde kein bestimmter Wert festgelegt, die Zielsetzung sollte lediglich das besondere Augenmerk auf den ökonomischen Wert ausdrücken. Bodenerosion, Kohlenstoffspeicherung und ästhetischer Wert spielten eine untergeordnete Rolle. Eine Stagnation oder sogar eine Verschlechterung dieser Werte wurde in Kauf genommen. Da Waldflächen in den Szenario-Parametern einen geringen ökonomischen Wert aufweisen, aber deren Förderung trotzdem ein wichtiges Ziel ist, wurde die angestrebte Aufforstung auf ein Minimum von 2 % beschränkt (Z 3, Z 4, Z 5).

3.2.3 Gemäßigtes Szenario

Das gemäßigte Szenario sollte die wirklichen Umstände insofern wiedergeben, als dass die geplanten Änderungen sich an Vorgaben aus dem Landesentwicklungsplan Sachsen und dem Raumordnungsbericht 2011 orientierten. Die Änderungen waren somit spezifischer und möglicherweise nicht so umfangreich wie in den anderen Szenarien. Daraus ergab sich das Risiko, dass das übergeordnete Ziel der Erhöhung der Biomasse um 20 % eventuell nicht erreicht wird, die Planung sich dafür aber näher an der Realität bewegte. Die Faktoren Biomasseproduktion, Kohlenstoffspeicherung, Bodenerosion, Erholungsfunktion und ökonomischer Wert wurden daher allesamt als gleichberechtigt betrachtet. In diesem Szenario stand das bestmögliche Gesamtergebnis im Vordergrund. Als Zielvorgaben wurden vorrangig die Erhöhung der Waldflächen um 2,1 %-Punkte (Z 5), die Bildung von Erholungsflächen in der Nähe von Siedlungsgebieten (Z 6), die Förderung von gewässerbegleitenden Wäldern (Z 7) sowie eine minimale Fragmentierung der Landschaft (Z 12) angestrebt.

3.2.4 Extremes Szenario

Bei diesem Szenario sollten vordergründig ökologische Aspekte im Vergleich zu den anderen Szenarien übertroffen werden. Der Waldanteil im Untersuchungsgebiet sollte auf 50 %

erhöht werden (ÜZ 3, Z 4) mit einer gleichzeitigen Steigerung des zu erreichenden Biomasseziels (mindestens 20 %-Punkte) (ÜZ 4). Für die Optimierung des Ergebnisses waren hierbei starke Eingriffe in die Landschaft zulässig. Ästhetische und umweltschutzrelevante Aspekte hatten lediglich eine untergeordnete Rolle. Die ökonomische Wertschätzung der Region sollte jedoch steigen.

3.3 Umsetzung

In diesem Unterkapitel wird die methodische Umsetzung der einzelnen Szenarien beschrieben. Die Simulationen wurden mithilfe von Erweiterungsmodulen in GISCAME als Kombination verschiedener Szenarientypen in stets folgender Reihenfolge realisiert: 1. Biomasse-Modul (einfaches Szenario für den Waldumbau, BM), 2. Attribute Action Management System (integriertes Szenario für die Identifikation relevanter Gebiete, AAMS), 3. Zellulärer Automat (exploratives Szenario mittels Umwandlungstrends, CA) und 4. Ausgleich von Trade-offs (AAMS und CA).

3.3.1 Ökologisches Szenario

1. Im Jahr 0 wurde der Bestand an Fichtenhölzern allmählich zu Douglasie umgewandelt. Um im Folgenden die Fichte dennoch im Gebiet zu erhalten, wurde diese sukzessive der Landnutzungsklasse für Aufforstung zugeschrieben (Jahr 5). Nach 15 Jahren ersetzte die Kiefer durch einen Kahlschlag-Eingriff die Douglasie, um kurzzeitig einen ökonomischen Mehrwert zu erzielen und langfristig eine bessere Baumart im Gebiet zu gewinnen. Der vierte und letzte Eingriff erfolgte im Zeitschritt 50. Ab diesem Zeitpunkt wurde die Lärche allmählich durch einen Fichten-Tannen-Mischwald ersetzt.
2. Um einen erhöhten Waldanteil im Gebiet zu erreichen, wurden im nächsten Schritt potentielle ideale Waldstandorte aufgeforstet. Hierfür wurden alle Gebiete selektiert, die vorrangig zur Bewaldung und vorrangig für den Waldschutz beziehungsweise vorbehaltlich für Waldschutzflächen ausgeschrieben waren.
3. Damit in der Landwirtschaft eine effiziente und den Zielsetzungen entsprechende Flächeninanspruchnahme stattfindet, wurden in den Folgenden Schritten verschiedene Anbausorten und Fruchtfolgen durch eine Verteilung auf Obstplantagen und produktive Fruchtfolgen wie Gersten-Mais-Silage (D9), Zuckerrübe-Weizen-Weizen (L5) und Roggen-Mais-Silage (V9) ersetzt.
Zudem wurden Brachland und Grünlandflächen allmählich in die oben genannten produktiven Fruchtfolgen und Obstplantagen sowie in die Waldarten Douglasie, Douglasie-Buche, Fichte und Buche-Eiche umgewandelt. Hierbei wurde insbesondere darauf ge-

achtet, dass Landwirtschaftsflächen siedlungsnah und Waldflächen siedlungsfern entstehen, um die Fahrwege für den Landwirtschaftsverkehr möglichst gering zu halten.

4. Da die oben genannten Simulationen noch nicht zur gewünschten Zielerreichung führten, wurden in den folgenden Schritten weitere Landschaftsveränderungen vollzogen. Zunächst wurde ein Großteil der Grünlandflächen in die unter dem 3. Punkt erwähnten Forst- und Landwirtschaftsflächen umgeformt. Hierbei wurde berücksichtigt, dass Waldflächen vor allem entlang der Fließgewässer entstehen. Im Anschluss wurden weitere Landwirtschaftsflächen durch die bereits erwähnten ertragsreicheren und effizienteren Anbausorten ersetzt, sodass sich schließlich auf acht verschiedene Anbausorten beziehungsweise Fruchtfolgen in dem Untersuchungsgebiet konzentriert wurde.

3.3.2 Ökonomisches Szenario

1. Da sich nur etwa ein Drittel der Waldflächen in Sachsen im Privatbesitz befinden, werden Änderungen im Waldflächenbestand effizienter und großflächiger durchzuführen sein als Änderungen im Ackerflächenbestand, der sich zum Großteil im Privatbesitz befindet. Daher wurden für die Bearbeitung der Waldflächen das Biomasse- und das AAMS-Modul verwendet, mit denen Landnutzungstypen vollständig umgewandelt werden können, und für die Bearbeitung der Ackerflächen und sonstigen Landnutzungstypen der Zelluläre Automat, der auch eine unvollständige Umsetzung von Maßnahmen berücksichtigt.

In einem ersten Schritt wurden zunächst Baumarten identifiziert, die eine sehr geringe Holzproduktion aufwiesen, und somit ökonomisch nicht ideal waren. Diese Arten wurden sodann durch Baumarten mit höherer Holzproduktion ersetzt. Dabei wurde entweder das Biomassemodul verwendet, wobei die Änderung im Zeitschritt 0 stattfand, oder das AAMS-Modul, mit dem es zusätzlich möglich war, nur diejenigen Flächen auszuwählen, die sich nicht im Privatbesitz befanden. Nur diese Auswahl an Flächen wurde bei der Nutzung des AAMS-Moduls umgewandelt, da angenommen wurde, dass Änderungen von Flächen im Privatbesitz nicht ohne weiteres möglich seien. Sämtliche Baumarten, die auf mit dem Biomasse - oder dem AAMS-Modul umgewandelt wurden, sind in Tabelle 3 im Anhang aufgelistet.

