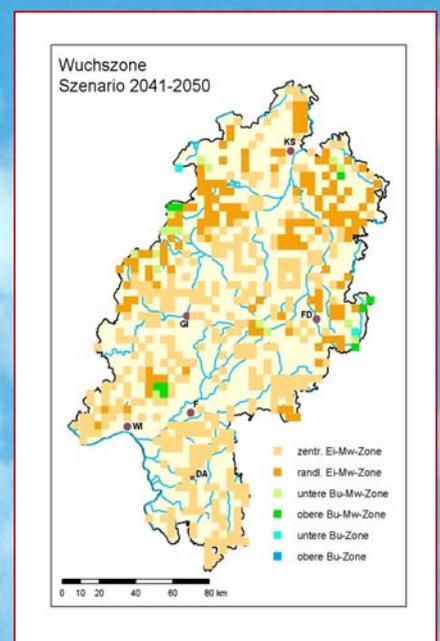
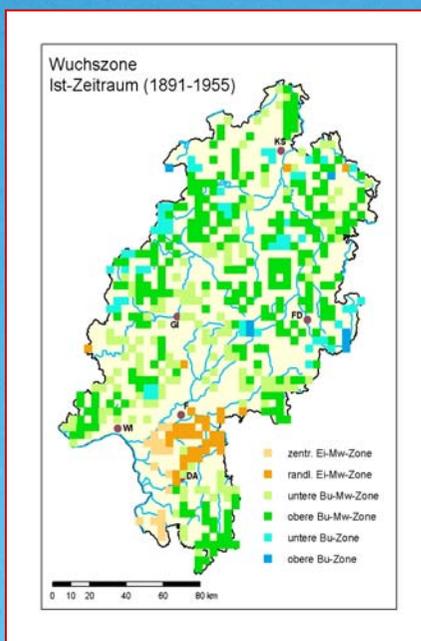




InKlim 2012 - Integriertes Klimaschutzprogramm Baustein II: Klimawandel und Klimafolgen in Hessen

Kartenbezogene Grundlagen der Waldentwicklung unter dem Einfluss von Klimaänderungen

Abschlussbericht für den Bereich Forstwirtschaft



InKlim 2012 Baustein II

Projektträger:

Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie
Dr. Helmut Wolf
Dr. Cornelia Fooker
Rheingaustraße 186
65203 Wiesbaden

Bericht zum Vorhaben:

„Kartenbezogene Grundlagen der Waldentwicklung unter dem Einfluss von Klimaänderungen“

HESSEN-FORST Forsteinrichtung, Information, Versuchswesen (FIV)

Projektverantwortlicher:

Prof. Dr. Johannes Eichhorn

Bearbeitung

Dr. Uwe Paar
Dr. Marcus Schmidt
Dr. Egbert Schönfelder
Dr. Volker Mues
Birte Scheler
Prof. Dr. Johannes Eichhorn

Vorbemerkung

Das HMULV koordiniert das **Integrierte Klimaschutzprogramm Hessen 2012 (InKlim 2012)**. Hierzu sind vor allem Grundlagen zu aktualisieren, vorhandene Programme zu optimieren sowie in einem konzeptionellen Zeitraum bis 2012 Maßnahmen zu entwickeln. Forstwirtschaft in Hessen mit 42 % der Landesfläche ist ein Element des Programmes.

Für die Forstwirtschaft ist eine derartige Analyse insbesondere schwierig, (a) aufgrund der langfristigen Produktionszeiträume und (b), weil mit der Bewirtschaftung eine große Variabilität von Standorten und Baumarten gesteuert wird und Regelkreise in naturnahen Ökosystemen sowie das Anpassungsvermögen von Baumarten modellhafte Studien mit großem Aufwand erfordern.

Im engen zeitlichen und finanziellen Rahmen des InKlim-Programmes wurde von forstlicher Seite daher zunächst eine Untersuchung eingebracht, die den Charakter einer Vorstudie hat. Sie wurde in der Zeit zwischen Anfang Februar und Ende Juni 2005 erarbeitet. Dabei wurden erste Untersuchungen auf der Basis von Definitionen der Hessischen Anweisung für Forsteinrichtungsarbeiten (HAFEA) durchgeführt. Daten zur Baumartenverteilung des 4 km x 4 km-Stichprobennetzes forstlicher Übersichtserhebungen wurden mit mittleren, dekadischen Klimaszenarien bis 2050 verrechnet. Die Ergebnisse der Untersuchung lassen einen möglicherweise erheblichen Einfluss der zu erwartenden Klimavariabilität auf den hessischen Wald erkennen.

Es wird weiterer Forschungsbedarf deutlich, um der Fragestellung „Wald und Klima“ gerecht zu werden. Dieser bezieht sich insbesondere auf folgende Fragen:

- Auswertung von ökologischen Grundlageninformationen zu den Baumarten (z. B. Ökogramme); Definition von Standortgerechtigkeit im Rahmen einer Arbeitsgruppe innerhalb des Landesbetriebes HESSEN-FORST, Überarbeitung der Standorts- und Betriebszieltypen in der HAFEA
- Einordnung der mit der bestehenden Begrifflichkeit nicht beschriebenen Standortbereiche
- Analyse der Waldschutzsituation für die Hauptbaumarten unter veränderten Klimabedingungen
- Analyse der Wechselwirkungen von Luftverunreinigungen und klimatischer Variabilität
- Analyse der genetischen Strukturen der Hauptbaumarten, Abschätzung ihres Anpassungsvermögens

1. Einführung

1.1 Ausgangssituation

Klimaveränderungen sind nach einem Bericht der Europäischen Umweltagentur (EEA 2004) bereits im Gange und haben weit reichende Auswirkungen auf Menschen und Ökosysteme in ganz Europa, die häufig mit erheblichen wirtschaftlichen Verlusten verbunden sind. So stieg die Temperatur in Europa in den vergangenen einhundert Jahren um 0,95 °C und damit stärker als im globalen Durchschnitt von 0,7 °C (EEA 2004).

In Deutschland waren die letzten zehn Jahre des 20. Jahrhunderts – wie auch weltweit – das wärmste Jahrzehnt des Jahrhunderts. 9 dieser Jahre lagen über dem Wert der vieljährigen Durchschnittstemperatur (8,3 °C); 5 der 10 wärmsten Jahre fallen ebenfalls in diesen Zeitraum. Das wärmste Jahr des gesamten Jahrhunderts war das Jahr 2000. Auffällig waren dabei insbesondere milde Wintertemperaturen. 7 der letzten 10 Winter des 20. Jahrhunderts waren überdurchschnittlich mild; drei davon (1994/95, 1997/98 und 1999/2000) gehören zu den 10 wärmsten Wintern des Jahrhunderts (MÜLLER-WESTERMEIER 2002). Ebenfalls feststellbar ist eine Zunahme der Jahresniederschläge, die auf einer deutlichen Zunahme der Winter- und etwas weniger deutlich der Frühjahrsniederschläge beruht (RAPP 2002). Insgesamt ist für Deutschland im 20. Jahrhundert ein Klimatrend zu niederschlagsreicheren und deutlich milderem Wintern sowie zu wärmeren und häufiger trockenen Sommern festzustellen (LEUSCHNER & SCHIPKA 2004).

Klimaindikatoren sind unter anderem ein Anstieg des Meeresspiegels im 20. Jahrhundert in Europa um 0,8 bis 3 mm jährlich, ein verändertes Verhalten von Zugvögeln, eine Verlängerung der Vegetationszeit um ca. 14 Tage (EEA 2004) sowie eine Verfrühung des Blattaustriebs bei Waldbäumen (BADECK et al. 2004). Feststellbar sind weiterhin klimabedingte Arealverschiebungen von Tier- und Pflanzenarten sowie Veränderungen der Biologischen Vielfalt (LEUSCHNER & SCHIPKA 2004) und die Ausbreitung und Vermehrung von Schädlingen (DALE et al. 2001).

Die im 20. Jahrhundert beobachteten Klimatrends haben sich zu Beginn des 21. Jahrhunderts fortgesetzt. So waren global die Jahre 1998, 2002, 2003 und 2004 die vier wärmsten Jahre seit dem Ende des 19. Jahrhunderts (HANSEN & SATO 2005). Anpassungen an künftige mögliche Klimaveränderungen sind in den Bereichen Forstwirtschaft, Landwirtschaft und Wasserwirtschaft notwendig. Voraussetzung sind Kenntnisse über die zu erwartenden Veränderungen. Die Validierung von Klimamodellen anhand derzeit beobachteter Klimatrends zeigt, dass die Ergebnisse heutiger numerischer Modelle weitgehend mit der tatsächlich beobachteten Klimaentwicklung übereinstimmen. Dabei sind jedoch Niederschlagsmodelle noch mit größeren Unsicherheiten behaftet als Modelle zur Prognose der Temperaturentwicklung (ALLEN & INGRAM 2002). Für Mitteleuropa prognostizieren Klimamodelle bis zum Ende des 21. Jahrhunderts gegenüber dem Ende des 20. Jahrhunderts eine Temperaturerhöhung um 3,5-7 K im Winter und um 2-4,5 K im Sommer (IPPC 2001). Eine wichtige Begrenzung gegenwärtiger Klimamodelle ist die zu grobe Auflösung, so dass sie nicht zu befriedigenden Erklärungen der weiteren Entwicklung für Teilräume in Deutschland führen können. In diesem Zusammenhang ist die Erarbeitung regionalisierter Klimaprognosen notwendig.

1.2 Integriertes Klimaschutzprogramm des HMULV – InKlim 2012

Das HMULV führt derzeit das **Integrierte Klimaschutzprogramm Hessen 2012 (InKlim 2012)** durch. Das Klimaschutzprogramm Hessen soll die fachliche Grundlagenplanung für die Zeit bis 2012 sicherstellen. Es soll pragmatische Ziele für einen hessischen Beitrag zur Erfüllung der Treibhausgas-minderungen nach Ratifizierung des Kyoto-Protokolls durch den Bundestag benennen. Hierzu sind vor allem Grundlagen zu aktualisieren, vorhandene Programme zu straffen und zu optimieren sowie in einem konzeptionellen Zeitraum bis 2012 Maßnahmen im Sinne des „Aktionsprogramms Umwelt“ vom Oktober 2002 und des hessischen Regierungsprogramms zu entwickeln. Das Klimaschutzprogramm soll integrierte Bausteine für die Erarbeitung einzelner Programmelemente liefern, insbesondere für die Sektoren Energiebereitstellung, Industrie und gewerbliche Wirtschaft, Haushalte und

Verkehr. Der volkswirtschaftliche Nutzen und die Kosten sind zu ermitteln. Die notwendigen Anpassungsmaßnahmen in den Bereichen Land-, Forstwirtschaft und Wasserbau sind aufzuzeigen.

InKlim 2012 besteht aus 3 Bausteinen:

- Baustein I: Grundlagen und technisch-wirtschaftliche Szenarien 2005/2012
- Baustein II: Klimawandel und Klimafolgen in Hessen
- Baustein III: Instrumente, Kosten und Maßnahmen für ein Umsetzungsprogramm

Bausteine I und III werden vom HMULV zentral vergeben und in der Projektabwicklung begleitet. Der Baustein II „**Klimawandel und Klimafolgen**“ wird vom HLUG im Auftrag und in Abstimmung mit dem HMULV durchgeführt. Im Grundlagenteil sollte einerseits der Klimawandel in Hessen seit 1900 ermittelt und wissenschaftlich-statistisch abgesichert dokumentiert werden. Andererseits bestand die Aufgabe, durch ein geeignetes Modell nach einem plausiblen Szenarium die mögliche Klimaentwicklung in Hessen bis zum Jahr 2100 zu prognostizieren.

Für die Bereiche Wasserwirtschaft sowie Land- und Forstwirtschaft sollten aufgrund des dokumentierten Klimawandels im 20. Jahrhundert klimabedingte Folgen aufgezeigt und anhand der Prognose bis 2050 (bzw. 2100) zu erwartende klimabedingte Folgen und erforderliche Anpassungsmaßnahmen abgeleitet werden. Ebenfalls untersucht werden sollten mögliche Auswirkungen auf den Naturschutz und die Artenvielfalt sowie mögliche gesundheitliche Auswirkungen auf den Menschen.



