



NACHHALTIGES LANDMANAGEMENT

Modellregion Fläming

Entwicklung der Landnutzung
Schlussfolgerungen

Projekt- und Regionalpartner:

Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Abteilung für Hydrologie und Wasserwirtschaft

Georg-August Universität Göttingen

- Fakultät für Forstwissenschaften und Waldökologie
 - Abteilung Forstökonomie und Forsteinrichtung
 - Abteilung Forst- und Naturschutzpolitik und Forstgeschichte
- Fakultät für Agrarwissenschaften
 - Abteilung Tierzucht und Haustiergenetik
 - Abteilung Graslandwissenschaft
 - Abteilung für Allgemeine Pflanzenpathologie und Pflanzenschutz

Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung GmbH (UFZ), Lysimeterstation Falkenberg

Hochschule Vechta, Lehrstuhl für Landschaftsökologie

Landeskompetenzzentrum Forst Eberswalde (LFE)

- Fachbereich Waldökologie und Monitoring
- Fachbereich Waldschutz und Wildökologie

Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF) e. V.

- Institut für Landnutzungssysteme
- Institut für Sozioökonomie

Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt (NW-FVA), Göttingen

- Abteilung Waldwachstum
- Abteilung Umweltkontrolle
- Abteilung Waldschutz

Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung (PIK)

TU Berlin, Institut für Landschaftsarchitektur und Umweltplanung

Universität Halle-Wittenberg, Institut für Agrar- und Ernährungswissenschaften

Universität Rostock, Agrar- und Umweltwissenschaftliche Fakultät, Phytomedizin

Landkreis Diepholz

Landkreis Uelzen

Regionale Planungsgemeinschaft Havelland-Fläming

Regionale Planungsgemeinschaft Anhalt-Bitterfeld-Wittenberg

Regionale Planungsgemeinschaft Oderland-Spree

Herausgeber:

Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt (NW-FVA)

Grätzelstr. 2, 37079 Göttingen

Tel.: 0551-69401-0, Fax: 0551-69401-160

E-Mail: zentrale@nw-fva.de

Website: <https://www.nw-fva.de>

Titelfoto: Regionale Planungsgemeinschaft Havelland-Fläming

Inhalt

1	Das Projekt	1
2	Die Modellregion Fläming	2
2.1	Zahlen und Fakten	2
2.2	Sichtweisen zur Landnutzung	3
3	Klimaentwicklung	5
4	Entwicklung der Landnutzung	8
4.1	Szenarien	8
4.2	Wasserhaushalt	10
4.3	Forstwirtschaft	12
4.4	Landwirtschaft	22
5	Politische Instrumente	27
5.1	Einschätzung des regionalen Leitbildes vor dem Hintergrund der politischen Rahmenbedingungen	27
5.2	Mögliche politische Anknüpfungspunkte für die Umsetzung des regionalen Leitbildes	27
6	Folgerungen für ein nachhaltiges Landmanagement	29
7	Quellen	32
8	Fachbegriffe	35
9	Anhang	38

1 Das Projekt

Das Verbundprojekt Nachhaltiges Landmanagement im norddeutschen Tiefland (NaLaMa-nT) hatte sich zum Ziel gesetzt, eine Wissens- und Entscheidungsgrundlage für ein nachhaltiges Landmanagement im Untersuchungsraum unter heutigen und künftigen Rahmenbedingungen zu erarbeiten. Hierfür wurde der Zeitraum von 2011 bis 2070 betrachtet. Gleichzeitig sollte die angewandte Forschung stärker mit den Akteuren in den Regionen vernetzt werden.

„Nachhaltiges Landmanagement“ wurde im Projekt als ein langfristig tragfähiges Bewirtschaftungsprinzip zum Ausgleich der Interessen im ländlichen Raum definiert. Es ist charakterisiert durch eine planmäßige Nutzung begrenzter Ressourcen (Fläche, Wasser, Boden, Kapital etc.) in einem Handlungskorridor, der sich mit den ökologischen, ökonomischen und sozioökonomischen Rahmenbedingungen verändert, aber stets kritische Grenzwerte einhält. Dabei werden die Verpflichtungen gegenüber

künftigen Generationen und der Einfluss verschiedener räumlicher und zeitlicher Skalen ebenso beachtet wie die funktionalen Wechselwirkungen zwischen verschiedenen Landnutzungsformen und die Eigentümerinteressen bzw. die gesellschaftlichen Ansprüche.

In den Jahren 2010 bis 2015 arbeiteten insgesamt 21 wissenschaftliche Arbeitsgruppen aus 11 Forschungseinrichtungen der Land-, Forst- und Wasserwirtschaft, der Klimatologie sowie der Sozioökonomie gemeinsam mit 4 Arbeitsgruppen aus Kommunalverwaltungen bzw. regionalen Planungsgemeinschaften in ausgewählten Modellregionen (siehe Abbildung 1) zusammen. Eine dieser Modellregionen ist die Region Fläming.

Gefördert wurde das Projekt vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) im Rahmen der Forschungsfördermaßnahme „Nachhaltiges Landmanagement“ als Teil des Rahmenprogrammes „Forschung für Nachhaltige Entwicklung“ (FONA).

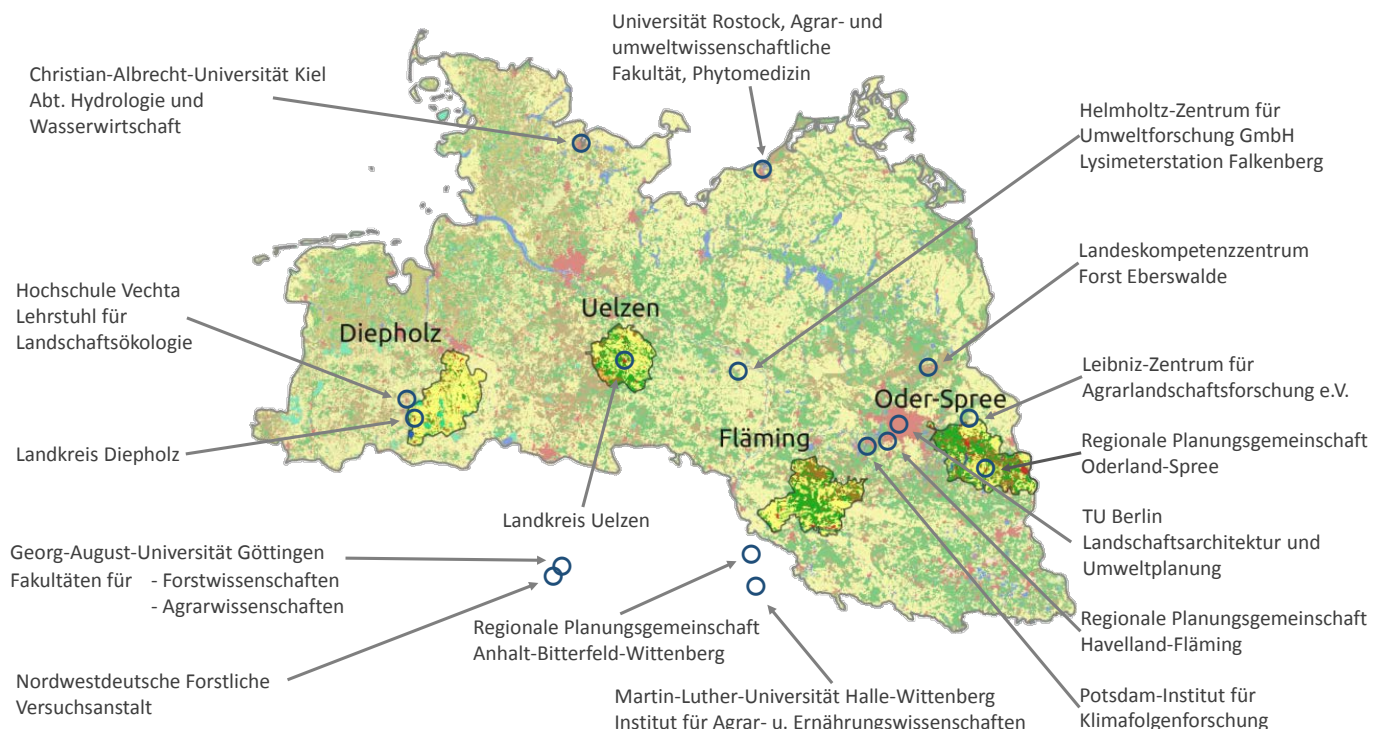


Abbildung 1: Untersuchungsraum norddeutsches Tiefland, Modellregionen und am Projekt beteiligte wissenschaftliche und regionale Institutionen.

2 Die Modellregion Fläming

2.1 Zahlen und Fakten

Die Modellregion Fläming stellt im Rahmen des Projektes eine Besonderheit dar. Ihre Grenzen decken sich, im Gegensatz zu den anderen drei Modellregionen, nicht mit den administrativen Abgrenzungen eines Landkreises. Die Region umfasst Teile des brandenburgischen Landkreises Potsdam-Mittelmark und der sachsen-anhaltischen Landkreise Anhalt-Bitterfeld und Wittenberg.

Die Modellregion hat eine Fläche von 2.163 km². In ihr leben ca. 120.400 Einwohner bzw. durchschnittlich 55,7 Einwohner pro km² (siehe Tabelle 1). Damit ist sie ein vergleichsweise dünn besiedeltes Gebiet. Die demographische Entwicklung ist deutlich negativ. So wird die Bevölkerungszahl den Prognosen zufolge in Zukunft weiter deutlich abnehmen (STATISTIK SACHSEN-ANHALT 2011 a-d).

Die Siedlungsstruktur ist dezentral. Allerdings leben etwa 50.000 Einwohner, also 41 % der Bevölkerung der Modellregion, in der Stadt Wittenberg und bilden dort den Siedlungsschwerpunkt der Region (STATISTISCHE ÄMTER DES BUNDES UND DER LÄNDER 2011).

Der primäre Sektor ist hinsichtlich seines Flächenanteils mit ca. 91 % überdurchschnittlich stark vertreten. Der größte Teil der Fläche wird landwirtschaftlich (ca. 49 %) oder forstwirtschaftlich (ca. 42 %) genutzt (siehe Abbil-

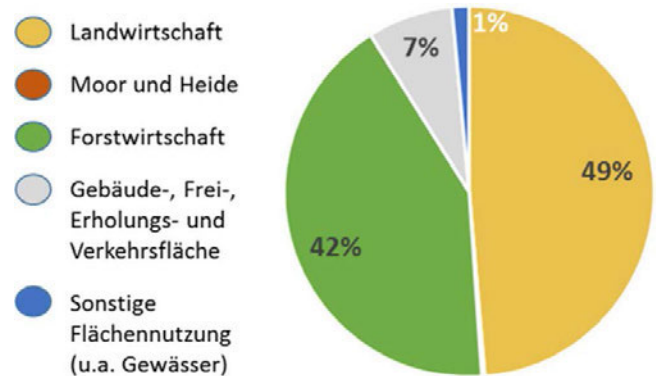


Abbildung 2: Flächenanteile der Landnutzungen in der Modellregion Fläming.

dung 2). Der landwirtschaftliche Flächenanteil ist somit so groß wie im brandenburgischen Durchschnitt (49 %) und deutlich niedriger als im sächsisch-anhaltischen Durchschnitt (62 %). Die Forstwirtschaft in der Modellregion ist dagegen flächenmäßig im Vergleich zu den Durchschnittswerten der beiden Länder von stark überdurchschnittlicher Bedeutung.

Die Gebäude- Frei-, Erholungs- und Verkehrsflächen nehmen in der Region insgesamt einen Anteil von 7 % ein. Der Wasserflächenanteil liegt bei 1 %.

Tabelle 1: Strukturdaten der Modellregion Fläming.

Basisdaten ¹	
Fläche ²	2.163 km ²
Einwohnerzahl (2009) ³	120.446
Bevölkerungsdichte (2009) ³	55,7 EW/km ²
	30,1 EW/km ² (Brandenburg)
	85,3 EW/km ² (Sachsen-Anhalt)
prognostizierte Bevölkerungsentwicklung ⁴	-19,6 % (2009-2025 ST) bis -32,9 % (2009-2030 BB)
Flächennutzung ⁵	
Landwirtschaft	105.489 ha (48,8 %)
Moor und Heide	554 ha (0,5 %)
Forstwirtschaft	90.903 ha (42,3 %)
Gebäude-, Frei-, Erholungs- und Verkehrsfläche	16.092 ha (7,4 %)
Sonstige Flächennutzung	3.227 ha (1,5 %)
Wirtschaft	
Arbeitslosenquote (2011) ⁶	9,2 - 10,7 %

¹ da es sich vielfach um kumulierte Daten auf Gemeindeebene handelt, kommt es zu rundungsbedingten Abweichungen.

² Statistische Ämter des Bundes und der Länder 2011

³ ebd. Tabelle 1

⁴ ebd. Kapitel II 1

⁵ nach Daten aus: Statistische Ämter des Bundes und der Länder 2011

⁶ <http://www.arbeitsagentur.de/Dienststellen/RD-BB/Potsdam/AA/A01-Allgemein-Info/Publikation/pdf/Der-Potsdamer-Arbeitsmarkt-im-Juni-2011.pdf>,

<http://www.arbeitsagentur.de/Dienststellen/RD-SAT/Wittenberg/AA/07-Zahlen-Daten-Fakten/Arbeitsmarktberichte/2011/AM-06-11.pdf>,

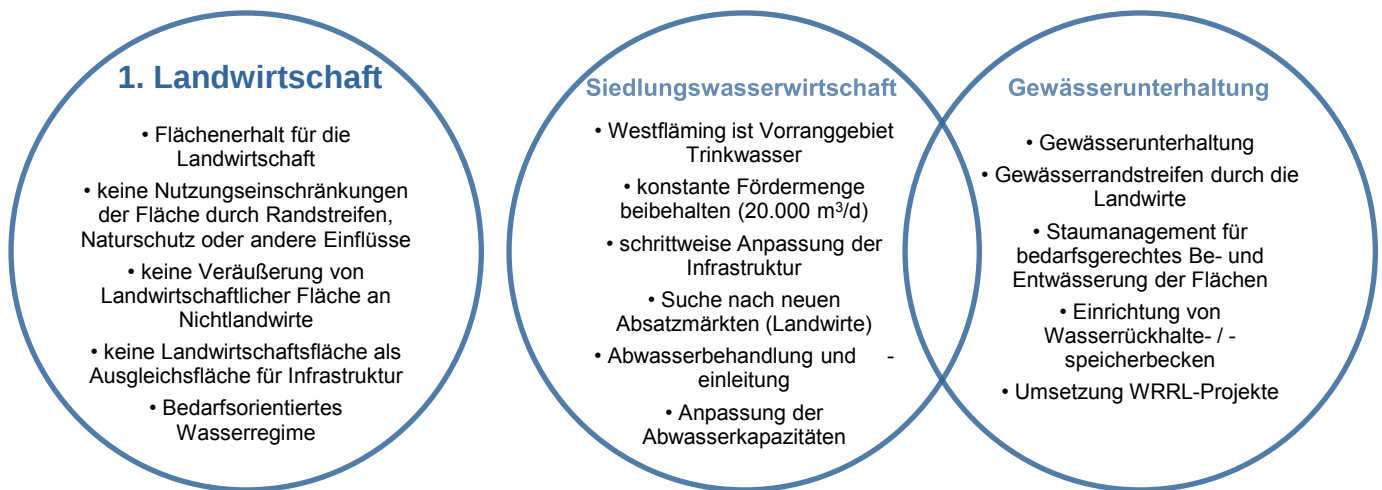
<http://www.arbeitsagentur.de/Dienststellen/RDSAT/Dessau/AA/5-Pressen/Presseinformationen/2011/056-2011-PI-AMR-06-2011-PDF.pdf>

2.2 Sichtweisen zur Landnutzung

Unter Landnutzung bzw. der Nutzung des ländlichen Raumes wird nicht nur die direkte Nutzung des Bodens durch Land-, Forst- und Wasserwirtschaft verstanden, auch wenn diese Bereiche den ländlichen Raum stark prägen. Hierzu gehören u. a. auch die Bedürfnisse und Anforderungen seitens der Bevölkerung an die Erholung sowie den Natur- und Landschafts(bild)schutz.

Um die aktuellen Sichtweisen der im Bereich der Landnutzung handelnden Personen möglichst zutreffend zu beschreiben, wurden im Rahmen des Projektes zunächst wichtige Vertreter der Landnutzung und anschließend deren vorrangigen Interessen (Themen) identifiziert (siehe Abbildung 3).

3. Wasserwirtschaft



4. Querschnitt

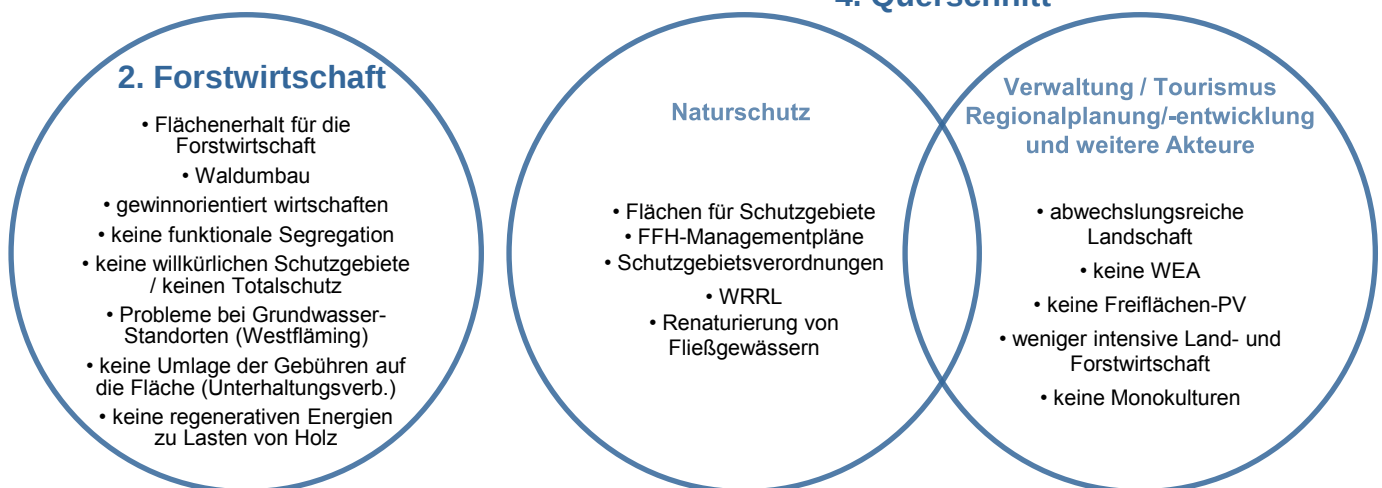


Abbildung 3: Akteursgruppen in der Modellregion Fläming und ihre (Nutzungs-)Interessen und Präferenzen. (WRRL = Wasserrahmenrichtlinie der EU, WEA = Windenergieanlagen, Freiflächen-PV = Freiflächen-Photovoltaikanlagen).

Im Rahmen von Workshops entstanden drei sektorale Leitbilder mit Zielvorstellungen für die Sektoren Wasserwirtschaft, Landwirtschaft und Forstwirtschaft (siehe Kasten, *mit redaktionellen Änderungen*). Gemeinsam erarbeiteten die regionalen Stakeholder, moderiert durch einen Projektpartner, auf Grundlage dieser sektoralen Zielvorstellungen das gemeinsame regionale Leitbild.

Leitbild Wasserwirtschaft: Laut den Akteuren der Wasserwirtschaft liegt der zukünftigen Landnutzung in der Modellregion Fläming ein funktionierendes Gewässermanagement zugrunde, auf dessen Basis eine standortangepasste landwirtschaftliche Flächennutzung stattfindet. Dadurch wird auch dem Gewässer- und Grundwasserschutz umfassend Rechnung getragen. Neben der weiteren Umsetzung der Ziele der WRRL erfolgt auch eine bedarfsgerechte Anpassung der Wassergewinnungsrechte mit Blick auch auf zukünftige Herausforderungen.

Leitbild Landwirtschaft: Für die Vertreter der Landwirtschaft bilden der quantitative wie auch der qualitative Erhalt der landwirtschaftlichen Flächen im Fläming die Basis für eine effiziente, marktorientierte und vorrangig der Nahrungsmittelproduktion gewidmete Landbewirtschaftung, die das Einkommen der landwirtschaftlichen Betriebe sichert. Ein Wassermanagement und die Beregnung sichern auch zukünftig die Möglichkeiten der landwirtschaftlichen Nutzung. Elementar ist, dass weiterer Flächenentzug verhindert wird. Möglichkeiten einfacherer Nutzungsänderungen (Wald/Acker/Grünland) könnten das unterstützen und würden auch dem Er

halt der Biodiversität dienen. Wichtig für die zukünftige Bewirtschaftung ist eine erfolgreiche Forschung, die Vermittlung von Wissen und der Erhalt der Kompetenz der Landwirte sind bedeutend.

Leitbild Forstwirtschaft: Aus Sicht der Forstwirtschaftsakteure liegt dem Leitbild eine Fortsetzung der nachhaltigen Bewirtschaftung zugrunde, die multifunktional ausgerichtet ist, also auf der gleichen Fläche Nutz-, Schutz- und Erholungsfunktionen erfüllt. Neben dem Erhalt der Waldfläche sind im Privatwald auch der Erhalt der Eigentumsvielfalt und der Besitzgrößen/-strukturen sowie eine Erhöhung der Holzmobilisierung von hoher Bedeutung. Unter dieser Maßgabe wird ein Waldumbau mit (klima-)angepassten Baumarten angestrebt, der sowohl neue Baumarten einbezieht, als auch die steigende Nachfrage nach Nadelholz beachtet, die die Basis für eine regionale Holzverarbeitung ist. Eine stärkere Nutzung von Waldflächen zur Produktion von Windenergie sollte nicht vorangetrieben werden, sondern der Holznutzung Vorrang eingeräumt werden. Die thermische Verwertung des Holzes sollte erst am Ende einer „Wertstoffkette Holz“ stehen.

Gemeinsames Leitbild:

Die Landnutzung in der Region Fläming soll nachhaltig gestaltet sein. Die land- und forstwirtschaftlichen Flächen sollen in der Nutzung bleiben. Vielfältige Eigentumsformen und -größen bilden die Grundlage für regionale Wertschöpfung und regionale Stabilität. Eine multifunktionale Waldnutzung mit kaskadenartiger Holznutzung und mehr regionale Holzverarbeitung tragen dazu bei. Ein intelligentes zweiseitiges Wassermanagement steuert die Wasserstände bedarfsorientiert und stützt die regionale Landwirtschaft. Die Nutzung erneuerbarer Energien wird im Rahmen eines regionalen Energiekonzeptes gesteuert.

3 Klimaentwicklung

Zur Abschätzung des Klimaeinflusses auf die zukünftige Entwicklung der Landnutzung wurde im Rahmen des Projektes NaLaMa-nT das IPCC Szenario „RCP 8.5“ verwendet (IPCC 2013, Moss et al. 2010, VAN VUUREN et al. 2011). Dieses Szenario unterstellt einen starken Anstieg der CO₂-Konzentrationen in den nächsten Jahrzehnten (siehe Abbildung 4). Eine Regionalisierung der Klima-Projektion des Globalmodells ECHAM6 (STEVENS et al. 2013) für Deutschland wurde mit dem Modell STARS (ORLOWSKY et al. 2008) vorgenommen.

Die innerhalb des Zeitraums von 1991 bis 2012 für das Szenario angenommene CO₂-Entwicklung zeigt den gleichen Verlauf, wie die tatsächlich in dem Zeitraum gemessenen CO₂-Emissionen. Die beobachteten Werte lagen sogar etwas über denen des Szenarios RCP 8.5. Die Werte für das mittlere RCP 4.5-Szenario liegen ab 2005 deutlich unterhalb der aktuellen Emission. Dies gilt auch für die Szenarien RCP 3-PD und RCP 6. Falls der Trend der CO₂-Emissionen anhält, kann das seinerzeit vom IPCC als eher extrem eingeschätzte Szenario RCP 8.5 als durchaus realistisch angesehen werden.