3. Schließlich wurde der zelluläre Automat dazu genutzt, Ackerflächen, die wenig ertragreich sind, durch Ackerflächen mit höherem ökonomischen Wert beziehungsweise höherer Biomasseproduktion zu ersetzen. Die in Tabelle 3 genannten Zielflächen gingen jeweils mit einer Wahrscheinlichkeit von 33 % aus den ebenfalls dort genannten Ausgangsflächen hervor. Der Prozess wurde 20-mal wiederholt. Zusätzlich wurden sowohl ein Großteil des Brachlands (1,9 % von ursprünglich 1,97 % der Gesamtfläche) als auch sämtliche Weinanbaugebiete in Ackerflächen umgewandelt (10-faches iterieren). Die

somit umgewandelten Flächen betragen 1,99 % der Gesamtfläche des Untersuchungsgebiets.

Um das Ziel der Erhöhung der Waldfläche um 2 % zu erreichen, wurde außerdem mit dem Zellulären Automaten ein Regelset erstellt, das 2 % der Gesamtfläche, die vorher aus Grasland bestanden, zu Buche-Eiche umwandelte.

4. Da das angestrebte Ziel der Biomassenerhöhung noch nicht erreicht war, wurde zusätzlich mit dem Zellulären Automaten Grasland zu den drei oben genannten Ackerflächen umgewandelt. Jede der drei Anbauarten wurde zu 10 % aus Grasland erschaffen (30-malige Iteration).

3.3.3 Gemäßigtes Szenario

1. Zunächst wurde das Biomasse-Modul dazu verwendet, Baumarten so zu ersetzen, dass die Werte aller berücksichtigten Faktoren durch die Ersetzung insgesamt zunahmen. Da großflächige Ersetzungen in der Realität nur schwer umzusetzen sind, wurden nur solche Baumarten ersetzt, die einen geringen Flächenanteil besaßen. Dies schmälert zwar die Wirksamkeit der Maßnahmen, trägt aber zu einer besseren Umsetzbarkeit im Praxisfall bei. Folgende Ersetzungsvorgänge wurden mit dem Biomassemodul durchgeführt:

- Kiefer - Birke → Douglastanne-Buche
- Hainbuche → Fichte-Buche
- Tanne → Esche

Die Ersetzung der Kiefer-Birke-Flächen durch Douglastanne-Buche - Flächen geschah im Zeitschritt 20. Die anderen beiden Vorgänge fanden im Zeitschritt 0 statt. Es wurden unterschiedliche Zeitschritte für die Änderungen gewählt, um eine allmählichen Umsetzung der Maßnahmen zu simulieren.

2. Schließlich wurde das AAMS-Modul dazu verwendet, bestimmte Arten von Ackerflächen auszuwählen und diese in andere Arten umzuwandeln. Wie schon bei der Umwandlung der Baumarten im Biomasse-Modul bestand der Zweck dieser Maßnahme darin, die Werte der betrachteten Faktoren insgesamt zu erhöhen. Die zu ersetzenden Anbaufolgen waren Erbsen-Weizen-Roggen-Hafer (D6), Raps-Weizen-Gerste (L1), Raps-Weizen-Gerste-Weizen (L2), Hanf-Silogetreidemischung (L9) und Raps-Weizen-Roggen (V1) und wurden ersetzt durch Raps-Weizen-Silomais (D2), Klee-Weizen-Kartoffeln (D7) und Zuckerrüben-Weizen-Weizen (L5). Außerdem wurden Ackerflächen, auf denen Raps-Weizen-Gerste-Folgen (D1) angebaut wurden, mit Douglastannen-Wäldern ersetzt, um die Einhaltung des 2,1 %-Ziels für die Aufforstung zu gewährleisten.

3. Danach wurden mit dem zellulären Automaten Regelsets erstellt, die Brachland, versiegelte Flächen, Tagebauflächen und Sandflächen zu Wäldern umwandelten, insofern diese in der Nachbarschaft von dichten urbanen Gebieten oder von Wasserflächen lagen. Hiermit sollte der Vorgabe aus dem Landesentwicklungsplan Rechnung getragen werden, dass Bereiche in der Nähe von Siedlungsgebieten mit hoher Einwohnerdichte ebenso wie Bereiche entlang von Gewässern bevorzugt umgewandelt werden sollen (SÄCHSISCHES STAATSMINISTERIUM DES INNERN 2013, 140). Die genannten Landnutzungstypen wurden zu je 20 % in Buchen-Eichen- und Douglastannen-Wälder umgewandelt. Hierbei wurde der Prozess 20-mal iteriert. Da diese Änderungen jedoch zu kleinräumig waren, wurden zusätzlich solche Flächen aufgeforstet, die an bestehenden Waldgrenzen lagen. Wiederum wurden in 20 Iterationen Brachland, versiegelte Flächen, Tagebauflächen und Sandflächen mit einer Wahrscheinlichkeit von 20 % in Buchen-Eichen- und Douglastannen-Wälder umgewandelt. Hierbei blieb jedoch die Einschränkung auf siedlungs- und flussnahe Gebiete außen vor. Beim Ersetzungsvorgang wurde dafür die Borderland-Funktion eingeschaltet, sodass nur Gebiete an bestehenden Waldgrenzen umgewandelt werden.
4. Um Trade-Offs zu verringern und gleichzeitig die Biomasseproduktion so weit wie möglich zu erhöhen, wurden anschließend mittels dem zellulären Automaten einige letzte Änderungen vorgenommen. Da die Aufforstung bereits über das 2,1 %-Ziel gestiegen war, konnten überschüssige Waldflächen zu Ackerland umgewandelt werden. Je 15 % der Buchen-Eichen-Wälder wurden in 5 Iterationen durch Felder mit Zuckerrüben-Weizen-Weizen-Folgen (L5) ersetzt. Zudem wurden auf je 10 % der vorherigen Douglastannen-Gebiete in 20 Iterationen Silomais-Felder (L10) geschaffen. Weiterhin wurden die vergleichsweise unproduktiven Anbaufolgen Raps-Weizen-Silomais (D2) und Raps-Gerste-Roggen (D3) zu 10 % in 20 beziehungsweise 15 Iterationen entfernt und durch die produktiveren Zuckerrüben-Weizen-Weizen-Folgen (L5) ersetzt. Diese wurden außerdem auf vorherigen Graslandflächen angebaut, wobei mit einer Umwandlungswahrscheinlichkeit von 10 % 15-mal iteriert wurde.

3.3.4 Extremes Szenario

Um die Zielvorgaben zu erreichen, wurden bei der Simulation die Baum- und Landwirtschaftsarten auf wenige flächeneffiziente und -produktive Arten beschränkt. Hierzu zählen bei den Waldtypen Douglasie, Eichen-Buchenwald, Douglasie-Buche sowie Fichte und bei den Anbausorten Silomais-Silomais-Roggen (L10), Zuckerrübe-Weizen-Weizen (L5) sowie Raps-Weizen-Silomais (D2) dazu. Flächenumwandlungen fanden vorrangig auf Kosten von Grünlandflächen statt.