Abb. 1: InKlim 2012 – Baustein II

In einem Vorbericht vom Juli 2004 wurde von HESSEN-FORST FIV (Servicestelle für Forsteinrichtung, Information und Versuchswesen) eine erste Abschätzung möglicher Folgen der Klimaveränderungen für die Forstwirtschaft durchgeführt (PAAR 2004). Diesem lagen unter anderem die Ausführungen zum Thema „Ursachen und standörtliches Vorkommen periodischer Trocknisschäden und Folgerungen für die Baumartenwahl“ von ASTHALTER (1976) zugrunde. Auf den Vorbericht aufbauend wurde ein konkreter Arbeitsauftrag entwickelt, der die **Erarbeitung von Grundlagenkarten der Waldentwicklung unter dem Einfluss von Klimaveränderungen** zum Ziel hat und in einem Treffen des

INKLIM-Projekt Baustein II im HLUG, Wiesbaden am 17.11.2004 vorgestellt und diskutiert wurde (EICHHORN 2004).

Im Einzelnen ergaben sich folgende Fragestellungen:

- Wie verändern sich die Standortselemente „Wuchszone“ und „Klimafeuchte“ (HAFEA)?
- Wie verändert sich die Bewertung für die Hauptbaumarten hinsichtlich des Standorts- und Betriebszieltyps (HAFEA)?
- Welche Folgerungen müssen aus den Ergebnissen abgeleitet werden?

1.3 Hauptergebnisse der regionalen Klimaprognose für Hessen

In einem ersten Schritt wurden von der Firma Meteo-Research (Dr. W. Enke) Klimaszenarien bis zum Jahr 2050 berechnet (ENKE 2003). Diese Szenarien liegen allen Auswertungen innerhalb des Programmes InKlim2012 zugrunde. Hauptergebnisse sind:

- Maximum-Temperaturen: Erwärmung, am deutlichsten im Winter, gefolgt vom Sommer, danach Frühling, am geringsten im Herbst. Der Erwärmungsprozess schreitet von Dekade zu Dekade nicht gleichförmig voran, dies bedeutet Variabilität des Klimas, überlagert durch allgemeinen Temperaturanstieg
- Minimum-Temperaturen: Änderungen im Vergleich zu denen der Maximum-Temperaturen deutlich geringer. Ausnahme: deutliche Erwärmung im Winter
- Niederschlag: Die Entwicklung der Niederschläge erfolgt von Dekade zu Dekade nicht gleichförmig. Dies gilt besonders für die Sommermonate. Im Winter deutliche Zunahme der monatlichen Niederschlagssummen. In den anderen Jahreszeiten moderate Abnahme der mittleren Monatsniederschläge.
- Sonnenscheindauer: Deutliche Zunahme im Sommer, weniger deutlich im Frühling und Herbst. Im Winter Abnahme der Sonnenscheindauer.
- relative Feuchte: geringe Änderungen
- Windgeschwindigkeit: leichte Zunahme nur im Winter
- Extremereignisse: Deutliche Verringerung der Anzahl von Frost- und Eistagen. Deutliche Zunahme von Sommertagen und Heißen Tagen. Zunahme von Tagen mit Niederschlägen >40 mm vornehmlich im Sommer und im Winter.

Klimaszenarien bis 2100 wurden in einem zweiten Schritt errechnet. Der Zeitraum 2050-2100 liegt jedoch bisher nicht rasterbezogen vor (s. u.). Grundlage für alle nachfolgend dargestellten Berechnungen sind daher die Klimaszenarien bis 2050.

2. Methodik

Grundlage der Auswertungen zu den Auswirkungen von Klimaveränderungen auf hessische Wälder ist das 4 km x 4 km-Raster (ohne 100 Punkte 2 x 2 km-Verdichtung). Dieses Stichprobennetz umfasst insgesamt 540 Punkte und ist für die Standorts- und Baumartenverteilung in Hessen repräsentativ ; es **kann jedoch nur eingeschränkt für regionalisierte Aussagen herangezogen werden**. So können beispielsweise die Standortbedingungen eines einzelnen Punktes der Waldzustandserfassung („WZE“) im Wuchsgebiet „Vogelsberg und östlich angrenzende Sandsteingebiete“ nicht für die Charakterisierung des gesamten Wuchsgebietes herangezogen werden. Insgesamt 534 der 540 einbezogenen Punkte sind mit jeweils mindestens 5 Bäumen der Hauptbaumarten bestockt. Nur 6 Punkte konnten nicht berücksichtigt werden. Jede Hauptbaumart wird gesondert betrachtet.

Tab. 1: Repräsentativität des WZE-Rasternetzes in Bezug auf die Flächenangaben der Forsteinrichtung zur Verteilung der Wuchszonen in Hessen

Wuchszone	Anteil [%]	
	WZE-Raster	WEIMANN (1993)
Zentrale Eichen-Mischwaldzone	3,3	4
Randliche Eichen-Mischwaldzone	6,5	6
Untere Buchen-Mischwaldzone	27,4	29
Obere Buchen-Mischwaldzone	50,7	51
Untere Buchenzone	10,7	9
Obere Buchenzone	1,3	1

Tab. 2: Repräsentativität des WZE-Rasternetzes in Bezug auf die Flächenangaben der Forsteinrichtung zur Verteilung des Geländewasserhaushaltes in Hessen

Geländewasserhaushalt	Anteil [%]	
	WZE	HOCKE (1995)
frisch	43,7	43
betont frisch	9	8
feucht	1,7	2
mäßig frisch	34,6	34
mäßig trocken	4,3	5
trocken	0	0
wechselfeucht	6,3	6
sickerfeucht	0	1

Tab. 3: Repräsentativität des WZE-Rasternetzes in Bezug auf die Flächenangaben der Forsteinrichtung zur Verteilung der Trophie in Hessen

Trophie	Anteil [%]	
	WZE	HOCKE (1995)
eutroph	24,8	25
mesotroph	70	72
oligotroph	5,2	3

Tab. 4: Repräsentativität des WZE-Rasternetzes in Bezug auf die Verteilung der Geländewasserhaushaltsstufen bei der Baumart Fichte

Geländewasserhaushalt	Anteil [%]	
	WZE	ULLRICH (schriftl. Mitt. 2005)
frisch	49	47,7
betont frisch	7	8,7
feucht	2	1,5
mäßig frisch	29	28,6
mäßig trocken	3	2,2
trocken	0	0
wechselfeucht	9	8,6
sickerfeucht	0,4	0,1
nass	0	0

2.1 Aufbereitung von Klimadaten

Für die von HESSEN-FORST FIV übermittelten 540 WZE-Punkte wurden für verschiedene Zeiträume/Szenarien die folgenden Parameter vom HLU (Dezernat W3, Herr Dr. Georg Berthold, Herr Mario Hergesell) aufbereitet und zur Verfügung gestellt:

- Mittlere Niederschlagssumme Jahr
- Mittlere Lufttemperatur Jahr
- Mittlere Niederschlagssumme Vegetationszeit (Mai-Sept.)
- Mittlere Lufttemperatur Vegetationszeit (Mai-Sept.)

Die Konvertierung der Klimadaten und –szenarien (ENKE 2003) auf das 4 km x 4 km-Rasternetz erfolgte im Rahmen eines aufwändigen Rechenverfahrens und wurde vom HLU vorgenommen (Kap. 2.1.1).

Für die 10 Dezennien von 1901 bis 2000 waren nur Jahresmittel für Temperatur und Niederschlag verfügbar. Daher konnten keine Daten für die Vegetationszeit (VZ) bereitgestellt werden. Die Niederschlagsdaten dieses Zeitraums sind unkorrigiert, d. h. sie fallen im Mittel ca. 10 % zu gering aus. Für die Periode 1971-2000 konnten sowohl für die Niederschlagsdaten als auch für die Temperaturdaten die gefragten Parameter (mittlere Jahreswerte, Werte für die Vegetationsperiode) korrigiert und aufbereitet werden. Für das Dezennium 2001-2010 lagen im HLU keine Szenariendaten im Rasterformat vor. Für die vier Dezennien zwischen 2011 und 2050 lagen 10 verschiedene Realisierungen (Szenarien) der Klimamodellierung vor (als Punktdaten in Tagesschritten). Neben den Mittelwerten über alle 10 Realisierungen wurden zusätzlich je eine ausgewählte Realisierung für eine trockene und eine feuchte Variante in Rasterdatensätze regionalisiert. Für die von HESSEN-FORST FIV vorgenommenen weiteren Auswertungen wurde jedoch jeweils nur das mittlere Szenario zugrundegelegt. Die Ergebnisse für die einzelnen Perioden bzw. Dekaden verdeutlichen die Veränderungen gegenüber dem Ist-Zustand. Als Ist-Zustand wird hier der Zeitraum 1891-1955 aufgrund seiner Bedeutung in der Forsteinrichtung definiert.

2.1.1 Aufbereitungsschritte

⇒ Erzeugung von Rasterdaten (ArcInfo-Grids)

Die vom DWD gelieferten ASCII-Daten der Klimaszenarien (Lufttemperatur und korr. Niederschlag) wurden modifiziert und durch eine AML-Routine in 216 separate ArcInfo-Grids mit einer Rasterweite von 1000 m konvertiert.

⇒ Downscaling der Rasterdaten von 1000 m auf 100 m

Durch lokal durchgeführte Regressionsanalysen („moving window“-Prozedur) zwischen den Klimaparametern und verschiedenen aufgelösten Höhenmodellen wurde die Rasterweite der 216 Grids von 1000 m (219 Spalten, 274 Zeilen → 60.006 Rasterzellen) auf 100 m (2029 Spalten, 2582 Zeilen → 5.238.878 Rasterzellen) verkleinert (s. Abb. 2).

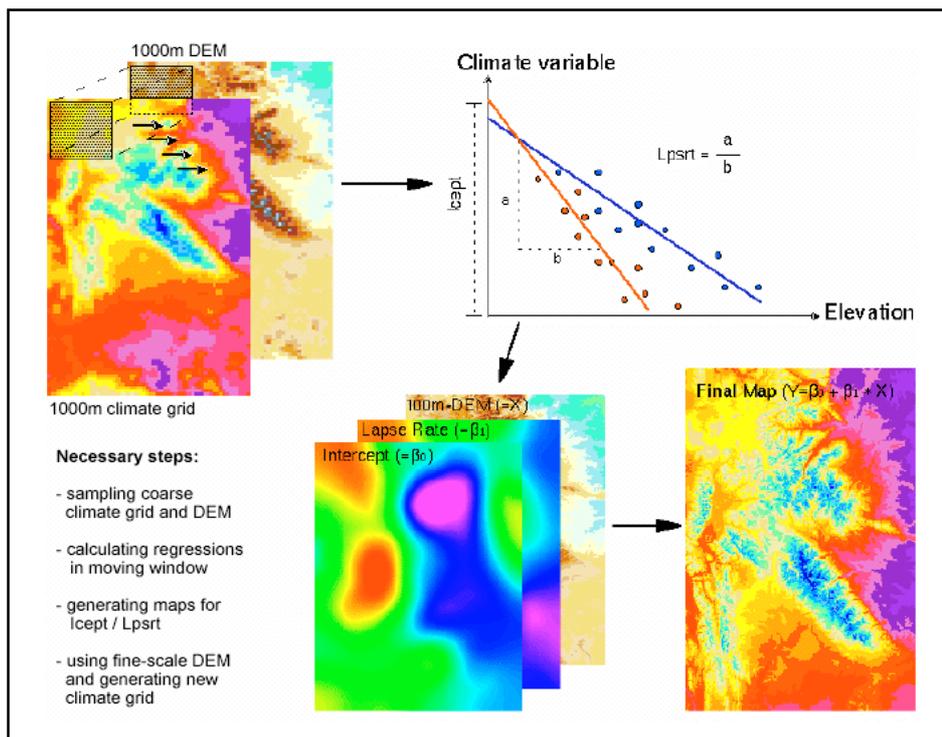


Abb. 2: Downscaling-Verfahren nach ZIMMERMANN & ROBERTS (2001)

Das Downscaling der Rasterdaten erwies sich als sehr rechen- und zeitintensiv. Insgesamt wurden 1,13 Milliarden Rasterzellenwerte neu berechnet.

⇒ Aggregation der Monatsdaten

Aus den Monatsdaten der Klimaparameter wurden die mittleren Jahreswerte und die Werte für die Vegetationszeit (Mai-September) ermittelt.