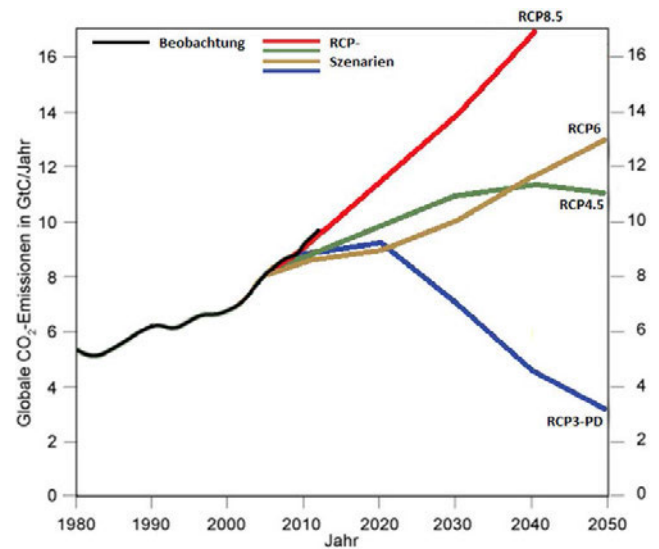


Abbildung 4: Gemessene (schwarze Linie) und entsprechend den RCP-Szenarien vorgegebene globale CO₂-Emissionen pro Jahr für den Zeitraum 1980 bis 2050 (PETERS et al. 2013, verändert).

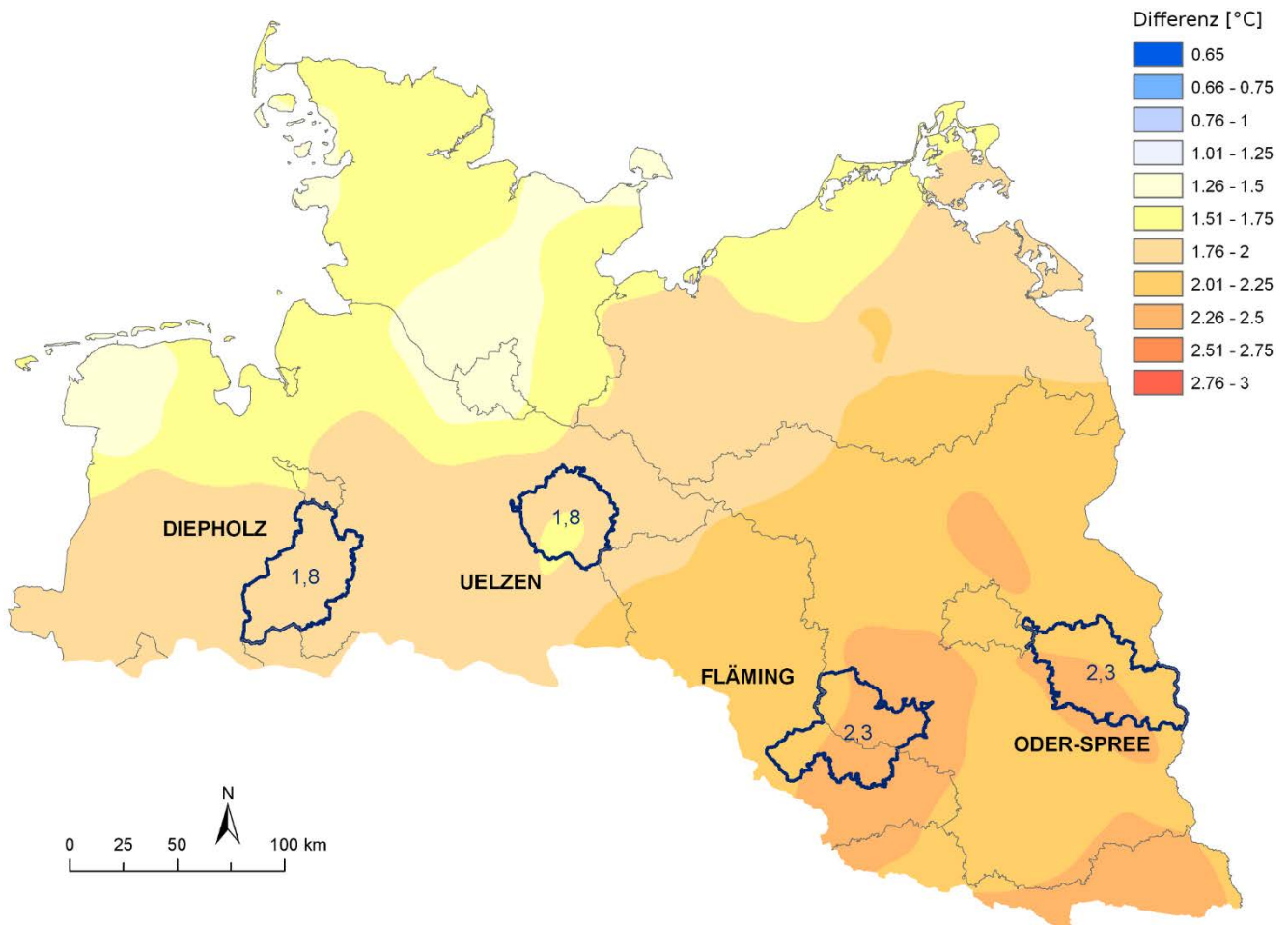


Abbildung 5: Änderung der mittleren Jahresmitteltemperatur (2051-2070 im Vergleich zu 1991-2010).

Lufttemperatur

Für die Modellregion Fläming weisen die in den Jahren 1951-2010 gemessenen Jahresmitteltemperaturen einen Anstieg um ca. 1,1 °C aus. Die Klimaprojektionen legen nahe, dass sich dieser Trend in der Zukunft weiter fortsetzen wird. Bis zum Jahr 2070 nimmt die mittlere Jahresmitteltemperatur um weitere 2,3 °C zu (vgl. Tabelle 2), sodass es dann in der Modellregion insgesamt ca. 3,4 °C wärmer sein wird als zur Mitte des 20. Jahrhunderts.

Für die Zeit der Sommermonate Juni, Juli und August fällt die Temperaturzunahme bis zum Jahr 2070 mit 1,9 °C etwas geringer aus. Die Wintermonate werden jedoch 2,6 °C wärmer. Insgesamt ist festzuhalten, dass die bereits heute hohen Temperaturen vermutlich zukünftig stärker steigen werden, als in allen anderen Modellregionen. Die steigende Hitzebelastung zeigt sich auch in der Zunahme der Tage mit Hitzebelastung (KYSLEY 2004). Hier zeigen die

Modellierungen eine deutliche Zunahme gegenüber dem Vergleichszeitraum. Etwas moderater erhöht sich die Anzahl schwüler Tage. Zukünftig muss diesbezüglich von durchschnittlich 18 statt bisher 11 Tagen im Jahr ausgegangen werden (siehe Tabelle 2).

Die Erwärmung führt erwartungsgemäß auch zu einer verringerten Kältebelastung im Winter. Die Anzahl der Frosttage geht um rund 35 Tage (46 %) zurück. Dennoch sind auch zukünftig immer noch vereinzelt Spätfröste möglich (in der Periode 2051-2070 im Mittel ca. 1 Tag pro Jahr). Letztlich führt die durchschnittliche Lufterwärmung bis 2070 zu einer Verlängerung der Vegetationsperiode um 34 Tage (+19 %) im Vergleich zur aktuellen Vegetationsperiode.

Tabelle 2: Simulationsergebnisse (Mittelwerte) ausgewählter klimatischer Parameter der Modellregion Fläming für die Zeiträume 1991-2010 und 2051-2070.

Parameter	1991-2010	2051-2070	2051-2070 - 1991-2010	
			absolut	in Prozent
Jahresmittel Lufttemperatur (°C)	9,8	12,1	2,3	---
Jahresmittel Tmax (°C)	14,2	16,7	2,5	---
Jahresmittel Tmin (°C)	5,7	7,6	1,9	---
Sommermittel Tmax (°C)	24,2	26,1	1,9	---
Wintermittel Tmin (°C)	-1,3	1,3	2,6	---
Anzahl heiße Tage pro Jahr	12,7	23,9	11,2	88,2
Anzahl der Kysely-Tage pro Jahr (Tage in Hitzewellen)	11,0	19,2	8,2	74,5
Anzahl Tage mit Schwüle pro Jahr	11,2	17,9	6,7	59,8
Anzahl Frosttage pro Jahr	75,4	40,9	-34,5	-45,8
Anzahl Spätfröste April/(Mai)	3,5	0,8	-2,7	-77,1
Anzahl Barfrosttage	25,1	10,9	-14,2	-56,6
Jahressumme Niederschlag (mm)	571,9	516,5	-55,4	-9,7
Sommer Niederschlag (mm)	179,6	123,8	-55,8	-31,1
Winter Niederschlag (mm)	125,2	146,3	21,1	16,8
Anzahl Tage ohne Niederschlag pro Jahr	182,7	211,8	29,1	15,9
Jahressumme: Klimatische Wasserbilanz (mm)	-89,0	-239,9	-150,9	---
Sommer: Klimatische Wasserbilanz (mm)	-157,8	-257,4	-99,6	---
Länge der Vegetationsperiode	179,2	213,6	34,4	19,2
Mittlere Schneedeckenhöhe (cm)	6,0	7,5	1,5	25,0
Anzahl der Tage mit Schneehöhe ≥ 10 cm	6,3	7,1	0,8	12,7
Mittlere Andauer der Tage mit Schneehöhe ≥ 10cm	4,1	1,1	-3,0	-73,2

Niederschlag

In der Modellregion Fläming fallen derzeit (1991-2010) durchschnittlich 572 mm Jahresniederschlag (siehe Tabelle 2). Damit gehört die Region zu den trockensten Gebieten Deutschlands.

Die Modellierungen weisen für die Zukunft (bis 2070) einen Rückgang des Jahresniederschlags um 55 mm (- 10 %) aus. Dadurch verschärft sich innerhalb dieses Zeitraums der Bodenwasserhaushalt deutlich. Für die Sommermonate (Juni - August) gilt dies besonders, da hier die relative Abnahme mit 31 % noch deutlich stärker ausfällt, während in den Wintermonaten die Niederschläge leicht steigen (17 %). In Folge des zurückgehenden Jahresniederschlags erhöht sich die Zahl der niederschlagsfreien Tage bis zum Jahr 2070 von 183 auf 212 pro Jahr (16 %).

Die Feuchteverhältnisse werden aber nicht nur durch den Niederschlag, sondern auch durch die Verdunstung bestimmt, die bei wärmerer und sonnenreicherer Witterung zunimmt. Ein Maß für die Feuchteverhältnisse ist u. a. die Klimatische Wasserbilanz ($KWB = \text{Niederschlag} - \text{potenzieller Verdunstung}$). Auf das Jahr bezogen ist diese Bilanz in großen Teilen der norddeutschen Tiefebene derzeit positiv, im Osten bis Südosten allerdings negativ. In der Modellregion Fläming wird sie nach den durchgeführten Berechnungen bis 2070 von einem aktuellen Jahreswert von -89 mm (1991-2010) auf einen Wert von -240 mm deutlich abfallen. Allein für die drei Sommermonate beträgt der Rückgang 100 mm (siehe Tabelle 2). Der Sommer wird somit durchschnittlich noch deutlich trockener als er heute bereits ist.



Feldweg bei Niemegk (Bild: RP Havelland-Fläming).

4 Entwicklung der Landnutzung

4.1 Szenarien

Entwicklungspfade der Landnutzung

Die Entwicklung der Landnutzung in einer Region wird nicht nur vom zukünftigen Klimageschehen beeinflusst, sondern unterliegt auch externen Einflüssen wie z. B. politischen Entscheidungen, den vielseitigen Abhängigkeiten von den Weltmärkten und der Bevölkerungsentwicklung.

Für die zwei Hauptakteure der Landnutzung Land- und Forstwirtschaft wurden daher verschiedene Entwicklungen in Form von Szenarien beschrieben und ihre Auswirkungen auf die Entwicklung in den ländlichen Räumen mit Hilfe von Modellen eingeschätzt. Es handelt sich hierbei um die sich jeweils deutlich voneinander unterscheidenden Entwicklungspfade „Referenz“, „Biodiversität“ und „Klimaschutz“. Der Referenzpfad gilt als Basis (sog. „Baseline“), dem die beiden Pfade „Biodiversität“ und „Klimaschutz“ gegenübergestellt werden.

Der Referenzpfad soll die Fortsetzung der derzeitigen ertragsorientierten Land- und Forstwirtschaft abbilden. Dagegen werden beim Entwicklungspfad „Biodiversität“ naturschutzfachliche Anforderungen stärker berücksichtigt, wie z. B. die zielorientierte Bewirtschaftung ökologischer Vorrangflächen auf 10 % der landwirtschaftlichen Nutzfläche oder die Ausrichtung der Baumartenwahl an den Baumarten der natürlichen Waldgesellschaften und ein hoher Anteil alter Waldbestände mit

entsprechenden Totholzanteilen. Beim Entwicklungspfad „Klimaschutz“ wird eine Landnutzung unterstellt, welche vorrangig die Emission von Treibhausgasen, insbesondere von Kohlendioxid, deutlich reduziert. Dies beinhaltet u. a. den Ersatz der Düngung mit mineralischem Stickstoff durch den Anbau von Leguminosen auf 20 % der Ackerfläche, die Umwandlung nasser und stark humoser Ackerflächen in extensives Dauergrünland oder die Bevorzugung von Mischbeständen mit führenden Nadelbaumarten bei der Verjüngung zur Erhöhung der stofflichen Holznutzung (siehe Abbildung 6).

Bewertung der Landnutzungsentwicklung

Die aktuellen Zustände sowie die modellierten zukünftigen Entwicklungen der Landnutzung in den Modellregionen werden anhand ausgewählter Nachhaltigkeitskriterien und -indikatoren zahlenmäßig beschrieben (siehe Tabelle 3 und Tabellen im Anhang). Diese lassen sich bewerten und gewichten, über die Sektorengrenzen zusammenführen und ermöglichen eine Beurteilung der Entwicklung der Landnutzung. Auf dieser Grundlage können dann der Zustand und die Entwicklung der Region analysiert, bestehende Leitbilder diskutiert und ggf. erforderliche Anpassungsstrategien abgeleitet werden.

Tabelle 3: Übersicht der Nachhaltigkeitskriterien und -indikatoren des Projekts NaLaMa-nT.

Kriterien	Indikatorgruppen	Indikatoren
1. Ressourcen	Fläche, Boden, Wald, Wasser	14
2. Stabilität	Ausfälle u. Gegenmaßnahmen, Bodenzustand, THG-Emissionen	12
3. Produktivität	Biomasseproduktion, Wassermenge	5
4. Beschäftigung	Beschäftigung	1
5. Regionale Wertschöpfung	Wertschöpfung	4
6. Naturschutz	Vorrangflächen, Vielfalt, Naturnähe	6
7. Lebensqualität	Stadt-Land-Vergleich	4



Abbildung 6: Die Entwicklungspfade der Landnutzung im Projekt NaLaMa-nT.



Im Projekt betrachtete Sektoren Land-, Forst-, und Wasserwirtschaft (Zeichnung: Georg Leefken, NW-FVA).

4.2 Wasserhaushalt

Die Modellregion Fläming ist überwiegend durch subkontinentale Klimaverhältnisse geprägt. Nur in Teilen des Hohen Flämings fällt etwas mehr Niederschlag als in den angrenzenden Gebieten und es ist noch ein gewisser ozeanischer Klimaeinfluss wahrnehmbar. Bezogen auf die gesamte Modellregion liegen aktuell die mittleren Jahresniederschläge bei durchschnittlich ca. 570 mm (niedrigster Wert aller Modellregionen). Sie sind damit für norddeutsche Verhältnisse als sehr gering einzustufen. Ein Grundwasseranschluss der Vegetation besteht nur auf ca. 10 % der Flächen. Zudem können die hier vorherrschenden Sandböden nur in geringem Maße Wasser speichern. Insgesamt bewirken diese Rahmenbedingungen auf großen Flächen schon heute eine eher knappe Wasserversorgung von Waldbäumen und Ackerkulturen.

Wasserwirtschaftlich ist der Westfläming von besonderer Bedeutung. Er ist laut Landesentwicklungsplan des Landes Sachsen-Anhalt ein Vorranggebiet für die Wassergewinnung.

Grundwasserneubildung

Die Grundwasserneubildung liegt unter heutigen Klimabedingungen im Mittel der Modellrechnungen bei 80 mm/a. Bis zum Jahr 2050 verändert sich deren Höhe kaum, danach zeigen die Modelle eine Abnahme bis zum Jahr 2070 auf 50 mm/a (siehe Abbildung 7). Da bereits unter den heutigen Klimabedingungen die mittlere Grundwasserneubildung gering ist, muss in Zukunft damit gerechnet werden, dass im Winterhalbjahr trockener Jahre insbesondere unter Waldflächen keine vollständige Auffüllung des Bodenwasserspeichers mehr erfolgt.

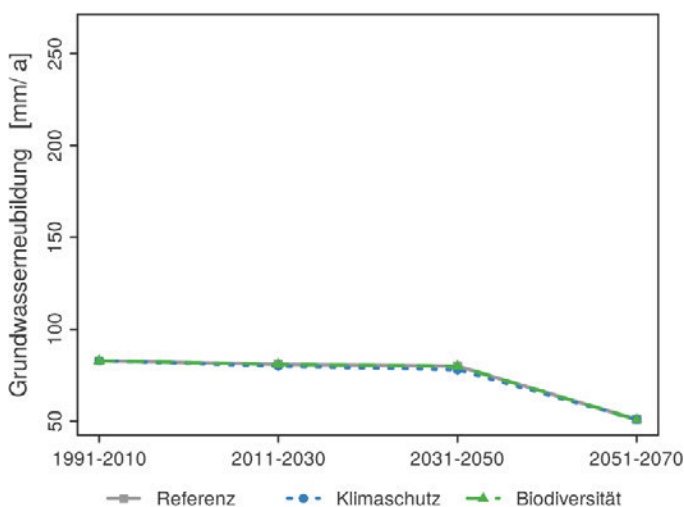


Abbildung 7: Entwicklung der Grundwasserneubildung (alle Landnutzungsformen).



Bachlauf im Fläming (Bild: RP Havelland-Fläming).

Nitrat im Sickerwasser

Die Nitratkonzentrationen im Sickerwasser werden überwiegend durch Einträge aus der Landwirtschaft bestimmt, hier vor allem durch die Stickstoff-Düngung. Die Konzentrationen im Sickerwasser werden auf Grund der sinkenden Grundwasserneubildung (Rückgang des Verdünnungseffektes) steigen. Nachfolgend werden die modellierten Ergebnisse zur Entwicklung der Nitratgehalte im Sickerwasser jeweils getrennt für Forst- und Landwirtschaft dargestellt.

Wald

Im Fläming sind die aktuellen Nitratkonzentrationen sehr gering (4,2 mg NO₃/l) und sinken aufgrund leicht zurückgehender Depositionsraten bei stabiler Sickerwassermenge in naher Zukunft zunächst noch etwas (3,9 mg NO₃/l, 2011-2030, siehe Abbildung 8). Danach bewirken jedoch der klimabedingt beschleunigte Humusabbau und der gleichzeitige Rückgang der Sickerwassermengen um mehr als 60 % einen sehr starken Anstieg der Nitratkonzentrationen im Sickerwasser bis auf 46 mg NO₃/l (Referenzpfad 2070).

Dieser Anstieg erfolgt im Klimaschutzpfad noch deutlicher (bis zu 84,6 mg NO₃/l), weil der dort schneller fortschreitende Waldumbau den Humusabbau beschleunigt.

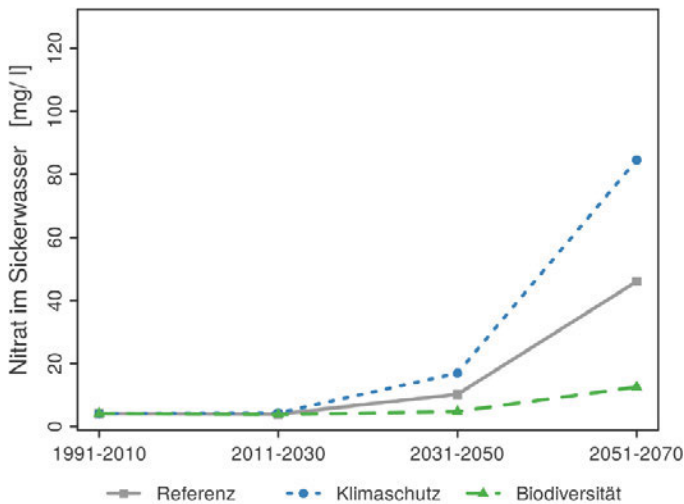


Abbildung 8: Entwicklung des Nitratgehalts im Bodensickerwasser unter Wald.

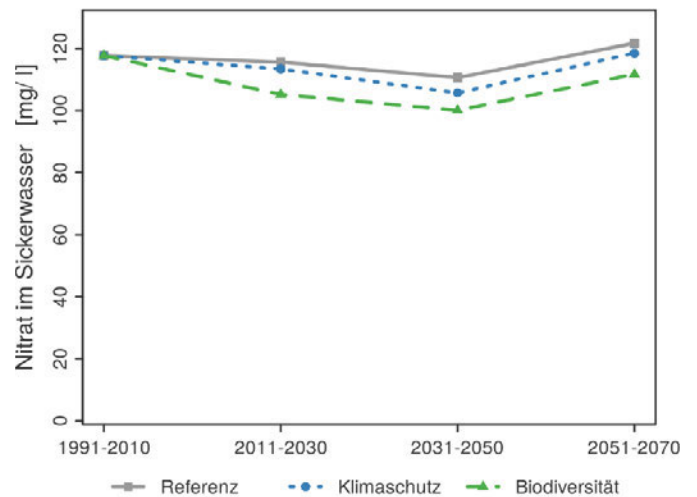


Abbildung 9: Entwicklung des Nitratgehalts im Bodensickerwasser unter landwirtschaftlich genutzten Flächen (Acker und Grünland).

Im Gegensatz hierzu verringert der langsamer fortschreitende Waldumbau der Wälder im Biodiversitätspfad den Humusabbau. Dadurch steigen hier die Nitratkonzentrationen zum Ende des Betrachtungszeitraumes nur auf 12,6 mg NO₃/l an.

Da insbesondere die Modellierung der Mineralisierung von stabilen Humusfraktionen noch mit erheblichen Unwägbarkeiten behaftet ist, muss bei den hier vorgestellten Projektionen der Nitratkonzentrationen im Sickerwasser von einer großen Unsicherheit ausgegangen werden.

Landwirtschaftlich genutzte Flächen

Die Nitratkonzentrationen im Sickerwasser unter den landwirtschaftlich genutzten Flächen in der Modellregion liegen bei Fortführung der bisherigen Wirtschaftsweise und unter Einhaltung der gesetzlichen Bestimmungen (Referenzpfad) während des gesamten Betrachtungszeitraumes bei 111 bis 122 mg NO₃/l (siehe Abbildung 9; zzt. kein Grenzwert für Sickerwasser, Trinkwassergrenzwert derzeit 50 mg NO₃/l). Die geringen Änderungen im zeitlichen Verlauf sind zu vernachlässigen. Die Nitratfrachten in diesem Zeitraum liegen bei 20 bis 27 kg/ha (Grenzwert für Bilanzüberschüsse nach Düngeverordnung: 60 kg/ha). Der leichte Anstieg in der Nitratkonzentration im Sickerwasser um 14 mg NO₃/l gegen Ende des Betrachtungszeitraumes ist einem verminderten Sickerwasseraufkommen geschuldet, welches bei vergleichbaren Stofffrachten (absolute Werte) zu einer höheren Konzentration führt.

Die Konzentrationen in den Entwicklungspfaden Klimaschutz (97 %) und Biodiversität (91 %) sind geringfügig geringer als im Referenzpfad und zeigen eine vergleichbare Entwicklung über die Zeit.

Nitrat im Grundwasser und in Fließgewässern

Bei ähnlich großen Anteilen der forstwirtschaftlich bzw. landwirtschaftlich genutzten Flächen im Fläming werden die Nitratgehalte im Grundwasser überwiegend durch Einträge aus der Landwirtschaft bestimmt. Die Nitratgehalte steigen sowohl im Referenz- als auch im Biodiversitätspfad bis 2070 um 123 %. Im Vergleich dazu ist die Steigerung im Klimaschutzpfad aufgrund der Verringerung der mineralisch gedüngten Anbaufläche deutlich schwächer. Sie liegt bis 2070 43 % über dem derzeitigen Zustand. In der Modellregion Fläming zeigen die modellierten Gewässerrandstreifen des Biodiversitätsszenarios keine erkennbare Wirkung, da sich die Gewässer überwiegend im Wald befinden.