1. Bereits seit Beginn (Jahr 0) wurde der Kiefernbestand sukzessive durch die Douglasie ersetzt. Im Jahr 5 wurden alle aufzuforstenden Flächen mit einem Eichen-Buchenbestand bepflanzt. Auch im nächsten Zeitschritt (Jahr 10) fand über einen Kahlschlag eine tiefgreifende Veränderung im Waldbestand statt. Hierbei wurden alle Eichenwälder zu Eichen-Buchenbestände umgewandelt. Ab dem Jahr 50 wurde zudem der Lärchenbestand durch einen Douglasie-Buchen-Mischwald allmählich ersetzt.
2. Im nächsten Schritt wurden alle Vorranggebiete für Aufforstung oder für Waldflächen mit der Douglasie bepflanzt. Anschließend wurden alle ausgeschriebenen Naturschutzgebiete sowie Vorbehaltsflächen für den Naturschutz mit der Douglasie bewaldet. Diese Maßnahmen gewährleisteten die optimale Bewaldung dieser planungsmäßig vorgeschriebenen Flächen sowie eine Erhöhung des Waldbestandes in dem Gebiet.
3. Um im Folgenden eine Konzentration auf die einführung erwähnten Waldtypen und Landwirtschaftsnutzungen zu erreichen, wurden zunächst die Landwirtschaftsflächen und anschließend die Baumarten verändert.
4. Damit die erforderliche Erhöhung der Biomasse erreicht wird, wurden danach Grünland- und Brachflächen durch Agrarflächen beziehungsweise gewässernah durch Waldflächen ersetzt sowie eine Maximierung der Flächeneffizienz durch die Umsortierung von den Landnutzungsklassen erreicht.

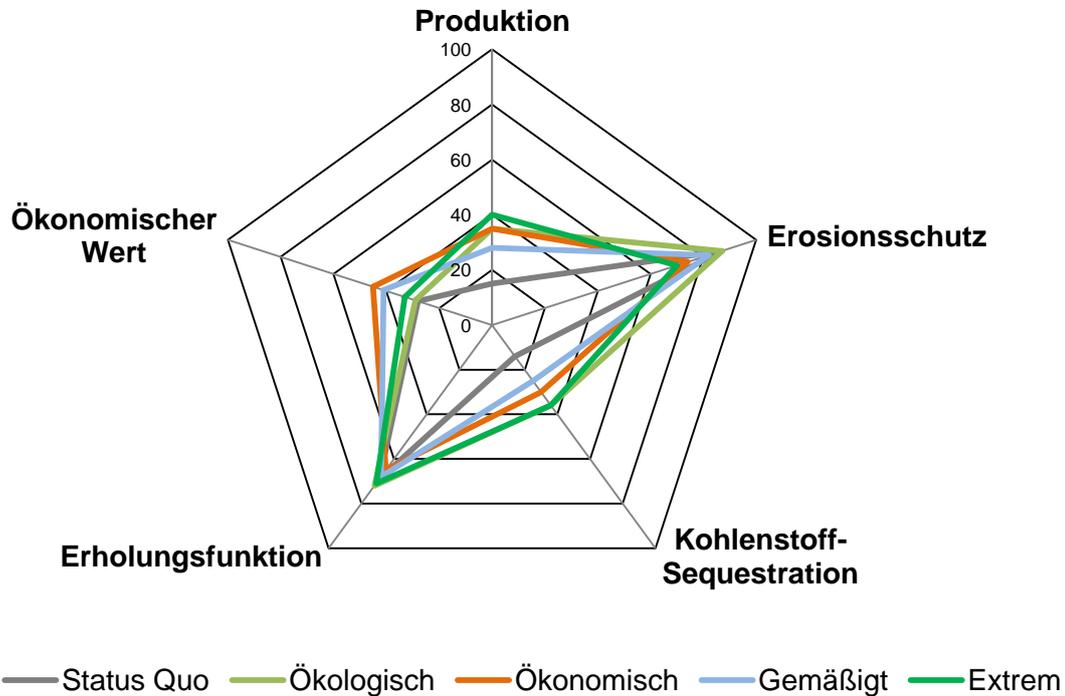
3.4 Ergebnisse

Die berechneten Szenarien aus Kapitel 3.3 sowie das mit Status Quo benannte Ausgangsszenario sind in den Abbildungen Abbildung 4 - Abbildung 12 im Anhang ersichtlich.

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Szenarien kurz beschrieben und anschließend verglichen. Hierbei wird zunächst auf die Evaluierungsergebnisse (3.4.1), gefolgt von der Flächenstatistik (3.4.2) und abschließend auf die Landschaftsmuster (3.4.3) eingegangen. Bei den Einzelbeschreibungen wird immer Bezug zum Status Quo genommen.

3.4.1 Evaluierungsergebnisse

Abbildung 1: Evaluationsergebnisse der Szenarien



Quelle: Eigene Darstellung.

Tabelle 1: Übersichtstabelle der Evaluationsergebnisse

Parameter	Szenarien				
	Status Quo	Ökologisch	Ökonomisch	Gemäßigt	Extrem
Biomasse-Produktion	15	35	35	28	40
Erosionsschutz	87	87	74	82	70
Kohlenstoff-Sequestration	14	36	30	25	36
Erholungsfunktion	69	72	65	68	71
Ökonomischer Wert	28	29	45	41	33

Quelle: Eigene Darstellung.

Ökologisch. Das Ziel der Biomassen-Erhöhung wurde in dem ökologischen Szenario exakt erreicht. Die Kohlenstoffspeicherung nahm in dem Untersuchungsgebiet um über 150 % zum Ausgangsstadium zu. Somit wurde das Ziel ÜZ 3 erfolgreich umgesetzt. Zudem änderte sich der Erosionsschutzfaktor trotz Landschaftseingriffen nicht. Auch Ziel 11 wurde daher erfolgreich verwirklicht. Die Erholungsfunktion der Region konnte um 3 %-Punkte und sogar der ökonomische Wert um 1 %-Punkt gesteigert werden. Das ökologische Szenario zeigt somit zusammenfassend keine negativen Trends in den Evaluationsergebnissen.

Ökonomisch. Wie in Abbildung 1 dargestellt, wurde das Ziel einer Erhöhung der Biomasse um 20 %-Punkte im ökonomischen Szenario ebenfalls exakt erreicht. Auch der ökonomische

Wert wuchs von ursprünglich 28 Punkten auf 45 Punkte an. Das Ziel der Erhöhung des ökonomischen Wertes war zwar nicht quantitativ festgelegt, ein so deutlicher Anstieg darf aber als Erfolg betrachtet werden. Außerdem wurde der Wert für die Kohlenstoffspeicherung mehr als verdoppelt, was sich durch die gesteigerte Biomassemenge begründen lässt. Die Nachteile des Szenarios zeigen sich in der Bodenerosion und der Erholungsfunktion: Beide Faktoren wurden im Vergleich zum Ausgangsmodell vermindert.