⇒ Cover-Erstellung für die WZE-Punkte

Aus der von der HESSEN-FORST FIV zur Verfügung gestellten ASCII-Datei wurde ein Punkt-Coverage erstellt.

⇒ Verschneidung des Punkt-Coverage mit den aggregierten Klimadatenätzen

Für jeden WZE-Punkt wurden die Werte der aggregierten Klimadatenätzen (Grids) ermittelt.

2.2 Klassifizierung der Standortelemente nach der Hessischen Anweisung für die forstliche Standortaufnahme (HAFEA, Anhang 3)

Grundlage für die Analyse der Standortveränderungen sind die Festlegungen zur Herleitung des Standortstyps (Abb. 3).

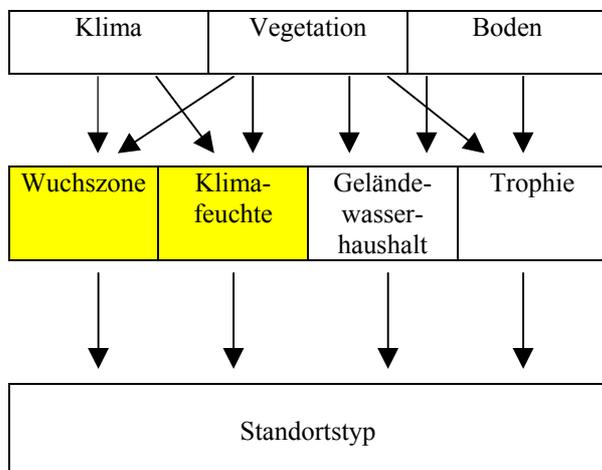


Abb. 3: Herleitung des Standortstyps nach der kombinierten Methode im einstufigen (überregionalen) Verfahren; aus Anhang 3 der HAFEA (HMULF 2002)

Die nachfolgenden Analysen umfassen dabei die Elemente Wuchszone und Klimafeuchte. Da keine anderen Daten vorlagen, wurden für die Beobachtungsperiode 1891-1955 die Angaben der Forsteinrichtung verwendet, denen die Daten des Deutschen Wetterdienstes zugrunde liegen. Für den Zeitraum 1971-2000 sowie für alle Szenarien bis 2050 liegen die Klimadaten des HLUG (Kap. 2.1) zugrunde. Bei der gutachtlichen Ermittlung von Werten für Waldgebiete, die durch Beobachtungsstationen nicht erfasst sind, wurden vom HLUG die Werte der nächstgelegenen Stationen unter Berücksichtigung der lokalen Situation auf die Höhe des betreffenden Waldgebiets interpoliert.

2.2.1 Wuchszone

Die Abgrenzung von Wuchszonen in Hessen geht auf KNAPP (1954) zurück und erfolgt über Temperaturgrenzwerte (s. Tab. 5). Dabei ergeben sich nach der HAFEA (HMULF 2002) Möglichkeiten der Abgrenzung über die Jahresmitteltemperaturen oder über die Mitteltemperaturen der Vegetationszeit (Mai-September). Bei den nachfolgenden Auswertungen wurden die Temperaturen der Vegetationszeit für die Abgrenzung der Wuchszonen zugrundegelegt, da die prognostizierten Temperaturveränderungen innerhalb der Vegetationszeit geringer ausfallen als im gesamten Jahr. Dies ist in der deutlichen Erhöhung der Wintertemperaturen begründet (Kap. 1.3).

Tab. 5: Einstufungshilfe Wuchszone nach der HAFEA

Wuchszone	Temperaturgrenzwerte Jahr	Veg.-Zeit	Höhenstufe	ungefähre Höhengrenze m ü. NN	Schlüssel ADV
Obere Buchen-Zone	6 °C	12,5 °C	obermontan	650 – 750	6
Untere Buchen-Zone	7 °C	13,5 °C	montan	400 – 560	5
Obere Buchen-Mischwald-Zone	8 °C	14,5 °C	submontan	250 – 350	4
Untere Buchen-Mischwald-Zone	9 °C	15 °C	kollin	150 – 250	3
Randliche Eichen-Mischwald-Zone	9,5 °C	16 °C	kollin-planar	120	2
Zentrale Eichen-Mischwald-Zone			planar		1

2.2.2 Klimafeuchte

Die Klimakomponente des Wasserhaushalts wird in Hessen mithilfe der Klimafeuchte gekennzeichnet. Indikator ist der Feuchtigkeitsindex für die Vegetationszeit:

$$i = \frac{\text{mmVz}}{t\text{Vz} + 10}$$

mmVz = mittlere Niederschlagssumme Mai-September

tVz = mittlere Temperatur Mai-September

10 = rechnerische Konstante.

Für die in Hessen zwischen 250 und 500 mm liegenden Niederschlagswerte für die Vegetationszeit und die Vegetationszeitemperaturen zwischen ca. 11 und 17 °C reicht die Skala etwa von 9 bis 24. Diese Skala wird in Klimafeuchtestufen eingeteilt, die verbal mit dem Begriffspaar (hygrisch) subkontinental und (hygrisch) subatlantisch bezeichnet werden (Tab. 6).

Tab. 6: Einstufungshilfe Klimafeuchte nach der HAFEA

Feuchtigkeitsindex $i = \frac{\text{mmVz}}{t\text{Vz}+10}$	Klimafeuchte- stufe	Schlüssel ADV	
>20	sehr stark	} subatlantisch	7
18,0 - 19,9	stark		6
16,0 - 17,9	mäßig		5
14,0 - 15,9	schwach		4
12,0 - 13,9	schwach	} subkontinental	3
10,0 - 11,9	mäßig		2
<9,9	stark		1

3. Ergebnisse

3.1 Analyse des Standortselements Wuchszone

Die Veränderung der Häufigkeitsverteilungen der Wuchszonen und die Übergangshäufigkeiten der Wuchszonenverschiebungen sind in Abb. 4 dargestellt. Nach der in der Forsteinrichtung vorgenommenen Zuordnung (Zeitraum 1891-1955; aufgrund der Bedeutung in der Forsteinrichtung als „Ist-Zustand“ definiert, s. S. 5) der 540 WZE-Flächen zeigt sich eine leicht rechtsschiefe Häufigkeitsverteilung der Wuchszonen. Dabei liegen 12 % in den Buchenzonen, 50,8 % der Punkte in der Oberen Buchen-Mischwaldzone und 27,4 % in der Unteren Buchen-Mischwaldzone. Die Randliche Eichen-Mischwaldzone ist mit 6,5 %, die Zentrale Eichen-Mischwaldzone mit nur 3,3 % vertreten.

Betrachtet man die Veränderungen der Häufigkeitsverteilungen für die 5 errechneten Szenarien bis 2050, so zeigt sich eine zunehmend deutliche Linksverschiebung. Dabei ist die stärkste Veränderung vom Zeitraum 1971-2000 zur Dekade 2011-2020 festzustellen. Auf der Grundlage des Szenarios für die Dekade 2041-2050 ergibt sich schließlich folgende Häufigkeitsverteilung: Zentrale Eichen-Mischwaldzone 65,1 %, Randliche Eichen-Mischwaldzone 29,8 %, Untere Buchen-Mischwaldzone 3,0 %, Obere Buchen-Mischwaldzone 1,7 % und Untere Buchenzone 0,4 %. Die Obere Buchenzone ist nicht mehr vertreten. Nach den Szenarienberechnungen sind somit Mitte des 21. Jahrhunderts ca. 95 % der hessischen Waldfläche dem Klimahaupttyp der Eichen-Mischwaldzonen zuzuordnen.

Betrachtet man die Übergangshäufigkeiten der Wuchszonenverschiebungen, so zeigt sich, dass sich bis 2050 für ca. 50 % der WZE-Flächen eine Veränderung um 2 Stufen (Wuchszonen) und für mehr als 35 % der Flächen eine Verschiebung um 3 Stufen in Richtung Eichen-Mischwaldzone ergeben würde (Abb. 4, rechts). Die räumliche Veränderung der Wuchszonen ist in Abbildung 5 dargestellt.

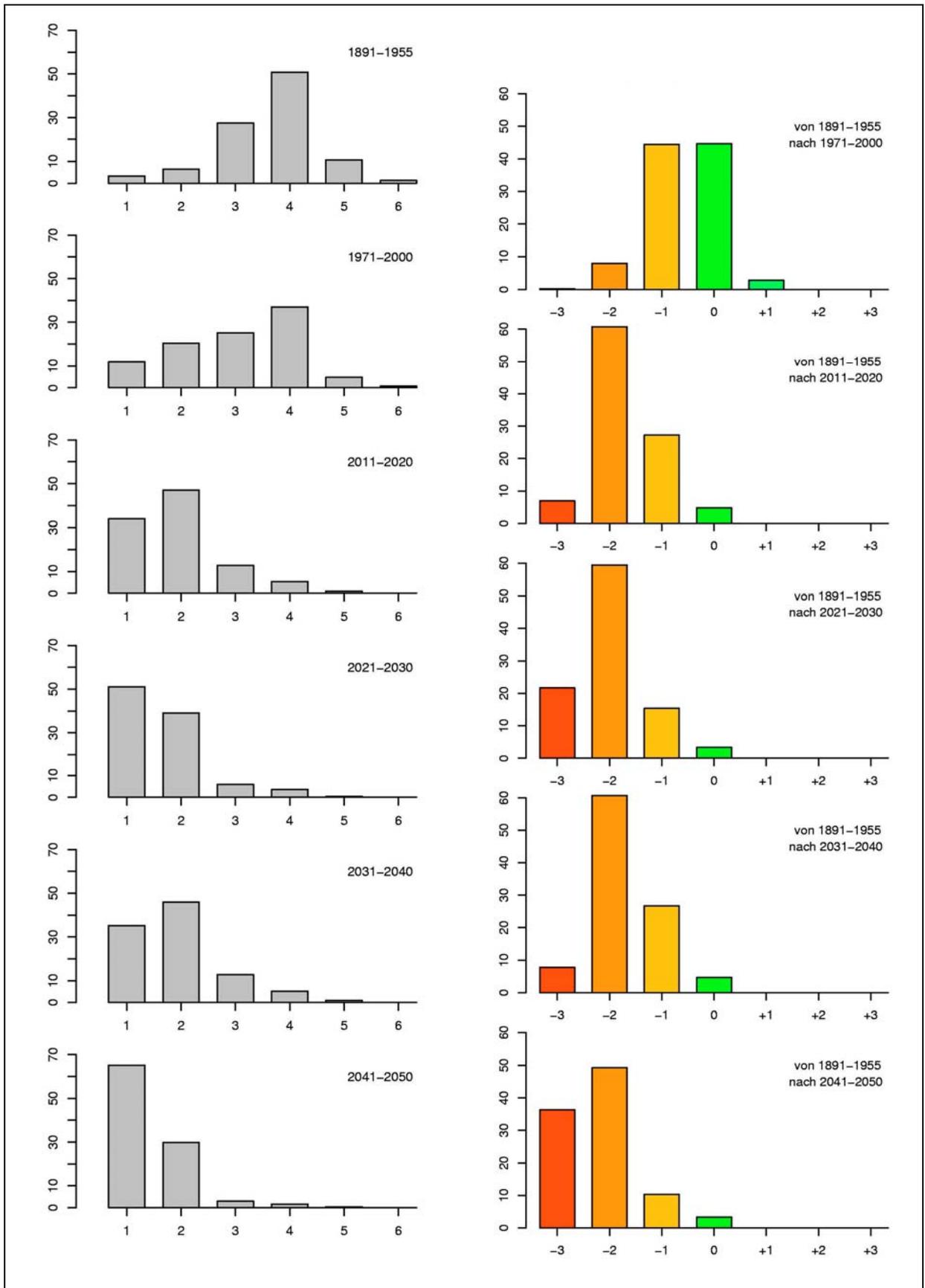


Abb. 4: Veränderungen der Wuchszonen bis 2050 (links) und Übergangshäufigkeiten der Wuchszonenverschiebungen (rechts) nach Klimahaupttypen. Angaben in Prozent, Nummern der Wuchszonen siehe Tab. 5, weitere Erläuterung im Text