Für die Fließgewässer wird eine sehr ähnliche Entwicklung prognostiziert. Hier steigen die Nitratgehalte im Referenz- und im Biodiversitätspfad um jeweils 99 %, während sie im Klimaschutzpfad „nur“ um 39 % zunehmen. Das drastische Absinken der Abflusspende zum Ende des Betrachtungszeitraumes (2070) erklärt den erheblichen Anstieg der Nitratgehalte.

Phosphat in Fließgewässern

Die Phosphatkonzentrationen sinken in allen Entwicklungspfaden von anfänglich 0,049 mg/l bis auf 0,042 mg/l in der Periode 2031-2050 und steigen schließlich in der letzten Periode 2051-2070 auf 0,056 bzw. 0,060 mg/l. Sie erreichen damit am Ende des Betrachtungszeitraumes einen Anstieg von 14 bzw. 22 %. Der Verlauf der Phosphatkonzentration im Biodiversitätspfad unterscheidet sich, trotz der den Düngereintrag verringernenden Gewässerrandstreifen, nicht wesentlich vom Referenzpfad.

4.3 Forstwirtschaft

Der aktuelle Waldzustand

Auf rund 42 % der Fläche der Modellregion Fläming wachsen Wälder. Damit ist die Modellregion im Vergleich zu den durchschnittlichen Verhältnissen im norddeutschen Tiefland mit ca. 23 % Waldanteil (CORINE LAND COVER 2006, HANSEN et al. 2013) eine walddreiche Gegend.

Bei den Baumarten dominiert die Waldkiefer mit einem Anteil von 74 % an der Waldfläche. Nennenswerte Flächenanteile haben aktuell auch noch die Buche mit 13 % und die Eiche mit 6 %. Andere Nadel- oder Laubbaumarten weisen jeweils nur Anteile von bis zu 2 % auf (siehe Abbildung 10).

Die Altersstruktur der Wälder im Fläming ist derzeit weitgehend ausgeglichen und daher forstwirtschaftlich als günstig einzustufen (siehe Abbildung 14).

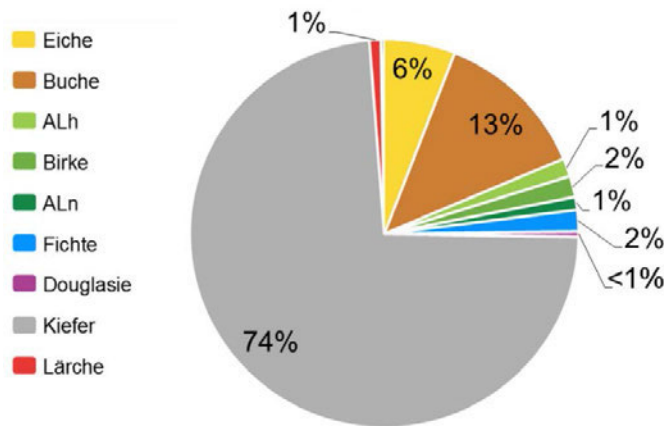


Abbildung 10: Derzeitige Flächenanteile der Baumarten.

Die zukünftige Waldentwicklung

Die Auswirkungen der Entwicklungspfade auf die Indikatoren wurden zunächst losgelöst von den sich ändernden Trockenstressrisiken der Baumarten betrachtet, um die Effekte besser interpretieren zu können. Die Fortschreibung der Waldbestände erfolgte mit dem Wachstumsimulator WaldPlaner (HANSEN und NAGEL 2014). Bestimmte Bestandeskennwerte fanden Eingang in die Wasserhaushaltsmodellierung mit WaSim-ETH (SCHULLA und JASPER 2007) deren Ergebnisse wiederum in die Stoffhaushaltsmodelle einfließen.

Referenz

Bei Fortsetzung der bisherigen forstlichen Bewirtschaftung kommt es - bei Vernachlässigung des Trockenstressrisikos - zu einem mäßig verstärkten Anbau der Laubbaum

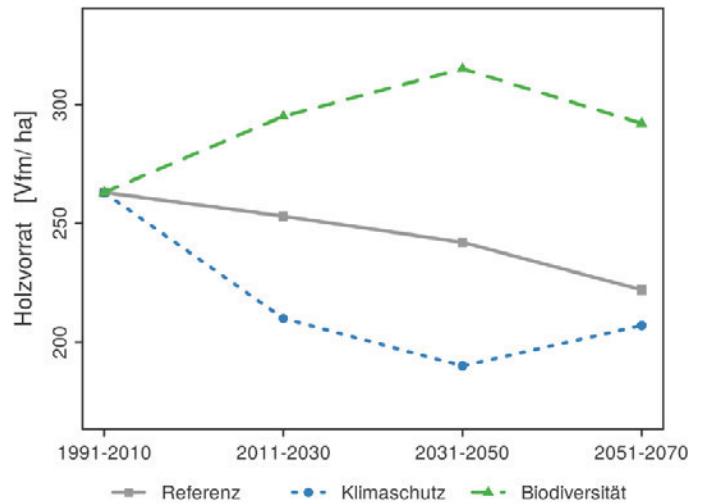


Abbildung 11: Entwicklung des Bestandesvorrates (Vfm = Vorratsfestmeter = m³ mit Rinde).

arten Buche und Eiche. Der Flächenanteil der Kiefer sinkt vor allem dadurch um 12 % ab. Die Buchen werden jedoch im Regelfall nur als Beimischung zur Kiefer gepflanzt, um aus ökologischen Gründen den Anteil reiner Kiefernbestände zu verringern. Ertragsaspekte spielen bei der Auswiesung des Buchenanteils keine bestimmende Rolle. Bis zum Ende des Simulationszeitraumes vergrößert auch keine andere Nadelbaumart ihren Flächenanteil in nennenswertem Umfang (siehe Abbildung 14).

Trotz leicht abnehmender Nutzungen verringert sich der Bestandesvorrat von derzeit 263 Kubikmetern („Vorratsfestmeter mit Rinde“ (Vfm) je Hektar) kontinuierlich um rund 40 Kubikmeter auf 222 Vfm bis zum Jahr 2070 (siehe Abbildung 11).

Gleichzeitig nimmt auch das durchschnittliche Alter der Wälder von rund 77 auf knapp 64 Jahre ab. Die durchschnittliche Verringerung der Bestandesvorräte beruht u. a. auf der im Entwicklungspfad vorgegebenen Mischwaldmehrung, die zu einer Erhöhung der Laubbaumanteile (vor allem Buche) führt. Diese wachsen im Vergleich zu den meisten Nadelbaumarten langsamer und mit geringeren jährlichen Volumenzuwächsen.

Dementsprechend zeigen die Modellrechnungen, dass sich der laufende Zuwachs als Maß der Produktivität der Wälder bis zum Zeitraum 2031 - 2050 von 7,0 Vfm auf 5,0 Vfm verringert (siehe Abbildung 12). Erst danach steigt der jährliche Volumenzuwachs bis 2070 wieder leicht auf 5,3 Vfm an.

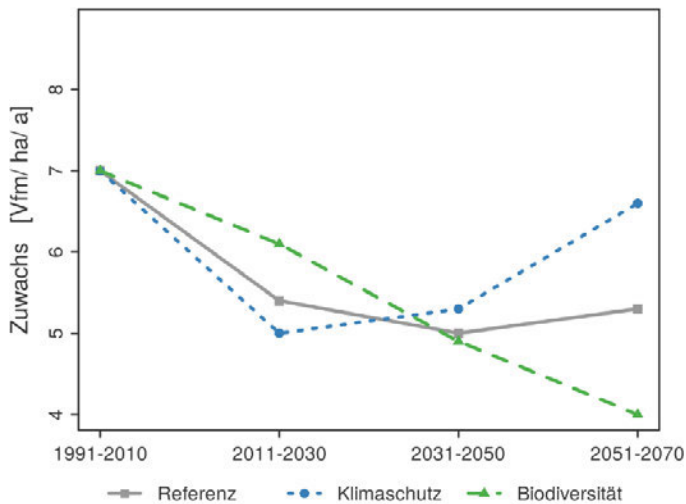


Abbildung 12: Entwicklung des laufenden Zuwachses (Vfm = Vorratsfestmeter = m^3 mit Rinde).

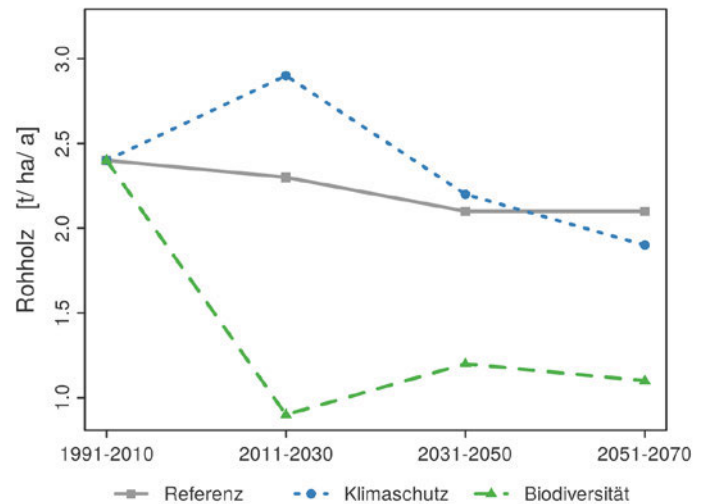


Abbildung 13: Entwicklung des geernteten Rohholzes (in Tonnen reiner, trockener Holzsubstanz).

Biodiversität

In der Biodiversitätsvariante werden vorrangig mehr Laubwälder, höhere Altholzanteile, stärkere Baumdimensionen und damit verbunden auch ein höheres durchschnittliches Alter der Bestände angestrebt. Hierzu wird die Intensität der Holznutzung gegenüber dem Referenzpfad allgemein deutlich gesenkt (siehe Abbildung 13).

Auf Grund der geringeren Holznutzung erhöht sich das Durchschnittsalter der Bestände von derzeit 77 auf knapp 90 Jahre in 2070. Demzufolge steigt auch deren mittlerer Vorrat bis 2070 von derzeit 263 Vfm auf 292 Vfm an, zwischenzeitlich (um 2040) werden sogar gut 315 Vfm erreicht. Der laufende Zuwachs sinkt von derzeit 7 Vfm/ha/a auf 4 Vfm/ha/a in der Periode 2051-2070. Durch die vorgegebene Behandlung erfolgt nur ein sehr langsamer Umbau der Bestände zu naturnahen Waldgesellschaften. Die Baumartenverteilung verändert sich daher nicht in dem Umfang, wie bei der Referenzbewirtschaftung (siehe Abbildung 14).



Kiefernbestand (Bild: Jan Evers, NW-FVA).

Klimaschutz

Der Entwicklungspfad „Klimaschutz“ setzt auf eine Bewirtschaftung der Wälder, mit der stärker als bisher Kohlenstoff im Wald und in Holzprodukten gespeichert wird sowie fossile Energieträger bzw. energieaufwändige Bau- und Werkstoffe durch Holz substituiert werden können. Die Strategie verstärkt dementsprechend den Umbau insbesondere der ertragsschwachen Wälder zugunsten zuwachsstarker Mischwälder mit führenden Nadelbaumarten. Einer Reduktion insbesondere des Kiefernanteils zu Gunsten der Douglasie sowie der Lärche, folgt aber auch eine Ausweitung der Buchenanteile. Die Buche wird bei Vernachlässigung des Trockenstressrisikos in vielen Fällen den Nadelbaumarten beigemischt (siehe Abbildung 14). Diese Umbaumaßnahmen bewirken zunächst eine spürbare Reduktion des laufenden Zuwachses auf rund 5 Vfm/ha/a (siehe Abbildung 12). Zum Ende des Betrachtungszeitraumes deutet sich jedoch mit ca. 6,5 Vfm/ha/a eine Umkehr dieser Entwicklung an, da dann zunehmend die neu begründeten, zuwachsstarken jungen Nadelbaumbestände Wirkung entfalten.

Der Waldumbau findet unter dem Klimaschutzpfad frühzeitig und kontinuierlich statt. Dies führt zu einem kontinuierlichen Vorratsabbau, hohen Entnahmemengen in allen drei Perioden und zu hohen Flächenanteilen jüngerer Bestände in den Altersklassen bis 60 Jahre am Ende des Simulationszeitraumes (siehe Abbildung 14).

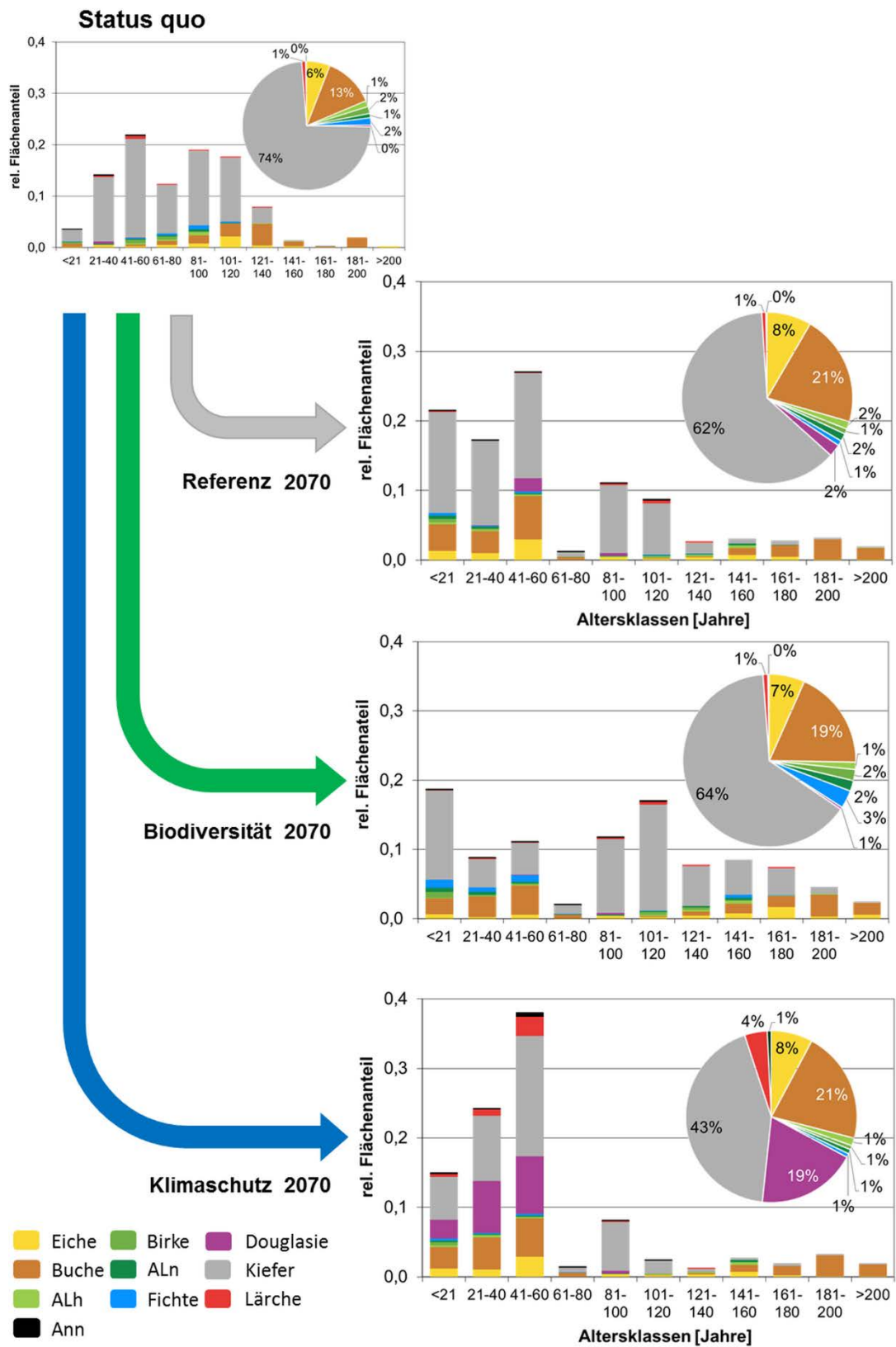


Abbildung 14: Flächen- und Altersklassenverteilung zum Status quo sowie in den drei Szenarien Referenz, Biodiversität und Klimaschutz im Jahr 2070 (ALh = anderes Laubholz mit hoher Umtriebszeit, ALn = anderes Laubholz mit niedriger Umtriebszeit, Ann = anderes Nadelholz).

Zukünftige Risiken der Forstwirtschaft

Sturmschäden

Das Windwurfrisiko ist auf Grund der sehr geringen Eintrittswahrscheinlichkeit sehr starker Stürme in dieser Region von unter 10 % im Jahrzehnt eher nachrangig. Da orkanartige Stürme überwiegend im Winterhalbjahr auftreten, wären in dieser laubfreien Zeit vor allem Nadelbäume betroffen. Anfällig sind vor allem die älteren Bestände, da das Windwurfrisiko mit der Bestandeshöhe steigt. Im Falle eines Sturmereignisses hätte die kiefern-dominierte Modellregion Fläming fast ausschließlich Verluste in den Kiefernbeständen zu befürchten.

Trockenstress

Unter den heutigen Klimabedingungen ist die Standortswasserbilanz (Summe aus Klimatischer Wasserbilanz in der Vegetationsperiode und der nutzbaren Feldkapazität) für die Wälder in der Modellregion Fläming im Mittel aller Stichprobenpunkte mit -110 mm deutlich negativ. Bis zum Jahr 2030 wird sich dieser Wert nur leicht auf -133 mm verschlechtern. Da die Kiefer einen relativ geringen Wasserbedarf hat und auf mehr als 80 % der Standorte die führende Baumart ist, wird das aktuelle Trockenstressrisiko als gering eingestuft. Nur auf knapp 2 % der Waldstandorte wird bereits heute ein hohes und auf rund 6 % der Flächen ein mittleres Trockenstressrisiko ausgewiesen (siehe Abbildung 16). Hierbei handelt es sich ausschließlich um Buchen- und Fichtenbestände.

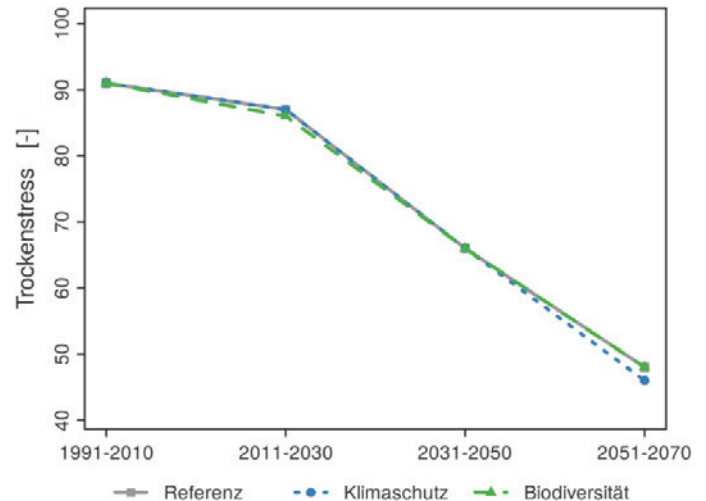


Abbildung 15: Entwicklung des Trockenstressrisikos
(0 = extrem, 100 = nicht vorhanden).

Ab 2031 nimmt das Risiko von Ertrags- und Vitalitätseinbußen jedoch deutlich zu (siehe Abbildung 15). Die Standortswasserbilanz sinkt bis zum Ende des Untersuchungszeitraumes (2070) auf unter -300 mm. Ausgehend von der Ist-Bestockung hat dies zur Folge, dass – je nach Entwicklungspfad – in Zukunft für rund 4 % der Bestände (Buche) ein hohes Trockenstressrisiko zu erwarten ist. Fast 85 % aller untersuchten Bestände weisen dann ein mittleres Risiko auf. Beim Vergleich der Entwicklungspfade zeigen sich im Hinblick auf das Trockenstressrisiko kaum Unterschiede.

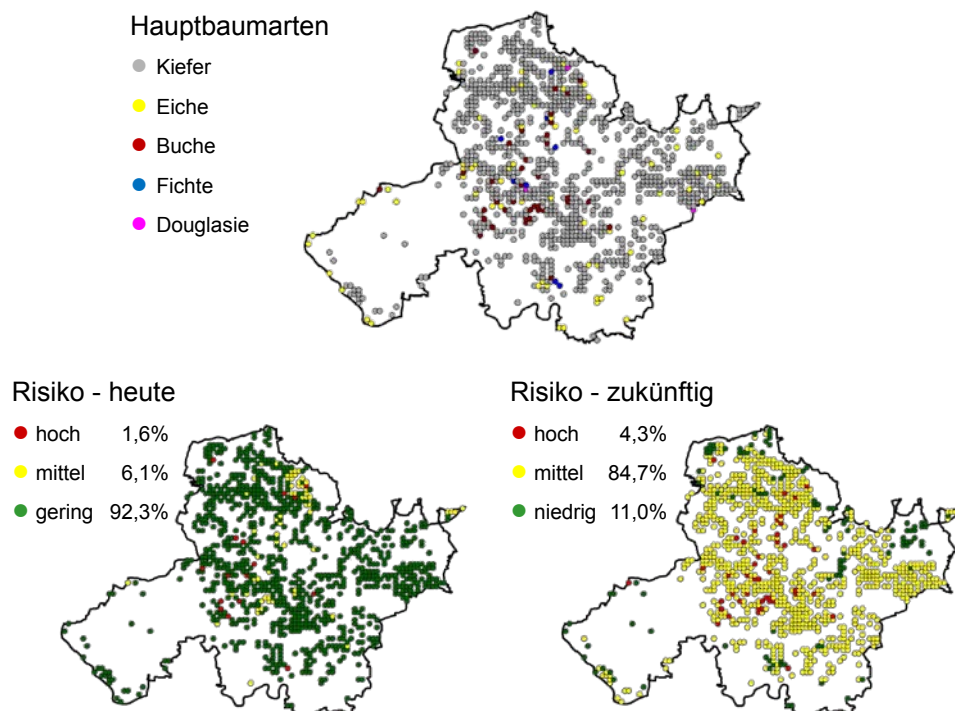


Abbildung 16: Hauptbaumarten an den betrachteten Stichprobenpunkten (oben) sowie ihre Gefährdung durch Trockenstress heute (unten links) und zukünftig (unten rechts). Risikoklassen nach SPELLMANN et al. 2011.

Insgesamt muss das Risiko von Ertrags- und Vitalitätseinbußen für die Bestände in der Region Fläming für die Zukunft als deutlich erhöht eingestuft werden. Betroffen sind langfristig fast alle Waldstandorte. Nur die Bestände, die auf grundwassernahen Standorten (ca. 10 %) wachsen, sind diesbezüglich günstiger einzuschätzen.

Eine Berücksichtigung des Trockenstressrisikos würde zu einer deutlichen Änderung der zuvor für die Entwicklungspfade beschriebenen Baumartenzusammensetzungen führen. Dies betrifft insbesondere die Buchen- und Fichtenanteile, die weitgehend ausfallen. Davon würden Eiche und Douglasie profitieren. Gleichzeitig wird der Anteil der trockenstresstoleranten Baumart Kiefer nicht so stark abnehmen, wie zuvor simuliert (siehe Abbildung 14).

Waldbrandrisiko

Das Waldbrandrisiko in der Modellregion Fläming ist schon heute relativ hoch: Gemäß der Ergebnisse der Modellrechnungen sind heute 0,027 % der Waldfläche (ca. 25 ha) jährlich durch Waldbrände stark gefährdet (siehe Abbildung 17).

Die Entwicklungspfade beeinflussen diesen klimabedingten Trend in unterschiedlichem Maße. Ausschlaggebend ist die jeweilige Reduzierung des Kiefernanteils in den Entwicklungspfaden. Generell ist festzuhalten, dass das Waldbrandrisiko nach einer leichten Abnahme in der näheren Zukunft (bis 2030) bis zum Ende des Beobachtungszeitraums (2070) deutlich ansteigen wird. Bei Fortführung der bisher üblichen Wirtschaftsweise errechnet sich zu diesem Zeitpunkt ein durchschnittlicher Verlust von rund 69 ha. Im Biodiversitätspfad sind es gut 78 ha und bei Anwendung der Klimaschutzorientierten Bewirtschaftung sind es (nur) knapp 53 ha.

