

Die vorliegende Publikation wurde im Rahmen des Verbundprojektes „Zukünfte und Visionen Wald 2100: Langfristige Perspektiven von Wald- und Landnutzung Entwicklungsdynamiken, normative Grundhaltungen und Governance“ erstellt.

„Zukünfte und Visionen Wald 2100“ wurde gefördert vom Bundesministerium für Bildung und Forschung im Rahmen des Förderschwerpunktes „Nachhaltige Waldwirtschaft“ (Projektträger Jülich, FKZ 0330789). Projektlaufzeit: März 2007 – November 2008.

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

Informationen und Ergebnisse: www.waldzukuenfte.de

Informationen zum Förderschwerpunkt: www.nachhaltige-waldwirtschaft.de

Impressum

Institut für Zukunftsstudien und
Technologiebewertung (IZT)
Schopenhauerstraße 26
14129 Berlin

Telefon: +49 (0)30 - 80 30 88 10
Telefax: +49 (0)30-80 30 88 88
www.izt.de

E-Mail:
l.erdmann@izt.de
s.behrendt@izt.de

Berlin, Dezember 2007

Pressekontakt

Institut für ökologische
Wirtschaftsforschung (IÖW)
Richard Harnisch
Potsdamer Str. 105
10785 Berlin

Telefon: +49 (0)30 - 884 594 16
Telefax: +49 (0)30 - 882 54 39
www.ioew.de

E-Mail:
kommunikation@ioew.de

1	Ziele und Fragestellungen	7
2	Trends und Entwicklungsdynamiken – eine Bestandsaufnahme.....	8
2.1	Entwicklung der Waldbestände	8
2.1.1	Quellenlage	8
2.1.2	Robustheit.....	9
2.1.3	Kernaussagen	11
2.2	Projektionen zum Klimawandel	21
2.2.1	Quellenlage.....	21
2.2.2	Robustheit.....	22
2.2.3	Kernaussagen	24
2.3	Wechselwirkungen von Klimawandel und Waldökosystemen.....	33
2.3.1	Quellenlage	33
2.3.2	Robustheit	34
2.3.3	Kernaussagen	35
2.4	Integrierte Strategien.....	41
2.4.1	Quellenlage.....	41
2.4.2	Robustheit.....	41
2.4.3	Kernaussagen	42
3	Bewertung und Schlussfolgerungen	50
3.1	Zukunftsthesen	50
3.2	Einflussfaktoren	51
3.3	Steuerungsoptionen (Governance)	53
4	Literatur	55
5	Anhang	57
5.1	Tableau - Einflussfaktor Klimawandel	58
5.2	Tableau - Einflussfaktor Klima- und Energiepolitik	64

Abbildung 2-1: Holzvorräte in Europa	15
Abbildung 2-2: Projektionen für Produktion und Verbrauch an Nadel-Sägeholz in Europa 2020	16
Abbildung 2-3: Projektionen der verfügbaren Waldfläche für Holzversorgung in Europa 2020	17
Abbildung 2-4: Projektionen der lebenden Biomasse auf der verfügbaren Waldfläche für Holzversorgung in Europa 2020.....	17
Abbildung 2-5: Treibende Kräfte für die globale Strahlungsbilanz 2005	25
Abbildung 2-6: Globale Treibhausgasemissionen für 2000 und projizierte baseline Emissionen für 2030 und 2100 aus IPCC SRES und post-SRES Literatur	26
Abbildung 2-7: Illustrative Beispiele für die projizierten globalen Wirkungen für den Klimawandel, verbunden mit verschiedenen Anstiegen der globalen mittleren Oberflächentemperatur im 21. Jahrhundert	30
Abbildung 2-8: Weltkarte der „Tipping-Points“ und regionale Auswirkungen des Klimawandels	31
Abbildung 2-9: Holzschäden in Europa durch Stürme von 1950-2007 (in Mio. m ³)	39
Abbildung 3-1: Dynamik im Szenario „Risikofaktor Rohstoffbasis 2020“	52

Tabelle 2-1: Synopse ausgewählter Quellen zum Wald.....	9
Tabelle 2-2: Trends mit Bedeutung für nachhaltige Forstwirtschaft auf globaler Ebene	11
Tabelle 2-3: Entwicklung der globalen Waldfläche nach Kontinenten	12
Tabelle 2-4: Entwicklung der globalen Kohlenstoffspeicher in Waldbiomasse nach Kontinenten	13
Tabelle 2-5: Von Schadereignissen betroffene Waldfläche nach Kontinenten 1998-2002	13
Tabelle 2-6: Entwicklung der primär produktiven Wälder und der Waldplantagen nach Kontinenten	14
Tabelle 2-7: Prognostizierte zugehörige Fläche des Auswertungsgebietes [ha] nach Baumartengruppe und Prognosejahr bis 2042 in Deutschland	18
Tabelle 2-8: Potenzielles Rohholzaufkommen (Erntefestmaß o.R.) [1000 m ³ /a] nach Eigentumsart und Prognoseperiode bis 2042 in Deutschland	19
Tabelle 2-9: Synopse ausgewählter Quellen zum Klimawandel.....	22
Tabelle 2-10: Eckpunkte der IPCC Emission Scenarios (Auswahl).....	23
Tabelle 2-11: Eigenschaften von Stabilisierungsszenarien	27
Tabelle 2-12: Extreme Wetterereignisse und ihre Wahrscheinlichkeiten.....	29
Tabelle 2-13: Regionale klimatische Differenzierungen (vereinfacht) und Vulnerabilität der Forstwirtschaft gegenüber dem Klimawandel.....	32
Tabelle 2-14: Synopse ausgewählter Quellen zum Thema Wald und Klimaschutz	34
Tabelle 2-15: Klimaphänomene und ihre Auswirkungen auf Forstökosysteme	36
Tabelle 2-16: Schadensbilanz nach Orkan „Lothar“	38
Tabelle 2-17: CO ₂ -Emissionen aus der Entwaldung und CO ₂ -Speicherung im Jahr 2020 bei gleich bleibenden Nettoänderungsraten in der nationalen Waldfläche	40
Tabelle 2-18: Schlüsseltechnologien und –praktiken zur Linderung des Treibhauseffektes ..	42
Tabelle 2-19: Waldumbau nach Baumarten.....	43
Tabelle 2-20: Baumarten und ihre Vulnerabilität gegenüber dem Klimawandel und neuartigen Waldschäden	44
Tabelle 2-21: Auswirkungen forstlicher Maßnahmen auf die Kohlenstoffspeicherung.....	46
Tabelle 2-22: Argumente für die Einbindung von LULUCF Emissionen in das post 2012- Klimaschutzregime	48
Tabelle 2-23: Hauptmaßnahmen zur Ausgestaltung einer C-Sequestrierungsstrategie	48
Tabelle 3-1: Treiber und Hemmnisse für das Szenario „Globaler Klimawandel - Risikofaktor Wald 2020“	52

1 Ziele und Fragestellungen

Ziel ist es, zukunftsrelevante Prozesse und Faktoren, erkennbare Trends und Dynamiken, aber auch Unsicherheiten und Widersprüche im Zukunftsfeld Klimawandel zu identifizieren. Die Änderung der Temperatur- und Niederschlagsverhältnisse wird gravierende Auswirkungen auf die Vegetation haben und könnte auch die Funktionen des Waldes (z.B. die Schutzfunktion des Waldes) beeinträchtigen. Dies stellt eine Herausforderung für die Waldbewirtschaftung dar, da waldbauliche Entscheidungen (wie Baumartenwahl) langfristig wirken und künftige Entwicklungen der Umwelt vorwegnehmen müssen.