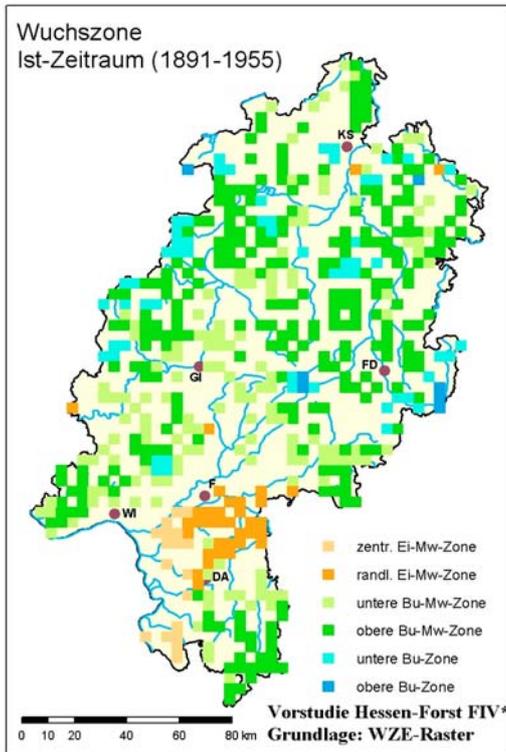


Abb. 5a

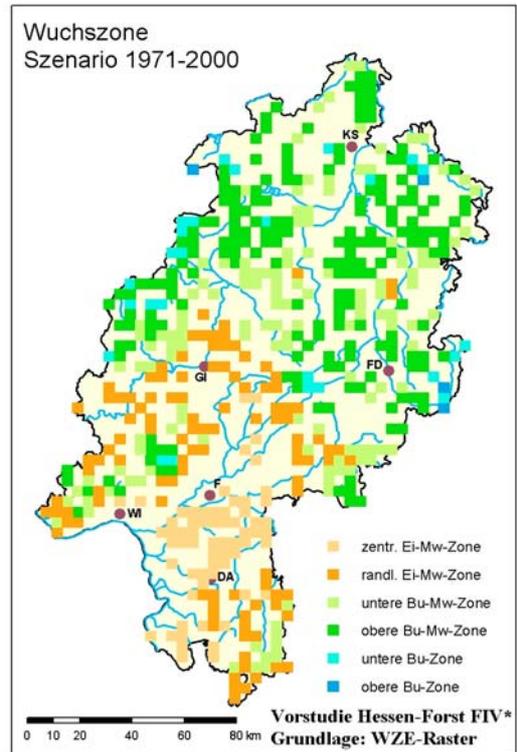


Abb. 5b

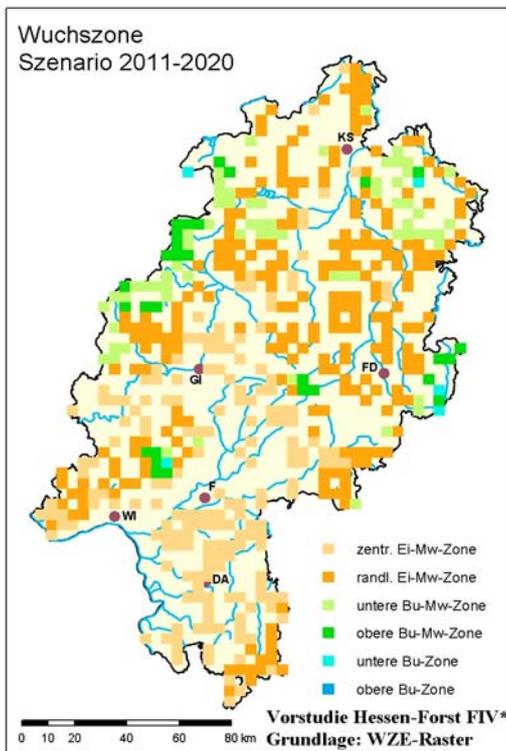


Abb. 5c

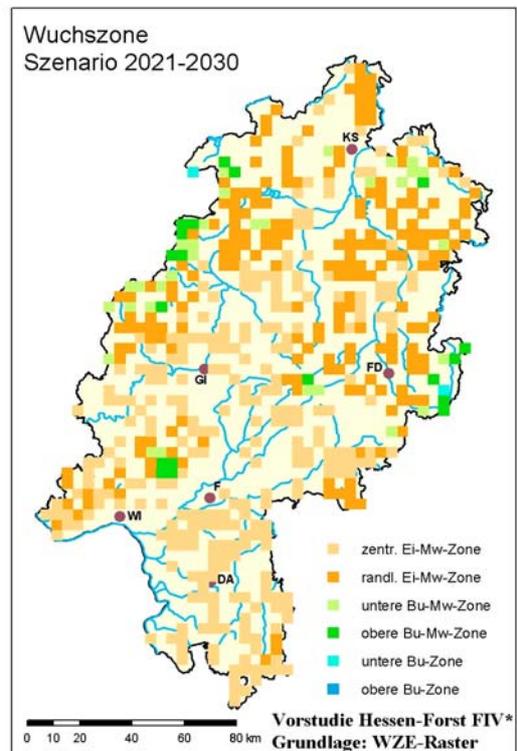


Abb. 5d

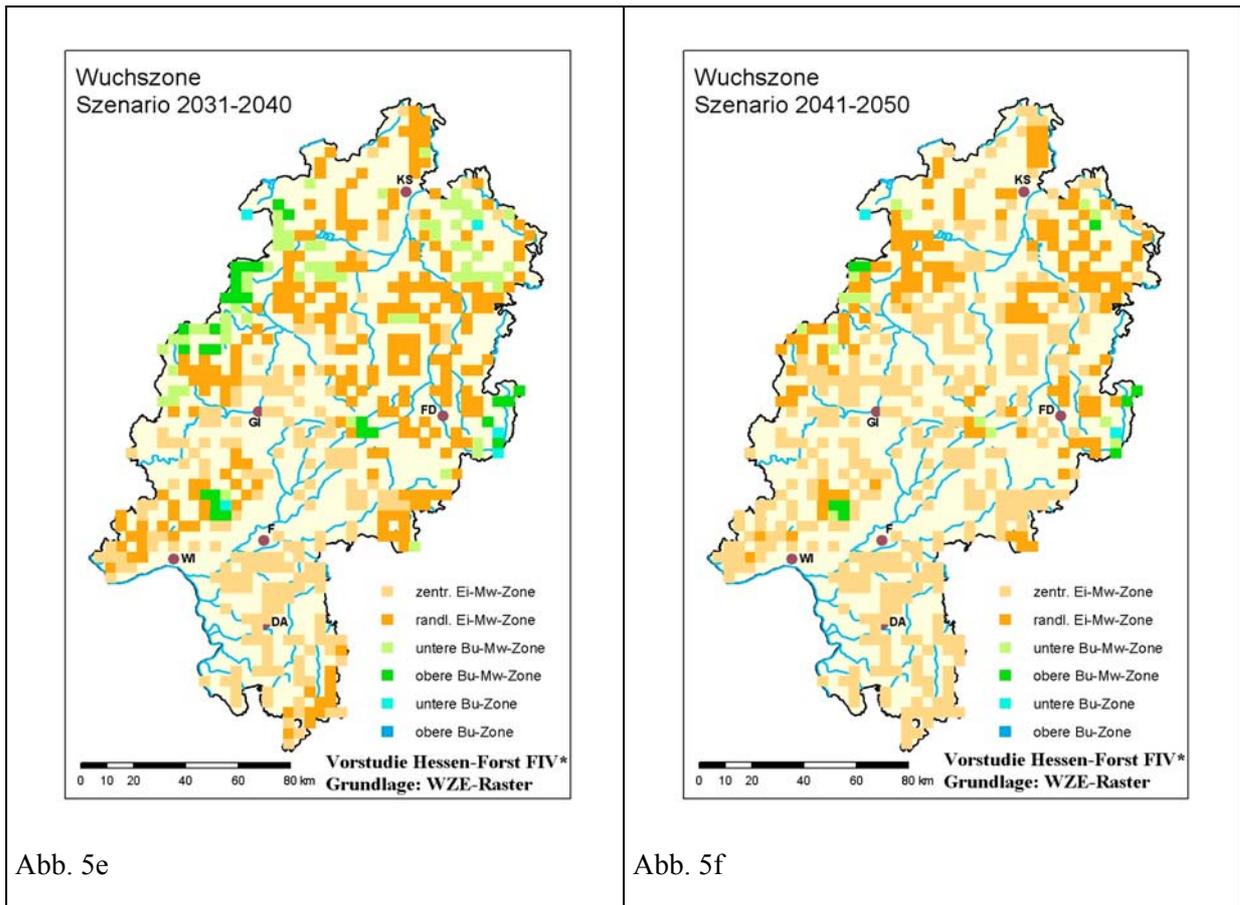


Abb. 5: Räumliche Veränderung der Wuchszonen bis 2050.*Hinweis: Darstellung repräsentativ für Hessen insgesamt, nicht aber für Teilräume.

3.2 Analyse des Standortelements Klimafeuchte

Die Veränderung der Häufigkeitsverteilungen der Klimafeuchte und die Übergangshäufigkeiten der Klimafeuchteverschiebungen sind in Abb. 6 dargestellt. Nach der in der Forsteinrichtung vorgenommenen Zuordnung (Zeitraum 1891-1955) der 540 WZE-Flächen zeigt sich eine Häufigkeitsverteilung bei der ca. 50 % der hessischen Waldfläche dem schwach subkontinentalen und ca. 25 % dem schwach subatlantischen Klimafeuchte-Bereich zuzuordnen sind.

Die Veränderungen der Klimafeuchte bis zur Dekade 2041-2050 zeigen weniger deutliche Tendenzen als die der Wuchszonen. Für den Zeitraum 1971-2000 zeigt sich gegenüber der Periode 1891-1955 eine leichte Verschiebung hin zum subatlantischen Klimafeuchtebereich. In den folgenden vier Dekaden findet im Vergleich zur Periode 1891-1955 eine leichte Verschiebung der Klimafeuchte in Richtung subkontinental statt. Dabei belegen die Ergebnisse für ca. 35 % der WZE-Punkte in der Dekade 2041-2050 gegenüber 1891-1955 eine Verschiebung um eine Klimafeuchtestufe zum subkontinentalen Bereich hin.

Die räumliche Veränderung der Klimafeuchtestufen ist in Abbildung 7 dargestellt.

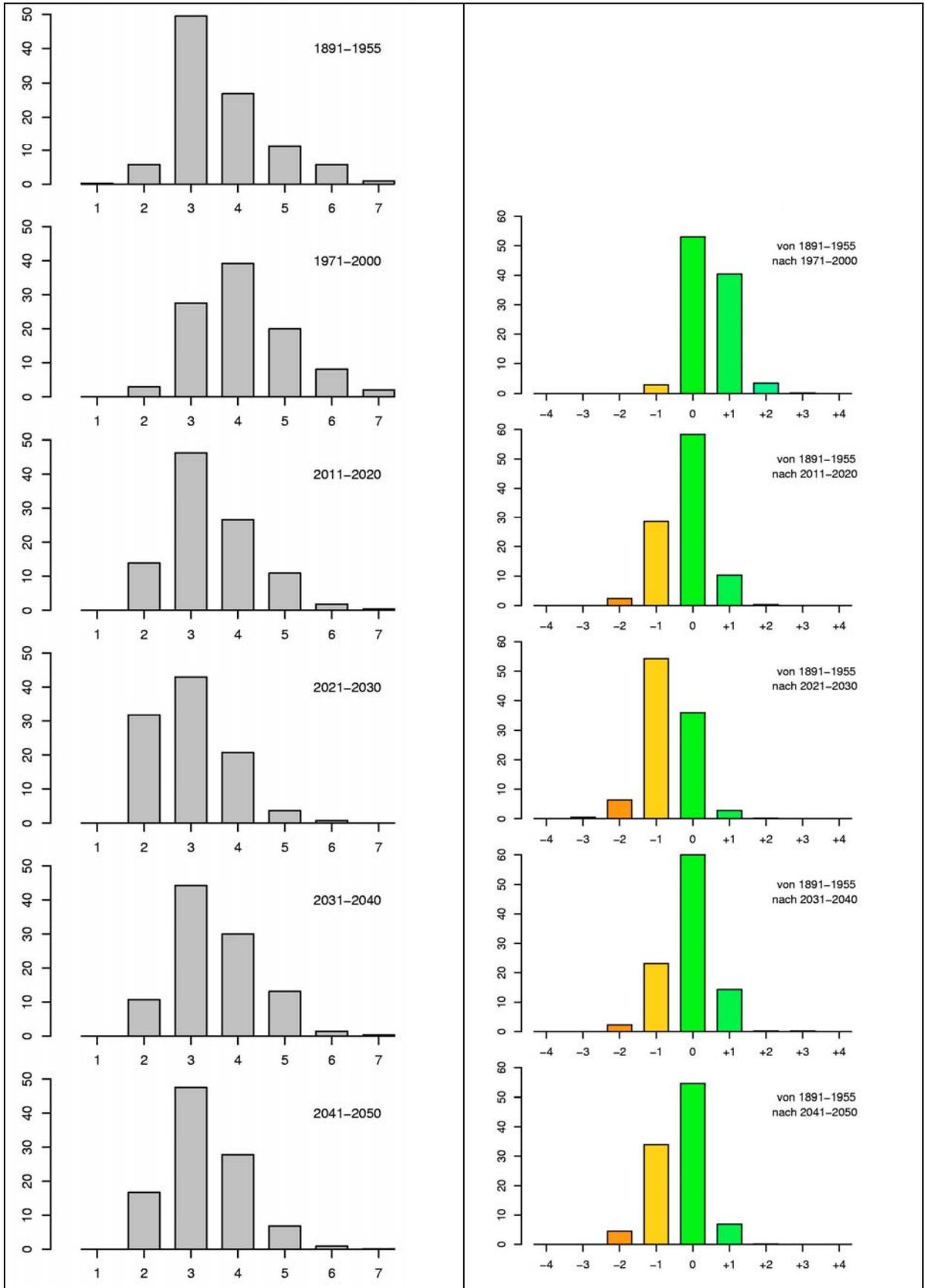


Abb. 6: Veränderungen der Klimafeuchte bis 2050 (links) und Übergangshäufigkeiten der Klimafeuchteverschiebungen (rechts). Angaben in Prozent, Nummern der Klimafeuchte siehe Tab. 6, weitere Erläuterungen im Text.