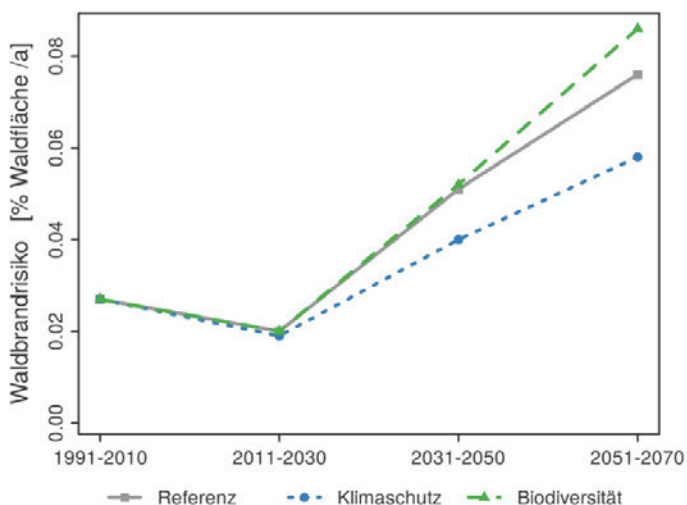


Abbildung 17: Entwicklung des Waldbrandrisikos.

Selbst wenn man nur den letzten Wert betrachtet, bleibt festzuhalten, dass in der Modellregion Fläming bis 2070 von mehr als einer Verdoppelung des klimabedingten Waldbrandrisikos auszugehen ist.

Pilzbefall

Der Wurzelschwamm (*Heterobasidion annosum* s. l.) ist eine Pilzart, die Waldbäume über deren Wurzeln befallen und nachfolgend in den Stämmen Holzfäule hervorrufen kann. Betroffen sind in erster Linie Nadelbäume (Kiefer, Fichte, Douglasie und Lärche) aber auch verschiedene Laubbäume. In den Wäldern Norddeutschlands ist seit einiger Zeit eine auffällige und aggressive Zunahme des Wurzelschwammbefalls mit unterschiedlichen Schadbildern bis hin zur Auflösung von Waldbeständen zu verzeichnen.

Für die Erfassung von Schäden durch Wurzelschwamm wurden in der Modellregion Fläming 25 repräsentative Flächen mit Kiefernbeständen im Alter von 35-140 Jahren untersucht. Der Anteil der durch Wurzelschwamm äußerlich erkennbar (Fruchtkörper an Bäumen und/oder Stubben) infizierten Bestände lag demnach bei 48 %.

In den meisten Fällen haben die Infektionen bisher nur zu geringen Schäden geführt. Bedeutende Beeinträchtigungen allein durch den Wurzelschwamm, die bis zur Bestandsauflösung gehen können, wurden nicht festgestellt, obwohl in einem repräsentativ ausgewählten Bestand 98 % der Kiefern latent mit Wurzelschwamm befallen waren (Nachweis des Pilzes in Holzproben mittels Laboruntersuchungen). Im Herbst 2013 starben auf ca. 0,5 ha Kiefern aufgrund des Diplodia-Triebsterbens in Kombination mit einem Befall durch Wurzelschwamm ab. In einer weiteren Untersuchungsfläche wurden Hallimaschpilze (*Armillaria* sp.) als Ursache für das Absterben einzelner Kiefern identifiziert.

Kieferngrößschädlinge

Die den Wald des Flämings dominierenden Kiefernbestände liegen größtenteils in den Hauptschadgebieten (mehr als drei schwere Gradationen in den vergangenen 150 Jahren) der sogenannten Kieferngrößschädlinge. Dies sind insbesondere die Schmetterlingsarten Forleule (*Panolis flammea*), Kiefernspinner (*Dendrolimus pini*) und Kiefernspanner (*Panolis flammea*). In diesen Gebieten werden die Massenvermehrungen dieser Insekten durch die standörtlichen Bedingungen (Klima, Boden, Lage) stark begünstigt.

Die Forleule trat in jüngster Vergangenheit im Vergleich zur weiter östlich gelegenen Modellregion Oder-Spree in deutlich geringeren Dichten auf. Dies kann damit zusammenhängen, dass sich wegen der sehr warm-trockenen Frühjahrsbedingungen in den vergangenen zwei Jahrzehnten keine Massenvermehrungen in dem zu befürchtenden Ausmaß entwickeln konnten. Allerdings wird aktuell der im Frühjahr erfolgende Falterschlupf durch die warm-feuchten Frühjahrsbedingungen gefördert. Dies und die Altersklassenverteilung der Kiefernbestände lassen ansteigende Schaddichten erwarten. Langfristig kann jedoch entsprechend der Klimaprojektionen mit einem Rückgang der Waldschäden durch die Forleule aufgrund ansteigender saisonaler Temperaturen gerechnet werden (saisonale Trockenheit, sehr früher Falterschlupf).

Der Kiefernspinner tritt seit Anfang der 1980er-Jahre durch ansteigende Dichten und abnehmende Latenzdauer zunehmend in Erscheinung. Eine wachsende Gefahr von Massenvermehrungen dieses Schmetterlings ist aufgrund der erwarteten Klimaänderungen sehr wahrscheinlich.

Der Kiefernspanner wurde in der Region in den Jahren 1996 bis 1999 in hohen Dichten beobachtet. Seither werden die Populationen zunehmend durch heiß-trockene Sommer beeinträchtigt. Der langfristige Trend abnehmender Populationsdichten bleibt auch aufgrund steigender Temperaturen und häufigerer Trockenereignisse bestehen. Dies gilt auch für einen weiteren Kiefernscädling, die Nonne (*Lymantria monacha*).

Baumvitalität

Die Vitalität von Bäumen lässt sich u. a. am Zustand ihrer Kronen (Belaubungs-/Benadelungsdichte, Verzweigung) einschätzen. In der Modellregion Fläming weisen die Baumarten Kiefer, Rotbuche und Traubeneiche auf den Versuchsflächen die besten Kronenzustände aller im Projekt untersuchten Bestände auf.

Der mit Hilfe von Bohrkernen festgestellte Dickenzuwachs war bei den untersuchten Eichen trotz ihres sehr guten Kronenzustandes vergleichsweise gering. Dies gilt auch für die Kiefern. Die Douglasie zeigte, wie auch in den anderen Modellregionen, die stärksten Durchmesserzuwächse. Allerdings wurde bei der Douglasie auch eine starke Häufung negativer Weiserjahre (Jahre mit sehr geringem Dickenwachstum, Ausfall eines Jahresringes) festgestellt (2003, 2004 und 2006).

Stoffhaushalt

Die atmosphärischen Stickstoffdepositionen sind im Fläming meist gering. Im Bereich lokaler Emittenten können sie aber auch hohe Werte erreichen.



Kiefernbestand im Fläming (Bild: RP Havelland-Fläming).

Stickstoff-Saldo

Für die forstwirtschaftlichen Flächen wurde der Stickstoff-Saldo mit dem Modell VSD+ (BONTEN et al. 2011, POSCH und REINDS 2009) ermittelt. Der Stickstoff-Saldo und damit die Aufnahme von Stickstoff durch die Wälder sind im Referenzpfad zunächst stark positiv (14,4 kg/ha/a). Dieser Wert sinkt jedoch bis zum Ende des Betrachtungszeitraumes auf 6,8 kg/ha/a ab. Neben der allgemein langsam zurückgehenden Stickstoff-Deposition ist für diesen Trend vor allem, der sich klimabedingt verstärkende Humusabbau ausschlaggebend, da hierbei Stickstoff freigesetzt wird.

Bei einer klimaschutzorientierten Waldwirtschaft werden im Rahmen eines beschleunigten Waldumbaus die Holzvorräte stark verringert, der Humusabbau beschleunigt und entsprechend Stickstoff freigesetzt. Stickstoffbindung und Stickstofffreisetzung halten sich dann weitgehend die Waage. Dies zeigt sich in einem fast ausgeglichenen Stickstoff-Saldo (0,3 kg/ha/a). Im Gegensatz dazu führt der Aufbau von Altholzvorräten beim Biodiversitätspfad zum Ende des Betrachtungszeitraumes zu einer steigenden Bindung von Stickstoff im aufstockenden Bestand und damit zu einem weiterhin stark positiven Stickstoff-Saldo (10,7 kg/ha/a).

Humus-Saldo

Der Humus-Saldo wurde mit dem Kohlenstoffmodell Yasso07 (TUOMI et al. 2009, 2011) berechnet. Der Humus-Saldo der Waldböden (1947 kg C/ha/a) weist in der Region aktuell auf unerwünscht starke Humusakkumulationen hin. Auf Grund der mit der Zeit steigenden Lufttemperaturen verstärken sich beim Referenzpfad schon im Zeitraum von 2031-2050 Humus abbauende Prozesse. Diese führen zu einem negativen Humus-Saldo mit jährlichen Verlusten von 350 kg C/ha.

Die Verluste erhöhen sich geringfügig bis zum Ende des Betrachtungszeitraumes (2070) auf 367 kg C/ha/a. Die Waldbehandlung nach den Vorgaben des Klimaschutzpfades mit dem daran geknüpften verstärkten Baumartenwechsel verstärkt diese Tendenz (Verluste bis zu 391 kg C/ha/a), während beim Biodiversitätspfad mit seinen längeren Produktionszeiträumen die Streueinträge der älteren Bestände erhöht und damit der Humussaldo stabilisiert wird. Die Humusverluste sinken hier auf 288 kg C/ha/a.

Kohlenstoffdioxid - Emissionen

Stabile Waldökosysteme haben langfristig betrachtet eine ausgeglichene Kohlenstoffdioxidbilanz, d. h. sie geben genauso viel Kohlenstoff ab wie sie aufnehmen. Allerdings können einzelne Waldbestände zeitweilig mehr CO₂ aufnehmen als sie abgeben und umgekehrt. Kohlenstoff wird zudem auch in den Holzprodukten mehr oder weniger lang gebunden. Darüber hinaus trägt die Substitution von emissionsintensiven Materialien wie Glas, Aluminium, Stahl oder Ziegelsteine und von fossilen Energieträgern durch den nachwachsenden Rohstoff und Energieträger Holz wesentlich zum Klimaschutz bei.

Die Wälder im Fläming sind über den gesamten Betrachtungszeitraum eine CO₂-Senke (in Abbildung 18 als negative CO₂-Emissionen dargestellt). Die CO₂-Bilanz berücksichtigt die Kohlenstoffspeicherung in der Biomasse, im Boden und in den Holzprodukten sowie die energetische Substitution. Die Speicherleistung ist wie in den anderen Modellregionen hauptsächlich von den großen Kohlenstoffumsätzen im Boden geprägt. Hier zeigen sich im betrachteten Zeitraum starke Veränderungen. Die überwiegend armen Sandböden akkumulieren derzeit noch stark organische Substanz. Doch schon in näherer Zukunft (be-

ginnend ab 2030) können die Waldböden zunehmend weniger Kohlenstoff binden. Die Ursache hierfür ist der dann temperaturabhängig beschleunigte Humusabbau, der sich bis zum Ende des Betrachtungszeitraumes noch verstärkt. Zuletzt besteht durchaus die Gefahr, dass der Boden zu einer Kohlenstoffquelle wird. Diese Modellberechnungen sind aber nicht unumstritten, da die Aktivität der Zersetzerfauna auch stark von der Bodenfeuchte abhängt, die in den eingesetzten Modellen aber nicht bzw. nur eingeschränkt eingeht.

Die Unterschiede zwischen den Modellierungsergebnissen für die verschiedenen Entwicklungspfade sind nur gering: So wird im Referenzpfad in der Mitte des Betrachtungszeitraumes (2031-2050) altersbedingt besonders viel Holz genutzt, in dessen Folge vermehrt Jungbestände gepflanzt werden, die sich wiederum durch ein starkes Wachstum auszeichnen. Gleichzeitig kann durch das genutzte Holz die Verwendung anderer, in ihrer Herstellung „CO₂-emissionsintensiver“ Bau- und Werkstoffe reduziert werden (Substitutionseffekte). Die Kohlenstoffbilanz verbessert sich dadurch zum Ende des Betrachtungszeitraums in allen drei Bewirtschaftungsvarianten geringfügig.

Naturschutz

Die Wälder der Modellregion sind, im Vergleich zu vielen anderen Bereichen der offenen Landschaft, naturnahe Lebensräume, die eine Vielzahl von z. T. seltenen Tier- und Pflanzenarten beherbergen. Daher gilt es, diese Lebensräume im Rahmen einer nachhaltigen Landnutzung so wenig wie möglich zu beeinträchtigen und sie im Rahmen ihrer natürlichen Dynamik zu schützen und ggf. weiterzuentwickeln. Um die derzeitigen naturschutzfachlichen Zustände und deren Entwicklungstendenz zu erfassen und zu analysieren erfolgten Untersuchungen zur Zusammensetzung der Waldbodenvegetation auf Flächen, für die bereits möglichst alte Aufnahmen vorliegen.

Eichen-Kiefernwald

In der Modellregion Fläming wachsen mit einer Ausnahme alle untersuchten Bestände dieser Waldgesellschaft auf alten Waldstandorten, also auf Standorten, die in der Vergangenheit immer Wälder getragen haben. Die meisten Flächen liegen außerhalb rechtlich gesicherter Schutzgebiete (Naturschutz-, Flora-Fauna-Habitat- oder Europäische Vogelschutzgebiete bzw. Biosphärenreservate). Kalkungen des Bodens wurden hier bisher nicht durchgeführt.

Die Vegetationsstruktur der Bestände hat sich in den letzten vier Jahrzehnten deutlich verändert. Als „Gewinner“, d. h. heute sowohl hinsichtlich der Anzahl als auch der

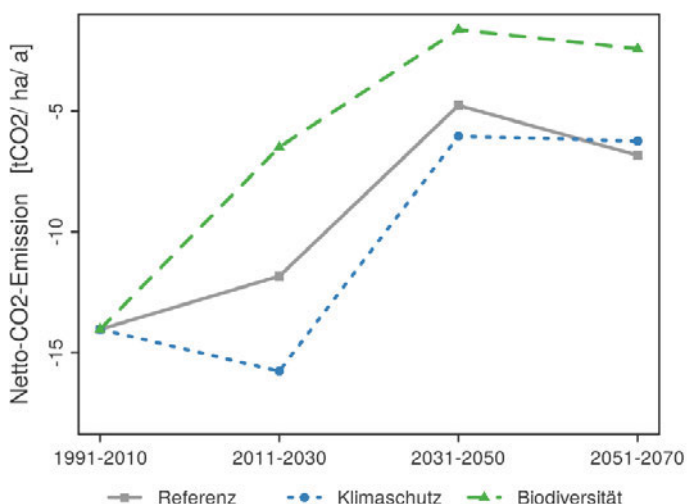


Abbildung 18: Entwicklung der Netto-CO₂-Emissionen im Wald.

Stärke ihres Vorkommens sehr viel häufiger auftretende Arten, dürfen neben der Himbeere (*Rubus idaeus*) und der Brombeere (*R. fruticosus agg.*) das Land-Reitgras (*Calamagrostis epigeios*) sowie der Stechende Hohlzahn (*Galeopsis tetrahit*) gelten. „Verlierer“ sind vor allem der Schafschwingel (*Festuca ovina*), die Besenheide (*Calluna vulgaris*), das Weißmoos (*Leucobryum glaucum*) und zahlreiche Arten offener, magerer Standorte wie das Borstgras (*Nardus stricta*) oder die Rundblättrige Glockenblume (*Campanula rotundifolia*); dazu kommen die *Cladonia*-Arten (Rentierflechten), die mittlerweile bereits sehr stark rückgängig sind. Weitgehend verschwunden ist die Heidesegge (*Carex ericetorum*). Die Gesamtartenzahl hat sich im Rahmen dieser Artenverschiebungen allerdings nur unwesentlich verändert. Die bisherigen Beobachtungen zeigen insgesamt eine hochsignifikante Zunahme von Pflanzenarten, die hohe Stickstoffgehalte im Boden bevorzugen.

Buchen-Traubeneichenwälder (NSG Flämingbuchen)

In den Buchen-Traubeneichenwäldern des Naturschutzgebietes Flämingbuchen sind die Veränderungen in der Vegetationsstruktur nicht so stark wie in den Eichen-Kiefernwäldern. Die Zunahme von Störungszeigern, wie Land-Reitgras (*Calamagrostis epigeios*) sowie Kleinblütiges Springkraut (*Impatiens parviflora*) ist allerdings auch hier deutlich. Auch kommt es zu einer hochsignifikanten Zunahme stickstoffliebender Bodenpflanzenarten, so u. a. der Großen Brennnessel (*Urtica dioica*). Der Deckungsgrad der Baumschicht hat in den letzten Jahrzehnten signifikant um fast zehn Prozent zugenommen (von 73 auf 82 %), während der Deckungsgrad der Krautschicht fast ebenso stark abgenommen hat (von 24 auf 16 %). Der höhere Deckungsgrad der Baumschicht und der Rückgang lichtliebender Bodenpflanzenarten sind augenscheinlich auf die zunehmende Verdrängung der Eiche durch die Buche zurückzuführen.

Hartholz-Auenwälder

Es handelt sich bei den Hartholz-Auenwäldern an der Elbe hauptsächlich um „ausgedeichte“ Auenstandorte, die höchstens noch durch sogenanntes „Qualmwasser“ beeinflusst werden. Bereits vorhandene Stickstoffzeigerarten wie der Giersch (*Aegopodium podagraria*), die Große Brennnessel (*Urtica dioica*), die Kratzbeere (*Rubus caesius*) und die Gefleckte Taubnessel (*Lamium maculatum*) haben an Stetigkeit und/oder Artmächtigkeit erkennbar zugenommen. Deutlich seltener als in früheren Zeiten ist in der Baumschicht und der Strauchschicht die Feldulme (*Ulmus minor*) anzutreffen.

Betrachtet man weitere Untersuchungsflächen sind hier insgesamt mit der Hunds-Quecke (*Elymus caninus*) sowie dem Rohrglanzgras (*Phalaris arundinacea*) Nässe- und Überschwemmungszeiger deutlich zurückgegangen, was auf eine zunehmende Beeinträchtigung des Bodenwasserhaushaltes hinweist. Stickstoffzeiger haben hier in der Bodenvegetation nur gering zugenommen. Auch die Vielfalt der Arten hat sich nur geringfügig verändert. Gründe hierfür können möglicherweise in den ohnehin gut stickstoffversorgten Standorten und in der schon lange vor der Erstaufnahme erfolgten Ausdeichung (um 1870) gesehen werden.

Wertschöpfung

Auch wenn die finanziellen Erträge aus sogenannten Nebennutzungen in einzelnen norddeutschen Forstbetrieben heutzutage bis zu 30 % betragen können (vgl. MÖHRING und WILHELM 2014), erwirtschaften diese durch die Nutzung von Holz ihr hauptsächliches Einkommen. Dabei hat, noch vor der jeweiligen Wertschätzung bestimmter Baumarten am Markt und der mit ihnen zu gewinnenden Holzsortimente, die nutzbare Volumenleistung der Wälder den entscheidenden Einfluss auf die Höhe des (forst-) betrieblichen Einkommens.

Das Nutzungsvolumen in der Modellregion Fläming beträgt im Mittel über alle Baumartengruppen, Zeiträume und Entwicklungspfade 4,4 Efm pro Hektar und Jahr (siehe Abbildung 20). Genutzt wird weit überwiegend Holz der Baumartengruppe Kiefer. Es nimmt durchschnittlich über alle Entwicklungspfade und betrachteten Zeiträume einen Anteil von über 80 % am geernteten Holzvolumen ein. Mit deutlichem Abstand folgt dann Holz der Baumartengruppe Eiche mit einem Anteil von 3,5 %.

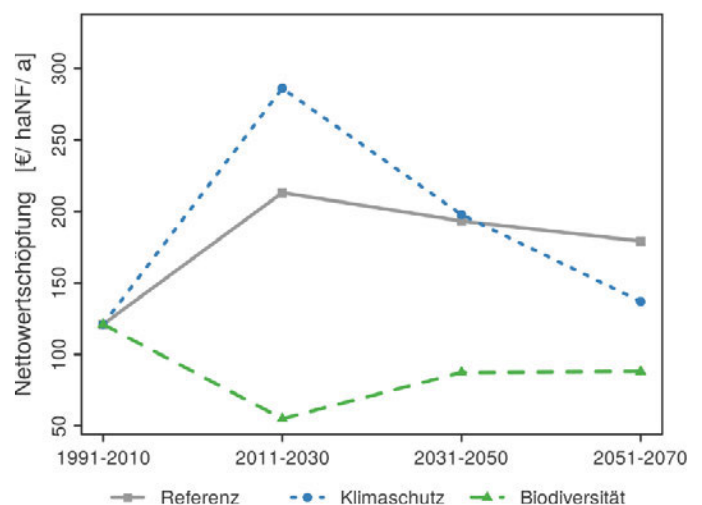


Abbildung 19: Entwicklung der forstwirtschaftlichen Nettowertschöpfung (NF = Nutzfläche).

Die übrigen Baumartengruppen spielen insgesamt nur eine untergeordnete Rolle. Allein im Entwicklungspfad „Klimaschutz“ gewinnt hinsichtlich ihrer Nutzung die Douglasie zum Ende des Projektionszeitraumes an Bedeutung: Sie erreicht einen Anteil von gut 4 % am genutzten Volumen und löst somit unter diesem Aspekt die Eiche als zweitwichtigste Baumartengruppe nach der Kiefer ab.

Die Betrachtung der Entwicklungspfade zeigt, dass sich die Höhe der Nutzungen im betrachteten Zeitverlauf für die Entwicklungspfade „Referenz“ und „Klimaschutz“ sehr ähnlich entwickelt. Vom aktuellen Niveau von jährlich 3,7 Efm/ha steigt der Einschlag rasch (2020) auf 5,2 Efm/ha (Referenz) bzw. 6,8 Efm/ha (Klimaschutz) an. Im weiteren Verlauf pendelt sich dann die Höhe der Nutzungen in diesen Pfaden bei rund 5 Efm/ha/a ein. Diese zukünftig gesteigerten Nutzungen führen in den Entwicklungspfaden „Referenz“ und „Klimaschutz“ zu entsprechend positiven Entwicklungen für das Arbeitsvolumen der Holzernte sowie die Nettowertschöpfung der Forstwirtschaft in der Region Fläming (siehe Abbildung 19).

Im Entwicklungspfad „Biodiversität“ gestaltet sich dagegen der zeitliche Verlauf der Nutzungshöhen deutlich anders. Es ergibt sich hier kurzfristig (2020) ein starker Abfall des Nutzungsvolumens von jährlich 3,7 auf nur 2,2 Efm/ha (siehe Abbildung 20). Im weiteren zeitlichen Verlauf steigen die Nutzungen dann geringfügig wieder auf maximal 2,8 Efm/ha/a in 2040 an. Für den gesamten Simulationszeitraum beträgt das Nutzungsvolumen im Biodiversitätspfad durchschnittlich jährlich 2,5 Efm/ha und erreicht damit nur etwa die Hälfte des Nutzungsvolumens der Referenzbewirtschaftung. Die im Rahmen des Entwicklungspfad „Biodiversität“ gewünschte Erhöhung des durchschnittlichen Vorrates in den Wäldern (siehe Abbildung 11) bei gleichzeitiger Steigerung des Durchschnittsalters der Bestände sowie ihrer Totholzvorräte lässt sich nur mit einem deutlichen Nutzungsverzicht gegenüber der bisher üblichen Wirtschaftsweise erreichen. Dieser Nutzungsverzicht bewirkt eine entsprechende Reduzierung des Arbeitsvolumens und der Nettowertschöpfung in der Region (siehe Abbildung 20).