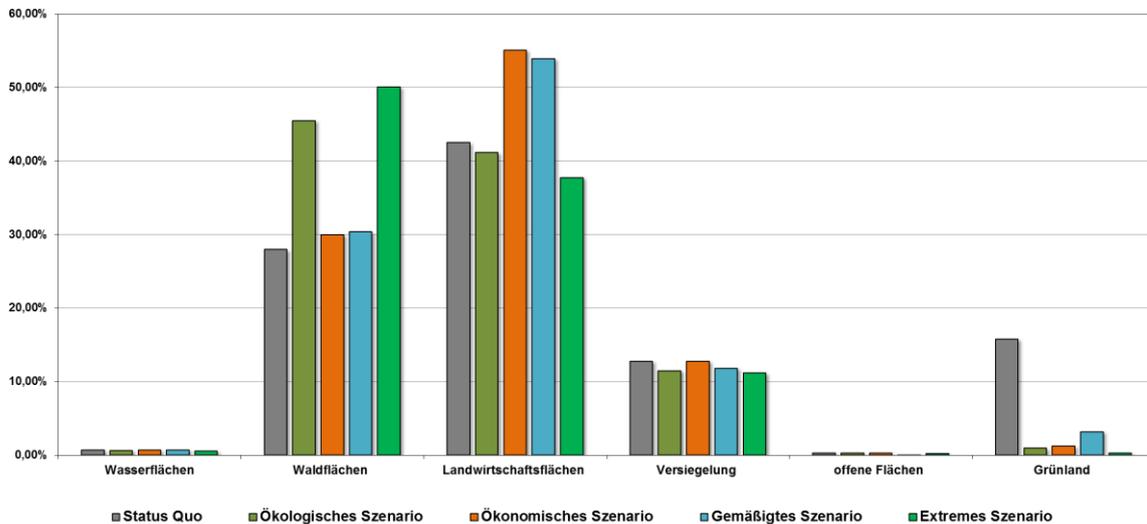
Gemäßigt. Die Biomasseproduktion stieg im gemäßigten Szenario lediglich um 13 %-Punkte auf 28 %-Punkte an. Dies ist zwar eine deutliche Erhöhung, verfehlt aber das übergeordnete Ziel der Biomassenerhöhung. In Folge der Aufforstung und der veränderten Anbauarten nahmen ebenfalls die Kohlenstoffspeicherung sowie der ökonomische Wert zu. Beide verzeichneten einen deutlichen Zuwachs von 11 beziehungsweise 13 %-Punkten. Dagegen nahmen die Bodenerosion und der ästhetische Wert um einige Punkte ab. Insgesamt fallen jedoch die positiven Veränderungen deutlich stärker aus als die negativen.

Extrem. In dem extremen Szenario wurde das Biomassen-Ziel erwartungsgemäß um 5 %-Punkte übertroffen. Dies geht einher mit einer immensen Steigerung der Kohlenstoff-Sequestrierung im Untersuchungsgebiet von 22 %-Punkten gegenüber des Status Quos (Zielerreichung ÜZ 3). Aufgrund des starken Landschaftseingriffs und der Konzentration auf wenige Anbauarten fiel jedoch der Erosionsschutzfaktor um etwa 20 % auf 70 %-Punkte. Dagegen wurde die ökonomische Wertschätzung der Region um 5 %-Punkte gesteigert. Als positiver Nebeneffekt ist zudem die Erhöhung der Erholungsfunktionswerte um 2 %-Punkte zu erwähnen. Zusammenfassend zeigt das Szenario neben der zu erwarteten Erosionssteigerung keine weiteren negativen Tendenzen.

Vergleich. Im Szenarienvergleich zeigt sich, dass abgesehen von dem gemäßigten Szenario jedes andere in mindestens einem Evaluationsparameter den höchsten Wert erzielte. So erreichte bei der Biomassenproduktion die extreme Simulation den höchsten Wert (40 %-Punkte). Auch erzielte es zusammen mit dem ökonomischen Szenario bei der Kohlenstoffspeicherung mit 36 %-Punkten die besten Ergebnisse. Das ökonomische Szenario ist zudem führend im Erosionsschutz (87 %-Punkte) und der Erholungsfunktion (72 %-Punkte). Gemäß der Zielsetzung erreichte das ökonomische Szenario bei dem ökonomischen Wert mit 45 %-Punkten das mit Abstand erfolgreichste Resultat.

3.4.2 Flächenstatistik

Abbildung 2: Flächenstatistik. Szenarienvergleich nach Landnutzungskategorien



Quelle: Eigene Darstellung.

Ökologisch. Im ökologischen Szenario stieg der Waldanteil um fast 18 %. Das Ziel Z 4 wurde somit erfolgreich umgesetzt. Es ist ersichtlich, dass vor allem Grünlandflächen durch Waldflächen ersetzt wurden. Der Anteil ist hier von der Ausgangssituation aus (15,79 %) stark zurückgegangen (0,93 %). Bei Betrachtung der Zusammensetzung der Waldflächen fällt auf, dass zwar ein Schwerpunkt auf den Typen Douglasie-Buche (14,66 %) sowie Fichte (4,88 %) liegt, die anderen Baumarten aber alle erhalten blieben. Somit wurde Ziel Z 8 erreicht. Die Landwirtschaftsflächen nahmen zwar leicht ab (um etwa 1,5 %), die erhöhte Biomasseproduktion (s. Kapitel 3.4.1) lässt aber auf eine gestiegene Flächeneffizienz schließen. Obwohl in der Szenarienumsetzung keine Flächenänderungen in den weiteren Landnutzungs-klassen stattfanden, nahmen diese um einen kleinen Betrag ab (bis zu 1,29 %). Auch hat das Szenario 261 Zellen mehr als das Status Quo.

Ökonomisch. Für das ökonomische Szenario zeigt sich, dass im Vergleich zum Ausgangsszenario die Waldfläche um ca. 7.000 ha gestiegen ist. Dies entspricht etwa 2 % der Gesamtfläche. Auch das Ziel der Erhöhung des Waldflächenbestandes um 2% wurde somit erreicht, auch wenn der relative Anteil an Waldflächen abgenommen hat. Dies liegt an dem starken Anstieg der Ackerflächen, die in diesem Szenario um rund 40.000 ha gewachsen sind und somit über die Hälfte der Gesamtfläche einnehmen.

Gemäßigt. Im Vergleich zum Status Quo haben die Waldflächen des gemäßigten Szenarios um 2,39 %-Punkte zugenommen. Somit wurde das Ziel Z 5 erreicht. Auch die landwirtschaft-

lichen Flächen sind deutlich um rund 10% angestiegen. Hierbei vor allem durch die Umwandlung der versiegelten, der offenen und der Grünlandflächen.

Extrem. In dem extremen Szenario liegt der Waldanteil in dem Untersuchungsgebiet bei 50,06 %. Dieses entspricht einem Anstieg von über 20 %. Die Landwirtschaftsfläche nahm hingegen um 4,75 % deutlich ab. Bei einer gleichzeitigen Steigerung der Biomasseproduktion (s. Kapitel 3.4.1) bedeutet dies eine starke Zunahme der Flächeneffizienz. Die Ziele ÜZ 3 und Z 4 wurden demnach erfolgreich umgesetzt. Ein Großteil der Waldflächen lässt sich auf die Umwandlung von Grünland zurückführen. Dessen Anteil im Untersuchungsgebiet nahm auf 0,28 % deutlich ab. Die Wald- und Landwirtschaftstypen sind von wenigen Anbauarten dominiert. Die Douglasie mit 39,78 % und Silomais-Silomais-Roggen (L10) mit 28,84 % haben hierbei den größten Anteil. Zwar wurden die anderen Landnutzungskategorien bei der Umsetzung außen vor gelassen, dennoch ist eine leichte Abnahme zu verzeichnen (um bis zu 1,6 %). Das Szenario hat nach dem Berechnungsdurchlauf 1.317 Zellen mehr als zur Ausgangssituation.