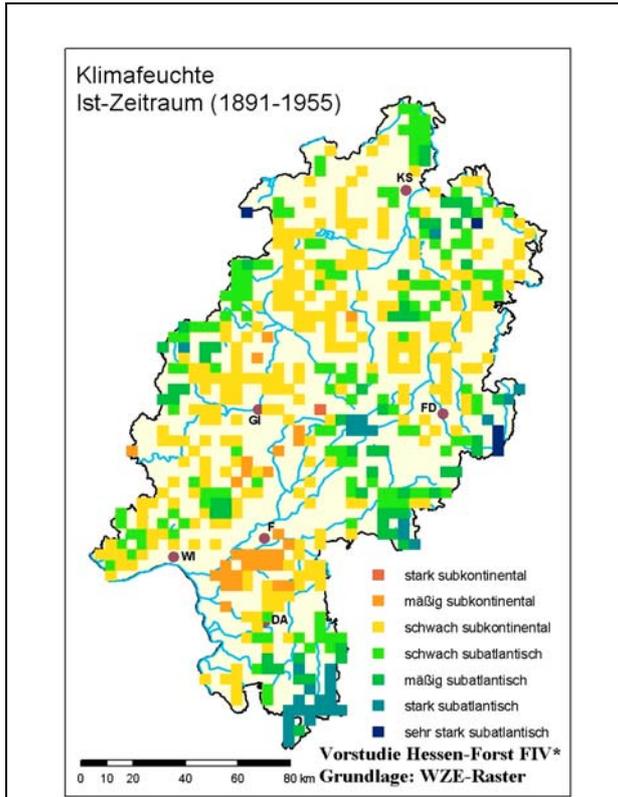


Abb. 7a

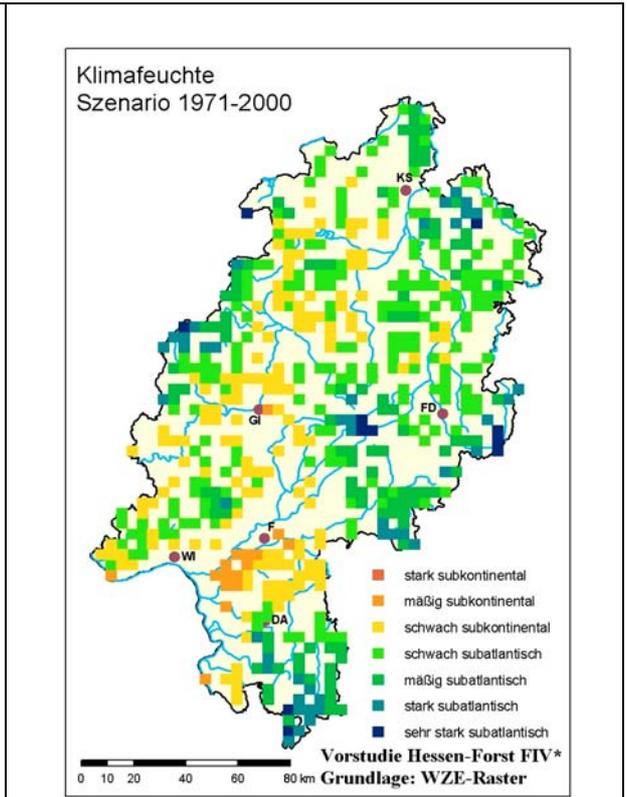


Abb. 7b

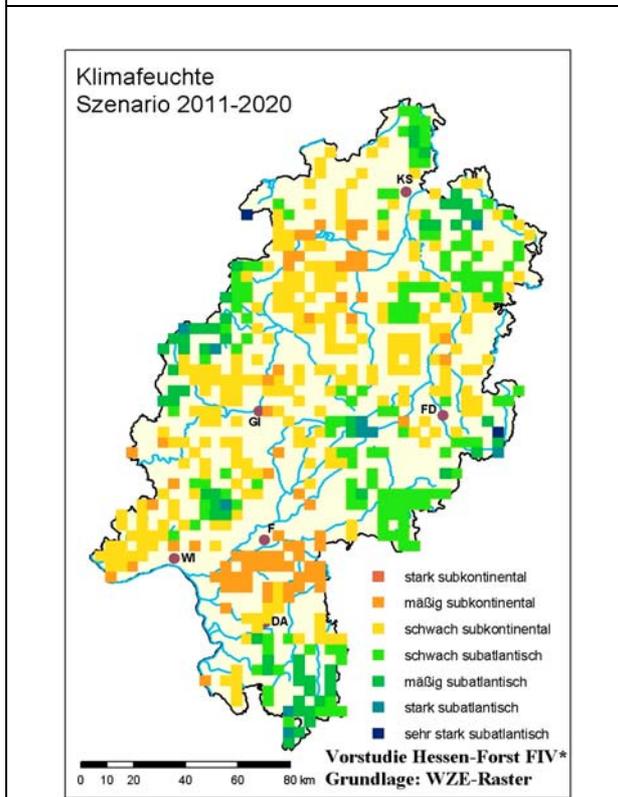


Abb. 7c

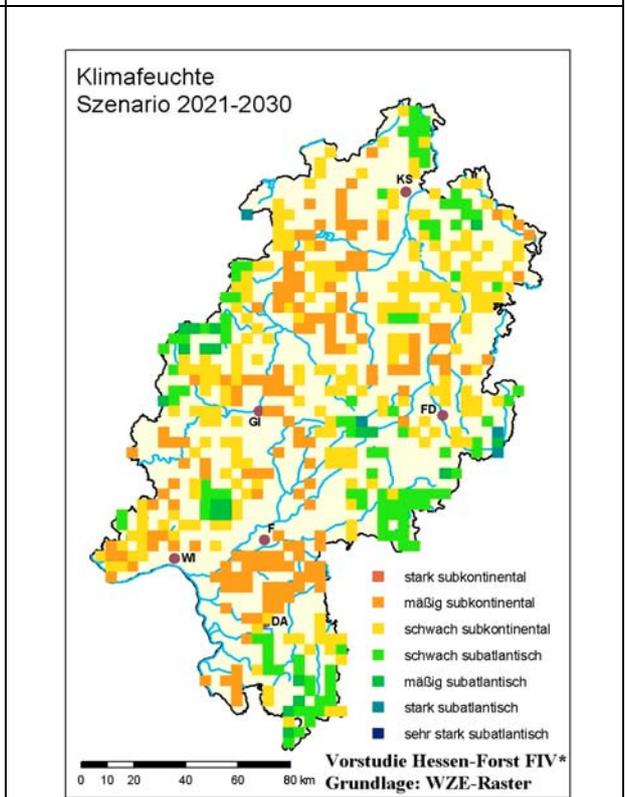


Abb. 7d

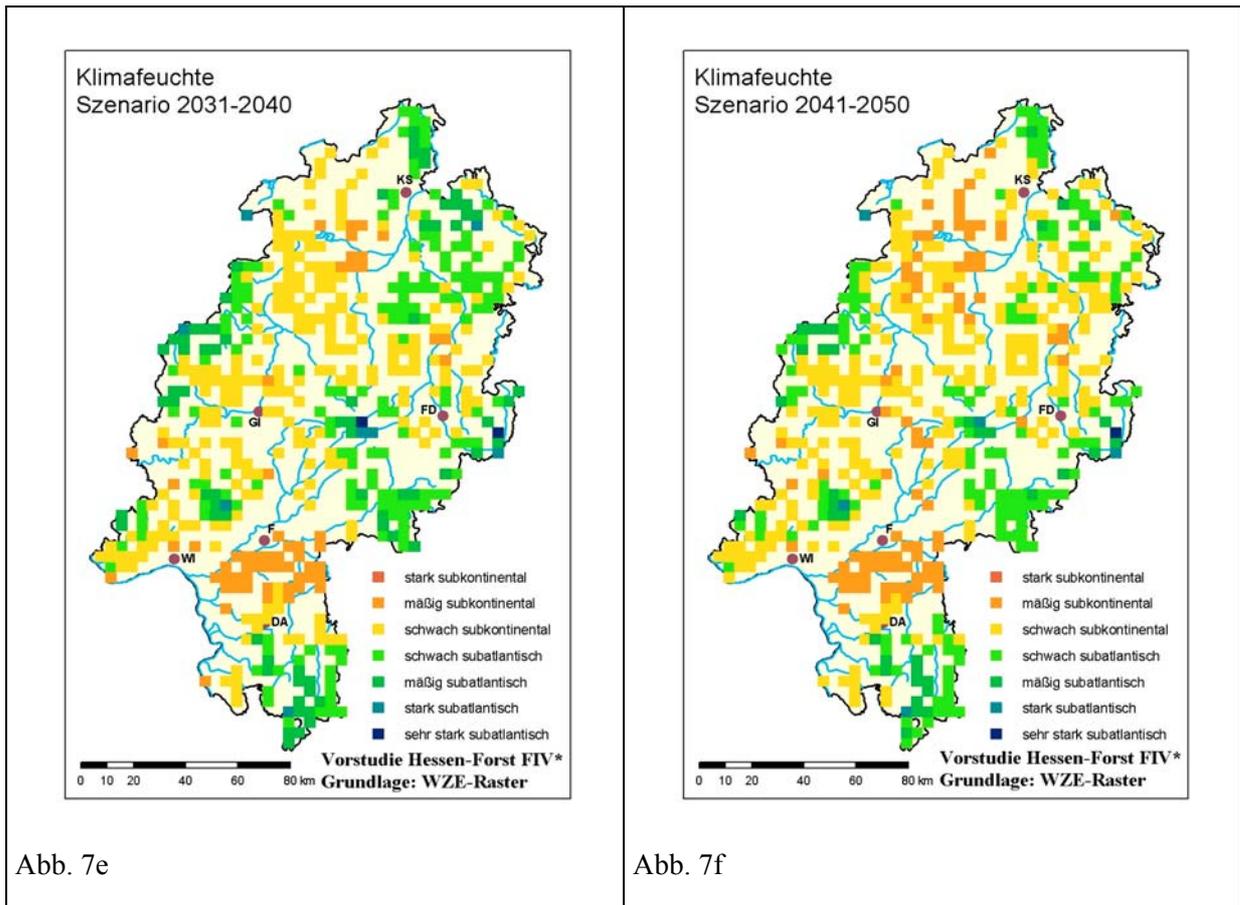


Abb. 7: Räumliche Veränderungen der Klimafeuchte bis 2050. *Hinweis: Darstellung repräsentativ für Hessen insgesamt, nicht aber für Teilräume.