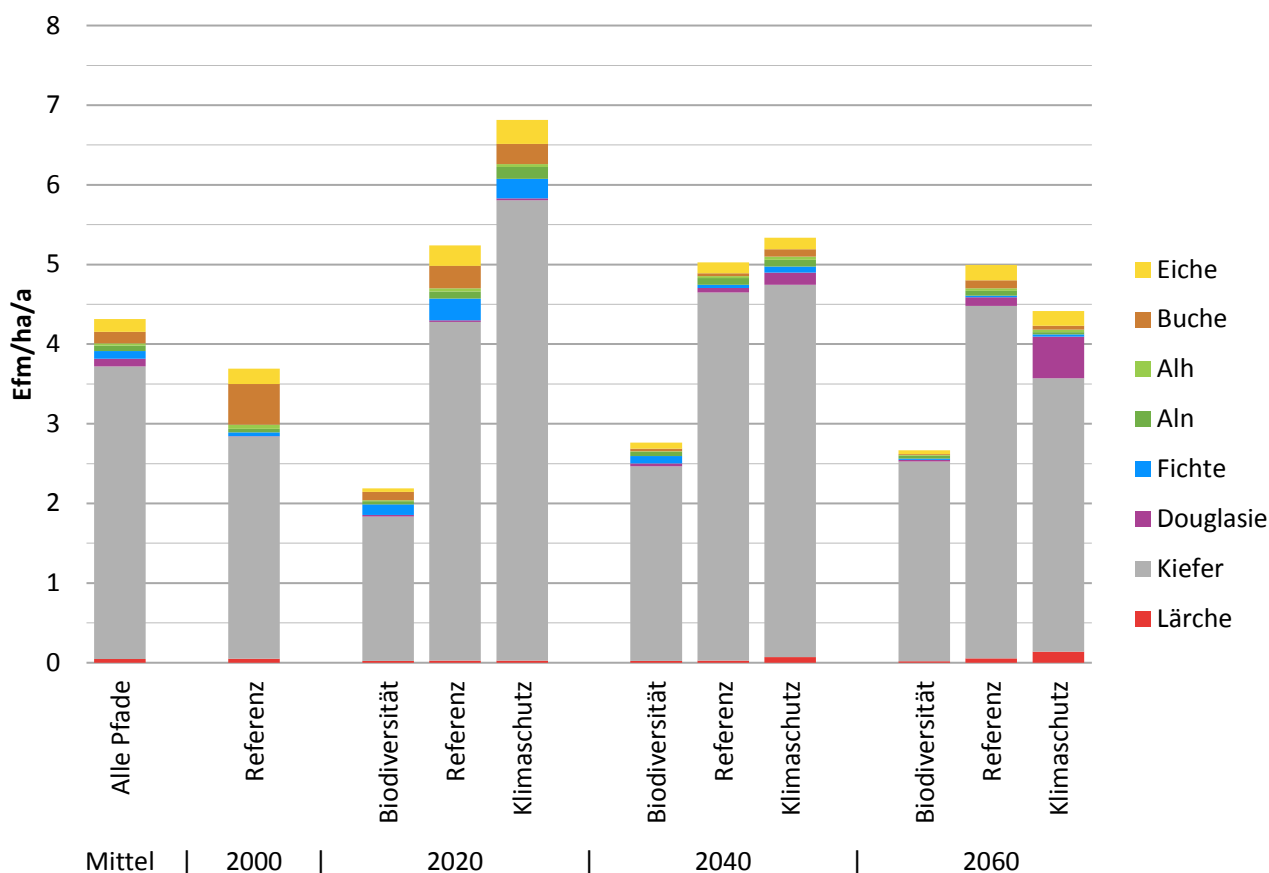


Abbildung 20: Durchschnittliches Nutzungsvolumen im forstlichen Modellbetrieb zur Mitte der Perioden.

Die Nettowertschöpfung (als sektorale Leistung zur Deckung von Löhnen und Gehältern, Unternehmereinkommen, Kapital-, Flächen- und Risikokosten sowie Betriebsgewinnen) steigert sich in den Szenarien „Referenz“ und „Klimaschutz“ erheblich gegenüber dem aktuellen Stand auf ein mittleres Niveau von jährlich ca. 200 €/ha forstlicher Nutzfläche. Der Biodiversitätspfad hingegen führt in der Modellrechnung über den Betrachtungszeitraum hinweg zu einer deutlichen Verringerung der Nettowertschöpfung. Sie liegt durchschnittlich unter 90 € je Hektar und Jahr.

Die jeweils deutlichen Anstiege sowohl des Nutzungsvolumens als auch der Nettowertschöpfung zu Beginn des Betrachtungszeitraumes sind Ausdruck der konsequenten Umsetzung der unterstellten Strategien in den Entwicklungspfaden durch die Simulationen.

In der Praxis ist davon auszugehen, dass forstliche Entscheidungsträger bestrebt sein werden, das Einschlagsniveau und damit auch Arbeitsvolumen und Wertschöpfung durch gestreckte Nutzungen über die Zeit zu nivellieren.

Die Simulationsrechnungen zeigen insgesamt, dass die Forstbetriebe insbesondere in der nahen Zukunft vor besondere Herausforderungen gestellt werden. Unter den gewählten Entwicklungspfaden führt einzig das Referenzszenario innerhalb des Betrachtungszeitraumes zu einer moderat wachsenden Nettowertschöpfung in der Region. Beim Entwicklungspfad „Klimaschutz“ bleibt sie in dieser Zeitspanne zumindest auf ihrem Ausgangsniveau. Beide Entwicklungspfade scheinen demnach keine besonderen forstbetrieblichen Risiken zu beinhalten. Es ist allerdings zu berücksichtigen, dass diese Pfade mit einem durchschnittlichen Vorratsabbau auf der Gesamtfläche einhergehen. Über den Simulationsendpunkt 2070 hinaus ist langfristig damit zu rechnen, dass sich die Nettowertschöpfung zugunsten des Klimaschutzpfades verschieben wird.

Eine konsequente Umsetzung des Entwicklungspfades „Biodiversität“ führt dagegen zu dem beabsichtigten Vorratsaufbau und der Anreicherung von Totholz. Wirtschaftlich erscheint er jedoch kritisch, da er die Forstbetriebe in der Modellregion Fläming ohne einen deutlichen monetären Ausgleich durch flankierende finanzielle Unterstützung langfristig vor existenzielle Probleme stellen wird.



Buchenmischwald im Herbst (Bild: Jan Evers, NW-FVA).

4.4 Landwirtschaft

Der aktuelle Zustand

Rund die Hälfte (ca. 49 %) der Flächen der Modellregion Fläming wird landwirtschaftlich genutzt. Dieser Anteil entspricht den durchschnittlichen brandenburgischen Verhältnissen (49 %) ist aber deutlich niedriger als der sächsisch-anhaltische Durchschnitt (62 %). Größere zusammenhängende Bereiche landwirtschaftlicher Flächen liegen innerhalb der Modellregion vor allem im Bereich der Stadt Zerbst sowie im Umfeld der Lutherstadt Wittenberg.

Aktuell (2010) wird bundesweit auf 9,5 % der landwirtschaftlichen Nutzfläche landwirtschaftliche Biomasse zur energetischen Verwendung produziert. Dieser Anteil müsste sich unter Bezugnahme auf die bundespolitischen Ziele bis zum Jahr 2020 mehr als verdoppeln (vgl. BBSR 2010). Eine Biomassepotenzialstudie für die innerhalb der Modellregion liegenden Planungsregion Havelland-Fläming bescheinigt dieser allerdings nur ein geringes Potenzial für den Ausbau von regenerativen Energien aus Biomasse (vgl. HAVELLAND-FLÄMING 2011).

Die zukünftige Entwicklung der Landwirtschaft

Die in Abbildung 21 dargestellten Veränderungen der Fruchtartenzusammensetzung in der Modellregion Fläming sind die Ergebnisse ökonomischer Modellrechnungen mit dem Modell MODAM (ZANDER und KÄCHELE 1999).

Das Modell wählt jeweils die wirtschaftlichste Lösung unter den aus den Entwicklungspfaden abgeleiteten Rahmenbedingungen. Die in der Modellierung berücksichtigten Früchte sind alle relevanten Getreidearten wie Winterweizen, Winterroggen, Wintergerste, Wintertriticale und Sommergerste, weiterhin Winterraps, Kartoffeln, Zuckerrüben, Silomais, Ackergras und Lupine sowie das Dauergrünland. Für die Betrachtung der Naturalerträge (Ernteprodukte) wurden Acker- und Grünlanderträge zusammengefasst. Es handelt sich bei den vorgestellten Ergebnissen somit um das flächengewichtete Mittel der jeweiligen Ackerkulturen und des Grünlands in der Region Fläming.

Referenz

Die Höhe der jährlichen Naturalerträge (Ernteprodukte Acker und Grünland) in der Region Fläming belaufen sich zu Beginn des Betrachtungszeitraumes auf 5,7 t Trockenmasse (TM) je Hektar und Jahr (siehe Abbildung 22). Dieser Wert liegt etwas unter dem deutschen Durchschnitt (6,2 t_{TM}/ha/a). Die mittleren Erträge vom Ackerland in der Region sind mit 5,6 t_{TM}/ha/a etwas geringer. Den höchsten Ertrag bei Getreide erreicht der Winterweizen mit 7,2 t_{TM}/ha/a, den geringsten Ertrag erbringt der Winterroggen auf schwächeren Standorten (2,7 t_{TM}/ha/a).

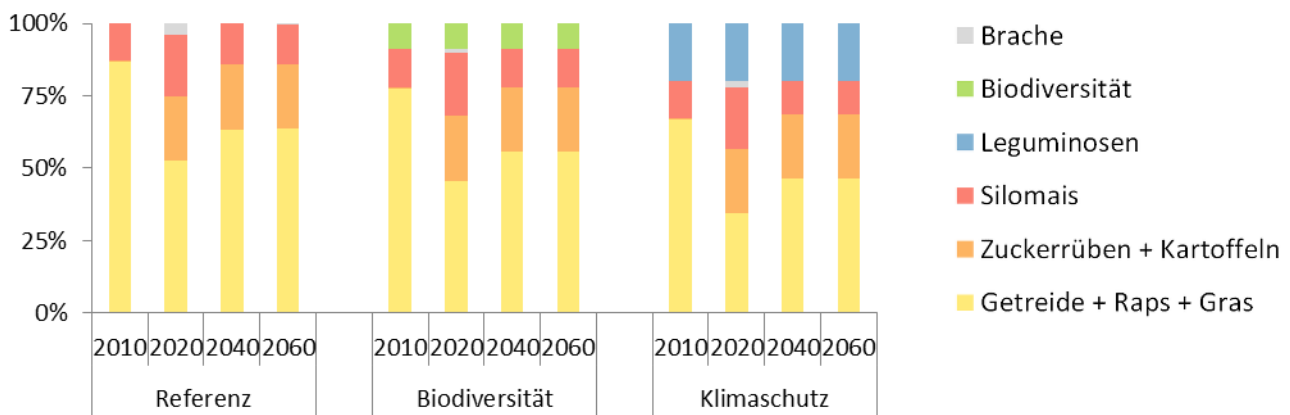


Abbildung 21: Veränderungen des berechneten Anbauspektrums gängiger Ackerkulturen in der Modellregion Fläming. Angaben jeweils für die Mitte der Perioden (2010 = „Status quo“).

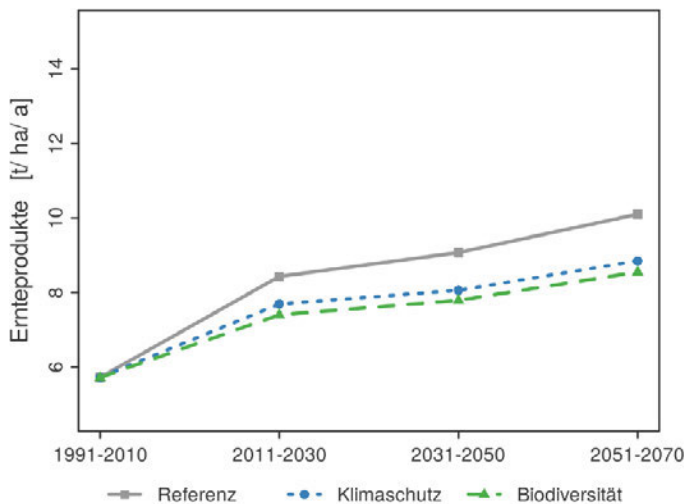


Abbildung 22: Entwicklung der Menge der Ernteprodukte (Acker und Grünland).

Die Menge der Ernteprodukte steigt nach einer anfänglich etwas stärkeren Zunahme im weiteren Verlauf des Betrachtungszeitraumes bei Fortführung der bisher üblichen Bewirtschaftung (Referenz) relativ gleichmäßig auf rund $10 \text{ t}_{\text{TM}}/\text{ha/a}$ an. Daran sind die Erträge des Ackerlandes mit $11,9 \text{ t}_{\text{TM}}/\text{ha/a}$ überproportional beteiligt. Das Grünland weist wesentlich geringere Steigerungen in seiner Ertragsentwicklung auf.

Die Grünlandbewirtschaftung hat in der Modellregion Fläming eine mittlere Intensität. Hier wirken sich bis 2050 die steigenden Temperaturen und die sich verlängernde Vegetationsperiode positiv auf das Wachstum der Pflanzen aus. Danach dürfte jedoch der zunehmende Rückgang der Sommerniederschläge das Pflanzenwachstum mehr und mehr beeinträchtigen, so dass bis 2070 keine weiteren Ertragssteigerungen mehr zu erwarten sind.

Biodiversität

Beim Biodiversitätspfad wurden im Rahmen der Modellierung 10 % der möglichen Anbauflächen als „ökologische Vorrangflächen“ mit extensiver Bewirtschaftung ausgewiesen. Die Entwicklung auf der restlichen Fläche ist mit der in der Referenz vergleichbar. Es wird dabei auf regionaler Ebene ein leicht verringertes Ertragsniveau von 85 % der Referenzbewirtschaftung erreicht.

Klimaschutz

Der Klimaschutzpfad unterstellt, dass auf 20 % der Ackerfläche Lupinen angebaut werden, um damit Luftstickstoff im Boden zu binden und so die notwendige Menge an Mineraldünger, bei dessen Herstellung das Treibhausgas Kohlendioxid freigesetzt wird, zu reduzieren. Die Ertragsentwicklung ist bei Umsetzung einer solchen klimaschützenden Wirtschaftsweise jener der Referenzbewirtschaftung leicht unterlegen und weist ein geringeres Endniveau (88 %) auf.



Rundballen im Fläming (Bild: RP Havelland-Fläming).

Pflanzenschutz

Ein wirtschaftlich wichtiger und auch naturschutzrelevanter Faktor ist die Behandlung von landwirtschaftlichen Flächen mit Pflanzenschutzmitteln (PSM) zum Schutz vor und zur Bekämpfung von Schädlingen, Unkräutern und Kalamitäten. Die Intensität dieser Behandlung wird mit dem sogenannten *Behandlungsindex* (BI) ausgedrückt, welcher die Anzahl von PSM-Anwendungen auf einer Fläche unter Berücksichtigung der Aufwandmengen (im Verhältnis zur zugelassenen Aufwandmenge) und Teilflächenbehandlungen abbildet. Wird eine Ackerfläche im Laufe des Jahres mit 5 verschiedenen (auch in Kombination) PSM in der jeweils zulässigen Aufwandmenge und -konzentration auf ganzer Fläche einmal behandelt, so weist diese Vorgehensweise einen Behandlungsindex von 5,0 auf. Genauso wird dieser Wert erreicht, wenn die Fläche mit dem gleichen Pflanzenschutzmittel fünfmal auf ganzer Fläche jeweils mit der maximal zugelassenen Aufwandmenge behandelt wird.

Angestrebt wird sowohl aus wirtschaftlicher als auch naturschutzfachlicher Sicht ein möglichst geringer Behandlungsindex.

Auf der Grundlage der prognostizierten Entwicklung des Anbauspektrums der landwirtschaftlichen Kulturen bis zum Jahr 2070 (siehe Abbildung 21) zeigt sich kaum eine wesentliche Änderung des Behandlungsindex und damit des chemischen Pflanzenschutzaufwandes während des Betrachtungszeitraumes (siehe Abbildung 23).

Allgemein ist festzuhalten, dass in der Region Fläming der Wert des Indikators „Behandlungsindex“ aktuell (Wert 3,0) und in der Zukunft wesentlich geringer als in den westlichen Modellregionen ist. Beim Entwicklungspfad

„Referenz“ steigt der Behandlungsindex leicht an und erreicht gegen Ende des Betrachtungszeitraumes einen Wert von 3,5. Der Entwicklungspfad „Biodiversität“ führt zukünftig nur zu sehr geringen Veränderungen in der Pflanzenschutzintensität. Hier steigt der Wert des Behandlungsindex letztlich (2060) nur auf 3,2. Zunächst niedriger, steigt der Wert beim Klimaschutzpfad von 2,7 in 2020 auf 3,5 zum Ende des Betrachtungszeitraumes an.

Die ermittelten Werte für den Indikator Pflanzenschutz sind im Referenzzeitraum in allen Regionen etwas geringer als die statistischen Mittelwerte des Vergleichsbetriebsnetzes Pflanzenschutz (FREIER et al. 2008, 2009, 2010, 2011, 2012, 2013, 2015). Es wird angenommen, dass diese Abweichungen durch die höhere Aggregations-ebene von Regionen des Vergleichsbetriebsnetzes Pflanzenschutz verursacht werden.

Stoffhaushalt

Stickstoff-Saldo

Für die landwirtschaftlichen Flächen wurde der Stickstoff-Saldo mit dem Modell REPRO (HÜLSBERGEN und DIEPENBROCK 1997) ermittelt. Die Bewertung der landwirtschaftlichen Stickstoff-Salden erfolgt nach CHRISTEN et al. (2009). Dabei wird angenommen, dass die jeweiligen Pflanzenbestände den ihr mit der Düngung und mit den Einträgen aus der Luft zugeführten Stickstoff auch unter günstigsten Umständen nicht vollständig aufnehmen können und somit die Äcker systematisch „überdüngt“ werden. Hierdurch lassen sich Stickstoff-Verluste nie in Gänze vermeiden.

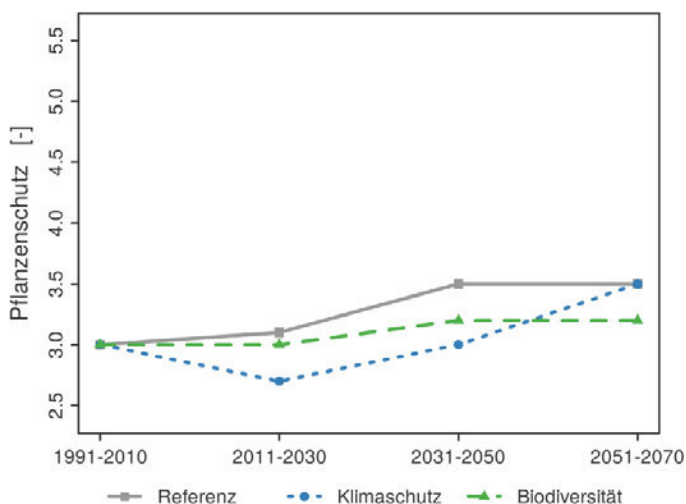


Abbildung 23: Entwicklung des Pflanzenschutz-Behandlungsindex.

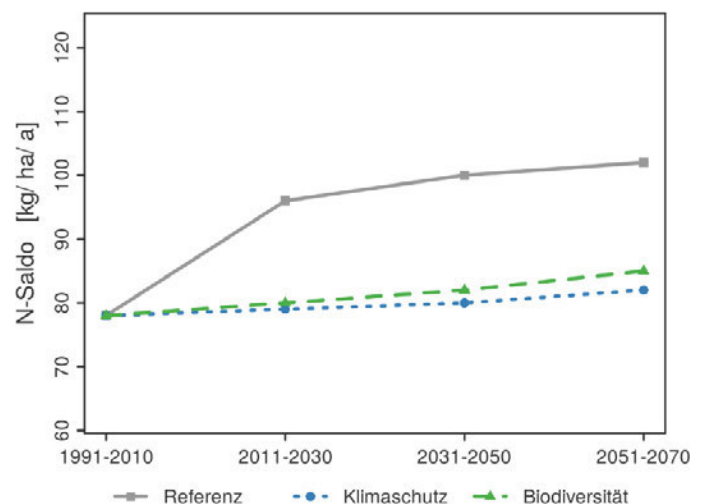


Abbildung 24: Entwicklung des Stickstoff-Saldos in der Landwirtschaft.

Bei einem Austrag bis zu einer Höhe von 50 kg N je Hektar und Jahr werden aber keine gravierenden ökologischen Schäden erwartet. Die Salden der Entwicklungspfade liegen aber deutlich über dem Optimalbereich zwischen 0 bis 50 kg N/ha/a (siehe Abbildung 24).

Es zeigt sich, dass beim Referenzpfad der Stickstoff-Saldo von einem bereits heute hohen Niveau in Höhe von knapp 80 kg Stickstoff-Überschuss je Hektar und Jahr zukünftig (2051-2070) auf 100 kg/ha/a Überschuss ansteigt. In den Entwicklungspfaden Biodiversität und Klimaschutz verändern sich die Werte dagegen kaum. Allerdings wird bei beiden Bewirtschaftungsformen mit 82 kg/ha/a (Klimaschutz) bzw. 85 kg/ha/a (Biodiversität) auch 2070 der zuvor genannte Optimalbereich deutlich überschritten.

Humus-Saldo

Der Humus-Saldo wurde mit der Methode nach VDLUFA (KÖRSCHENS et al. 2004) berechnet. Der Humus-Saldo liegt heute in der Modellregion Fläming im Vergleich zu den anderen Modellregionen mit einer geringen jährlichen Humuszehrung in Höhe von -26 kg Humus-C/ha/a auf einem mittleren Niveau (siehe Abbildung 25).

Zukünftig entwickelt sich die Humusbilanz insgesamt positiv, wobei - bedingt durch das modellierte Fruchtartenspektrum - zuerst eine geringe Humusmobilisierung erfolgt (-153 kg Humus-C/ha/a). Zum Ende des Betrachtungszeitraumes wird jedoch letztlich ein leichter Humusaufbau von 46 kg Humus-C/ha/a erwartet.

Positiv wirken sich insbesondere die Humusmehrung durch Zwischenfrüchte (+11 bis +32 kg Humus-C/ha/a gegenüber der Referenz) und die Humusreproduktion aus organischen Düngern (+44 kg Humus-C/ha/a) aus.

Der Humus-Saldo im Biodiversitätspfad liegt auf einem vergleichbaren Niveau wie bei der Referenzbewirtschaftung und folgt auch deren zeitlicher Entwicklung. Im Klimaschutzpfad bewirkt der Lupinenanbau auf 20 % der Ackerfläche einen erhöhten Humussaldo (+32 bis +48 kg Humus-C/ha/a).

Treibhausgasemissionen

Die Treibhausgase (THG), die in den Regionen aus der landwirtschaftlichen Nutzung freigesetzt werden, stammen aus der ackerbaulichen Nutzung, der Grünlandnutzung und der Tierhaltung. Vereinfachend werden die Treibhausgase Lachgas (N_2O), Methan (CH_4) und Kohlendioxid (CO_2) in CO_2 -Äquivalente umgerechnet (Treibhauswirkung: $\text{CO}_2 = 1$, $\text{CH}_4 = 25$, $\text{N}_2\text{O} = 298$) und aggregiert.

Die Modellregion Fläming weist aktuell mit jährlich 2,9 t CO_2 -Äquivalente je Hektar (siehe Abbildung 26) deutlich geringere Treibhausgasemissionen als die beiden westlichen Modellregionen des Projektes auf, wo Werte von 4,5 bis 4,8 t CO_2 äq/ha/a erreicht werden.

Dies liegt an der ausgeglichenen Humusbilanz, dem geringen Anteil an Hackfrüchten sowie dem niedrigen Einsatz an organischen N-Düngern (niedriger Tierbesatz, wenig Gärreste aus Biogasanlagen) in der Modellregion. Die Emissionen steigen zunächst auf 3,6 t CO_2 äq/ha/a an, danach bis zum Ende des Betrachtungszeitraums aber nur noch leicht auf zuletzt 3,9 t CO_2 äq/ha/a. Die alternativen Entwicklungspfade zeigen einen vergleichbaren Kurvenverlauf auf geringerem Niveau (Biodiversität: 91 %; Klimaschutz: 85 %). Insbesondere wirkt sich hier der Verzicht auf Stickstoff-Mineraldünger auf den ökologischen Vorrangflächen bzw. beim Anbau von Lupinen aus.