Vergleich. Alle Szenarien erreichten ihre jeweiligen Ziele zur Steigerung des Waldflächenanteils. Diese Ziele waren jedoch je nach Szenario unterschiedlich anspruchsvoll, so betrug die angestrebte Erhöhung im ökonomischen und im gemäßigten Szenario lediglich 2 beziehungsweise 2,1 %-Punkte, im ökologischen und im extremen Szenario dagegen 12 beziehungsweise 20 %-Punkte. Die beiden letztgenannten Szenarien übertrafen ihr Ziel sogar, sodass diese am Ende einen Waldflächenanteil zwischen 40 und 50 % aufweisen. Hier ist zu erwähnen, dass der Anteil bei den erstgenannten Szenarien nahe 30 % lag. Die Flächenanteile der Agrarflächen zeigen dementsprechend ein entgegengesetztes Bild: Bei dem ökonomischen und dem gemäßigten Szenario wurde der Anteil an Ackerflächen stark auf etwa zwischen 50 und 60 % erhöht, bei dem ökologischen und dem extremen Szenario sank er sogar von ursprünglich 42,5 auf ca. 41 beziehungsweise 38 %. Gemeinsam hatten alle Szenarien, dass die Wasserflächen, die versiegelten Flächen und die offenen Flächen sich nicht oder nur geringfügig veränderten. Diese Flächenanteile hatten bereits im Status Quo einen minimalen Anteil am Untersuchungsgebiet. Die Grünlandflächen wurden in allen Szenarien stark dezimiert, am wenigsten jedoch beim gemäßigten Szenario. Bei diesem war eine Verringerung 12,5 %-Punkte zu beobachten.

3.4.3 Landschaftsmuster

Tabelle 2: Ergebnistabelle der Szenarien von verschiedenen Landschaftsparametern

Parameter	Szenarien				
	Status Quo	Ökologisch	Ökonomisch	Gemäßigt	Extrem
Effective Mesh Size (km ²)	4,46	4,46	4,46	4,42	4,68
Shannon's Diversity Index	2,17	2,34	1,89	1,94	1,45
Patch Density (pro km ²)	0,39	0,43	0,27	0,3	0,31

Quelle: Eigene Darstellung.

Die Messgröße der „effektiven Maschenweite“ dient als ein Indikator für die Zerschneidung der Landschaft. Die Landschaftszerschneidung wird als ein Hauptgrund für den starken Artenverlust in Europa gesehen (Esswein et al. 2003: 54). Durch eine zunehmende Landschaftszerschneidung werden neben naturbezogene Funktionen wie der biologischen Vielfalt, auch Funktionen direkt für den Menschen und dessen Lebensqualität wie der Verlust von Erholungsflächen oder regionsspezifisch differenzierte „wiedererkennbare“ Landschaft als Identifizierung von Heimat, beeinträchtigt (Esswein et al. 2003: 54, Walz 2012: 133 f.).

Der Shannon-Index trifft eine Aussage über die Vielfalt eines Datensatzes, bezogen sowohl auf die Anzahl verschiedener Arten, als auch auf die Anzahl an Individuen pro Art. Er ist eine dimensionslose Größe und kann Werte zwischen 0 und dem natürlichen Logarithmus der Anzahl der Arten annehmen. Je höher der Wert für den Shannon-Index, desto höher die Vielfalt der Arten in dem untersuchten Datensatz.

Die 'patch density' misst die Anzahl der homogenen Flächen im Untersuchungsgebiet. Homogene Flächen werden hierbei als Flächen gleicher Landnutzung angesehen. Diese Anzahl wird in Relation zur Größe des Untersuchungsgebiets gesetzt, sodass die 'patch density' am Ende in der Einheit 1/km² angegeben wird.

Die effektive Maschenweite blieb bei dem ökonomischen und ökologischen Szenario mit 4,46 km² im Vergleich zu dem Status Quo unverändert. Bei dem extremen Szenario nahm der unzerschnittene Freiraum um 0,02 km² leicht zu und bei dem gemäßigten Szenario um 0,04 km² leicht ab.

Der Shannon-Index verringerte sich in jedem Szenario außer dem ökologischen. Der Schwerpunkt auf der Ökologie erzielte somit die beabsichtigte Wirkung und führte zu einer erhöhten Vielfalt in der Landnutzung. Im extremen Szenario dagegen sank er auf einen sehr niedrigen Wert von 1,45. Auch das ökonomische und das gemäßigte Szenario hatten eine - wenn auch geringere - Verringerung der Vielfalt um etwa 0,3 zur Folge.

Die Betrachtung der 'patch density' zeigt ähnliche Resultate. Auch hier konnte nur beim ökologischen Szenario eine Verbesserung auf 0,43/km beobachtet werden, die übrigen Szenarien wiesen allesamt schlechtere Werte zwischen 0,27/km und 0,31/km auf.

4 Empfehlungen und Fazit

Von den vier erstellten Szenarien ist das gemäßigte Szenario das am einfachsten umzusetzende, da es mit möglichst wenigen Landschaftseingriffen verfährt. Es berücksichtigt außerdem die im Landesentwicklungsplan Sachsen geforderte Umwandlung von Bereichen in Siedlungsnähe als Erholungsgebiete (Z 6) und die Förderung gewässerbegleitender Wälder (Z 7). Beide Ziele wurden in die Szenario-Umsetzung implementiert. Auch die Aufforstung von 2,1 % Waldflächen (Z 5) wurde erfolgreich umgesetzt. Jedoch zeigen die Landschaftsstrukturparameter (s. Tabelle 2) eine negative Veränderung, sodass nicht nur das Ziel Z 12 nicht erreicht, sondern sich sogar davon entfernt wurde. Außerdem wurde das Hauptziel der Erhöhung der Biomasseproduktion verfehlt. Obwohl es einen deutlichen Anstieg in der Biomasseproduktion von 15 auf 28 %-Punkte gab, wurde die Grenze von 35 % weit unterschritten. Der geringere Aufwand kann unserer Meinung nach die Verfehlung von zwei Zielen nicht rechtfertigen, daher wird von der Verwirklichung dieses Szenarios abgeraten.

Das Extrem-Szenario erzielte bei der Evaluation ein durchaus positiv zu bewertendes Resultat (vgl. Tabelle 1). Das 20 %-Ziel der Biomasseproduktion wurde nicht nur erreicht, sondern mit 25 %-Punkten deutlich übertroffen. Mit Ausnahme der Bodenerosion verbesserten sich auch die Werte aller übrigen Faktoren. Noch deutlicher wurde das Ziel in der Flächenstatistik übertroffen: Mit einer Erhöhung um 23 %-Punkte verdoppelte sich die vorhandene Waldfläche beinahe. Die extremen Eingriffe hatten allerdings zur Folge, dass die biologische Vielfalt der Landschaft stark zurückging. Der Shannon-Index sank von 2,17 auf 1,45. Dies ist im Vergleich zu den anderen Szenarien ein ungewöhnlich starker Abfall. Die somit gezeigte Reduzierung der Vielfalt und die schwere Realisierbarkeit des Szenarios führen zu dem Schluss, dass es für die Praxis ungeeignet ist.