3.3 Analyse der Standorts- und Betriebszieltypen

Grundlage der Auswertungen ist die Tabelle „Standorts- und Betriebszieltypen“ aus Anhang 3 (Hessische Anweisung für die Forstliche Standortaufnahme) der HAFEA (HMULF 2002). Entsprechend den Vorgaben der Standorts- und Betriebszieltypen wurde für die Hauptbaumarten folgendes Bewertungsschema zugrundegelegt:

- Baumart **betriebszielkonform** gemäß HAFEA, Anhang 3, Anlage 2
- Baumart **nicht betriebszielkonform** gemäß HAFEA, Anhang 3, Anlage 2
- Baumart **nicht beschrieben** in HAFEA, Anhang 3, Anlage 2

Bei der Interpretation der nachfolgend aufgeführten Ergebnisse ist zu berücksichtigen, dass die gegenwärtige Definition der Standorts- und Betriebszieltypen nicht nur ökologische und baumphysiologische, sondern insbesondere auch waldbauliche und damit ökonomische Aspekte beinhaltet. Es handelt sich deshalb bei den Standorts- und Betriebszieltypen um eine betriebliche Festlegung. Im Vordergrund steht also die Frage, ob die Baumart auf den jeweiligen Standorten als betriebszielkonform angesehen werden kann. Die Standortgerechtigkeit ist dabei nur ein Aspekt.

Tab. 7: Standorts- und Betriebszieltypen nach der HAFEA, Anhang 3 (Ausschnitt)

Standorts- und Betriebszieltypen**) ①

Forstamt: _____
 Betrieb: _____
 Stichjahr: _____

Wuchszone	
Eichen-Mischwald-Zonen	
*)	1 2

Klimafeuchte	
subkontinental	
*)	. 2 3

--

Geländewasserhaushalt									
	nass	wechselfeucht	sickerfeucht	feucht	betont frisch	frisch	mäßig frisch	mäßig trocken	trocken
Farbe	tw. Wald a.r.B.		tw. Wald a.r.B.					tw. Wald a.r.B.	Wald a.r.B.
*)	. . 7 .	. . 6 .	. . 8 .	. . 5 .	. . 2 .	. . 1 .	. . 3 .	. . 4 .	. . 9 .

Trophie	eutroph
*) 1

Signatur: + + +

Betriebszieltypen **)	ES Er ER Es SPA	SEI Hbu Bu SEI Es Bah ES Bah Bu BAH Es Bu WLI Bah Bu BPA		SEI Hbu Bu SEI Es Ah BU Es Ah ES Ah Bu BAH Es Bu WLI Bah Bu SPA SNU		SEI Hbu Bu TEI Bu Hbu BU BU Dgl BAH Es Bu	TEI Hbu Bu BAH Bu Hbu WLI Ah Bu KIR Ah Bu	<i>TEI Hbu Bu</i> <i>WLI Ah Bu</i> <i>KIR Ah Bu</i> <i>KI Ah Wli</i>	<i>KI Wli</i>	

3.3.1. Standorts- und Betriebszielbewertung für die Hauptbaumarten

Die Angaben zu den Hauptbaumarten basieren auf den Erhebungen bzw. Grunddaten für die Waldzustandserhebung des Jahres 2000, die insgesamt 540 WZE-Punkte auf einem 4 km x 4 km-Rasternetz umfasst. In den im Rahmen der Vorstudie beispielhaft erstellten Karten (Abb. 8) sind nur diejenigen Punkte berücksichtigt, an denen die Buche als Hauptbaumart heute vertreten ist. Mithilfe dieser Karten können die Auswirkungen der Klimaszenarien auf die heutige Bestockung analysiert werden.

3.3.1.1. Buche

a) Ist-Analyse

Für die Buche werden 242 Punkte mit mehr als 5 Bäumen analysiert. 61 % dieser Flächen liegen im frischen bzw. betont frischen Bereich. 89 % der Buchen-Flächen können als betriebszielkonform eingestuft werden; 11 % sind der Kategorie „nicht beschrieben“ zuzuordnen (Abb. 8). Das heißt, diese Standortkombinationen sind laut Standorts- und Betriebszieltypentabelle der HAFEA, Anhang 3 (HMULF 2002) nicht ausgewiesen. Dies betrifft hier vor allem in den Buchen-Zonen gelegene Punkte im schwach subkontinentalen bzw. schwach subatlantischen Bereich. Es ist jedoch davon auszugehen, dass auf diesen Standortstypen die Buche als betriebszielkonform eingestuft werden müsste.

b) Szenarien

Auf den heutigen Buchen-Flächen zeigt sich im Verlauf der dargestellten Szenarien bis 2050 (Abb. 8b-c) eine allmähliche Zunahme der „nicht beschriebenen“ Standorts- und Betriebszieltypen. In der Dekade 2041-2050 können 63 % der Buchen-Flächen als betriebszielkonform eingestuft werden; insgesamt 36 % sind als „nicht beschrieben“ einzuordnen. Die Mehrzahl dieser Punkte liegt bezogen auf den Klimahaupttyp in den Eichen-Mischwaldzonen und hier im schwach subatlantischen Bereich. Es ist jedoch davon auszugehen, dass in diesen Standortbereichen keine das Buchenwachstum einschränkenden Faktoren gegeben sind.

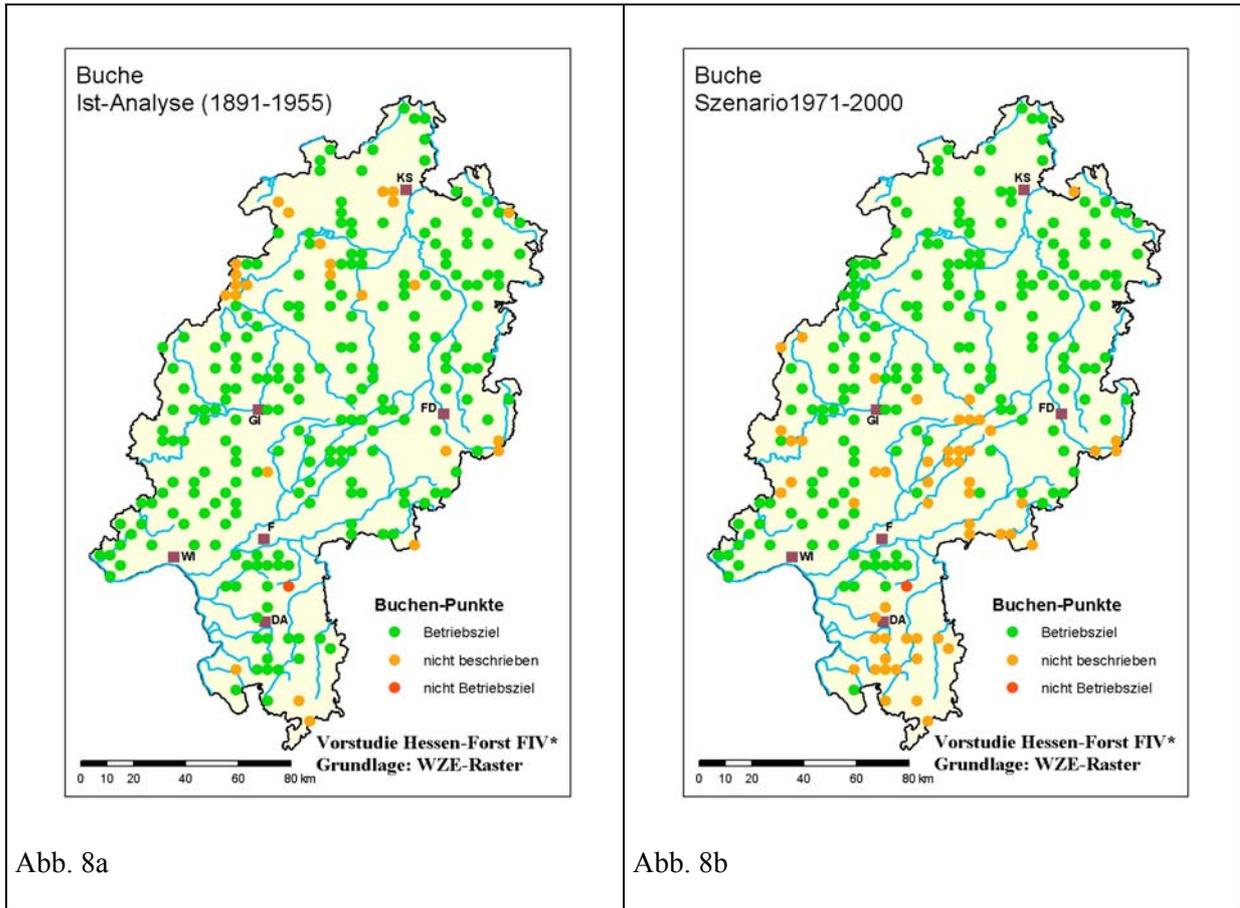


Abb. 8a

Abb. 8b

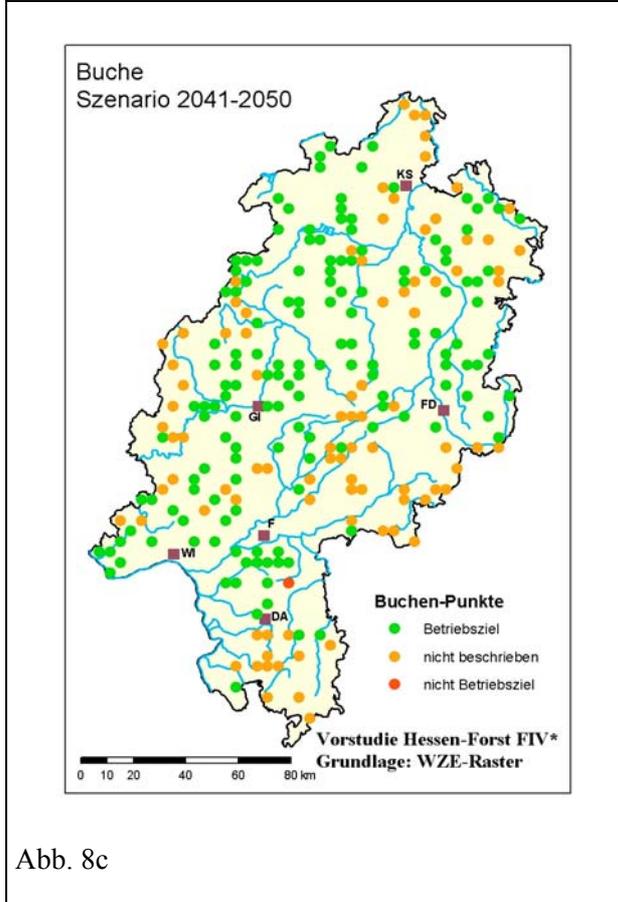


Abb. 8c

Abb. 8: Standorts- und Betriebszielbewertung für die Buche in Hessen; Ist-Analyse und Szenarien bis 2050.
 *Hinweis: (1) Darstellung repräsentativ für Hessen insgesamt, nicht aber für Teilräume. (2) Die nicht beschriebenen Standorts- und Betriebszieltypen kennzeichnen weiteren Untersuchungsbedarf.

3.3.1.2 Eiche

a) Ist-Analyse

Für die Eiche werden 102 Punkte analysiert. Davon befinden sich ca. 50 % im mäßig frischen oder mäßig trockenen und 46 % im frischen und betont frischen Bereich. Nach heutiger Bewertung sind 78 % der Eichen-Flächen als betriebszielkonform einzustufen und rund 10 % dem nicht beschriebenen Standortsbereich zuzuordnen. 12 % entsprechen nicht dem Betriebszieltyp. Hier handelt es sich vor allem um betont frische Standorte und eutrophe Standorte mit subatlantischer Prägung. Es ist anzunehmen, dass diese Einteilung aufgrund der interspezifischen Konkurrenz zur Buche vorgenommen wurde, die hier der Eiche stark überlegen ist.

b) Szenarien

Auf den heutigen Eichen-Flächen zeigt sich im Verlauf der ausgewerteten Szenarien bis 2050 eine deutliche Abnahme der Flächen, auf denen die Eiche nicht betriebszielkonform ist. Bereits in der Dekade 2011-2020 existiert kein Punkt mehr, auf dem die Eiche nicht dem Betriebsziel entspricht. Der Anteil nicht beschriebener Flächen beträgt für das Szenario 2041-2050 insgesamt 31 %. Es ist jedoch davon auszugehen, dass ein Großteil dieser Standorte für die Eiche als dem Betriebsziel entsprechend eingestuft werden könnte.