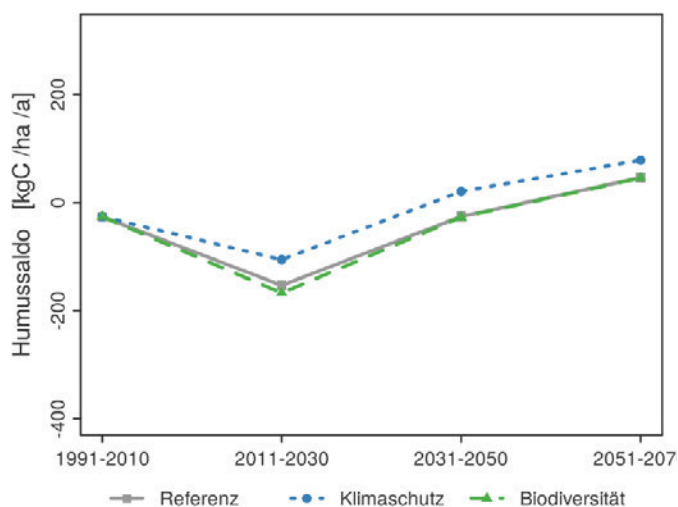


Abbildung 25: Entwicklung des Humus-Saldos in der Landwirtschaft.

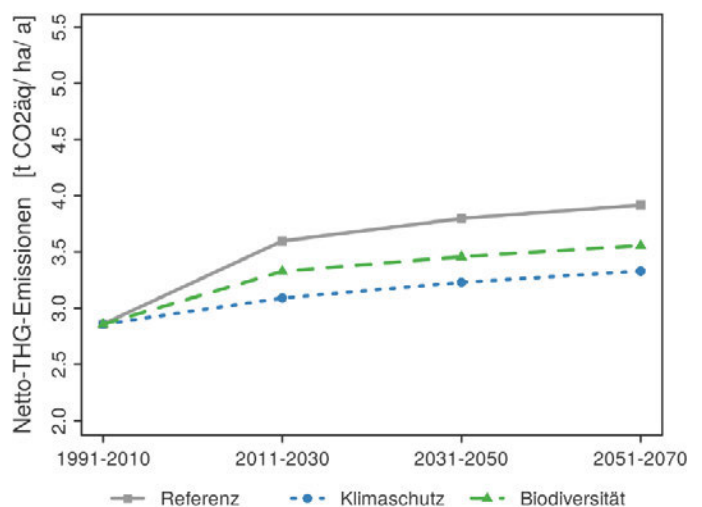


Abbildung 26: Entwicklung der Treibhausgasemissionen (CO_2 -Äquivalente) aus der Landwirtschaft.

Naturschutz

Erste Hinweise auf die Auswirkungen einer Änderung der landwirtschaftlichen (oder forstwirtschaftlichen) Flächennutzung in einer Region auf die Biodiversität lassen sich am Zustand und den Veränderungen der Landschaftsdiversität sowie an den Mischungsverhältnissen der Ackerkulturen (Baumarten) ablesen. Beide Aspekte können z. B. mit dem Simpson-Index zahlenmäßig beschrieben werden. Dieser Index gibt an, mit welcher Wahrscheinlichkeit an zwei zufällig gewählten Punkten nicht die gleiche Pflanzenart bzw. dieselbe Form der Flächennutzung (z. B. Acker- oder Grünland) anzutreffen ist.

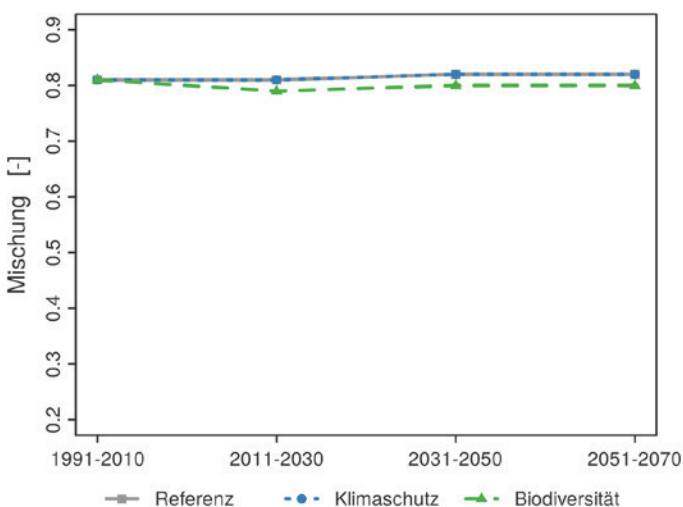


Abbildung 27: Entwicklung der Mischungsverhältnisse der Ackerkulturen.

Als Datengrundlage für diese Bewertungen wurde neben den Ergebnissen der Fruchtartenmodellierung die Landschaftsbeschreibung des CORINE-Projektes (CORINE LAND COVER 2006) verwendet. Die Abbildung 27 und Abbildung 28 zeigen, dass hinsichtlich der genannten Aspekte innerhalb des Betrachtungszeitraumes kaum nennenswerte Änderungen zu erkennen sind. Dies gilt insbesondere für die (Fruchtarten-) Mischungsverhältnisse. Die Indikatorwerte zur Beschreibung der Landschaftsdiversität zeigen eine leicht steigende Tendenz und es gibt keinen wesentlichen Unterschied zwischen den Entwicklungspfaden.

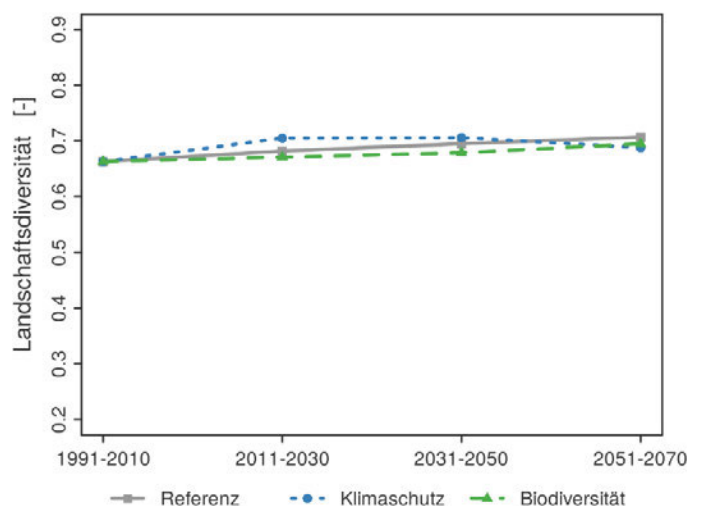


Abbildung 28: Entwicklung der Landschaftsdiversität.

Wertschöpfung

In der Region Fläming ist das Einkommensniveau je Beschäftigtem deutlich niedriger als in den westlichen Modellregionen. In der zeitlichen Entwicklung ist bei reinen Ackerbaubetrieben langfristig mit einem leicht sinkenden Einkommen zu rechnen, wohingegen bei Schweinehalten steigende und bei Milchviehbetrieben leicht steigende Einkommen je Hektar erwartet werden.

Die Unterschiede zwischen dem Referenz- und dem Biodiversitätsszenario sind marginal (-8 bis -16 €/ha), beim Klimaszenario sind die Einkommensverluste gegenüber dem Referenzszenario höher 35 - 55 €/ha (siehe Abbildung 29). Dabei wird in allen Szenarien ein gleich hohes Niveau an Direktzahlungen angenommen.

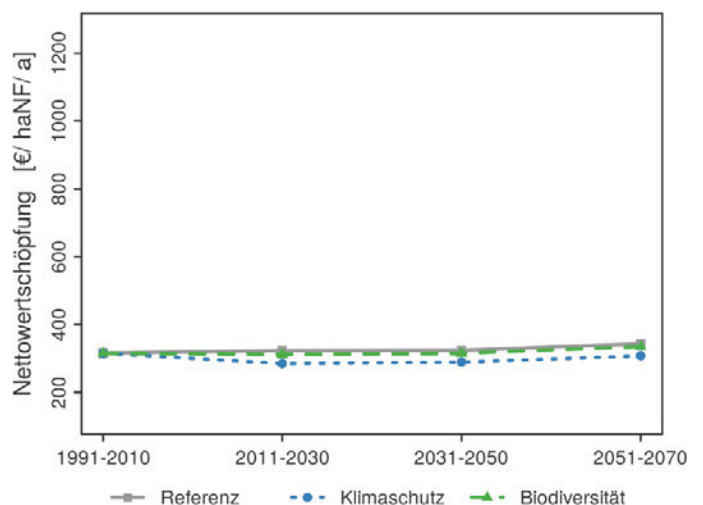


Abbildung 29: Entwicklung der landwirtschaftlichen Nettowertschöpfung (NF = Nutzfläche).

5 Politische Instrumente

5.1 Einschätzung des regionalen Leitbildes vor dem Hintergrund der politischen Rahmenbedingungen

Die Akteure der Modellregion Fläming legen in den formulierten Leitbildern (vgl. Kapitel 2.2) zunächst Wert auf das Prinzip der Nachhaltigkeit und darauf, dass land- und forstwirtschaftliche Flächen erhalten bleiben. Insgesamt repräsentieren die Leitbilder einen Ansatz, der insbesondere die Zukunft der regionalen Land- und Forstwirtschaft in den Zusammenhang mit den typischen Problemen ländlicher Regionen wie demographischer Wandel und Abwanderung der jüngeren Bevölkerungsschicht stellt. Klimaanpassung und regionales Energiekonzept bilden weitere inhaltliche Schwerpunkte. Was den Naturschutz angeht, sollen bestehende Schutzgebiete nicht in Frage gestellt, eine weitere Herausnahme von Flächen aus der Bewirtschaftung jedoch möglichst vermieden werden.

5.2 Mögliche politische Anknüpfungspunkte für die Umsetzung des regionalen Leitbildes

Die Region Fläming unterscheidet sich von den drei anderen Modellregionen dadurch, dass sie sich über drei Landkreise (LK Anhalt-Bitterfeld, LK Wittenberg, LK Potsdam-Mittelmark) zweier Bundesländer erstreckt. Für eine konkrete politische Unterstützung der Leitbilder wäre es daher notwendig, die politischen Rahmenbedingungen auf nationaler und EU-Ebene mit denjenigen in den beiden Bundesländern abzustimmen und dabei die Besonderheiten der Landkreise einzubeziehen, um zu wirksamen politischen Entscheidungen für die Modellregion zu kommen.

Diese Art von Abstimmungen ist allerdings kurzfristig nicht zu erwarten und mittel- und langfristig auch eher unwahrscheinlich. Wie viele Forschungsprojekte gezeigt haben, ist eine abgestimmte nachhaltige Regionalentwicklung im ländlichen Raum insbesondere über Bundesländergrenzen hinweg schwierig, da einzelne Bundesländer im Rahmen der Gemeinsamen Agrarpolitik der EU unterschiedliche Landesförderprogramme besitzen und aus haushaltstechnischen Gründen wenig Interesse daran haben, Haushaltsmittel für Maßnahmen einzusetzen, die auch im Nachbarbundesland Wirkungen erzielen (BÖCHER 2003). Forschungen zur Klimapolitik haben ebenfalls gezeigt, dass die für einen effektiven Klimaschutz notwendige Koordination und Integration verschiedener politischer Ebenen nur sehr schwer erreichbar ist (BÖCHER und NORDBECK 2014). Die im Rahmen von NaLaMa-nT durchgeführte Untersuchung der relevanten Sektoralpolitiken

zeigt ebenfalls, dass eine integrierte nachhaltige Landnutzungspolitik auf der Basis der sektoralen politischen Rahmenbedingungen nur schwerlich erwartet werden kann (KAUFER et al. 2013, 2014; GIESSEN et al. 2013).

Wie bei den Leitbildern in den anderen Modellregionen, kann auch bei denen des Flämings nicht erwartet werden, dass sie sich „einfach“ und vollständig umsetzen lassen. Es gilt auch hier, für bestimmte einzelne Ziele Prioritäten zu setzen und die entsprechenden vorhandenen politischen Programme, die tatsächlich entsprechende (Förder-) Instrumente bereitstellen, zu nutzen, um Stück für Stück die Leitbilder umsetzen zu können. Einige der Ziele/Forderungen (Leitsätze) des regionalen Leitbildes werden dabei bereits von den herrschenden politischen Rahmenbedingungen und ihren Instrumenten befördert: die tendenziell stärker an ökonomischer Wertschöpfung orientierte Landwirtschafts- und Forstpolitik unterstützt diejenigen Leitsätze, die die ökonomische Funktion von Land- und Forstwirtschaft in der Region betreffen). Die stark an ökologischen Erfordernissen ausgerichtete Wasserpolitik der EU unterstützt insbesondere durch das politische Instrument der EU-Wasserrahmenrichtlinie stark die Forderung des regionalen Leitbildes nach einem nachhaltigen Wasserschutz in allen Bereichen der Landnutzung. Für die genannten und die weiteren Leitsätze entsprechend ist also bereits unter den herrschenden politischen Rahmenbedingungen mit einer politischen Unterstützung zu rechnen.

Bei den Leitsätzen, die mehr auf eine Regionalisierung der Wertschöpfung abheben oder die Konzeption eines regionalen Energiekonzeptes thematisieren, handelt es sich wie in den anderen Regionen auch um Aspekte, die durch die „übergeordneten“ politischen Rahmenbedingungen weniger stark durch leistungsfähige Instrumente unterstützt werden. Hier sollte die politische Strategie ebenfalls lauten, zunächst einmal diejenigen Leitsätze und Themen zu identifizieren, die prioritär verwirklicht werden sollen, um dann nach entsprechenden Anknüpfungspunkten in den Förderprogrammen der Länder Brandenburg und Sachsen-Anhalt zu suchen, die in den drei Landkreisen wirken. Eine bereits genannte Schwierigkeit besteht dabei im landkreis- und länderübergreifenden Zuschnitt der Region, die dafür sorgt, dass bestimmte Maßnahmen nur schwer unterstützt werden können.

Der Leitsatz, nach dem ein regionales Energiekonzept die regionale Energieproduktion steuern soll, lässt sich zum Beispiel prinzipiell durch existierende politische Förderungen beeinflussen: So gab es in Brandenburg das Pro-

gramm RENplus des Ministeriums für Wirtschaft und Europaangelegenheiten, das die Erarbeitung regionaler Energiekonzepte unterstützte. Antragsberechtigt waren die Regionalen Planungsgemeinschaften (RPG) des Landes Brandenburg. Alle fünf RPG haben ein regionales Energiekonzept erarbeitet, auch die für die Modellregion zuständige regionale Planungsgemeinschaft „Havelland-Fläming“. An diesem Energiekonzept hat auch der Landkreis Potsdam-Mittelmark aktiv mitgewirkt. Es umfasst aber nur die brandenburgischen Flächen. In Sachsen-Anhalt gibt es ebenfalls regionale Energiekonzepte (BMVI 2015), u. a. das Energiekonzept für den Landkreis Nord-sachsen und für die Region Dübener Heide der Landkreise Wittenberg und Anhalt-Bitterfeld, die auf sachsen-anhaltischer Seite in die Projektregion fallen.

Die Erstellung eines eigenen, auf die Gebietskulisse der Projektregion Fläming bezogenen länderübergreifenden regionalen Energiekonzeptes wird angesichts der bereits bestehenden landesspezifischen Aktivitäten eher schwer möglich sein. Es empfiehlt sich daher energiepolitisch, die bereits vorhandenen regionalen Energiekonzepte zu nutzen und die Ziele der Modellregion Fläming mittel- und langfristig an diese anzuknüpfen.

Die Tatsache, dass die Modellregion Fläming auch administrativ keine homogene Region ist, macht die Umsetzung der regionalen Leitbilder schwieriger. Eine politische Strategie sollte daher lauten, zur Umsetzung der Leitbilder konkrete Maßnahmen und Projekte zu entwickeln, die dann, je nach ihrer lokalen Verortung durch entsprechende Landesförderungen, z. B. im Rahmen der EU-Förderung (z. B. ESF, EFRE, ELER und/oder mittels LEADER), jeweils im sachsen-anhaltischen und brandenburgischen Teil der Projektregion umgesetzt werden können. Eine mehr auf Regionalität und integrierte ländliche Entwicklung ausgerichtete Regionalentwicklung, wie sie einige Leitsätze favorisieren (z. B. Leitsatz 1 und 5), kann hier ebenfalls an bereits gestartete LEADER-Aktivitäten in der Region anknüpfen. So gibt es in der NaLaMa-nT-Modellregion Fläming Flächenanteile an den drei LEADER-Regionen Mittlere Elbe-Fläming, Wittenberger Land (jeweils Sachsen-Anhalt) sowie Fläming-Havel (Brandenburg). In allen drei durch LEADER geförderten Regionen existieren Entwicklungsstrategien, die bis 2020 mit Mitteln der EU in ihrer konkreten Projektumsetzung gefördert werden. Diese Entwicklungsstrategien enthalten entsprechende Ziele für einzelne Handlungsfelder, u. a. regionale Wirtschaft, Natur- und Kulturreich, Daseinsvorsorge, Bildung und Lebensqualität (LAG MITTLERE ELBE-FLÄMING 2015), Anpassung der Region an den demographischen Wandel, innovative Projekte zur Energiewende und Anpassung an den

Klimawandel, Sicherung von Fachkräften (LAG WITTENBERGER LAND 2015, S. 31), Infrastruktur und Daseinsfürsorge, Ortsbilder und den Naturraum erhalten und entwickeln (LAG FLÄMING-HAUEL 2014, S. 39 f.).

Die in den jeweiligen LEADER-Prozessen formulierten Ziele und Handlungsfelder bieten vielfältige Anknüpfungspunkte an die Leitbilder, die die Region Fläming im Rahmen von NaLaMa-nT erarbeitet hat. Es ist eine interessante politische Strategie, die Leitsätze und die damit verbundenen Ziele an bereits existierende Entwicklungsprozesse in der Region anzubinden, die sowohl politische als auch finanzielle Unterstützung seitens der EU und der jeweiligen Bundesländer erfahren. Eine Besonderheit bei LEADER in der Förderperiode 2014-2020 ist es, dass die LEADER-Methode (d. h. Regionalentwicklung im ländlichen Raum durch Vernetzung aller regionalen Akteure durch die Arbeit sogenannter lokaler Aktionsgruppen) nun erstmals auch fondsübergreifend zur Verfügung steht (sog. Multifondsansatz). Das heißt, es können Mittel aus verschiedenen Töpfen des Europäischen Struktur- und Investitionsfonds (ELER, EFRE, ESF) für die Umsetzung einer nachhaltigen Regionalentwicklung kombiniert eingesetzt werden. Dies zeigt z. B. die Entwicklungsstrategie der Region Wittenberger Land mit der Detailplanung bis 2020 auf (LAG WITTENBERGER LAND 2015, S. 72 ff.).

Die Strategie für die Modellregion Fläming sollte also lauten, ihre durch Leitbilder und einzelne Leitsätze formulierten Ziele, die Aspekte einer mehr regional orientierten nachhaltigen Entwicklung umfassen, stückweise in diejenigen politischen Umsetzungsprozesse der Region einzuspeisen, die bereits angelaufen sind und wo solche Strategien auch durch finanzielle Instrumente wie europäische Fördermittel unterstützt werden. Diese spezielleren Leitsätze werden von den generellen politischen Rahmenbedingungen weniger stark befördert. Da die Modellregion als einzige Flächenanteile in zwei Bundesländern aufweist, sind hier jedoch unterschiedliche, jeweils auf die einzelnen Bundesländer begrenzte Fördermöglichkeiten zu beachten. Am relevantesten für die Umsetzung bestimmter Teilaspekte der Leitbilder erscheinen hier die bereits in der Region angelaufenen LEADER-Prozesse, die in beiden Bundesländern auch fondsübergreifend umgesetzt werden.

Zur Konkretisierung der Leitbilder und bei der Priorisierung der Maßnahmen zu ihrer Verwirklichung bieten sich die Informationen über die heutige und künftige, vom jeweiligen Entwicklungspfad abhängige Ausprägung der Nachhaltigkeits-Indikatoren an.

6 Folgerungen für ein nachhaltiges Landmanagement

Die Auswirkungen des Klimawandels werden die zukünftige Landnutzung in der Modellregion deutlich beeinflussen. Insgesamt wird es in der Region Fläming bis zum Jahr 2070 deutlich wärmer. Die Hitzebelastung für Mensch und Tier nimmt hierdurch weiter zu. In geringerem Maße wächst die Belastung durch Schwüle. Die Kältebelastung im Winter geht deutlich zurück, die Anzahl der Frosttage wird fast halbiert. Insgesamt verlängert sich die Vegetationsperiode um etwa einen Monat.

Die im Vergleich zu anderen Regionen bereits trockene Modellregion Fläming wird zukünftig noch trockener. Dem deutlichen Niederschlagsrückgang in den Sommermonaten steht eine geringere Zunahme der Niederschläge im Winter gegenüber. Ein Ausgleich findet dadurch nur in geringem Umfang statt.

Insgesamt gehört die Modellregion Fläming zu den Gebieten, die wegen der Zunahme der Trockenheit stärker vom Klimawandel betroffen sein könnten.

Wasserwirtschaft

Zukünftig erscheint eine für Land- und Forstwirtschaft ausreichende Wasserversorgung nicht mehr zu jeder Zeit gesichert, da sich die derzeit bereits relativ geringe Höhe der Jahresniederschläge (rund 570 mm) noch spürbar verringern wird. Dies gilt insbesondere für den Norden und den Westen der Modellregion, wo durch die regional gegebenen Bodenverhältnisse häufig nur ein geringes Wasserspeichervermögen vorhanden ist. In Trockenphasen wird dann pflanzenverfügbares Wasser wohl nicht mehr ausreichend zur Verfügung stehen.

Zudem schränken die geringen Niederschläge bereits heute die Grundwasserneubildung ein. Hinsichtlich der zukünftigen Entwicklung weisen alle Modellsimulationen langfristig auf eine weitere Abnahme hin. Es muss daher damit gerechnet werden, dass zukünftig im Winterhalbjahr von trockenen Jahren keine vollständige Auffüllung des Bodenwasserspeichers mehr erfolgt und die ausreichende Wasserversorgung diesbezüglich anspruchsvoller landwirtschaftlicher Kulturen und junger Waldbestände gefährdet ist.

Auch die aktuelle und zukünftige Wasserqualität erscheint problematisch, da die Nitratkonzentrationen im Sickerwasser unter landwirtschaftlich genutzten Flächen bei Fortführung der bisherigen Wirtschaftsweise bei 111 bis 122 mg NO₃/l und damit deutlich oberhalb des Trinkwassergrenzwertes von 50 mg NO₃/l liegen. Die Nitrat-

konzentrationen bewegen sich bei den Varianten „Klimaschutz“ und „Biodiversität“ nur wenig darunter (-3 bis -9 %) und zeigen auch eine mit dem Referenzpfad vergleichbare zeitliche Entwicklung.

Die zugehörigen jährlichen Stickstofffrachten (Nitrat-N) liegen während des gesamten Betrachtungszeitraumes bei 20 bis 27 kg/ha und damit unterhalb des derzeit zulässigen Stickstoffbilanzüberschusses nach Düngeverordnung von 60 kg/ha/a.

Unter Wald liegen die Nitratkonzentrationen im Sickerwasser derzeit auf einem niedrigen Niveau (4 mg NO₃/l). Klimabedingt prognostizieren die Modelle jedoch einen beschleunigten Humusabbau und damit, bei gleichzeitiger Halbierung der Sickerwassermenge und Fortführung der bisherigen Wirtschaftsweise (Referenzpfad), einen Anstieg der Nitratkonzentrationen auf 46 mg NO₃/l bis zum Ende der Betrachtungsperiode. Im Klimaschutzpfad steigen die Nitratkonzentrationen bei stärkerem Humusabbau und deutlich sinkender Sickerwassermenge bis 2070 sogar auf rund 85 mg NO₃/l an und überschreiten damit den Grenzwert für Trinkwasser von 50 mg NO₃/l. Dagegen dämpft eine Wirtschaftsweise gemäß den Vorgaben des Biodiversitätspfads (verzögerter Waldbau) zeitweise den Anstieg der Nitratkonzentrationen, da hier der Humusabbau nur mäßig beschleunigt wird (2070: 13 mg NO₃/l).

Einschränkend muss an dieser Stelle angemerkt werden, dass die Kenntnisse über den Humusumsatz unter Klimawandelbedingungen noch begrenzt sind, so dass bei den hier vorgestellten Projektionen zu Nitratkonzentrationen im Sickerwasser von einer großen Unsicherheit ausgegangen werden muss.

Forstwirtschaft

Die klimatischen Veränderungen der standörtlichen Verhältnisse wirken sich direkt auf die forstbetrieblichen Ertragsaussichten und Produktionsrisiken aus (vgl. hierzu auch ALBERT et al., eingereicht). Daher ist die langfristig operierende Forstwirtschaft gezwungen, den bereits eingetretenen und noch zu erwartenden Klimaveränderungen mit nachhaltig wirksamen Anpassungsstrategien zu begegnen (vgl. GADOW 2000, BUONGIORNO und ZHOU 2015). Für die bestehenden Bestände müssen die bisherigen Waldbehandlungskonzepte - soweit wie möglich - an die sich ändernden ökologischen Rahmenbedingungen angepasst werden.