In diesem Zusammenhang stellen sich unter anderem folgende Leitfragen:

- Welche Baumarten in welchen Regionen sind vom Klimawandel besonders betroffen? Reicht unser Wissen?
- Wie werden sich extreme Wetterereignisse wie Stürme und die Ertragslage der Forstwirtschaft entwickeln?
- Ist eine „Zweite Welle der neuartigen Waldschäden“ infolge der Kombinationswirkungen mit langen Dürren und Hitzeperioden sowie Schadstoffen im Boden möglich?
- Welche Nutzungskonflikte hat die Forstwirtschaft um die knapper werdenden Wasserressourcen sind zu erwarten?
- Ist die Kohlenstoffspeicherung als starke Waldoption im internationalen Klimaschutz unverzichtbar? Ist eine solche starke Waldoption in Sicht?
- Welche Folgen hätte eine Einbindung der Kohlenstoffspeicherung in den Zertifikathandel für die Waldfläche und den Waldbau in Deutschland?
- Wie kann der Aufbau langlebiger Kohlenstoffstandlager in der Technosphäre praktisch ausgestaltet und umweltpolitisch forciert werden?
- Inwieweit ist die Wald-, Forst- und Holzwirtschaft als Branche für den Klimawandel gerüstet?
- Welche Differenzierungen beim klimaangepassten Waldbau sind hinsichtlich öffentlichem und privatem Wald erforderlich?
- Welche Rolle kann die Optimierung der waldbezogenen Kohlenstoffspeicherung, z.B. auch durch Gentechnik, in Zukunft spielen?
- Was kann die Holzindustrie in Zukunft mit dem infolge des Klimawandels veränderten Holzangebot anfangen?
- Sind angesichts des Klimawandels im Waldbau Paradigmen des Naturschutzes in Frage zu stellen?

Im folgenden wird möglichst strikt zwischen einem deskriptiven Teil, der Faktenbasis, und einem normativen Teil, der die Faktenbasis im Hinblick auf die spezifischen Fragestellungen des Projektes Waldvisionen 2100 interpretiert und bewertet, unterschieden. Dies geschieht vor dem Hintergrund größtmöglicher Transparenz und Nachvollziehbarkeit.

Das Diskussionspapier Wald und Klimawandel ist einer von acht Berichten über die Analyse von Zukunftsfeldern im Rahmen des Projektes „Waldvisionen 2100“. An einzelnen Stellen wird auf mögliche Berührungspunkte mit den anderen Zukunftsfeldern hingewiesen. An geeigneter Stelle wird auch auf die Rolle von Leitbildern (siehe Diskussionspapier „Leitbildassessment“) für das Thema Wald und Klima verwiesen. Die quellennahe inhaltliche Analyse und Bewertung erfolgt insbesondere im Hinblick auf die Generierung von Zukunftsszenarien. Dieses Papier wurde im September 2007 projektintern diskutiert, um aber die Schnittstelle zu den Szenarien zu verbessern, sind im Anhang noch Kurzbeschreibungen von zwei Einzelfaktoren beigefügt.

2 Trends und Entwicklungsdynamiken – eine Bestandsaufnahme

Die Bestandsaufnahme der Faktenbasis zum Thema Klimawandel und Wald wird anhand von vier Teilgebieten vorgenommen.

- Entwicklung der Waldbestände
- Projektionen zum Klimawandel
- Wechselwirkungen von Klimawandel und Waldökosystemen
- Integrierte Strategien

Im Anschluss an die separate Beschreibung der Zukünfte der Waldressourcen und des Klimasystems erfolgt eine Analyse der Wechselwirkungen der beiden Teilsysteme. Das letzte Teilkapitel eruiert die waldwirtschaftlichen und –politischen Handlungsspielräume zur Minderung des Klimawandels und zur Anpassung an die Folgen.

Im Rahmen des Projektes ist es nicht möglich, die gesamte wissenschaftliche Literatur zum Thema Wald und Klimawandel zu würdigen. Deshalb werden für jedes Teilkapitel insbesondere Studien mit hoher Legitimität und wissenschaftlicher Qualität sowie grundsätzliche Strategiepapiere in die Auswertung einbezogen.¹ Anschließend wird die Thematisierung von Unsicherheiten in den Berichten selbst dokumentiert. Die Kernaussagen der einzelnen Berichte im Hinblick auf Wald und Klimawandel werden darauf integriert einer Robustheitseinschätzung unterzogen.

2.1 Entwicklung der Waldbestände

2.1.1 Quellenlage

Aus der Fülle wissenschaftlicher Einzelarbeiten zum Wald und seiner Zukunft stechen insbesondere die Berichte der Vereinten Nationen und seiner Unterorganisationen zu den Waldressourcen hervor. In einer beachtenswerten Studie wird die Zukunft des Waldes und der Forstwirtschaft für vier Unterregionen in Europa simuliert (UN 2005). In einer noch grundlegenden Untersuchung wird eine Bestandsaufnahme der globalen Waldressourcen anhand von nationalen Einzelberichten gemacht und bewertet (FAO 2006).

Für Deutschland gibt das Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft turnusmäßig sowohl eine Bundeswaldinventur (BMVEL 2004), als auch einen Waldzustandsbericht (BMVEL 2005) heraus. Im nationalen Diskurs zum Zustand und zur Zukunft des Waldes bzw. der Forstwirtschaft dienen diese Berichte als Referenz, was ihnen eine hohe Legitimität verleiht.

Die Quellenlage ist zwar in räumlicher und thematischer Hinsicht befriedigend, nicht aber in zeitlicher Hinsicht. Es lassen sich Aussagen für kurz- und mittelfristige Horizonte extrahieren, für langfristige Entwicklungen des Waldes in Deutschland sind jedoch keine belastbaren wissenschaftlichen Querschnittsstudien bekannt.

Ergänzend werden verschiedene Papier des IZT aus dem Projekt Holzende 2020+ herangezogen, um die Interdependenz von Waldbeständen und nachfrageseitigen Faktoren zu illustrieren.

¹ Einzelne Quellen, die sich nur punktuell mit einzelnen Aspekten des Themas Wald und Klimawandel beschäftigen, sind nicht in den Unterkapiteln zur Quellenlage thematisiert, finden sich jedoch im Literaturverzeichnis wieder.

Tabelle 2-1: Synopse ausgewählter Quellen zum Wald

Institution	Bericht	Regionaler Schwerpunkt	Zeitlicher Horizont	Inhaltliche Schwerpunkte
UN	European Forest Sector Outlook Study 1960-2000-2020 (2005)	Europa	2020	Holzwirtschaft
FAO	Global Forest Resources Assessment 2005. (2006)	Global	1990-2005	Veränderungen von Waldbeständen
BMVEL	Bundeswaldinventur II (2004)	Deutschland nach Bundesländern aufgelöst	2042	Wald- und Forstressourcendaten
IZT	Holzwende 2020+: Trendreport, Fokusfelder und Szenarien (2006/07)	Deutschland	2020+	Nachhaltiges Bauen mit Holz

Quelle: eigene Zusammenstellung IZT

2.1.2 Robustheit

Die Schwierigkeit von langfristigen Studien zur globalen Entwicklung der Waldressourcen liegt sowohl in der Unsicherheit zukünftiger Flächennutzung, als auch in unabsehbaren langfristigen Nachfrage-/Angebotskonstellationen.

Der *Global Forest Resources Assessment 2005* Bericht (FAO 2006) ist keine Zukunftsstudie im engeren Sinne, jedoch die verlässlichste globale Datengrundlage. Das Verständnis für die Veränderungsdynamik in der jüngeren Vergangenheit ist aber eine wichtige Voraussetzung für zukünftige Einschätzungen zur Entwicklung der globalen Waldressourcen. Eine lineare Trendextrapolation bis 2020 ist aus diesen Daten für die Kohlenstoffspeicherung der Wälder vorgenommen worden (UBA 2007b), was in Kapitel 2.3.3.4 thematisiert wird. Die Datenlage wird einer kritischen, gut dokumentierten Selbsteinschätzung unterzogen. Vergleichsweise schlecht ist die Informationsbasis insbesondere für zahlreiche Entwicklungsländer, aber auch für einzelne Indikatoren in anderen Ländern, insbesondere zur Waldgesundheit und –vitalität, wohingegen die Daten für die Waldressourcen insgesamt, insbesondere in den entwickelten Ländern deutlich valider sind. Von 229 Ländern äußerten sich 228 zu den Waldressourcen, aber nur 61 über andere Landnutzungsformen mit Baumbedeckung wie Obstgärten, Palmölplantagen und Parks.