Sowohl das ökonomische als auch das ökologische Szenario erreichten erfolgreich das Hauptziel der Erhöhung der Biomassenproduktion um 20 %-Punkte. Die Auswertung der Evaluation ergab, dass das Ökonomie-Szenario einen deutlich besseren Wert in 'economic value' besitzt, und das ökologische Szenario dafür in den Punkten Bodenerosion, Kohlenstoffspeicherung und der Erholungsfunktion besser abschneidet. Da die beiden Szenarien genau auf diese Vor- und Nachteile ausgerichtet waren, ist das Ergebnis durchaus erwünscht. Sowohl Ökonomie- als auch Ökologie-Szenario erreichten auch das Ziel der Waldflächenaufforstung (Z 4, Z 5). Während das ökonomische Szenario das Ziel exakt erreichte,

übertraf das ökologische Szenario das sehr viel höhergestecktes Ziel (Erhöhung um 12 %-Punkte) sogar um 5,5 %-Punkte deutlich. Hinsichtlich der Flächenstruktur zeigte das ökologische Szenario ebenfalls bessere Trends. Als einziges Szenario konnte es eine Verbesserung sowohl im Shannon-Index als auch in der 'patch-density' aufweisen. Das ökonomische Szenario hatte sich hier deutlich verschlechtert.

Als abschließendes Fazit wird daher das **ökologische Szenario** als das am besten zur Realisierung geeignete Szenario empfohlen.

5 Literaturverzeichnis

AHLKE, B., G. BECKMANN, R. BINOT, H. BUCHER, M. BURGENDORF, B. BUTHE, F. DOSCH, K. EINIG, M. ELTGES, H.-P. GATZWEILER, D. GEBHARDT, W. GÖRMAR, K. GREILING, S. GÜNTNER, P. JAKUBOWSKI, A. JONAS, R. KAWKA, A. KOCH, E. KORINKE, G. KRISCHAUSKY, G. LACKMANN, H. LUTTER, S. MARETZKE, A. MILBERT, J. NIELSEN, N. NOLTE, A. PERNER, L. PORSCHE, T. PÜTZ, C. SCHLÖMER, V. SCHMIDT-SEIWERT, P. SCHÖN, A. SCHÜRT, M. SPANGENBERG, J. STRAUß, G. STURM, A. WACKER, M. WALTERSBACHER, A. WALTHER, T. WEHMEIER, M. ZARTH & B. ZASPEL (2012): Raumordnungsbericht 2011. Bonn: BBSR.

ESSWEIN, H., J. JAEGER & H.-G. SCHWARZ-VON RAUMER (2003): Der Grad der Landschaftszerschneidung als Indikator im Naturschutz: Unzerschnittene verkehrssarme Räume (UZR) oder effektive Maschenweite (meff)? In: ALFRED TOEPFFER AKADEMIE FÜR NATURSCHUTZ (Hrsg.). Naturschutz-Indikatoren: Neue Wege im Vogelschutz. NNA-Berichte Jg. 16, H. 2. Schneverdingen: NNA, 53–68.

GRUNEWALD, K. & O. BASTIAN (2012): Ökosystemdienstleistungen: Konzept, Methoden und Fallbeispiele. SpringerLink Bücher. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg; Imprint: Springer Spektrum.

MARKS, R., J.M. MÜLLER, H. LESER & H.J. KLINK (1989): Anleitung zur Bewertung des Leistungsvermögens des Landschaftshaushaltes (BA LVL). Forschungen zur deutschen Landeskunde Bd. 229. Trier: Der Zentralausschuss.

SÄCHSISCHES STAATSMINISTERIUM DES INNERN (2013): Landesentwicklungsplan 2013.

WALZ, U. (2012): Indikatoren zur Landschaftsvielfalt. In: MEINEL, G., SCHUMACHER, U. & BEHNISCH, M. (Hrsg.). Flächennutzungsmonitoring IV: Genauere Daten - informierte Akteure - praktisches Handeln. IÖR-Schriften 60. Berlin: Rhombos, 133–139.

Anhang

Tabelle 3: Übersichtstabelle der Umsetzungsschritte

Entfernt:	Wurde ersetzt durch:	Modul
Fichte [40]	Douglastanne [100]	BM
Eiche [60]	Roteiche [80]	BM
Tanne [50]	Douglastanne - Buche [90]	BM
Aufforstung [15]	Buche-Eiche [50]	AAMS
Kiefer-Birke [35]	Douglastanne [100]	AAMS
Birke [45]	Eiche [60]	AAMS
Erle [25]	Eiche-Buche [40]	AAMS
Grasland	L4; L5; L10; Buche-Eiche	CA
Brachland	L4; L5; L10	CA
Weinbau	L4; L5; L10	CA
A1	L4; L5; L10	CA
D1	L4; L5; L10	CA
D3	L4; L5; L10	CA
L1	L4; L5; L10	CA
L2	L4; L5; L10	CA
V1	L4; L5; L10	CA

A1: Klee - Klee - Klee
D1: Raps - Weizen - Gerste
D3: Raps - Gerste - Roggen - Mais - Triticale
L1: Raps - Weizen - Gerste
L2: Raps - Weizen - Gerste - Weizen
L4: Zuckerrüben - Weizen - Silomais - Gerste - Weizen - Gerste
L5: Zuckerrüben - Weizen - Weizen
L10: Silomais - Silomais - Roggen
V1: Raps - Weizen - Roggen

Quelle: Eigene Darstellung.

Tabelle 4: Übersichtstabelle der Zielvorgaben

Ziel-Nr.	Ziel-Bezeichnung	Szenarienbezug
1. Übergeordnete Ziele		
ÜZ 1	Stärkung der klimagerechten Entwicklung in Städten und Gemeinden	Alle Szenarien
ÜZ 2	Entwicklung von Vermeidungs-, Minderungs- und Anpassungsstrategien im Hinblick auf die räumlichen Konsequenzen des Klimawandels	Alle Szenarien
ÜZ 3	Ausbau von CO ₂ -neutralen beziehungsweise -minimierenden erneuerbaren Energien als Alternative zu fossilen Energieträgern und Kernbrennstoffen	Alle Szenarien
ÜZ 4	Steigerung der Flächeneffizienz erneuerbarer Energien	Alle Szenarien
2. Landwirtschaftliche Ziele		
Z 1	Verminderung der Neuinanspruchnahme von Freiflächen für Siedlungs- und Verkehrszwecke	
Z 2	Beitrag landwirtschaftlich genutzter Flächen zum Erhalt der natürlichen Lebensgrundlagen, naturnaher Lebensräume und zur Förderung der biologischen Vielfalt	
Z 3	Flächenzunahme des Anteils ökologisch bewirtschafteter Flächen	Ökonomisch
Z 11	angepasste Bewirtschaftung landwirtschaftlich genutzter Böden zur Stabilisierung der Umweltsituation und Vermeidung von Ertragsausfällen	Ökologisch
3. Forstliche Ziele		
Z 4	Erhöhung des Waldanteils im Freistaat Sachsen auf 30 % für eine Erhöhung der Holzproduktion, Verbesserung der Kohlenstoffspeicherfunktion, des Wasserhaushalts und Tier- und Pflanzenwelt sowie des Klimas und der Anpassung an den Klimawandel und der menschlichen Gesundheit	Ökologisch, Ökonomisch, Extrem
Z 5	Speziell in der Planungsregion Oberes Elbtal/Osterzgebirge eine Erhöhung des Waldanteils um einen Flächenanteil von 2,1%	Ökonomisch, Gemäßigt
Z 6	Umwandlung von Bereichen, die in der Naherholungszone von Siedlungsbereichen mit hoher Einwohnerdichte liegen und die derzeit eine geringe lokalklimatische Entlastungswirkung aufweisen, in Bereiche mit lokalklimatischer Ausgleichswirkung gegenüber sommerlicher Hitzebelastung	Gemäßigt
Z 7	Mehrung Gewässer begleitender Wälder, insbesondere von Auwäldern an großen Flüssen (LEP Sachsen, S. 140)	Ökologisch, Gemäßigt
Z 8	Erhöhung des Anteils standortgerechter Baumarten (Waldumbau)	Ökologisch
4. Sonstige Ziele		
Z 9	Beplanungsgebot und Rekultivierung beziehungsweise Renaturierung von Brachflächen (Z 2.2.1.7, 56)	Ökonomisch, Gemäßigt
Z 10	Vermeidung von Bodenverdichtung, Bodenerosion sowie die Überlastung der Regelungsfunktion des Bodens im Wasser- und Stoffhaushalt	
Z 12	Zerschneidung von Landschafts- und Waldflächen ist zu vermeiden	Gemäßigt