Eine solche Anpassung kann sowohl durch passive Duldung (z. B. Erhaltung und Förderung standortgemäßer Naturverjüngung) als auch im Rahmen aktiver Maßnahmen erfolgen (vgl. BOLTE et al. 2011), wie z. B. durch zielgerichtete Pflegekonzepte und einen standortgemäßen Waldumbau. Letzterer ist wegen der langen Produktionszeiträume und seines hohen investiven Charakters überlegt und mit Augenmaß durchzuführen (SPELLMANN et al. 2011). Generell bieten sich als Anpassungsstrategien drei zeitlich differenzierende Maßnahmenbündel an (SPELLMANN 2010).

1. Kurzfristig sind die vorhandenen Wälder vorrangig zu stabilisieren. Dies kann u. a. durch eine Förderung der Einzelbaumvitalität, durch den Erhalt und eine begünstigende Pflege von Mischbaumarten und ggf. durch eine Verkürzung der Produktionszeiten mit entsprechend kürzeren Gefährdungszeiträumen gewährleistet werden.
2. Mittelfristig ist das Bestandesrisiko aktiv zu verringern, z. B. durch die Förderung standortgemäßer Naturverjüngung, die Auswahl und Pflege einer ausreichenden Anzahl (inkl. Reserve!) von Z-Bäumen, eine Begrenzung der Vorratshöhen, eine differenzierte Zielstärkennutzung, einen konsequenten Waldschutz und angepasste Wildbestände.
3. Langfristig trägt der Waldumbau mit standortgemäßen Baumarten, einschließlich anbauwürdiger eingeführter Baumarten (vgl. VOR et al. 2015), in vermehrt gemischten Beständen dazu bei, die Risiken zu begrenzen bzw. zu verteilen und die Funktionen der Wälder zu sichern.

Speziell für die in der Region Fläming untersuchten Wälder können hinsichtlich der Auswirkungen des Klimawandels folgende Feststellungen getroffen werden:

- In der Region Fläming wird sich die bereits heute bestehende Trockenstressproblematik zukünftig weiter verschärfen. Selbst für die als trockenstresstolerant einzustufende Kiefer wird zunehmend eine mittlere Gefährdung projiziert, die nicht Existenz bedrohend ist, aber sich in einer geringeren Leistung und einer höheren Eintrittswahrscheinlichkeit abiotischer (u. a. Trockenstress, Waldbrand) oder biotischer Risiken (u. a. Kieferngrößschädlinge, Prachtkäfer) äußert.
- Die vorhandene klimatische Unsicherheit in den Projektionen zeigt selbst bei optimistischer Interpretation nur geringe Handlungsspielräume bei der Baumartenwahl auf, was für eine stärkere Be-

teiligung anbauwürdiger und ökologisch zuträglicher, eingeführter Baumarten wie Douglasie, Küstentanne und Roteiche spricht.

- Eine Diversifizierung des Baumartenspektrums durch Mischbestände ist notwendig, z. B. durch Laubholz in Mischung mit führender Kiefer oder Douglasie. Hierbei sollte auch die Buche zumindest als Begleitbaumart nicht ausgeschlossen werden, obwohl die Untersuchungen von PAUL et al. (2013) im Fläming zeigen, dass der Wasserbedarf von Buchenvoranbauten hoch ist und es zweifelhaft erscheint, ob der Wasserstress in der Jugendphase künftig eine stärkere Beteiligung der Buche überhaupt zulässt.
- Auch eine Förderung der Eiche/Roteiche auf geeigneten Standorten erscheint sinnvoll. Die Kiefer wird jedoch weiterhin in den beiden Teilgebieten des Fläming die dominierende Hauptbaumart bleiben, auch wenn andere Risiken wie z. B. die künftig ansteigende Waldbrandgefahr oder Kahlfraß durch Kieferngrößschädlinge nicht zu vernachlässigen sind (vgl. FLECK et al. 2015).

Landwirtschaft

Die Erträge in der Modellregion Fläming sind im Vergleich zu den beiden westlichen Modellregionen niedrig. Dies ist insbesondere standörtlich bedingt (geringere Niederschläge und schwächere Böden). Die Modellrechnungen, z. B. für Weizen (Pflanzenwachstumsmodells DSSAT, JONES et al. 2003), weisen darauf hin, dass in Zukunft - bei Fortführung der heutigen Anbausysteme - die Erträge im Mittel auf dem aktuellen Niveau liegen können (STRER et al. 2014). Allerdings ist in der Modellregion Fläming mit erhöhter Ertragsvariabilität bis hin zu Ertragsausfällen zu rechnen. Diese Zunahme ist in veränderten Eintrittshäufigkeiten für widrige Umweltbedingungen in Folge des Klimawandels zu sehen. Sie haben besonders dann negative Auswirkungen auf die Landwirtschaft, wenn sie in Wachstumsphasen auftreten, die für die Ertragsbildung und Entwicklung der landwirtschaftlichen Kulturen entscheidend sind. In Vorstudien wurden zwei Aspekte identifiziert, die für den Projektraum und damit auch für die Region Fläming maßgeblich scheinen: Dürren durch veränderte Wasserverfügbarkeit und extreme Temperaturen im Zusammentreffen mit der Blüte als kritische Phase in der Ertragsbildung.

Die Berechnung der Eintrittswahrscheinlichkeiten für extrem hohe Temperaturen zur Blüte als maßgebliche ertragsbildende Phase am Beispiel eines Winterweizenanbausystems (STRER et al. 2015) ergab, dass zukünftig trotz zeitlicher Vorverlegung der Pflanzenentwicklung in das

Frühjahr sich die Wahrscheinlichkeit für Temperaturen oberhalb kritischer phasenspezifischer Schwellenwerte verdoppelt. Dies gilt gleichermaßen für das Eintreten von Hitzeperioden, welche zudem in Zukunft auch wesentlich länger ausfallen können als bisher.

Diese Berechnungen zeigen, dass in Zukunft in der Modellregion Fläming mit einem deutlich erhöhten Trockenstressrisiko zu rechnen ist. Dies liegt insbesondere an der Verschiebung der Niederschläge in die Wintermonate und der höheren Verdunstung in der wärmeren Vegetationszeit. Von diesem Trockenstressrisiko sind besonders Sommergetreide und Hackfrüchte betroffen.

Weiterhin zeigen die Untersuchungen, dass der Grünlandertrag ohne Bewässerung aufgrund der abnehmenden Sommerniederschläge und dem damit verbundenen Risiko von Dürreperioden stagnieren wird.

Möglichkeiten, dem Klimawandel entgegenzuwirken, liegen in angepassten Managementstrategien und entsprechendem Züchtungsfortschritt. Eine Modellstudie zur Wirkung von Klimawandel vs. Management /Züchtungsfortschritt am Standort Diepholz hat gezeigt (STRER et al. 2014), dass ein beträchtlicher Teil der bisherigen Ertragsentwicklung (ca. 75 %) auf Management und Züchtungsfortschritt zurückzuführen ist und der Klimawandel dadurch bisher wenig Einfluss auf die Ertragsentwicklung nehmen konnte. Eine Übertragung dieser Einschätzung auf die wesentlich stärker vom Klimawandel betroffene Modellregion Fläming scheint jedoch gewagt.

Durchschnittliche Bewässerungsmengen zur Sicherstellung der Erträge im Laufe des Betrachtungszeitraumes zeigt die Abbildung 30.

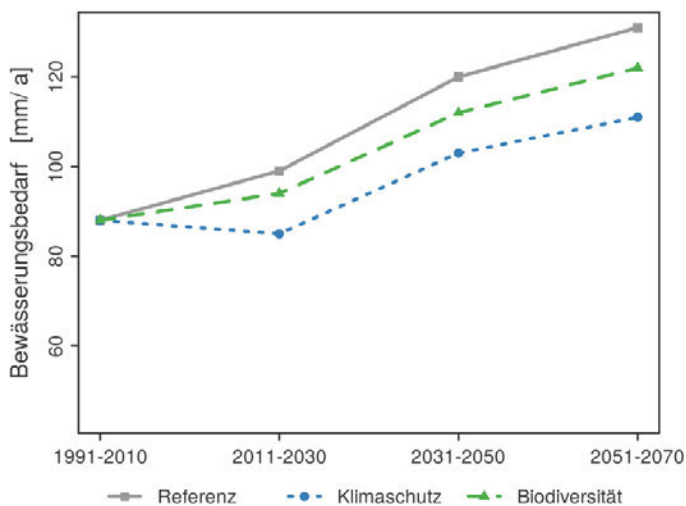


Abbildung 30: Entwicklung des landwirtschaftlichen Bewässerungsbedarfs zur Ertragssicherung.

Die Unterschiede zwischen den Entwicklungspfaden beruhen auf den unterschiedlichen Flächennutzungen bei Einführung einer Feldberegnung. Da sowohl in dem Biodiversitäts- (ökologische Vorrangflächen), als auch im Klimaschutzpfad (Anbau von Lupinen) große Areale nicht bewässert werden, steht für die restlichen Ackerflächen der Gesamtregion und damit für die ertragreichen Feldfrüchte mehr Wasser zur Verfügung.

Ein weiterer Ansatz zur Risikobegrenzung sind Züchtungsstrategien, die darauf abzielen, kritische Entwicklungsphasen der Kulturpflanzen mit züchterischen Mitteln zu verkürzen, wie es zum Beispiel von mediterranen Sorten bekannt ist. Zusätzlich kann im Rahmen eines angepassten Zeitmanagements die Möglichkeit geschaffen werden, z. B. durch zweckmäßig gewählte Saattermine, das Zusammentreffen widriger Umweltbedingungen und kritischer Entwicklungsphasen zu umgehen.

Durch den Einsatz von Wirtschaftsdünger aus der Tierhaltung kann der Humusgehalt des Bodens nachhaltig erhöht werden. Aufgrund der heutigen vergleichsweise geringen Bedeutung der Tierhaltung in der Modellregion Fläming (< 1 GVE/ha_{LF}) könnten die Viehzahlen moderat aufgestockt werden, ohne die ökologischen Indikatoren zu verschlechtern.

Stickstoff-Saldo

Pflanzenbestände können den insgesamt vorhandenen Stickstoff auch unter günstigsten Umständen nie vollständig aufnehmen. Daher werden Äcker zur vollständigen Stickstoffversorgung der Pflanzen systematisch „überdüngt“. Dies hat zur Folge, dass Stickstoff-Verluste nie vollständig zu vermeiden sind. Bei einem Austrag bis zu einer Höhe von 50 kg N je Hektar und Jahr werden aber keine gravierenden ökologischen Schäden erwartet. Die Stickstoff-Salden der Entwicklungspfade liegen aber mit 80 bis 100 kg/ha/a Überschuss deutlich über dem Optimalbereich von 0 bis 50 kg N/ha/a und auch über dem gesetzlich vorgegebenen Wert von 60 kg N/ha/a und sind daher zukünftig weiter zu reduzieren.

Humus-Saldo

Der Entwicklungstrend des Humus-Saldos ist in der Modellregion insgesamt positiv. Insbesondere im Klimaschutzpfad kommt es durch die Ausweitung des Lupinenanbaus zu einer deutlichen Erhöhung des Humussaldos. Zum Ende des Berechnungszeitraumes erfolgt hier ein jährlicher Humusaufbau in Höhe von ca. 80 kg C/ha. Dieser Wert liegt nach der Bewertungsskala der VDLUFA (KÖRSCHENS et al. 2004) innerhalb des optimalen Bereiches von -75 bis 100 kg C/ha/a und verspricht somit eine hohe Ertragssicherheit bzw. ein geringes Verlustrisiko.

7 Quellen

- ALBERT M., LEEFKEN, G., NUSKE, R., AHREND, B., SUTMÖLLER, J., SPELLMANN H. (in Begutachtung): Auswirkungen von klimatischer Unsicherheit auf die Forstplanung am Beispiel von vier Regionen im norddeutschen Tiefland. Allgemeine Forst- und Jagdzeitung.
- BBSR 2010: Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (Hrsg.). Genügend Raum für den Ausbau erneuerbarer Energien? BBSR-Berichte KOMPAKT 13.
- BMU 2007: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) Referat Öffentlichkeitsarbeit (Hrsg.): Nationale Strategie zur biologischen Vielfalt. http://www.bmu.de/naturschutz_biologische_vielfalt/downloads/publ/40333.php.
- BMVI (Hrsg.) 2015: Regionale Energiekonzepte in Deutschland. Fallanalysen, Analyse der Förderprogramme, Handlungsempfehlungen. BMVI-Online-Publikation 06/2015. SSN 2364-6020. http://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/Veroeffentlichungen/BMVI/BMVIOnline/2015/DL_BMVI_Online_06_15.pdf
- BÖCHER, M. 2003: Die politische Steuerung nachhaltiger Regionalentwicklung. Das Beispiel der EU-Gemeinschaftsinitiative LEADER+. In: Grande, Edgar/Prätorius, Rainer (Hrsg.): Politische Steuerung und neue Staatlichkeit (Staatslehre und politische Verwaltung Bd. 8), Baden-Baden: Nomos, 235-258.
- BÖCHER, M., NORDBECK, R. 2014: Klimawandel als Mehrebenen-Governance-Herausforderung, in: dms - der moderne Staat 2/2014, 253-268.
- BOLTE, A., WELLBROCK, N., DUNGER, K. 2011: Welche Maßnahmen sind umsetzbar? AFZ-Der Wald, 2: 27–29.
- BONTEN, L., POSCH, M., REINDS, G. J. 2011: The VSD+ Soil Acidification Model. Model Description and User Manual Version 0.20, Alterra, Wageningen. 19 S.
- BUONGIORNO, J., ZHOU, M. 2015: Adaptive economic and ecological forest management under risk. Forest Ecosystems, 2(1): 1-15. doi: 10.1186/s40663-015-0030-y.
- CORINE LAND COVER 2006: Corine Land Cover - Bodenbedeckungsdaten für Deutschland. Aktualisierung für Deutschland 2006. http://www.corine.dfd.dlr.de/datadescription_2006_de.html.
- CHRISTEN, O., HÖVELMANN, L., HÜLSBERGEN, K.-J., PACKEISER, M., RIMPAU, J.; WAGNER, W. 2009: Nachhaltige landwirtschaftliche Produktion in der Wertschöpfungskette Lebensmittel. Erich Schmidt Verlag, Berlin.
- Fleck, S., Albert, M., Plasil, P., Nagel, R., Suttmöller, J., Ahrends, B., Schmidt, Mat., Evers, J., Hansen, J., Overbeck, M., Schmidt, W., Spellmann, H., Meesenburg, H. 2015: Pilotstudie zu den lokalen Auswirkungen des Klimawandels auf die Forstwirtschaft in ausgewählten Regionen Sachsen-Anhalts. Beiträge aus der NW-FVA 13: 221 S.
- FREIER, B., PALLUTT, B., JAHN, M., SELLMANN, J., GUTSCHE, V., ZORNACH, W. 2008: Netz Vergleichsbetriebe Pflanzenschutz Jahresbericht 2007. Berichte aus dem Julius Kühn-Institut 144. (www.jki.bund.de).
- FREIER, B., PALLUTT, B., JAHN, M., SELLMANN, J., GUTSCHE, V., ZORNACH, W., MOLL, E. 2009: Netz Vergleichsbetriebe Pflanzenschutz Jahresbericht 2008. Berichte aus dem Julius Kühn-Institut 149. (www.jki.bund.de).
- FREIER, B., SELLMANN, J., SCHWARZ, J., JAHN, M., MOLL, E., GUTSCHE, V., ZORNACH, W. 2010: Netz Vergleichsbetriebe Pflanzenschutz Jahresbericht 2009. Analyse der Ergebnisse der Jahre 2007–2009. Berichte aus dem Julius Kühn-Institut 156. (www.jki.bund.de).
- FREIER, B., SELLMANN, J., SCHWARZ, J., JAHN, M., MOLL, E., GUTSCHE, V., ZORNACH, W. 2011: Netz Vergleichsbetriebe Pflanzenschutz Jahresbericht 2010. Analyse der Ergebnisse der Jahre 2007–2010. Berichte aus dem Julius Kühn-Institut 161. (www.jki.bund.de).
- FREIER, B., SELLMANN, J., SCHWARZ, J., KLOCKE, B., MOLL, E., GUTSCHE, V., ZORNACH, W. 2012: Netz Vergleichsbetriebe Pflanzenschutz Jahresbericht 2011. Analyse der Ergebnisse der Jahre 2007–2012. Berichte aus dem Julius Kühn-Institut 166. (www.jki.bund.de).
- FREIER, B., SELLMANN, J., STRASSEMAYER, J., SCHWARZ, J., KLOCKE, B., KEHLENBECK, H., ZORNACH, W. 2013: Netz Vergleichsbetriebe Pflanzenschutz Jahresbericht 2012. Analyse der Ergebnisse der Jahre 2007–2012. Berichte aus dem Julius Kühn-Institut 172. (www.jki.bund.de).
- FREIER, B., SELLMANN, J., STRASSEMAYER, J., SCHWARZ, J., KLOCKE, B., KEHLENBECK, H., ZORNACH, W. 2015: Netz Vergleichsbetriebe Pflanzenschutz Jahresbericht 2013. Analyse der Ergebnisse der Jahre 2007–2013. Berichte aus dem Julius Kühn-Institut 178. (www.jki.bund.de).
- GADOW, K.V. 2000: Evaluating Risk in Forest Planning Models. Silva Fennica 34(2): 181-191.
- GIESSEN, L., HUBO, C., KROTT, M., KAUFER, R. 2013: Steuerungspotentiale von Zielen und Instrumenten des Politiksektors Forstwirtschaft und deren möglicher Beitrag zu einer nachhaltigen Entwicklung ländlicher Regionen. In: Zeitschrift für Umweltpolitik & Umweltrecht, 36 (3), 261-291.
- HANSEN, J., NAGEL, J. 2014: Waldwachstumskundliche Softwaresysteme auf Basis von TreeGrOSS - Anwendungen und theoretische Grundlagen. Beiträge aus der NW-FVA 11. Universitätsverlag Göttingen.
- HANSEN, M. C., POTAPOV, P. V., MOORE, R., HANCHER, M., TURUBANOVA, S. A., TYUKAVINA, A., THAU, D., STEHMAN, S. V., GOETZ, S. J., LOVELAND, T. R., KOMMAREDDY, A., EGOROV, A., CHINI, L., JUSTICE, C. O., TOWNSEND J. R. G. 2013: High-Resolution Global Maps of 21st-Century Forest Cover Change Science 342(6160): 850-853. doi: 10.1126/science.1244693

- HAVELLAND-FLÄMING 2011: <http://www.havelland-flaeming.de/index.php?n=4&id=40890>, abgerufen am 05.12.2011.
- HÜLSBERGEN, K.-J., DIEPENBROCK, W. 1997: Das Modell REPRO zur Analyse und Bewertung von Stoff- und Energieflüssen in Landwirtschaftsbetrieben. – In: Diepenbrock, W.; Kaltschmitt, M.; Nieberg, H.; Reinhardt, G. (1997): Umweltverträgliche Pflanzenproduktion – Indikatoren, Bilanzierungsansätze und ihre Einbindung in Ökobilanzen. Reihe Initiativen zum Umweltschutz 5: 159 – 181.
- IPCC 2013: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex und P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: 1535 S.
- Jones, J.W, Hoogenboom, G, Porter, C.H, Boote, K.J, Batchelor, W.D, Hunt, L.A, Wilkens, P.W, Singh, U, Gijsman, A.J, Ritchie J.T 2003: The DSSAT cropping system model. *European Journal of Agronomy* (18) 3–4: 235–265.
- KAUFER, R., KROTT, M., HUBO, C., GIESSEN, L. 2013: Steuerungspotenziale der Agrar und Raumordnungspolitik für ökologisch und ökonomisch nachhaltige ländliche Regionen. In: *Raumforschung und Raumordnung*, 71 (5), 381–396.
- KAUFER, R., GIESSEN, L., HUBO, C., KROTT, M. 2014: Steuerungspotentiale des Politiksektors Wasserwirtschaft für eine nachhaltige Entwicklung ländlicher Regionen: Wasserpolitische Ziele und Instrumente. In: *Zeitschrift für Umweltpolitik & Umweltrecht*, 37 (4), 410–433.
- KÖRSCHENS, M., ROGASIK, J., SCHULZ, E., BÖNING, H., EICH, D., ELLERBROCK, R., FRANKO, U., HÜLSBERGEN, K.-J., KÖPPEN, D., KOLBE, H., LEITHOLD, D., MERBACH, I., PESCHKE, H., PRYSTAV, W., REINHOLD, J., ZIMMER, J. 2004: Humusbilanzierung: Methode zur Beurteilung und Bemessung der Humusversorgung von Ackerland. Standpunkt des Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten. <http://www.vdlufa.de/joomla/Dokumente/Standpunkte/08-humusbilanzierung.pdf>.
- KYSELY 2004: Mortality and displaced mortality during heat waves in the Czech Republic. *Int J Biometeorol* (49): 91–97.
- LAG FLÄMING-HAVEL 2014: 2014 - 2020 Regionale Entwicklungsstrategie für die LAG Fläming-Havel, Wiesenburg-Mark.
- LAG MITTLERE ELBE-FLÄMING 2015: Bewährtes erhalten – Neues wagen! Lokale Entwicklungsstrategie 2014-2020, Dessau-Roßlau.
- LAG WITTENBERGER LAND 2015: Lokale Entwicklungsstrategie der Interessengruppe / Subregion /LAG Wittenberger Land, Lutherstadt Wittenberg.
- MÖHRING, B. UND WILHELM, ST. 2014: Der Privatwaldvergleich Westfalen-Lippe. *AFZ - Der Wald* 23: 30 – 33.
- MOSS R.H., EDMONDS J.A., HIBBARD K.A., MANNING M.R., ROSE S. 2010: The next generation of scenarios for climate change research and assessment. *Nature*, 463: 747–756.
- NDS 1991: LÖWE - Langfristige Ökologische Waldentwicklung. Programm der Landesregierung Niedersachsen.
- OFFERMANN, F., BANSE, M., EHREMAN, M., GOCHT, A., GÖMANN, H., HAENEL, H.-D., KLEINHANS, W., KREINS, P., LEDEBUR, O. VON, OSTERBURG, B., PELIKAN, J., RÖSEMANN, C., SALAMON, P., SANDERS, J. 2012: vTI-Baseline 2011 – 2021: Agrarökonomische Projektionen für Deutschland, *Landbauforschung*, Eigenverlag, Braunschweig.
- ORLOWSKY, B., GERSTENGARBE, F.-W., WERNER, P.C. 2008: A resampling scheme for regional climate simulations and its performance compared to a dynamical RCM. *Theor. Appl. Climatol.* 92(3-4): 209–223.
- PAUL, G., MEISSNER, R., OLLESCH, G. 2013: Soil-hydrological measuring strategy to estimate water balances in the Flaeming region, Germany. In: SISÁK (Ed.): *Proceedings of International Conference on Realistic Expectations for Improving European Waters*, 12–14.10.2011 in Keszthely, Ungarn. 91–102.
- PETERS, G.P., ANDREW, R.M., BODEN, T., CANADELL, J.G., CIAIS, P., LE QUÉRE, C., MARLAND, G., RAUPACH, M.R., WILSON, C. 2013: The challenge to keep global warming below 2 °C. *Nature Climate Change*, Vol 3, January, S. 4–6.
- POSCH, M., REINDS, G. J. 2009: A very simple dynamic soil acidification model for scenario analyses and target load calculations. *Environmental Modelling & Software*, 24, (3): 329–340.
- SCHULLA, J., JASPER, K. 2007: Model Description WaSiM-ETH. Technical report, 181 S. http://homepage.hispeed.ch/wasim/downloads/doku/wasim/wasim_2007_en.pdf.
- SPELLMANN, H. 2010: Nachhaltige Waldbewirtschaftung auf ökologischen Grundlagen. In: DEPENHAUER, O.; MÖHRING, B. (Hrsg.): *Waldeigentum. Bibliothek des Eigentums*, Band 8. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 99–116.
- SPELLMANN, H., ALBERT, M., SCHMIDT, M., SUTMÖLLER, J., OVERBECK, M. (2011): Waldbauliche Anpassungsstrategien für veränderte Klimaverhältnisse. *AFZ/Der Wald*, 66(11): 19–23.
- STATISTIK SACHSEN-ANHALT 2011A: <http://www.statistik.sachsen-anhalt.de/bevoelkerung/prognose/statistik/gem/p5.15082430.html>, abgerufen am 05.12.2011
- STATISTIK SACHSEN-ANHALT 2011B: <http://www.statistik.sachsen-anhalt.de/bevoelkerung/prognose/statistik/gem/p5.15091060.html>, abgerufen am 05.12.2011
- STATISTIK SACHSEN-ANHALT 2011C: <http://www.statistik.sachsen-anhalt.de/bevoelkerung/prognose/statistik/gem/p5.15091375.html>, abgerufen am 05.12.2011