Wesentliche Eckpfeiler der Studie *European Forest Sector Outlook Study 1960-2000-2020* (UN 2005) sind:

- Die Einteilung Europas in drei Unterregionen: Westeuropa (einschließlich Skandinavien, Deutschland, Österreich und Griechenland), Osteuropa (einschließlich Estland, Lettland, Litauen und der Türkei) und restliche Staaten der GUS (Moldawien, Russland, Ukraine, Weissrussland)
- Die Formulierung von drei Szenarien: Baseline Szenario (langjährige historische Beziehungen in den Waldproduktmärkten bleiben konstant), Conservation Szenario (beschleunigter Wandel zu mehr Umweltverträglichkeit und Bewahrung der Waldressourcen) und Integration Szenario (schnellere ökonomische Integration und Marktliberalisierung in Europa).
- Quantitative Modellierung der Auswirkungen der Szenarien bis 2020 auf verarbeitete Holzprodukte sowie qualitative Abschätzungen der Auswirkungen der Szenarien auf andere Waldprodukte sowie auf andere Funktionen des Waldes und Beschäftigung.

Die Komplexität des Forst/Holz-Sektors und seiner Wirkungen wird aus Nachhaltigkeitssicht jedoch unzureichend thematisiert. Die Studie *European Forest Sector Outlook Study 1960-2000-2020* der Vereinten Nationen thematisiert zwei ihrer wesentlichen Einschränkungen selbst:

- Zum einen ist die energetische Nutzbarkeit des Holzes nicht systematisch in die Modellrechnungen einbezogen worden. Angesichts der weltweit knappen Energieressourcen und der signifikanten energetischen Holznutzung schränkt dies die Aussagekraft der Studie wesentlich ein.
- Zum anderen sind technologische Innovationen ausgeklammert. Da der Forst/Holz-Sektor sich zur wissensintensiven Branche wandelt, liegen gerade auch hier wichtige Gestaltungspotenziale für eine nachhaltige Entwicklung.

Im Holzwende-Projekt (s.u.) wird diesen Defiziten mit der Formulierung zweier weiterer Szenarien „Kannibalisierung: Aus Bauholz wird Energieholz“ und „High-Tech-Holz: Entnaturierung des Werkstoffs Holz“ begegnet (Erdmann 2007 - IZT). Darüber hinaus sind in der UN-Studie der Interregionenhandel und Rückkopplungen auf die Waldressourcen nur am Rande thematisiert.

Die Bestandsaufnahme der Waldressourcen in der Bundeswaldinventur II (BMVEL 2004) genügt hohen wissenschaftlichen Ansprüchen und nimmt ihre beschränkte Aussagekraft vorweg (keine Prognostik). Seit 1987 wird versucht, dem sukzessiven Vorratsaufbau in den Deutschen Wäldern, u.a. durch die Handlungsbedarfsidentifizierung aus der Simulation von Steuerparametern wie Waldbehandlung und Wachstum, entgegenzuwirken. Die Kommunikation der zukunftsbezogenen Aussagen ist jedoch aus Sicht der seriösen Zukunftsforschung kritisch einzuschätzen. Zu den Hauptkritikpunkten, auch im Hinblick auf die Gestaltung der 2011 und 2012 stattfindenden dritten Bundeswaldinventur, zählen:

- Die überwiegend öffentlich kommunizierten, eindimensionalen Prognosen („Basisszenarium“) explorieren nicht die Möglichkeiten der Zukunftsgestaltung.
- Die hohen Prognosen für das Rohholzaufkommen haben binnen weniger Jahre zu Investitionen der Forstwirtschaft geführt, die eben dieses Rohholzaufkommen frühzeitig rasch dezimiert haben und damit auch die Vorhersagen bis 2042 konterkarieren.
- Die gesamte Diskussion über Vorräte, Holzaufkommen und Potenziale, nicht nur in der Bundeswaldinventur, krankt an der unzureichenden Differenzierung der Potenziale in theoretisch bzw. technisch-ökonomisch unter heutigen oder zukünftigen Bedingungen erschließbar sowie der Mehrfachvergabe von Potenzialen für verschiedene Zwecke, wie z.B. die energetische und stoffliche Nutzung.

Insgesamt ist die Robustheit der Aussagen in diesem Kapitel zwar relativ gut für die Gegenwart und sehr nahe Zukunft, insbesondere im Hinblick auf mittel- und langfristige Horizonte jedoch stark begrenzt.

Um zumindest strategische Implikationen gegenwärtiger und zukünftiger Marktverschiebungen mit Sicht auf die Waldressourcen ableiten zu können, wird deshalb ergänzend auf einen Trendreport, Fokusbilder und *Szenarien 2020+ für nachhaltige Zukunftsmärkte der Forst- und Holzwirtschaft* (Erdmann 2007 - IZT) zurückgegriffen. Die vier qualitativen Szenarien sind:

1. Globalisierung – Konzentration und Differenzierung der Holzwirtschaft
2. Kannibalisierung – Aus Bauholz wird Energieholz
3. High-Tech Holz – „Entnaturierung“ des Werkstoffs Holz
4. Globaler Klimawandel- Risikofaktor Wald

Diese Szenarien stehen kurz vor ihrer Veröffentlichung, werden jedoch noch von Experten im Rahmen des *Holzwende 2020+* Projektes im Oktober 2007 validiert.

2.1.3 Kernaussagen

Die sehr unterschiedlichen Zugänge der ausgewählten Quellen erlauben keine sinnvolle, vergleichende thematische Auswertung nach geografischen Ebenen. Deshalb werden sie vertikal von der globalen über die europäische bis hin zur nationalen Ebene abgehandelt.

2.1.3.1 Die globale Lage des Waldes 1990-2005

Der *Global Forest Resources Assessment 2005* Bericht (FAO 2006) nimmt eine Einschätzung der globalen Waldressourcen insbesondere anhand von Kennzahlen vor.

Tabelle 2-2: Trends mit Bedeutung für nachhaltige Forstwirtschaft auf globaler Ebene

	Variable	Daten- verfüg- barkeit	Jährliche Änderung 1990-2005 (%)	Jährliche Änderung 1990-2005	Einheit
Ausdehnung der Waldressourcen	Waldfläche	H	-0,21	-8351	1000 ha
	Fläche anderer Gehölze	M	-0,35	-3299	1000 ha
	Lebender Bestand	H	-0,15	-570	Millionen m ³
	Kohlenstoffspeicher pro Hektar in Waldbiomasse	H	-0,02	-0,15	t/ha
Biologische Vielfalt	Fläche an Primärwäldern	H	-0,52	-5848	1000 ha
	Fläche zum Schutz biologischer Vielfalt	H	1,87	6391	1000 ha
	Waldfläche ohne Waldplantagen	H	-0,26	-9397	1000 ha
Waldgesundheit und -vitalität	Waldfläche, von Waldbränden betroffen	M	-0,49	-125	1000 ha
	Waldfläche, von Insekten, Krankheiten und anderen Störungen betroffen	M	1,84	1101	1000 ha
Produktive Funktionen der Waldressourcen	Waldfläche, vorwiegend produktive Funktion	H	-0,35	-4522	1000 ha
	Waldplantagen	H	2,38	2165	1000 ha
	Kommerzieller lebender Bestand	H	-0,19	-321	Millionen m ³
	Gesamte Holzentnahme	H	-0,11	-3199	1000 ha
	Gesamtentnahme anderer Waldprodukte	M	2,47	143460	t
Schützen der Funktionen der Waldressourcen	Waldfläche, Schutzwälder	H	1,06	3375	1000 ha
	Fläche, Anpflanzungen zum Schutz	H	1,41	380	1000 ha
Sozio-ökonomische Funktionen	Wert der Gesamtholzentnahme	G	0,67	377	Millionen US-\$
	Wert anderer Waldprodukte	M	0,80	33	Millionen US-\$
	Beschäftigung	M	-0,97	-102	1000 Personenjahre
	Waldfläche in Privatbesitz	M	0,76	2737	1000 ha
	Waldfläche für soziale Zwecke	H	8,63	6646	1000 ha

H: hoch, M: mittel, G: gering

Quelle: FAO 2006

Global gesehen ändern sich die Werte der untersuchten Variablen nur langsam, bei entsprechender regionaler oder sachlicher Differenzierung jedoch teilweise dramatisch. Die insgesamt träge Veränderung der einzelnen Variablen darf jedoch nicht den Blick drauf

verstellen, dass diese Werte über lange Zeit dramatisch kumulieren können. Folgende Trends werden –neben anderen- als „alarmierend“ bezeichnet (FAO 2006, p150):

- Die Entwaldung setzt sich in einigen Regionen und Ländern mit einer alarmierenden Rate fort und zeigt global gesehen keine Anzeichen der Verlangsamung.
- Die Fläche des Primärwaldes nimmt jährlich um 6 Millionen Hektar ab.
- In manchen Regionen nimmt die Fläche der Wälder, die von Waldbränden, Insekten oder Krankheiten befallen sind, zu.