3.3.1.3 Fichte

a) Ist-Analyse

Insgesamt 246 Punkte mit mehr als 5 Bäumen wurden für die Fichte in die Auswertungen einbezogen. Mehr als drei Viertel (78 %) davon liegen im frischen bzw. mäßig frischen Bereich.

Dem Betriebsziel entsprechen für diese Baumart heute 73 % der Stichprobenpunkte sowie ein im Rahmen der Vorstudie nicht näher bestimmbarer Anteil der Punkte in der Kategorie „nicht beschrieben“, die weitere 10 % umfasst. Die Flächen, auf denen die Fichte zurzeit nicht dem Betriebszieltyp entspricht, liegen vorwiegend im mäßig frischen, subkontinental getönten Bereich der Buchen-Mischwaldzone.

b) Szenarien

Folgt man der heutigen Klassifikation der Standorts- und Betriebszieltypen, wie sie in der HAFEA 2002 niedergelegt ist, so zeigt sich im Verlauf der ausgewerteten Szenarien bis 2050 für die Stichprobe der Fichte vor allem eine Zunahme der nicht betriebszielkonformen Stichprobenpunkte. Bei Unterstellung der Klimaszenarien ist nur noch ein geringer Anteil der heutigen mit Fichten bestockten WZE-Punkte künftig als betriebszielkonforme Bestockung anzusehen. In besonderer Weise erfolgt aber auch eine Zunahme der „nicht beschriebenen“ Standorts- und Betriebszieltypen (Dekade 2041-2050: 44 %). Diese Entwicklung zeigt sich insbesondere ab der Dekade 2011-2020. Die Gruppe der „nicht beschriebenen“ Standorts- und Betriebszieltypen kann sowohl betriebszielkonforme als auch nicht betriebszielkonforme Anteile der künftigen Fichtenbestockung enthalten.

Die Flächen mit nicht beschriebener Standortkombination finden sich vorrangig in den nach dem Klimahaupttyp definierten Eichen-Mischwaldzonen und hier insbesondere im schwach subatlantischen und mäßig subatlantischen Klimafeuchtebereich. Sie sind dort vorwiegend auf frischen und mäßig frischen Standorten, die hinsichtlich ihrer standörtlichen Eignung für die Fichte schwer einzuschätzen sind. Es bedarf einer intensiven Analyse der ökophysiologischen Regulationsmuster der Fichte, um die Standortgerechtigkeit in diesen nicht beschriebenen Teilbereichen einschätzen zu können. Um hier eine weitere Klärung zu erreichen, ist im Rahmen einer Folgeuntersuchung eine Standortanalyse – etwa auf der Basis von Ökogrammen – vorzunehmen.

3.3.1.4 Kiefer

a) Ist-Analyse

Die Kiefer ist mit 131 Punkten in die Auswertungen einbezogen worden. Davon sind 60 % als betriebszielkonform und 34 % als nicht betriebszielkonform eingestuft. Nur 6 % der Kiefern-Flächen fallen unter die Kategorie „nicht beschrieben“. Heute wird die Kiefer schwerpunktmäßig in der Buchen-Mischwaldzone auf frischen und mäßig frischen Standorten mit subatlantischer Ausprägung als nicht dem Betriebsziel entsprechend eingestuft.

b) Szenarien

Auffälligstes Ergebnis für die Kiefer ist die starke Abnahme nicht betriebszielkonformer Flächen bis zur Dekade 2041-2050 von 34 % auf ca. 9 %. Diese Abnahme fällt besonders deutlich aus, weil im Zeitraum 1971-2000 gegenüber dem Vergleichszeitraum 1891-1955 zunächst eine Zunahme von nicht betriebszielkonformen Flächen um mehr als 10 % zu verzeichnen war. Die Zunahme der betriebszielkonformen Standortkombinationen von 60 % (1891-1955) auf 64 % (2041-2050) ist hingegen weniger deutlich. Gut ein Viertel der Kiefern-Flächen (27 %) ist für die Dekade 2041-2050 den nicht beschriebenen Standortkombinationen zuzuordnen. Der Schwerpunkt nicht beschriebener Standortkombinationen liegt im Bereich der Eichen-Mischwaldzonen mit schwach subatlantischer Klimafeuchte. Diese Standorte könnten jedoch für den Kiefern-Anbau geeignet sein.

3.3.2 Potenziell mögliche Anbaufläche der Hauptbaumarten

Die potenziell mögliche Anbaufläche (je Periode bzw. Szenario) für die Hauptbaumarten setzt sich zusammen aus

- a) Flächen, die mit der Hauptbaumart standortsgerecht bestockt sind und
- b) Flächen, die mit der Hauptbaumart nicht bestockt sind, auf denen die Hauptbaumart aber standortsgerecht wäre (angebaut werden könnte).

Bei der Interpretation der Szenarien ist zu berücksichtigen, dass in der nicht dargestellten Kategorie „nicht beschrieben“ zahlreiche Standortstypen enthalten sind, auf denen die jeweilige Hauptbaumart dem Betriebszieltyp entsprechen könnte.

3.3.2.1. Buche

a) Ist-Analyse

Von den 540 einbezogenen WZE-Punkten sind heute 215 (40 %) standortsgerecht mit Buche bestockt; weitere 262 Punkte (49 %) sind potenziell für den Buchen-Anbau geeignet (betriebszielkonform).

b) Szenarien

Im Verlauf der Szenarien für die Dekaden bis 2050 reduziert sich der Anteil von heute mit Buche betriebszielkonform bestockten Flächen auf 28 % (150 Punkte), derjenige der potenziell geeigneten auf 34 % (182 Punkte). Die deutliche Reduzierung des Anteils potenziell für die Buche geeigneter Standorte ist bedingt durch die Zunahme von nicht beschriebenen Standortkombinationen. Es ist davon auszugehen, dass die Mehrzahl dieser Standortkombinationen für den Buchen-Anbau geeignet wäre.

3.3.2.2 Eiche

a) Ist-Analyse

Insgesamt 80 von 540 einbezogenen WZE-Punkten (15 %) sind heute standortsgerecht mit Eiche bestockt; potenziell geeignet wären weitere 309 (57 %).

b) Szenarien

Der Anteil von heute mit Eichen bestockten Flächen, die in der Dekade 2041-2050 noch standortsgerecht wären, bleibt mit 13 % (70 Punkte) relativ konstant. Potenziell geeignet wären weitere 48 % (258 Punkte). Der Rest entfällt auf nicht beschriebene Standortkombinationen, die aber möglicherweise in der Mehrzahl eichentauglich wären.

3.3.2.3 Fichte**a) Ist-Analyse**

Der Gesamtanteil betriebszielkonformer Standortbereiche liegt heute für die Fichte in Hessen bei 61 %.

b) Szenarien

Der Anteil von Standorten, auf denen die Fichte dem Betriebszieltyp entspricht, reduziert sich im Verlauf der Szenarien für die Dekaden bis 2050 erheblich. Inwieweit die Kategorie „nicht beschrieben“ den Anteil von potenziell für den Fichten-Anbau geeigneten Flächen erhöhen könnte, ist zu analysieren. Es ist jedoch davon auszugehen, dass ein Teil dieser Standortbereiche für den Fichten-Anbau geeignet ist.

3.3.2.4 Kiefer**a) Ist-Analyse**

Der Anteil der betriebszielkonformen Kiefern-Fläche in Hessen (aktuell und potenziell mit Kiefer bestockt) liegt bei ca. 39 %.

b) Szenarien

Im Verlauf der Szenarien für die Dekaden bis 2050 bleibt dieser Anteil trotz geringfügiger Variabilitäten im Verlauf der Szenarien weitgehend konstant und liegt in der Dekade 2041-2050 bei ca. 45 %.

4. Diskussion/Ausblick

Das HMULV koordiniert das **Integrierte Klimaschutzprogramm Hessen 2012 (InKlim 2012)**. Hierzu sind vor allem Grundlagen zu aktualisieren, vorhandene Programme zu optimieren sowie in einem konzeptionellen Zeitraum bis 2012 Maßnahmen zu entwickeln. Forstwirtschaft in Hessen ist ein Element des Programmes.

Für die Forstwirtschaft ist eine derartige Analyse insbesondere schwierig, (a) aufgrund der langfristigen Produktionszeiträume und (b), weil mit der Bewirtschaftung eine große Variabilität von Standorten und Baumarten gesteuert wird und Regelkreise in naturnahen Ökosystemen sowie das Anpassungsvermögen von Baumarten modellhafte Studien mit großem Aufwand erfordern.

Im engen zeitlichen und finanziellen Rahmen des InKlim-Programmes wurde von forstlicher Seite daher zunächst eine Untersuchung eingebracht, die den Charakter einer Vorstudie hat. Sie wurde in der Zeit zwischen Anfang Februar und Ende Juni 2005 erarbeitet. Dabei wurden erste Untersuchungen auf der Basis von Definitionen der Hessischen Anweisung für Forsteinrichtungsarbeiten (HAFA) durchgeführt. Daten zur Baumartenverteilung des 4 km x 4 km-Stichprobennetzes forstlicher Übersichtserhebungen wurden mit mittleren, dekadischen Klimaszenarien bis 2050 verrechnet.

Die Ergebnisse der Untersuchung lassen einen möglicherweise erheblichen Einfluss der zu erwartenden Klimavariabilität auf den hessischen Wald erkennen.

4.1 Bewertung des gewählten Auswertungsansatzes

Aus folgenden Gründen handelt es sich bei den vorliegenden Berechnungen um konservative Annahmen:

- Für alle Berechnungen zu Standortsveränderungen wurde immer nur das mittlere Klimaszenario (s. Kap. 2.1) verwendet. Deutlichere Veränderungen der Standortselemente sind daher nicht auszuschließen.
- Berechnungen zu den Veränderungen von Wuchszone und Klimafeuchte (s. Kap. 2.2.1, 2.2.2) beziehen sich jeweils auf die Vegetationsperiode. Bei Bezug auf das ganze Jahr wären noch drastischere Ergebnisse die Folge. Dies ist bedingt durch die zu erwartende deutliche Temperaturerhöhung im Winter (Kap. 1.3).

Bei den Veränderungen des Standortstyps werden zu erwartende Veränderungen von nutzbarer Wasserkapazität (RENNENBERG et al. 2004) und Nährstoffverfügbarkeit nicht berücksichtigt.

Weitere nicht in die Analysen einbezogene Faktoren sind:

- Die Abschätzung der Auswirkungen von Extremereignissen wie Starkniederschlägen, Gewitter mit Hagel, Trockenperioden und Stürmen mit hohen Windgeschwindigkeiten.
- Eine mögliche Zunahme von „Jahrhundertereignissen“ (z. B. Hochwasser und Windwurf). Gebiete, die vorher nicht von solchen Extremereignissen betroffen waren, könnten darauf besonders empfindlich reagieren.
- Mögliche Änderungen in der Länge der Vegetationszeit, die in ihren Auswirkungen schwer einschätzbar sind.
- Eine mögliche Vermehrung von Schädlingen. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass sich biologische und ökosystemare „Regelkreise“ einer unikausalen Ursache-Wirkungs-Betrachtung entziehen. Beispiele sind witterungsabhängige Insekten wie Borkenkäfer oder Maikäfer.
- In Teilgebieten eine mögliche Zunahme von Waldbränden.
- Ein Wasserüberschuss im Frühjahr mit möglicher Zunahme von Staunässe infolge niederschlagsreicherer Winter sowie infolge von Starkregenereignissen im Herbst und im Frühjahr.

Schließlich muss auch die Standorts- und Betriebszieltypendefinition kritisch diskutiert werden, die ökologische, baumphysiologische und insbesondere ökonomische Aspekte beinhaltet.

4.2 Validierung

Ein mögliches Risiko von Hauptbaumarten unter dem Einfluss einer Klimaveränderung kann an der annuellen Mortalität aus Daten der Übersichtserhebung „Waldzustandserhebung“ validiert werden. Bislang (1984–2005) liegt die annuelle Mortalität über alle Baumarten bei ca. 0,2 %. Es ist zu empfehlen, die Übersichtserhebung fortzuführen, um Veränderungen des Mortalitätsrisikos festzustellen. Aufgrund der bislang geringen Mortalität empfiehlt es sich, in diesem Zusammenhang ergänzend Bäume mit mehr als 60 % Blatt-/Nadelverlust zu erfassen. Zwischen dieser Belaubungsstufe und der Mortalität von Bäumen besteht ein enger statistischer Zusammenhang. Um baumartspezifische Aussagen zu ermöglichen, ist die 4 km x 4 km-Stichprobe zweckmäßig.