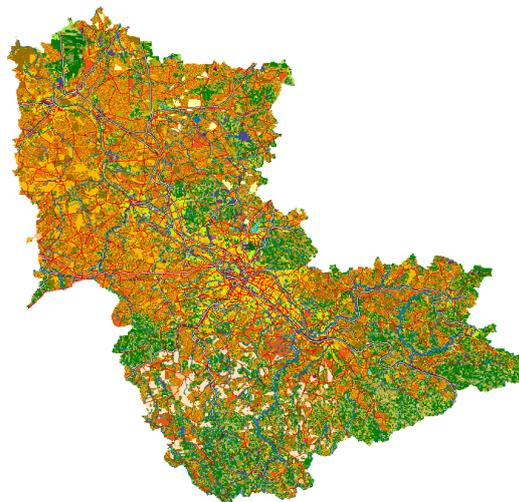
Quelle: Eigene Darstellung.

Abbildung 3: Status Quo - Übersicht



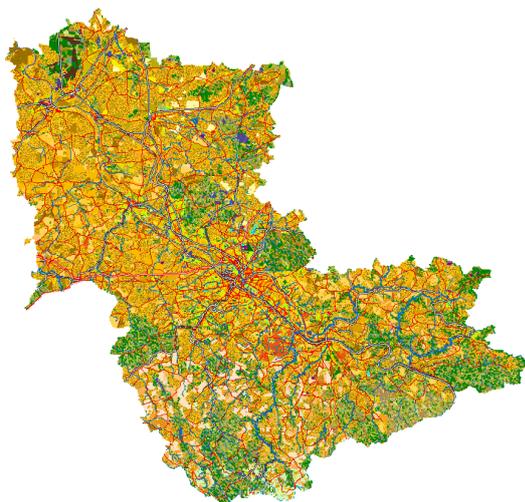
Quelle: Eigene Darstellung.

Abbildung 4: Ökologisches Szenario - Übersicht



Quelle: Eigene Darstellung.

Abbildung 5: Ökonomisches Szenario - Übersicht



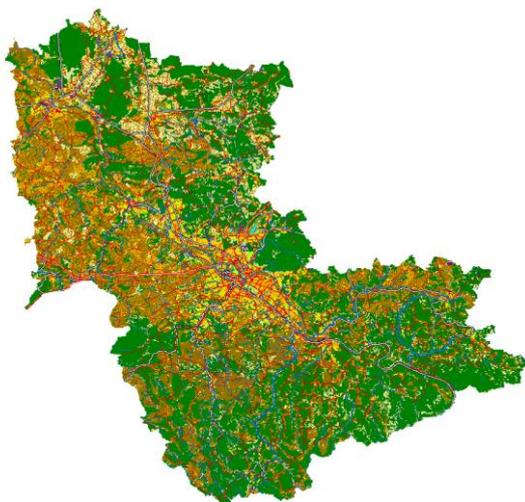
Quelle: Eigene Darstellung.

Abbildung 6: Gemäßigtes Szenario - Übersicht



Quelle: Eigene Darstellung.

Abbildung 7: Extremes Szenario - Übersicht



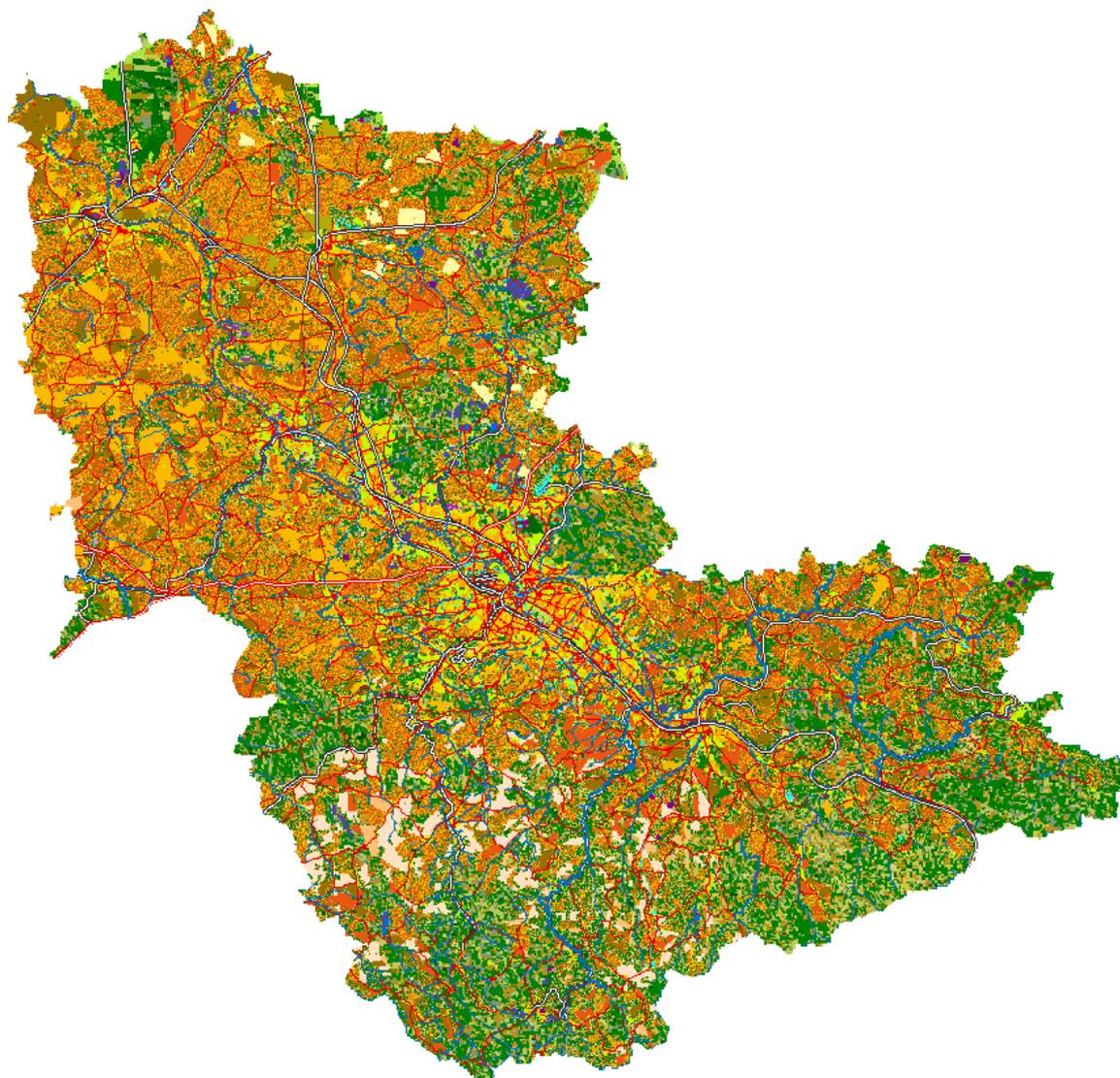
Quelle: Eigene Darstellung.