Im Gegensatz dazu heißt es im selben Bericht, dass der Netto-Verlust abnimmt wegen Neupflanzungen, Landschaftsrestaurierung und natürlicher Ausbreitung von Wäldern auf verlassenen Flächen (FAO 2006, p152).

Für die Interaktionen des Waldes mit dem Klimawandel sind vor allem die Variablen Waldfläche, Kohlenstoffspeicher pro Hektar Waldbiomasse, von Waldbränden, Insekten Krankheiten und anderen Störungen betroffene Waldflächen sowie die Waldfläche und Pflanzungen mit vorwiegend produktiver Funktion wichtig. Diese Variablen werden deshalb im folgenden weiter aufgeschlüsselt.

Tabelle 2-3: Entwicklung der globalen Waldfläche nach Kontinenten

	Waldfläche (1000 ha)	Anteil an globaler Waldfläche (%)	Änderung 1990- 2000 (%/a)	Änderung 2000- 2005 (%/a)
Afrika	635 412	16,1	-0,64	-0,62
Asien	571 577	14,5	-0,14	0,18
Europa	1001 394	25,3	0,09	0,07
Nord- und Mittelamerika	705 849	17,9	-0,05	-0,05
Ozeanien	206 254	5,2	-0,21	-0,17
Südamerika	831 540	21,0	-0,44	-0,50
Welt	3 952 025	100	-0,22	-0,18

Quelle: FAO 2006

Insgesamt nimmt die globale Waldfläche im langjährigen Trend ab. Besonders dramatisch sind die hohen relativen Waldverluste in Südamerika und Afrika. Alleine in Brasilien betrug die Waldflächenabnahme 2000-2005 durchschnittlich über 3,10 Mio. Hektar pro Jahr. Während in Afrika die Verlustrate konstant hoch ist, beschleunigt sie sich in Südamerika in jüngerer Zeit. Die Zuwächse der großen Waldflächen in Europa, sowie die Abnahme der Waldflächen in Nord- und Mittelamerika sind jeweils moderat. In Asien hat 2000-2005 im Vergleich zu 1990-2000 eine Trendwende stattgefunden. Die dramatischen Waldverluste in Indonesien mit über 1,87 Mio. Hektar pro Jahr werden durch die Zunahme der Waldfläche insbesondere in China mit 4,06 Mio. Hektar pro Jahr überkompensiert (Durchschnittswerte 2000-2005).

Tabelle 2-4: Entwicklung der globalen Kohlenstoffspeicher in Waldbiomasse nach Kontinenten

	1990 (Gt)	2000 (Gt)	2005 (Gt)	Änderung 1990-2005 (%)
Afrika	65,8	62,2	60,8	-7,6
Asien	41,1	35,6	32,6	-20,7
Europa	42,0	43,1	43,9	4,5
Nord- und Mittelamerika	41,0	41,9	42,4	3,4
Ozeanien	11,6	11,4	11,4	-1,7
Südamerika	97,7	94,2	91,5	-6,3
Welt	299,2	288,6	282,7	-5,5

Quelle: FAO 2006

Zwischen 1990 und 2005 hat die globale Kohlenstoffspeicherung in Waldbiomasse um 5,5 % abgenommen. Besonders gravierend ist der Verlust in Asien, wodurch deutlich wird, dass die Verluste an kohlenstoffreichen Primärwäldern, z.B. in Indonesien, trotz Ausweitung der Waldfläche in Asien insgesamt, nicht ausgeglichen werden können. Auch die Verluste in Afrika und Südamerika sind schwerwiegend. Langfristig gesehen dürfte die Kohlenstoffspeicherung in den Wäldern Chinas jedoch deutlich zunehmen.

Tabelle 2-5: Von Schadereignissen betroffene Waldfläche nach Kontinenten 1998-2002

	Waldbrände (%)	Insektenplagen (%)	Krankheiten (%)	Andere Störungen (%)
Afrika	5,5	1,5	8,5	k. A.
Asien	2,2	2,6	2,4	0,3
Europa	0,2	0,7	0,3	0,8
Nord- und Mittelamerika	0,6	2,8	4,6	k. A.
Ozeanien	k. A.	0,1	0	0,1
Südamerika	0,3	0,1	0,2	0
Welt	0,9	1,4	1,4	0,6

Quelle: FAO 2006

Obwohl die Datenlage insgesamt dürftig ist, sollen diese Parameter der Waldgesundheit und –vitalität nicht unberücksichtigt bleiben, da sie im Zusammenspiel mit klimatischen Stressoren den Tod bzw. schwere Schädigungen der Waldökosysteme und seiner Ressourcen bedeuten können. Besorgnis erregend ist der insgesamt schlechte Zustand der Wälder in Afrika, insbesondere aufgrund von weitflächigen Waldbränden und Krankheiten. Aber auch die Wälder in Asien und Nord- und Mittelamerika sind überdurchschnittlich häufig Insektenplagen und Krankheiten ausgesetzt. Zu den anderen Störungen gehören abiotische Faktoren (Wind, Schnee, Eis, Fluten, tropische Stürme und Dürren) und andere biotische Schädlinge wie z.B. Wild. Die Vergleichbarkeit der Daten ist hier besonders eingeschränkt (zum Zustand des Waldes in Deutschland: vgl. Kapitel 2.3.3.2). Es ist jedoch offensichtlich, dass dieser Faktor Schadereignisse weit unterschätzt wird und auch in Zukunft angesichts des Klimawandels an Bedeutung zunehmen wird.

Tabelle 2-6: Entwicklung der primär produktiven Wälder und der Waldplantagen nach Kontinenten

	Produktionswald (1000 ha)			Plantagenwald (1000 ha)		
	1990	2000	2005	1990	2000	2005
Afrika	148 329	139 913	134 658	10 046	10 323	10 679
Asien	266 737	261 564	255 127	28 925	36 206	44 414
Europa	770 508	722 051	721 355	16 643	19 818	21 467
Nord- und Mittelamerika	45 108	45 488	44 790	10 595	16 711	17 653
Ozeanien	5 651	9 371	9 261	2 447	3 456	3 812
Südamerika	88 216	103 224	91 073	8 221	10 547	11 326
Welt	1 324 549	1 281 612	1 256 266	76 826	97 061	109 352