4.3 Zukünftiger Handlungsbedarf bzw. Anpassungsmaßnahmen

Folgende vertiefende und weiterführende Auswertungen und Analysen sind notwendig:

- Auswertung von ökologischen Grundlageninformationen zu den Baumarten (z. B. Ökogramme); Definition von Standortsgerechtigkeit im Rahmen einer Arbeitsgruppe innerhalb des Landesbetriebes HESSEN-FORST, Überarbeitung der Standorts- und Betriebszieltypen in der HAFEA
- Einschätzung des nicht beschriebenen Standortbereichs (In welchem Umfang ist für die einzelnen Hauptbaumarten für nicht beschriebene Standortkombinationen eine Standortsgerechtigkeit anzunehmen?)

- Berechnung von Szenarien zur Bewertung der Standortgerechtigkeit auf der Basis der ökologischen Ansprüche der Baumarten
- Diskussion waldbaulicher Konsequenzen bzw. Anpassungsmaßnahmen; Einbringung in eine Fortschreibung der Waldbaurichtlinien
- Weiterführung der Szenarienberechnung bis 2100
- Berechnung der „Extremszenarien“ (vgl. Kap. 2.1)
- Standorts- und Betriebszielanalyse für Douglasie
- Erarbeitung flächenhafter Wuchszonenkarten für die Szenarien
- Herleitung notwendiger forstlicher Anpassungsmaßnahmen hinsichtlich der Neuausrichtung von Betriebszieltypen
- Herleitung ökonomischer Auswirkungen

Mittelfristig wären folgende Forschungsthemen zu bearbeiten:

- Fortführung der annualen Übersichtserhebung zur Validierung von Klima-Wirkungsmodellen
- Analyse der Wechselwirkungen von Luftverunreinigungen und klimatischer Variabilität
- Veränderungen der Einheiten des Geländewasserhaushaltes bei veränderter Niederschlagsmenge und -verteilung; vergleichende Untersuchungen zur Wasserspeicherung im Winter und dem Wasserbedarf der Bäume im Sommer
- Analyse der Waldschutzsituation (Biotische Faktoren) für die Hauptbaumarten unter veränderten Klimabedingungen
- Analyse der genetischen Strukturen der Hauptbaumarten, Abschätzung des Anpassungsvermögens

5. Zusammenfassung

Die vorliegenden Untersuchungen zum Teilbereich Forstwirtschaft haben den Charakter einer Vorstudie. Sie tragen bei zum Baustein II (Klimawandel und Klimafolgen in Hessen) des vom Hessischen Ministerium für Umwelt, Ländlichen Raum und Verbraucherschutz durchgeführten Integrierten Klimaschutzprogrammes Hessen 2012 (InKlim 2012). Grundlage der Auswertungen sind Berechnungen von Klimaszenarien für den Zeitraum bis 2050, die auf 540 Punkte des für Hessen repräsentativen Netzes der Waldzustandserhebung transformiert wurden. Auf der Basis der Daten für Niederschlags- und Temperaturszenarien in der Vegetationszeit erfolgte die Berechnung der Standortselemente Wuchszone und Klimafeuchte für die einzelnen Dekaden.

Für die Beobachtungsperiode 1891-1955 wurden die Angaben der Forsteinrichtung (Grundlage: Daten des Deutschen Wetterdienstes) verwendet; für den Zeitraum 1971-2000 sowie für alle Szenarien bis 2050 liegen die Klimadaten des HLUg zugrunde. Für die Hauptbaumarten (Buche, Eiche, Fichte, Kiefer) erfolgte eine Standortsbewertung nach der Hessischen Anweisung für Forsteinrichtungsarbeiten. Darüber hinaus wurden für die Hauptbaumarten die potenziell geeigneten Anbauflächen für die jeweiligen Szenarien berechnet.

Für die nach dem Klimahaupttyp definierten Wuchzonen ergibt sich eine deutliche Verschiebung der Häufigkeitsverteilung von den Buchen-Mischwaldzonen zu den Eichen-Mischwaldzonen, die in der Dekade 2041-2050 ca. 95 % der hessischen Waldfläche einnehmen würden. Die Veränderungen der Klimafeuchte bis 2050 zeigen weniger deutliche Tendenzen, doch ist auch hier insgesamt eine leichte Verschiebung der Klimafeuchte zum subkontinentalen Bereich hin zu erwarten.

Für die Buche (242 Punkte) zeigt sich im Verlauf der ausgewerteten Szenarien bis 2050 eine allmähliche Zunahme der nicht beschriebenen Standorts- und Betriebszieltypen. Die Mehrzahl dieser Punkte liegt in den Eichen-Mischwaldzonen und hier im schwach subatlantischen Bereich, für den angenommen werden kann, dass keine das Buchenwachstum grundsätzlich einschränkenden Faktoren gegeben sind.

Auf den heutigen Eichen-Flächen (102 Punkte) zeigt sich bis 2050 eine deutliche Abnahme der Flächen, auf denen die Eiche nicht dem Betriebsziel entspricht. Der Anteil nicht beschriebener Standorts-

kombinationen beträgt für das Szenario 2041-2050 insgesamt 31 %. Der Großteil dieser Standorte dürfte jedoch für den Eichen-Anbau geeignet sein.

Für die Fichten-Flächen (246 Punkte) zeigt sich im Verlauf der ausgewerteten Szenarien eine Zunahme der nicht beschriebenen Standorts- und Betriebszieltypen und der nicht betriebszielkonformen Standorte bis zur Dekade 2041-2050. Die Mehrzahl der Flächen mit nicht beschriebener oder nicht betriebszielkonformer Standortkombination befindet sich dann in den Eichen-Mischwaldzonen und hier insbesondere im schwach und mäßig subatlantischen Klimafeuchtebereich auf heute frischen und mäßig frischen Standorten, die hinsichtlich ihrer standörtlichen Eignung für die Fichte schwer einzuschätzen sind. Möglicherweise ist ein Teil dieser Standorte für die Fichte geeignet.

Auffälligstes Ergebnis für die Kiefer (131 Punkte) ist die starke Abnahme nicht betriebszielkonformer Flächen bis zur Dekade 2041-2050 auf ca. 9 %. Insgesamt 64 % der Standortkombinationen sind für diesen Zeitraum als betriebszielkonform anzusehen.

Die Szenarienberechnungen zur potenziell möglichen Anbaufläche der Hauptbaumarten beziehen auch Flächen mit ein, die aktuell nicht mit der jeweiligen Baumart bestockt sind, auf denen sie aber standortgerecht wäre.

Für die Buche ist dabei bis zur Dekade 2041-2050 eine Reduzierung der betriebszielkonform bestockten Flächen und ein Anstieg der Flächen mit nicht beschriebener Standortkombination zu erwarten. Es ist jedoch davon auszugehen, dass die Mehrzahl dieser Standortkombinationen für den Buchen-Anbau geeignet wäre.

Der Anteil von heute mit Eichen bestockten Flächen, die in der Dekade 2041-2050 noch standortgerecht wären, bleibt mit 13 % gegenüber dem Ist-Zustand relativ konstant. Potenziell geeignet wären weitere 48 %. Der Rest entfällt auf nicht beschriebene Standortkombinationen, die aber möglicherweise in der Mehrzahl eichentauglich wären.

Der Anteil von Standorten, auf denen die Fichte dem Betriebszieltyp entspricht, reduziert sich im Verlauf der Szenarien für die Dekaden bis 2050 erheblich. Inwieweit die Kategorie „nicht beschrieben“ den Anteil von potenziell für den Fichten-Anbau geeigneten Flächen erhöhen könnte, ist schwer einschätzbar. Es ist jedoch davon auszugehen, dass ein Teil dieser Standortsbereiche für den Fichten-Anbau geeignet ist.

Im Verlauf der Szenarien für die Dekaden bis 2050 bleibt der Anteil der standortgerechten Kiefern-Fläche in Hessen trotz geringfügiger Variabilitäten im Verlauf der Szenarien weitgehend konstant.

6. Literatur

- ALLEN, M. R.; INGRAM, W. J. (2002): Constraints on future changes in climate and the hydrologic cycle. – *Nature* 419: 224-232.
- ASTHALTER, K. (1976): Ursachen und standörtliches Vorkommen periodischer Trocknisschäden und Folgerungen für die Baumartenwahl. – unveröff. Manuskript Hess. Forsteinrichtungsanst Gießen.
- BADECK, F.-W.; BONDEAU, A.; BÖTTCHER, K.; DOKTOR, D.; LUCHT, W.; SCHABER, J.; SITCH, S. (2004): Responses of spring phenology to climate change. – *New Phytologist* 162: 295-309.
- DALE, V. H.; JOYCE, L. A.; MCNULTY, S.; NEILSON, R. P., AYRES, M. P.; FLANNIGAN, M. D.; HANSON, P. J.; IRLAND, L. C.; LUGO, A. E.; PETERSON, C. J.; SIMBERLOFF, D.; SWANSON, F. J.; STOCKS, B. J.; WOTTON, B. M. (2001): Climate change and forest disturbances. – *Bioscience* 51: 723-734
- EEA (EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY) (2004): Impacts of Europe's changing climate. An indicator-based assessment. – EEA Report 2/2004: 1-100.
- EICHHORN, J. (2004): Klimawandel und Wald – kartenbezogene Grundlagen der Waldentwicklung. – Vortrag beim Projekttreffen von InKlim 2012, Baustein II am 17.11.2004.
- ENKE, W. (2003): Eine regionale Klimaprognose für Hessen. Abschlussbericht zum Werkvertrag B. – Nr. 2003/00082 zwischen dem Landesamt für Umwelt und Geologie Hessen und der Firma Meteor-Research. Stahnsdorf. 45 S.
- HMULF (Hessisches Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft und Forsten) (2002): Hessische Anweisung für Forsteinrichtungsarbeiten (HAFEA). Wiesbaden. 72 S.
- HOCKE, R. (1995): Waldbodenzustand in Hessen. – Forschungsber. Hess. Landesanst. Forsteinr. Waldforsch. Waldökol. 19: 1-136.
- IPCC (2001): Climate Change 2001, Third Assessment Report of IPCC, Working Group I: The Scientific Basis; WG II: Impacts, Adaption and Vulnerability.
- KNAPP, R. (1954): Natürliche und wirtschaftlich bedingte Pflanzengesellschaften und Wuchs-Räume. In: SCHÖNHALS, E. (1954): Die Böden Hessens und ihre Nutzung. – Abh. hess. Landesamt Bodenforsch. 2: 40-51.
- LEUSCHNER, C.; SCHIPKA, F. (2004): Vorstudie Klimawandel und Naturschutz in Deutschland. Abschlussbericht eines F+E-Vorhabens zur Erstellung einer Literaturstudie im Auftrag des Bundesamtes für Naturschutz. – BfN-Skripten 115: 1-34.
- MÜLLER-WESTERMEIER, G. (2002): Klimatrends in Deutschland. – DWD Klimastatusbericht 2001: 114-123.
- HANSEN, J.; SATO, M. (2005): GISS Surface Temperature Analysis. – NASA Goddard Institute for Space Studies. <http://data.giss.nasa.gov/gistemp/2004/>
- PAAR, U. (2004): InKlim 2012 - Tischvorlage und Informationspapier für ein Arbeitsgespräch der Fachgebietsleiter der FIV und des Fachministeriums. Hann. Münden. 10 S.
- RAPP, J. (2002): Regionale Klimatrends in Deutschland im 20. Jahrhundert. – DWD Klimastatusbericht 2001: 175-183.
- RENNENBERG, H.; SEILER, W.; MATYSSEK, R.; GESSLER, A.; KREUZWIESER, J. (2004): Die Buche (*Fagus sylvatica* L.) – ein Waldbaum ohne Zukunft im südlichen Mitteleuropa? – *Allg. Forst- u. J.-Ztg.* 175(10/11): 210-224.
- WEIMANN, H.-J. (1993): Natur – Struktur – Kultur. – Forschungsber. Hess. Forsteinrichtungsanst. Hess. Forstl. Versuchsanst. 17: 1-268.