- STATISTIK SACHSEN-ANHALT 2011D: http://www.lbv.brandenburg.de/dateien/stadt_wohnen/rb_bevoelkerungsvorausschaetzung_2009_bis_2030.pdf, abgerufen am 05.12.2011.
- STATISTISCHE ÄMTER DES BUNDES UND DER LÄNDER 2011: Statistik lokal - Daten für die Kreise, kreisfreien Städte und Gemeinden Deutschlands Ausgabe 2011. Hrsg. http://www.statistik-portal.de/Statistik-Portal/inhalt_lokal.pdf.
- STEVENS, B., GIORGETTA, M., ESCH, M., MAURITSEN, T., CRUEGER, T., RAST, S., SALZMANN, M., SCHMIDT, H., BADER, J., BLOCK, K., BROKOPF, R., FAST, I., KINNE, S., KORN-BLUEH, L., LOHMANN, U., PINCUS, R., REICHLER, T., ROECKNER, E. 2013: Atmospheric component of the MPI-M Earth System Model: ECHAM6, J. Adv. Model. Earth Syst., 5: 146–172, doi:10.1002/jame.20015.
- STRER, M., SVOBODA, N., HERRMANN, A. 2014: Can agriculture manage climate change effects? A modelling approach. In: Carlton, R., Mohammed, S., Storkey, J., Topp, K., West, J. (Hrsg.): Agronomic decision making in an uncertain climate: University of Leeds, Leeds, UK on 19 - 20 June 2014. Association of Applied Biologists, Wellesbourne, 63-70.
- STRER, M., SVOBODA, N., HERRMANN, A. 2015: Veränderung der Häufigkeit widriger Witterungsbedingungen zu sensiblen Entwicklungsphasen des Weizenanbaus in Norddeutschland. In: Kage, H., Sieling, K., Francke-Weltmann, L. (Hrsg.), Multifunktionale Agrarlandschaften - Pflanzenbaulicher Anspruch, Biodiversität, Ökosystemdienstleistungen: Kurzfassungen der Vorträge und Poster; 58. Jahrestagung der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften, 22. bis 24. September 2015, Braunschweig. Halm, Göttingen, 87-88.
- TUOMI, M., RASINMÄKI, J., REPO, A., VANHALA, P., LISKI, J. 2011: Soil carbon model Yasso07 graphical user interface. Environmental Modeling and Software (26) 11: 1358-1362.
- TUOMI, M., THUM, T., JÄRVINEN, H., FRONZEK, S., BERG, B., HARMON, M., TROFYMOW, J. A., SEVANTO, S., LISKI, J. 2009: Leaf litter decomposition - Estimates of global variability based on Yasso07 model. Ecol. Modelling, 220, 3362-3371.
- VAN VUUREN, D.P., EDMONDS, J., KAINUMA, M., RIAHI, K., THOMSON, A., HIBBARD, K., HURTT, G.C., KRAM, T., KREY, V., LAMARQUE, J.-F., MASUI, T., MEINSHAUSEN, M., NAKICENOVIC, N., SMITH, S.J., ROSE, S.K. 2011: The representative concentration pathways: an overview. Clim Change 109: 5-31.
- VOR, T., SPELLMANN, H., BOLTE, A., AMMER, C. 2015: Potenziale und Risiken eingeführter Baumarten. Baumartenportraits mit naturschutzfachlicher Bewertung. Göttinger Forstwissenschaften 7: 296 S.
- ZANDER, P., KÄCHELE, H. 1999: Modelling multiple objectives of land use for sustainable development. Agricultural Systems. 59:311-325.

8 Fachbegriffe

A

Altersklassen: Klassen von jeweils 20 Jahren, denen entweder Waldbestände – dem Alter ihrer führenden Baumart entsprechend – oder die ideellen Flächen der einzelnen Baumarten und Baumartengruppen entsprechend ihrem Alter zugeordnet werden.

Altersklassenverteilung: Struktur der Flächenausstattung aller → Altersklassen einer Betriebsklasse oder Baumartengruppe. Die Altersklassenverteilung einer idealen Betriebsklasse ist insgesamt und innerhalb der Baumartengruppen gleichmäßig, d. h. bei jeder Baumartengruppe ist jede Altersklasse innerhalb der für sie unterstellten → Umtriebszeit mit der gleichen Fläche ausgestattet.

Artmächtigkeit: Angabe zur Anzahl der Individuen einer Art bzw. zu der von ihr bedeckten Fläche.

B, C

Barfrostdag: → Frosttag ohne Schneedecke

Baumartengruppen: Die verschiedenen Baumarten werden nach den Forsteinrichtungsvorschriften der Länder in der Regel zu Baumartengruppen zusammengefasst. Nachfolgend die Einteilung für Niedersachsen:

Eiche (Ei)	Sämtliche Eichenarten.
Buche (Bu)	Rotbuche und Hainbuche.
Andere Laubbäume	mit hoher Umtriebszeit (Alh) Ahorne, Esche, Esskastanie, Walnuss, Elsbeere, Kirsche, Linden, Nussbaum, Robinie, Rüster (Ulmen) u. a..
Andere Laubbäume	mit niedriger Umtriebszeit (ALn) Birken, Eberesche, Erlen, Pappeln, Spätblühende Traubenkirsche, Weiden u. a.
Fichte (Fi)	Fichten, Tannen, Thuja- und Tsuga-Arten und sonstige Nadelbaumarten außer Douglasie, Kiefern und Lärchen.
Douglasie (Dgl)	Douglasie.
Kiefer (Ki)	Sämtliche Kieferarten.
Lärche (Lä)	Sämtliche Lärchenarten.

Bestand: Einheit von Bäumen einer Art oder mehrerer Arten, die sich nach Alter, Struktur, Aufbau, Baumartenzusammensetzung (Mischung) und Entwicklungsstufe von den benachbarten Waldflächen unterscheidet und dadurch eine waldbauliche Behandlungseinheit darstellt. Die Fläche muss so groß sein, dass der Teil des Waldes eine eigene Dynamik und ein spezifisches Innenklima entwickeln kann. Der Bestand ist die kleinste Inventur- und Planungseinheit in der Forsteinrichtung.

Bestandesbegründung: Zielgerichtete, künstliche oder natürliche Anlage eines neuen Bestandes.

Brusthöhendurchmesser (BHD): Forstliche Maßeinheit. Der Brusthöhendurchmesser ist der Durchmesser eines Baumes mit Rinde in 1,3 m Höhe über dem Mineralboden.

D

Derbholz: Holz mit einem Durchmesser über 7 cm mit Rinde.

E

ELER: Europäische Landwirtschaftsfonds für die Entwicklung des ländlichen Raums; fördert die Entwicklung des ländlichen Raums in der Europäischen Union. Der ELER wurde durch eine Verordnung des Rates der Europäischen Union vom 20. September 2005 errichtet und hat seine Tätigkeit im Jahre 2007 aufgenommen. Er hat 4 Schwerpunkte (Achsen):

- Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit von Land- und Forstwirtschaft.
- Verbesserung des Umwelt- und des Tierschutzes in der Landschaft
- Steigerung der Lebensqualität im ländlichen Raum und Diversifizierung der ländlichen Wirtschaft.
- → LEADER

Erntefestmeter (Efm): = Festmeter (→ Vorratsfestmeter) Maßeinheit für Planung, Einschlag, Verkauf und Buchung des Holzes. Er wird in der Praxis errechnet, indem vom Vorrat des stehenden Bestandes 20 % für Ernte- und Rindenverluste abgezogen werden. Ein Erntefestmeter entspricht einem Kubikmeter ($\text{cbm} = \text{m}^3$) Holz ohne Rinde.

Evaporation: Meteorologischer Begriff, der die Verdunstung von Wasser auf unbewachsenem/freiem Land oder Wasserflächen bezeichnet.

Evapotranspiration: Bezeichnet in der Meteorologie die Summe aus Transpiration und → Evaporation, also der Verdunstung von Wasser aus Tier- und Pflanzenwelt sowie von Boden- und Wasseroberflächen.

F

Feldkapazität: Wassermenge, die ein zunächst wassergesättigter Boden maximal gegen die Schwerkraft nach 2 bis 3 Tagen zurückhalten kann.

Festmeter (Fm): Forstliches Volumenmaß → Vorratsfestmeter, Erntefestmeter.

Frosttag: Tag mit einem Minimum der Lufttemperatur $< 0^\circ\text{C}$.

G

Grundwasser: Alles unterirdische Wasser in der Sättigungszone (im Untergrund, in unmittelbarer Berührung mit dem Boden oder dem Untergrund).

H

Heißer Tag: Tagesmaximum der Lufttemperatur $\geq 30^\circ\text{C}$.

Hitzebelastung: → Kysely-Tage

I, J, K

Klimatische Wasserbilanz (KWB): Die Klimatische Wasserbilanz ergibt sich aus der Differenz von Niederschlag und potenzieller → Evapotranspiration. Sie stellt ein Maß für das Wasserangebot in einem Gebiet dar und liefert einen Hinweis darauf, welche Vegetation in einem Gebiet anzutreffen ist.

Kysely-Tage: Das Tagesmaximum der Lufttemperatur ($t_{\max}$) überschreitet an mindestens 3 Tagen in Folge 30°C , dabei werden die Kysely-Tage so lange über die gesamte nachfolgende Periode weiter gezählt, an denen $t_{\max}$ die Temperatur von 25°C nicht unterschreitet (Kysely 2004).

L

LAG: Lokale Aktionsgruppen. Regionale Arbeitsgruppen, die im Rahmen der →LEADER-Förderung vor Ort Entwicklungskonzepte für die geförderte Region erarbeiten.

LEADER: Förderprogramm der Europäischen Union, mit dem seit 1991 modellhaft innovative Aktionen im ländlichen Raum gefördert werden. Lokale Aktionsgruppen erarbeiten vor Ort Entwicklungskonzepte, mit dem Ziel, die ländlichen Regionen Europas auf dem Weg zu einer eigenständigen Entwicklung zu unterstützen.

LÖWE: Die „Langfristige ökologische Waldentwicklung in den Landesforsten“ ist ein Programm der Niedersächsischen Landesregierung von 1991. In den darin enthaltenen dreizehn Grundsätzen wird die Bewirtschaftung der Landesforsten nach ökologischen Gesichtspunkten verbindlich vorgeschrieben.

M

Mischbestand: Ein Waldbestand, der sich aus mindestens zwei Baumarten zusammensetzt, sofern die zweite Baumart mit mindestens 10% an der Fläche vertreten ist. Bei der Verteilung der Mischbaumarten in einem Bestand unterscheidet man folgende Mischungsformen:

Stammweise:	Einzelstamm-Mischung
Trupp:	Fläche bis 10 m Durchmesser
Gruppe:	Fläche von 10 - 20 m Durchmesser
Horst:	Fläche von 20 - 40 m Durchmesser

N, O

Nebennutzungen, forstliche: Produktion und Nutzung von Gütern außerhalb der klassischen Holznutzung. Traditionell am bekanntesten und auch wirtschaftlich von großer Bedeutung ist die Produktion und Vermarktung von Weihnachtsbäumen und Schmuckreisig. Aber auch die Nutzung von Kräutern (Bärlauch) und Wildobst (Elsbeeren), die Vermarktung von Wildfleisch sowie die Sicherung des Trinkwassers oder die Erfüllung von spezifischen Naturschutzleistungen im Rahmen von entgeltlichen vertraglichen Vereinbarungen können für den einzelnen Forstbetrieb wirtschaftlich interessant sein.

Nettowertschöpfung: Die Nettowertschöpfung ergibt sich aus dem →Produktionswert abzüglich aller Vorleistungen. Zur Ermittlung werden auch die Vorleistungen für die Flächenverwaltung herangezogen. Die Nettowertschöpfung gibt somit den Teil der sektoralen Leistung an, der zur Deckung von Löhnen und Gehältern, Unternehmereinkommen, Kapitalkosten, Flächenkosten, Risikokosten sowie für Betriebsgewinne verbleibt.

Nutzbare Feldkapazität (nFK): Der Teil der →Feldkapazität, der von den Pflanzen durch die Wurzel aufgenommen werden kann, wird auch oft Bodenwasservorrat genannt.

P, Q, R

PNV: Die potentielle natürliche Vegetation ist die Vegetation (z.B. Waldgesellschaft), die sich auf Grund des heutigen Standortpotentials von selbst einstellen würde, wenn jegliches menschliche Handeln unterbliebe. Hierbei wird die Veränderung des Standorts in der Vergangenheit als gegeben hingenommen, Veränderungen in der Zukunft werden jedoch ausgeschlossen.

Produktionswerte: Bewertete (sektorale) Gesamtproduktion in der Region bezogen auf die jeweilige Nutzfläche: Der Produktionswert wird als Nettoerlös aus dem Verkauf der Hauptprodukte (z. B. Weizen, Stammholz...) und ggf. anfallender Nebenprodukte (Stroh...) verstanden. In der Forstwirtschaft sind hier Erträge aus Jagd und sonstigen Nebennutzungen unberücksichtigt. Subventionen, insbesondere (landwirtschaftliche) Flächenprämien, sind in diesem Kennwert nicht enthalten.

S

Schneehöhe, mittlere: Schneehöhe gemittelt über die Tage mit einer Schneedecke $\geq 1\text{ cm}$.

Schwüle: Tage, an denen die Äquivalenttemperatur (Maß aus Lufttemperatur und Luftfeuchte) $\geq 50^{\circ}\text{C}$ beträgt.

Spätfrosttag: →Frosttag im April und Mai

Standort: Er umfasst die Gesamtheit der für das Wachstum der Waldbäume bedeutsamen Umweltbedingungen (Boden, Klima, Lage).

Standortswasserbilanz: Summe aus →Klimatischer Wasserbilanz in der Vegetationsperiode und der →nutzbaren Feldkapazität.

Stetigkeit: Gesamtzahl der Aufnahmen der Gesellschaft / Anzahl der Vorkommen der betreffenden Art in einer Gesellschaft.

T

Totholz: Sammelbegriff für abgestorbene Bäume oder deren Teile. Es wird unterschieden zwischen *stehendem* Totholz, also noch nicht umgefallenen abgestorbenen Bäumen oder deren Teilen, und *liegendem* Totholz, das bereits auf dem Erdboden liegt. Stehendes Totholz ist seltener, bietet aber meist eine größere Vielfalt an Standortfaktoren und ist daher ökologisch besonders wertvoll. Viele Pflanzen und Tierarten sind auf absterbende Bäume und zersetztes Holzsubstrat angewiesen. Daher ist eine gewisse Kontinuität von Totholz zu gewährleisten. Eine besondere Rolle für die Erhaltung von Totholz spielen →historisch alte Waldstandorte.

U

Umtriebszeit: Durchschnittlicher Zeitraum, in dem die →Bestände einer Baumart i.d.R. ihr Erntealter erreicht haben. Z.B. Fichte 100 - 120 Jahre, Buche und Kiefer 140 - 160 Jahre, Stieleiche 140 - 250 Jahre, Traubeneiche 240 Jahre und mehr. Der Begriff der Umtriebszeit stammt aus der Zeit der (kahl)schlagweisen Bewirtschaftung von Beständen, zumeist von Reinbeständen, und gab damals den Nutzungszeitpunkt der Bestände vor. Heute ist die Umtriebszeit ein rechnerisches Hilfsmittel zur Herleitung bestimmter Modellgrößen (Soll-Vorräte, Nachhaltsweiser) und zur Bestimmung des Produktionszeitraumes im Rahmen der Investitionsplanung (Investitionsrechnung). Die Nutzung von Beständen bzw. Bäumen ist von ihr in keiner Weise abhängig, sondern allein von waldbaulichen und betrieblichen Zielen.

V

Verjüngung: Künstlich oder natürliche Neubegründung eines Bestandes. Der Begriff wird in der Praxis parallel hierzu als Bezeichnung des Nachwuchses eines Bestandes verwendet (→Bestandesbegründung).

Vorrat: Oberirdisches Holzvolumen eines Waldes, wird in →Vorratsfestmetern angegeben.

Vorratsfestmeter (Vfm): Maßeinheit für den stehenden Holzvorrat (→Vorrat) und Zuwachs in Kubikmetern →Derbholz mit Rinde. Die Umrechnung in Kubikmeter Derbholz ohne Rinde ist von der artspezifischen Rindenstärke und dem Alter der Baumarten abhängig. In der Praxis werden zumeist vereinfachend folgende Umrechnungen durchgeführt: 1 Vfm = 0,8 Fm, 1 Fm = 1,25 Vfm.

W

Waldstandorte, historisch alte: Waldgebiete die in den vergangenen Jahrhunderten weder durch Rodungen für landwirtschaftliche Zwecke noch durch Übernutzung (Waldweide, Raubbau an Holz) zerstört worden sind. Trotz menschlichen Einflusses, z. B. durch Mittel- und Niederwaldnutzung sowie Waldweide war die Vegetation stets walddähnlich, der Boden ein nur gering veränderter Waldboden. Zwischen der Kontinuität von Waldgebieten und dem Vorkommen wenig beweglicher bzw. verbreitungsschwacher hochspezialisierter Pflanzen und Tierarten besteht ein enger Zusammenhang. Nur in diesen Waldinseln historisch alter Waldstandorte konnten sich diese Pflanzen und Tierarten in überlebensfähigen Populationen bis in unsere Gegenwart „retten“.

X, Y, Z

Zielstärke: Angestrebter →Brusthöhendurchmesser (BHD) für gesunde, gut geformte Bäume einer Art. Die Zielstärke ist ein Beurteilungskriterium der Hiebsreife von Bäumen. Bei der Bestimmung der Zielstärke für eine Baumart sind u. a. deren allgemeine Ertrags- und Kostenkalkulationen sowie die Stärkenentwicklung, die Zuwachs- und Qualitätsverhältnisse bei fortschreitendem Alter zu berücksichtigen.

Zielstärkennutzung: Einzelstamm- bis gruppenweise (Mischungsform) Nutzung reifer und alter Bäume unter Verzicht auf Kahlf lächen. Erst bei Erreichen der →Zielstärke werden sie geerntet.

Zuwachs: Jährlicher Holzzuwachs in →Vorratsfestmetern →Derbholz einer Baumart, →Baumartengruppe u. a. m. je Hektar Waldfläche.

9 Anhang

Tabelle A: Kriterien und Indikatoren einer nachhaltigen Landnutzung. Die 12 Schlüsselindikatoren sind dunkler hinterlegt (vgl. Tabelle B).

Ressourcen	Stabilität	Produktivität	Beschäftigung	Wertschöpfung	Naturschutz	Lebensqualität
Betriebsgröße (Nutzfläche)	Windwurfisiko	Rohholz (atro)	Arbeitsvolumen (Lawi, Fowi)	Produktionswerte (Lawi, Fowi; Brutto)	Streng geschützte Flächen (NSG, FFH, etc.)	Wärmebelastung
Größe der Schläge/Bestände	Waldbrandrisiko	Ernteprodukte (Feldfrüchte & Grünland, atro)		Vorleistungen (Brutto)	Mischung	Bevölkerungsdichte
Nutzbare Feldkapazität	Trockenstress	Tierische Produkte		Nettowertschöpfung	Landschaftsdiversität	Arbeitsplätze (SVB)
Ertragspotential (Nährstoffziffer, Bodenpunkte)	Pflanzenschutz (Behandlungsindex)	Trink- und Brauchwassermenge		Subventionen	Naturnähe (PNV)	Flächeninanspruchnahme (Siedlg., Verkehr)
Altersklassenaufbau	Bewässerungsbedarf	Beregnungsmenge			Anteil Altholz	
Holzvorrat	Minderertrag				Anteil extensive Bewirtschaftung	
Holzzuwachs	N-Saldo					
Nitrat-Gehalt im Sickerwasser	P-Saldo					
Nitrat-Gehalt im Grundwasser	Humus-Saldo					
Grundwasserneubildung	Kohlenstoffdioxid-Emissionen					
Grundwasseranschluss	Methan-Emissionen					
Nitrat-N-Gehalt im Fließgewässer	Lachgas-Emissionen					
ortho-Phosphat-P-Gehalt im FG						
Abflussspende (Mq)						

Tabelle B: Land- und forstwirtschaftliche Schlüsselindikatoren (vgl. Tabelle A).

Schlüsselindikatoren Forstwirtschaft											
Indikator	Einheit	Referenz				Biodiversität			Klimaschutz		
		1991-2010	2011-2030	2031-2050	2051-2070	2011-2030	2031-2050	2051-2070	2011-2030	2031-2050	2051-2070
Holzvorrat	Vfm/ ha	263	253	242	222	295	315	292	210	190	207
Holzzuwachs	Vfm/ ha/ a	7,0	5,4	5,0	5,3	6,1	4,9	4,0	5,0	5,3	6,6
Nitrat im Sickenwasser	mg/ l	4,15	3,93	10,21	46,01	3,82	4,76	12,56	4,33	16,92	84,61
Grundwasserneubildung	mm/ a	65	65	60	22	61	60	32	72	61	13
Trockenstress	-	91	87	66	48	86	66	48	87	66	46
Pflanzenschutz	-	0,036	0,026	0,001	0,034	0,025	0,002	0,010	0,030	0,002	0,056
N-Saldo	kg/ ha/ a	14,40	9,52	9,75	6,80	9,60	10,46	10,69	9,41	8,43	0,33
Netto-CO ₂ -Emission	tCO ₂ / ha/ a	-14,04	-11,84	-4,76	-6,83	-6,49	-1,62	-2,42	-15,77	-6,04	-6,24
Arbeitsvolumen	h/ ha _{NF} / a	1,06	1,53	1,32	1,34	0,59	0,77	0,82	1,86	1,32	1,10
Nettowertschöpfung	€/ ha _{NF} / a	121,00	213,07	193,29	179,25	55,04	87,33	88,01	286,12	197,76	137,02
Landschaftsdiversität	-	0,663	0,682	0,695	0,707	0,671	0,679	0,695	0,705	0,706	0,688

Schlüsselindikatoren Landwirtschaft											
Indikator	Einheit	Referenz				Biodiversität			Klimaschutz		
		1991-2010	2011-2030	2031-2050	2051-2070	2011-2030	2031-2050	2051-2070	2011-2030	2031-2050	2051-2070
Nitrat im Sickenwasser	mg/ l	117,7	115,6	110,6	121,7	105,2	100,1	111,7	113,4	105,7	118,5
Grundwasserneubildung	mm/ a	109	113	112	80	113	112	80	113	112	80
Pflanzenschutz	-	3,0	3,1	3,5	3,5	3,0	3,2	3,2	2,7	3,0	3,5
Bewässerungsbedarf	mm/ a	88	99	120	131	94	112	122	85	103	111
N-Saldo	kg/ ha/ a	78	96	100	102	80	82	85	79	80	82
Netto-CO ₂ -Emission	tCO ₂ / ha/ a	2,858	3,598	3,798	3,918	3,328	3,458	3,558	3,091	3,231	3,331
Ernteprodukte	t/ ha/ a	5,72	8,43	9,07	10,10	7,40	7,79	8,55	7,69	8,06	8,85
Arbeitsvolumen	h/ ha _{NF} / a	12,59	13,72	13,36	13,36	13,61	13,05	13,05	13,52	12,88	12,88
Nettowertschöpfung	€/ ha _{NF} / a	315,63	322,57	323,42	343,33	311,91	315,19	334,19	284,87	289,00	308,05
Landschaftsdiversität	-	0,663	0,682	0,695	0,707	0,671	0,679	0,695	0,705	0,706	0,688

GEFÖRDERT VOM



**Bundesministerium
für Bildung
und Forschung**

Das dieser Broschüre zugrundeliegende Forschungsvorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung unter dem Förderkennzeichen 033L029A gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