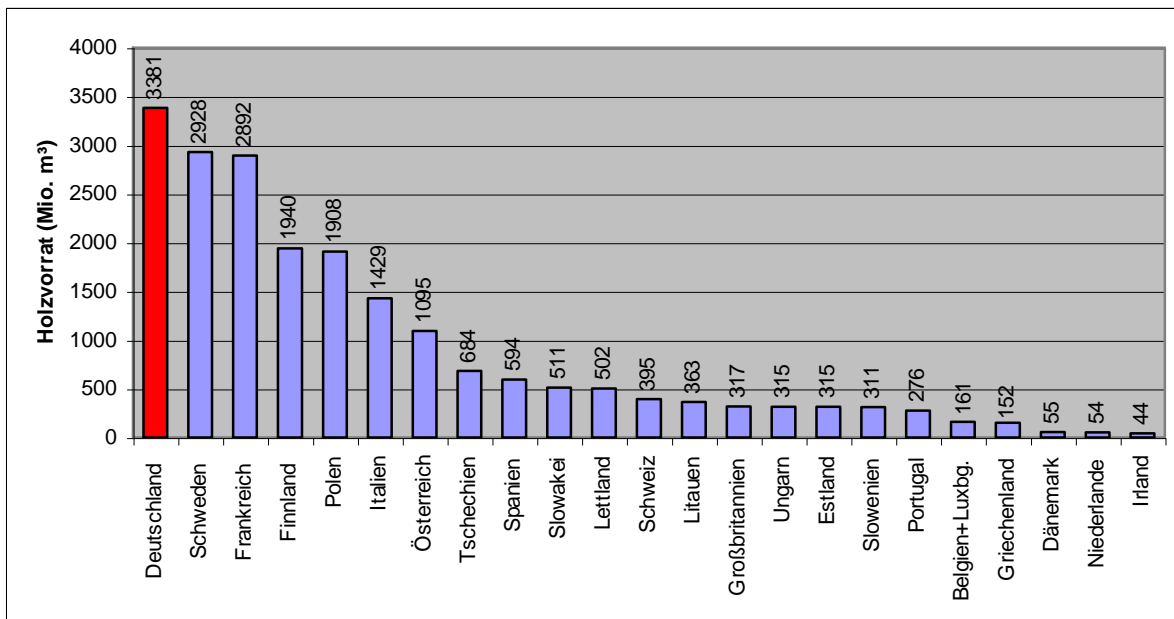
Quelle: FAO 2006

Der Anteil des primär produktiven Waldes an der Gesamtwaldfläche liegt global bei 34 %, der von Plantagenwäldern bei 3 %. Während die Produktionswaldfläche langfristig einen leichten Rückgang aufweist, steigt die Plantagenwaldfläche deutlich. Hinsichtlich der Produktionswaldfläche dominiert Europa deutlich, wohingegen die größte Plantagenwaldfläche in Asien beheimatet ist. Alleine auf China entfiel 2005 mit 26 % mehr als ein Viertel der gesamten Plantagenwaldfläche, gefolgt von den USA mit 16 % und Russland mit 11 %, wobei auf diese drei Länder auch mit Abstand die höchsten absoluten jährlichen Wachstumsraten 2000-2005 kamen.

2.1.3.2 Auswirkungen von zukünftigen Marktentwicklungen auf die Waldressourcen in Europa 2020

Während in der (sub-)tropischen Zone die Waldfläche rasant zurückgeht, weist die boreale Zone eine ausgeglichene Waldflächenbilanz auf.² Besonders in Europa ist ein Anstieg von Waldfläche, Holzvorrat und Zuwachs zu verzeichnen. Auch in Deutschland ist in den letzten Jahrzehnten der Holzvorrat ständig gestiegen. Deutschland ist heute das Land mit dem höchsten Holzvorrat in der Europäischen Union.

Abbildung 2-1: Holzvorräte in Europa



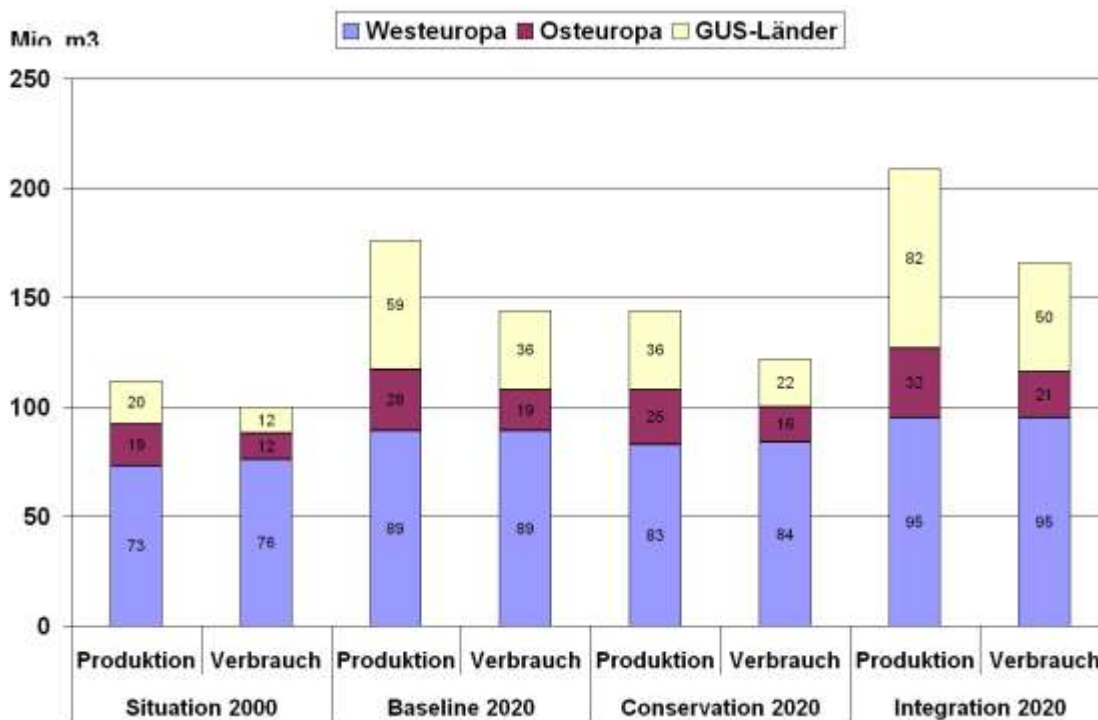
Quell

e: BMVEL 2004, Polley 2005

Der von den Vereinten Nationen (UNECE und FAO) erstellte Bericht *European Forest Sector Outlook Study 1960-2000-2020* (UN 2005) modelliert aufbauend auf einer Trendanalyse und Einflussfaktorenbeschreibung die zukünftigen Produktions- und Verbrauchsstrukturen der europäischen Forstwirtschaft. Wie sich diese zukünftigen Muster auf die Waldressourcen in Europa auswirken wird eher am Rande thematisiert. Um auf die Wechselwirkungen zwischen den verschiedenen Zukunftsfeldern, hier insbesondere „Globalisierung und internationale Märkte“, hinzuweisen, wird dieser Aspekt deshalb an dieser Stelle ausgeführt.

Die nächste Abbildung zeigt die quantitativen Ergebnisse für die Szenarien nach Unterregionen am Beispiel des mengenmäßig dominierenden Holzproduktes Nadel-Sägeholz. Diese Zahlen für das Nadel-Sägeholzsortiment stehen beispielhaft für andere, globalisierungsinduzierte Marktumbrüche in anderen Holzsegmenten:

² Neuerdings gibt es aber auch sehr großflächige Kahlschläge in den Industriestaaten wie Kanada und Russland. Das so geerntete Holz ist vorwiegend für die industrielle Nutzung vorgesehen.

Abbildung 2-2: Projektionen für Produktion und Verbrauch an Nadel-Sägeholz in Europa 2020

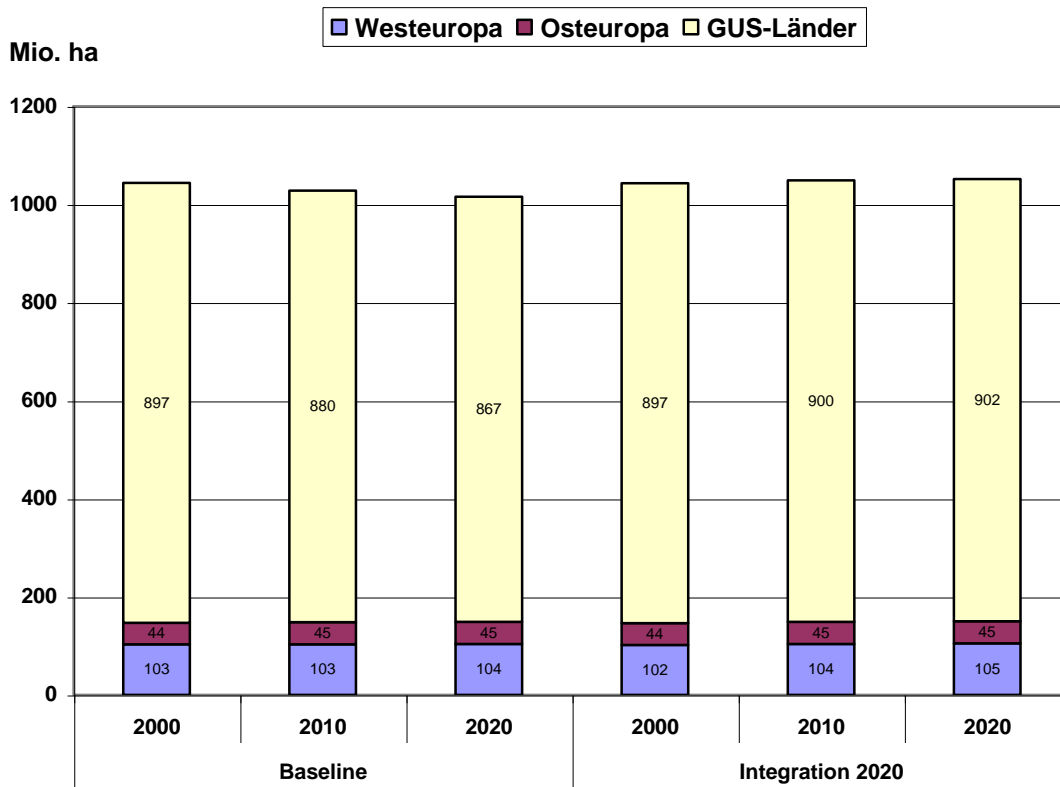
Quelle: UN 2005

Die Projektionen bis 2020 zeigen für das Baseline Szenario einen Anstieg von Produktion und Verbrauch in der Größenordnung von 75 % gegenüber 2000. Im Conservation Szenario wäre der Zuwachs nur etwa halb so groß, im Integration Szenario um die Hälfte höher.