Abbildung 8: Status Quo - Großansicht



Quelle: Eigene Darstellung.

Abbildung 9: Ökologisches Szenario - Großansicht



Quelle: Eigene Darstellung.

Abbildung 10: Ökonomisches Szenario - Großansicht



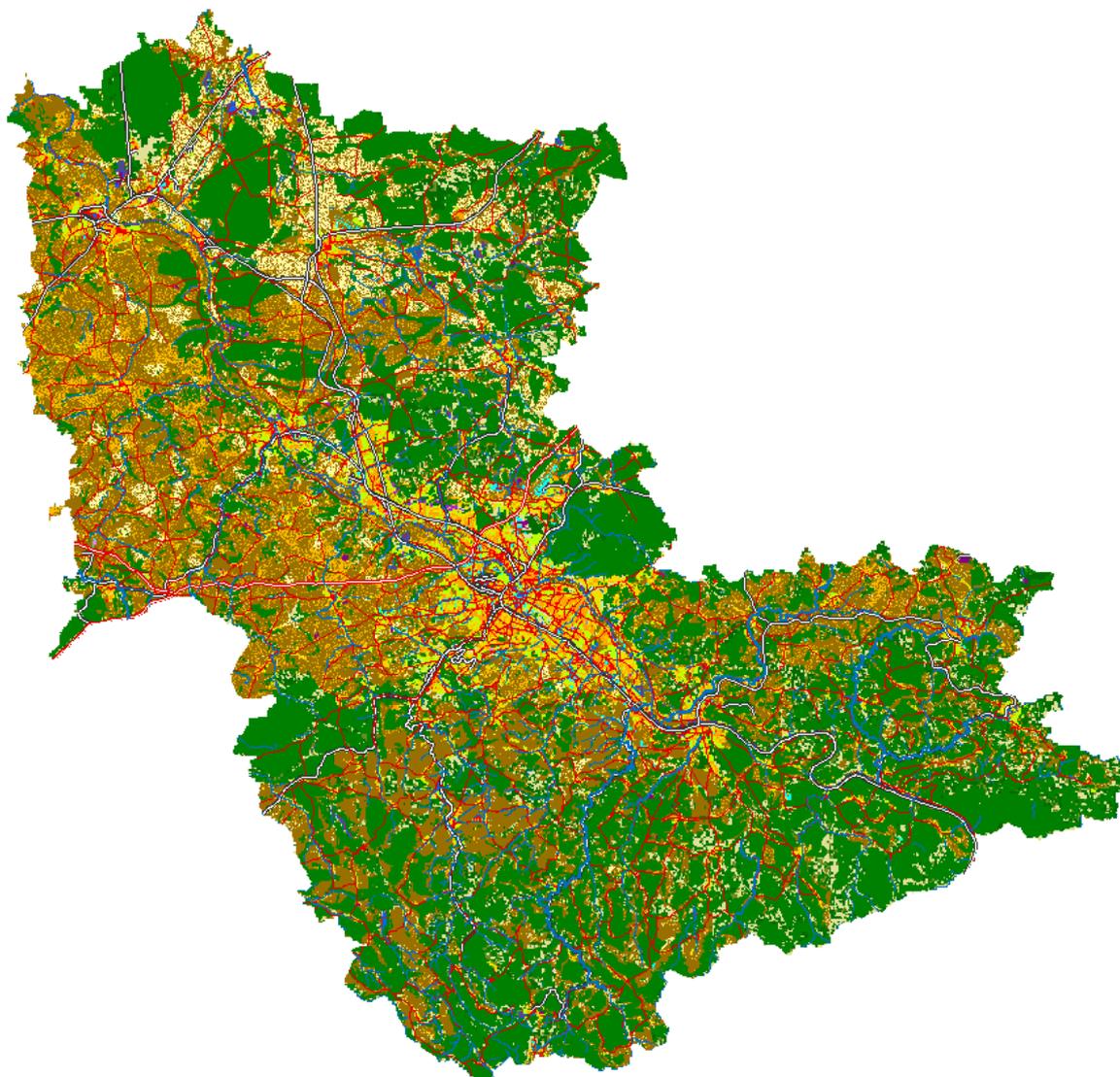
Quelle: Eigene Darstellung.

Abbildung 11: Gemäßigtes Szenario - Großansicht



Quelle: Eigene Darstellung.

Abbildung 12: Extremes Szenario - Großansicht



Quelle: Eigene Darstellung.

Abbildung 13: Kartenlegende

Water body	Beech-Fir
Dense urban	Beech-Maple
Loose urban	Spruce-Oak
Very loose urb.	Douglas Fir-Oak
Big buildings	Fir
Sealed surfaces	Short Rotation
Fallow land	A1 - Clover -
Very dense urb.	D1 - Rape - Wheat
Hedges	D2 - Rape - Wheat
Wetlands	D3 - Rape - Barley
Viticulture	D4 - Rape -
Orchards	D5 - Rape - Corn
Hop	D6 - Pea - Wheat -
Bare rock	D7 - Clover - Whea
Excavation	D8 - Alfalfa -
Open-cast	D9 - Barley silage -
Sand	D10 - Barley silage
Bridges	L1 - Rape - Wheat
Greenhouses	L2 - Rape - Wheat
Urban open space	L3 - Rape - Wheat
Grassland	L4 - Sugar beet -
Afforestation	L5 - Sugar beet -
Beech-Oak	L6 - Pea - Wheat -
Beech-Spruce	L7 - Clover -
Beech	L8 - Alfalfa -
Oak-Maple	L9 - Hemp -
Oak-Beech	L10 - Corn silage -
Oak-Pine	V1 - Rape - Wheat
Oak	V2 - Rape - Wheat
Red Oak	V3 - Pea - Wheat -
Spruce-Beech	V4 - Rape -
Spruce-Pine	V5 - Field gras -
Spruce	V6 - Rye - Clover -
Spruce-Fir	V7 - Clover -
Pine-Birch	V8 - Clover -
Maple	V9 - Rye silage -
Pine	V10 - Rye silage -
Pine-Oak	River 1
Ash	River 2
Alder	River 3
Larch	River 4
Douglas Fir-Beech	River 5
Douglas-Fir	Street 1
Hornbeam	Street 2
Birch	Street 3
Oak-Red Oak	Street 4
Poplar	Street 5
Swamp Birch	

Quelle: Eigene Darstellung.