Die Nadel-Sägeholzproduktion in Westeuropa und der korrespondierende Verbrauch halten sich 2020 in etwa die Waage. Westeuropa bleibt die dominierende Unterregion in Europa. Der Zuwachs im Integration Szenario liegt zwar bei rund 30 % im Vergleich zu den Daten für das Referenzjahr 2000, die durchschnittliche jährliche Zuwachsrate ist angesichts des 20 Jahre-Zeitraums jedoch mit etwa 1,3 % sehr moderat. Die Nadel-Sägeholzproduktionen in Osteuropa und den GUS-Ländern liegen im Jahr 2000 noch etwa gleichauf, im Jahr 2020 wird sie in Osteuropa um 68 % gewachsen sein, in den GUS-Ländern wird sie sich mehr als vervierfachen. Die GUS-Länder steigen im Integration Szenario zu einem bedeutenden Nadel-Sägeholzproduzenten auf, der Verbrauch liegt aufgrund einer starken Exportorientierung im Jahre 2020 jedoch deutlich darunter. Auch in Osteuropa liegt die Produktion im Jahr 2020 um die Hälfte höher als der Verbrauch.

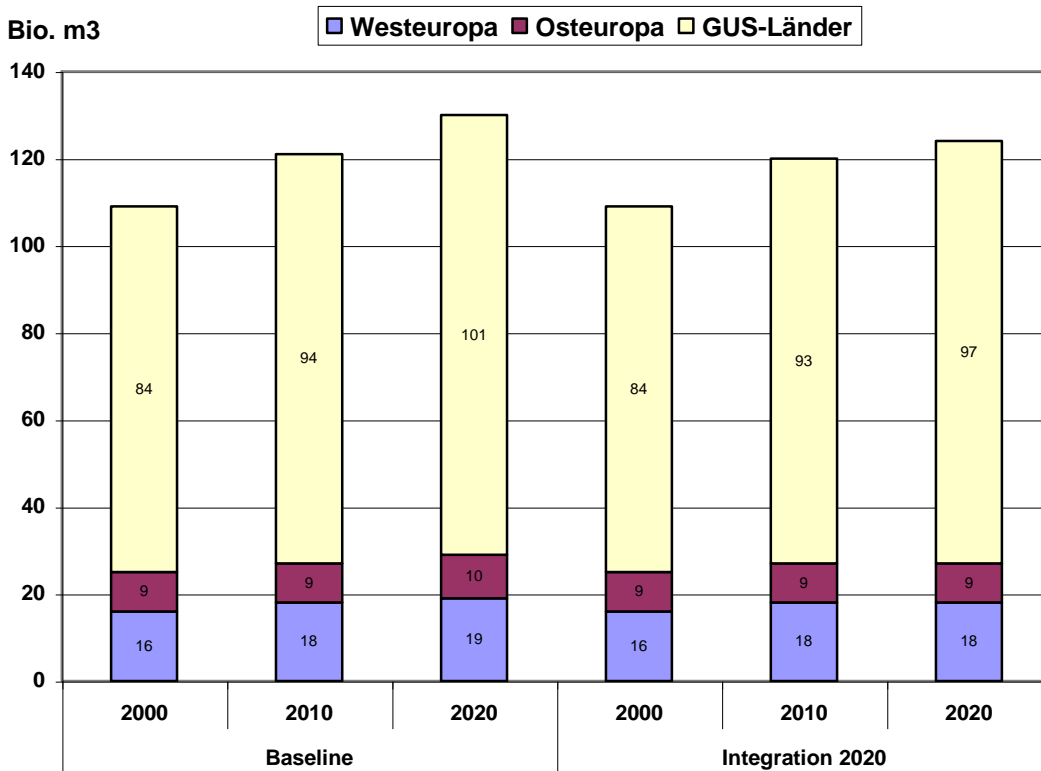
Ein ähnliches Verhalten zeigt sich auch bei anderen Segmenten forstwirtschaftlicher Produkte. Vor allem im Baseline und im Integration Szenario wird es in Europa bis 2020 einen deutlichen Anstieg der Rundholzproduktion geben. Doch wie würden sich diese Änderungen auf die Entwicklung der Waldressourcen in Europa auswirken? Folgende Abbildungen zeigen die Modellierungsergebnisse zunächst für die zur Holzversorgung verfügbare Waldfläche und dann für die lebende Biomasse auf eben diesen Flächen.

Abbildung 2-3: Projektionen der verfügbaren Waldfläche für Holzversorgung in Europa 2020



Quelle: UN 2005

Abbildung 2-4: Projektionen der lebenden Biomasse auf der verfügbaren Waldfläche für Holzversorgung in Europa 2020



Quelle: UN 2005

Im Baseline Szenario, in dem heutige Trends fortgeschrieben werden, wird die für die Holzversorgung verfügbare Fläche bis 2020 um 28 Mio. Hektar sinken. Diese deutliche Abnahme ist vor allem auf den erwarteten Einschlag in den GUS-Ländern zurückzuführen, der von der wachsenden Fläche in West- und Osteuropa nur minimal kompensiert werden kann. Im Integration Szenario dagegen ist in allen Unterregionen Europas mit einem leichten Ansteigen der Waldfläche für die Holzversorgung zu rechnen.

Trotz des Rückgangs der für die Holzversorgung verfügbaren Fläche im Baseline Szenario steigt die korrespondierende Größe für die lebende Biomasse auf diesen Flächen, gerade auch in den GUS-Ländern bis 2020 deutlich an. Insgesamt wird ein Anstieg von 109 Bio. m³ auf 129 Bio. m³ prognostiziert. Im Integration Szenario zeigt sich ein ähnliches Verhalten, das Wachstum liegt jedoch etwas unter dem Niveau des Baseline Szenarios.

Grund für die Diskrepanz der beiden Größen ist die prognostizierte Zunahme der Flächenproduktivität.

2.1.3.3 Der Wald in Deutschland – Ressourcen und Bestandsprognosen bis 2042

Die Bundeswaldinventur II hat erstmals für Gesamtdeutschland eine Bestandsaufnahme der Flächen, Vorräte und des Holzaufkommens vorgenommen (BMVEL 2004). Es wächst mehr Holz in Deutschland nach, als geerntet wird. Vom Holzzuwachs in Höhe von rund 95 Mio. m³ jährlich werden nach der zweiten Bundeswaldinventur durchschnittlich 70 % genutzt (BMVEL 2004). Demzufolge könnte ein Drittel mehr Holz geerntet werden, ohne die Regenerationsfähigkeit des Waldes nachhaltig zu beeinträchtigen. Darüber hinaus hat sie viel beachtete Prognosen bis 2042 vorgenommen:

Tabelle 2-7: Prognostizierte zugehörige Fläche des Auswertungsgebietes [ha] nach Baumartengruppe und Prognosejahr bis 2042 in Deutschland

Baumarten- gruppe▼	2002	2007	2012	2017	2022	2027	2032	2037	2042
Eiche	992.940	999.182	1.001.954	1.004.447	1.008.221	1.010.923	1.014.083	1.016.388	1.018.484
Buche	1.544.815	1.547.951	1.548.259	1.548.546	1.548.836	1.548.590	1.549.662	1.550.845	1.551.897
andere Lb hoher Lebensdauer	608.260	600.358	596.370	592.699	587.736	586.003	584.071	582.711	581.612
andere Lb niedriger Lebensdauer	981.185	986.720	993.989	999.081	1.000.903	1.003.427	1.004.510	1.005.634	1.005.737
alle Laubbäume	4.127.200	4.134.210	4.140.572	4.144.773	4.145.697	4.148.944	4.152.325	4.155.578	4.157.730
Fichte	2.952.192	2.949.370	2.949.758	2.950.556	2.952.024	2.951.215	2.950.592	2.948.431	2.947.397
Tanne	162.759	164.671	165.505	165.415	165.195	164.815	163.996	163.413	163.546
Douglasie	179.500	179.767	179.581	179.367	179.117	178.821	178.599	177.881	177.140
Kiefer	2.431.925	2.426.352	2.419.751	2.415.909	2.414.480	2.413.475	2.412.796	2.413.354	2.412.855
Lärche	295.896	295.101	294.305	293.453	292.959	292.203	291.163	290.816	290.803
alle Nadelbäume	6.022.272	6.015.262	6.008.899	6.004.699	6.003.775	6.000.528	5.997.146	5.993.894	5.991.741
Lücke	162.251	162.251	162.251	162.251	162.251	162.251	162.251	162.251	162.251
Blöße	64.295	64.295	64.295	64.295	64.295	64.295	64.295	64.295	64.295
alle Baumarten	10.376.018	10.376.018	10.376.018	10.376.018	10.376.018	10.376.018	10.376.018	10.376.018	10.376.018

Quelle: BMVEL 2004

Insgesamt ist die Baumartenzusammensetzung auf der Waldfläche trotz des Waldumbaus (Kapitel 2.4.3.2) eine träge Größe. Bis 2042 soll die Waldfläche ebenso wie Lücken und Blößen nach dieser Prognose konstant bleiben, der Laubbaumanteil aber auf Kosten der Nadelbäume leicht zunehmen.

Tabelle 2-8: Potenzielles Rohholzaufkommen (Erntefestmaß o.R.) [1000 m³/a] nach Eigentumsart und Prognoseperiode bis 2042 in Deutschland

Eigentumsart▼	2003-2007	2008-2012	2013-2017	2018-2022	2023-2027	2028-2032	2033-2037	2038-2042
Staatswald (Bund)	1.523	1.672	1.698	1.761	1.941	1.944	1.901	2.017
Staatswald (Land)	17.996	20.397	20.823	21.202	21.865	23.681	22.226	22.960
Körperschaftswald	14.005	15.006	14.547	15.684	15.432	15.433	16.136	16.544
Privatwald	34.930	38.959	36.296	37.921	37.449	37.544	38.724	37.152
Treuhandwald	2.407	2.413	2.471	2.137	2.257	2.106	2.083	2.348
alle Eigentumsarten	70.862	78.447	75.835	78.705	78.944	80.708	81.070	81.021

Quelle: BMVEL 2004

Der durchschnittliche flächenbezogene Vorrat soll bis 2042 von 6,8 auf 7,8 m³/ha*a steigen. Allerdings handelt es sich dabei um theoretische Potenzialwerte. Durch Nutzungseinschränkungen, schwer zugänglichen Lagen, Waldbesitzstrukturen sowie soziale, technische und wirtschaftliche Mobilisierungshemmnisse wird das potenzielle Rohholzaufkommen deutlich verringert (Behrendt et al. 2006 – IZT):

- Rund vier Prozent der Holzvorräte unterliegen derzeit Nutzungseinschränkungen (z.B. militärisch genutzte Flächen, Autobahnränder, Alleen, Naturschutz) und können deshalb nicht voll genutzt werden. Aufgrund der von der EU geforderten Ausweisung von Flora-Fauna-Habitat Schutzgebieten (FFH) sind weitere Nutzungseinschränkungen für Waldflächen in Deutschland zu erwarten.
- Das potenzielle Holzaufkommen im Landes- und Körperschaftswald und von großen Privatwaldbesitzern wird weitgehend ausgeschöpft. In einzelnen Regionen werden die Zuwächse voll geerntet, teilweise sogar über die Nachhaltigkeitsgrenze hinaus, in anderen Regionen fallen die Mobilisierungsgrade niedriger aus. Bei bundeseigenen Wäldern ist der Mobilisierungsgrad relativ gering, entscheidend sind hier aber die bestehenden Nutzungseinschränkungen (z.B. militärische Flächen, Naturschutz).
- Rund 47 % des gesamten Holzvorrates befinden sich im Privatbesitz, darunter 28 % im Kleinprivatwald bis 20 ha Betriebsgröße. Die Zahl der Privatwaldbesitzer liegt in Deutschland bei rund 2 Millionen. Die große Zersplitterung des Waldbesitzes erschwert eine fachgerechte Waldbewirtschaftung und eine kontinuierliche Nutzung der Holzzuwächse. Hinzu kommt fehlendes Interesse der Waldbesitzer an einer wirtschaftlichen Nutzung, unter anderem bedingt durch den sozio-demografischen Wandel (Alterung der Waldbesitzer, Zunahme urbaner Waldeigentümer).
- Ein beträchtlicher Anteil (18 %) des Holzvorrates ist bereits erntereif, wird aber nicht genutzt. Durch einen jährlich anfallenden Nettozuwachs und die damit verbundene Vorratsanreicherung kommt es vor allem in den südlichen Bundesländern zu einer zunehmenden Produktion von Starkholz mit einem Brusthöhendurchmesser von über 50 cm (Polley 2005). Diese Entwicklung ist kritisch, da Starkholz aufgrund der schwer einschätzbaren Holzeigenschaften (bisher) nur als Nischenprodukt auf dem Markt etabliert ist.
- Durch den Waldumbau soll der Anteil der (langsamer wachsenden) Laubbäume gegenüber dem Anteil an (schneller wachsenden) Nadelbäumen erhöht werden (vgl. Kapitel 2.4.3.2). Langzeitziel der Bundesländer ist es, den Anteil an Laubbäumen auf 60 % zu steigern. Durch die angestrebte Veränderung der Baumartenzusammensetzung wird sich langfristig das nationale Holzaufkommen ändern. Es ist offen, ob die Holzindustrie entsprechend ihrem Anpassungsvermögen sich nach dem jeweiligen

Holzangebot richten wird. Engpässe in der Versorgung mit Nadelholz und überalternde Laubholzbestände sind nicht auszuschließen und könnten zu einer unbefriedigenden Bereitstellung führen. Heute schon stellt der älter werdende Buchenbestand die Forstwirtschaft und Sägeindustrie vor Vermarktungsprobleme rotkernigen Holzes. Andererseits bietet eine zunehmende Diversifizierung des verfügbaren Angebots auch Chancen für die Weiterentwicklung des Forst- und Holzsektors.

Die aus der Bundeswaldinventur abgeleiteten Möglichkeiten zur Erschließung zusätzlicher, theoretischer Nutzungsreserven müssen angesichts dieser vielschichtigen Mobilisierungshemmnisse deutlich relativiert werden.

2.1.3.4 Nachfrageseitige Trends und strategische Implikationen

Zum Abschluss dieses Kapitels sollen über die forstlichen Ressourcen hinaus mögliche nachfrageseitige Rückwirkungen auf die Waldressourcen skizziert werden. Auch die Waldoption im Klimaschutz muss diese Bedingungen aufgreifen und ggf. nutzen. Verschränkungen mit den anderen Zukunftsfeldern, insbesondere „Globalisierung und internationale Märkte“ und „Perspektiven energetischer Nutzung von Holz“, werden hier deutlich.

Im Globalisierungsszenario (Erdmann 2007 - IZT) sind bis zum Jahr 2020 alle Staaten mit großen Holzressourcen bzw. großer Holznachfrage Mitglied in der Welthandelsorganisation WTO. Wie fast alle volkswirtschaftlichen Branchen wird auch die noch vor wenigen Jahrzehnten vorwiegend binnenmarktorientierte Holzwirtschaft von der Globalisierung erfasst. Kennzeichnend sind insbesondere die stark steigende Nachfrage nach Rohholz und Holzprodukten sowie wachsende Außenhandelsvolumina. Folgende generelle *Entwicklungstendenzen bei Angebot und Nachfrage* sind festzuhalten:

- Die globale Holznachfrage steigt insgesamt. Wie auch andere Rohstoffe wird Holz in einer wachsenden Weltwirtschaft zunehmend nachgefragt. Neben allgemeinen Tendenzen zur Handelsliberalisierung sind es insbesondere aufstrebende einzelne Massenmärkte, die angesichts ihres schieren Umfangs globale Bedeutung erlangen. Dazu gehören die großen Importeure China und Indien, perspektivisch auch weitere Staaten Südostasiens.
- Auf der Angebotsseite treten neue Giganten im Weltmarkt auf. Die riesigen Nadelwälder der GUS-Staaten, insbesondere Russlands, werden zunehmend ökonomisch erschlossen. Aber auch Länder der tropischen Breiten wie Brasilien und Indonesien bringen nach Abholzung der Primärwälder perspektivisch immer mehr Holz aus Sekundärwäldern bzw. Plantagenwäldern auf den Weltmarkt.
- Wie sich Angebots- und Nachfrageausweitung insgesamt auf das Preisgefüge verschiedener Holzsegmente auswirken werden ist ungewiss. Fakt ist jedoch, dass Westeuropa und Nordamerika bis 2020 nicht mehr die alleine dominierenden Wirtschaftsblöcke für die Weltmärkte bleiben werden.
- Der Transport von Holz ist vergleichsweise kostenintensiv. Energieholz, Rest- und Abfallstoffe werden deshalb vorwiegend regional gehandelt. Während der Rohholzhandel derzeit insgesamt stagniert, wächst der Außenhandel mit Halb- und insbesondere Fertigwaren stark (Thoro, Dieter 2005).
- Die Erschöpfung der Waldressourcen Südostasiens könnte mittelfristig zu einem regelrechten Nachfrageschub nach Holz aus Europa und Russland, z.B. in Ländern mit einer traditionellen Holzbaukultur wie Japan und China, führen.

Welche Auswirkungen werden diese Verschiebungen auf die *Holzwirtschaft* in Deutschland haben? Die Intensivierung der Wettbewerbsintensität verlangt von der Deutschen Holzwirtschaft eine stärkere Kundenorientierung und eine Verbesserung der Wirtschaftlichkeit (Erdmann 2007 - IZT):

- Die Märkte differenzieren sich zunehmend in ein globales Massensegment mit sehr hartem Preiswettbewerb und ein binnenmarkt-orientiertes Segment, das nachfrageseitig auf sehr spezifische Bedürfnisse eingeht. Dazu gehören beispielsweise das Lifestyle on

Health and Sustainability (LOHAS) Milieu, energiesparendes Bauen und die Ermöglichung altengerechter Wohnens. Holz konkurriert hier mit anderen Werkstoffen - auch im Verbund - um optimale Systemlösungen (vgl. Henseling et al. 2006 - IZT).

- Die Holzwirtschaft versucht zunehmend Skaleneffekte zu nutzen. Dies macht sich in Deutschland u.a. in horizontalen Kooperationen und an Investitionen in größere holzverarbeitende Betriebe wie z.B. Sägewerke fest, die ihren Rohholznachschub zunehmend selbst organisieren. Zum einen treten sie in Deutschland und im angrenzenden Osteuropa als Dendromasse aktivierender Akteur auf (vgl. Behrendt, Rupp 2006 - IZT), zum anderen decken sie ihre Nachfrage auf den internationalen Rohholzmärkten.
- Die holzverarbeitende Industrie wandert zunehmend hin zur Rohstoffbasis, dort wo die großen Potenziale zu erschließen sind. Deutsche Sägewerke konkurrieren u.a. mit finnischen Unternehmen um Standorte in Russland. Die Produkte und Halbprodukte werden teils nach Westeuropa importiert und teils direkt auf den großen Nachfragemärkten wie z.B. China abgesetzt.
- In der Holzwirtschaft gewinnt Mass Customisation an Bedeutung. Integrierte Standardisierung und Individualisierung sowohl bei den Produkten als auch bei den Produktionsverfahren erfordert Innovationen und macht die Holzwirtschaft somit zu einer wissensintensiven Branche. Hierbei gilt es auch den weltweit verschiedenen ästhetischen Anforderungen gerecht zu werden.
- Die Unternehmen der Holzwirtschaft konzentrieren sich zunehmend auf ihr Kerngeschäft, was durch Outsourcing und Senkung der Fertigungstiefe erfolgt. Dadurch steigt wiederum der firmenübergreifende vertikale Kooperationsbedarf.

Aufgrund des Nachfragesogs zeichnen sich in Deutschland seit einigen Jahren regionale Engpässe zur Deckung der Holznachfrage ab (Schulte 2006). Mittelfristig ist in einer sich ausdifferenzierenden Weltwirtschaft bei begrenztem Transportkostenanteil an den Gesamtkosten eine Ausweitung des internationalen Holzhandels zu erwarten. Hierfür sind rechtzeitig die infrastrukturellen Voraussetzungen, wie z.B. Umschlagsplätze für Holz an Nord- und Ostseehäfen, zu schaffen. Aus volkswirtschaftlicher Sicht ist aber insbesondere auch eine Ausweitung des heimischen Holzangebotes geboten. Zwei Hauptstrategien versprechen nennenswerte Beiträge zur Ausweitung des heimischen Holzangebotes: Die Intensivierung und die Extensivierung (vgl. Knoll, Rupp 2007 – IZT sowie Behrendt, Rupp 2006 - IZT). Die wachsende Nachfrage nach Dendromasse für die energetische Nutzung verursacht erhebliche Anstrengungen zur zusätzlichen Mobilisierung von Dendromasse aus bestehenden Quellen. Vergleichende Potenzialabschätzungen (Aretz, Hirschl 2007) weisen hier dem *Wald* mit den Fraktionen Schwachholz und Waldrestholz aus der Rohholzbereitstellung noch weit vor dem ebenfalls in die Diskussion gebrachten Landschaftspflegeholz die Schlüsselrolle zu. Auch das Rohholz selbst ist eine quantitativ relevante Dendromassequelle. Darüber hinaus birgt Anbau von Feldholz auf *landwirtschaftlichen Stilllegungsflächen* erhebliche zusätzliche Potenziale zur Befriedigung der Nachfrage nach Energieholz. Schulte (2006) rechnet oberhalb eines Rohölpreises von 50 US-\$ pro Barrel weltweit mit einer Umwidmung von Wald- und Agrarflächen zugunsten der Bioenergie. Wird Feldholz auf diesen Flächen angebaut, so auf Kurzumtriebsplantagen mit Umtriebszeiten von typischerweise 3-7 Jahren.

2.2 Projektionen zum Klimawandel

2.2.1 Quellenlage

Zum Klimawandel gibt es eine nahezu unüberschaubare wissenschaftliche und politische Literatur von Forschungseinrichtungen, staatlichen Institutionen, aber auch von privatwirtschaftlichen Unternehmen wie der Münchner Rück, NGOs wie z.B. Greenpeace oder auch gemeinschaftlicher Initiativen wie dem Carbon Disclosure Project. Die zahlreichen Studien zum Klimawandel unterscheiden sich insbesondere hinsichtlich der Gewichtung der natürlichen und anthropogenen Klimaeffekte, ihres Charakters als Metastudie oder Monografie und des

Ausmaßes der Klimafolgen, die von apokalyptischen Bildern bis hin zu beschwichtigenden Haltungen reichen. Aus pragmatischen Gründen sollen nur diejenigen Studien mit hoher Legitimität und politischer Relevanz ausgewertet werden.

Mit dem Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) verfügt die Staatengemeinschaft über eine gemeinsame Einrichtung zur wissenschaftlichen und politischen Bewertung des globalen Klimawandels. Die wissenschaftliche Qualität, die Transparenz und die hohe Legitimität der IPCC-Berichte, insbesondere des Fourth Assessment Reports (IPCC 2007), sind der Grund dafür, dass sich nahezu jede Aussage zur Zukunft des Klimas auf diese Berichte bezieht. Auch der von der britischen Regierung in Auftrag gegebene, sogenannte Stern-Report (2006) mit seinem Fokus auf die ökonomischen Implikationen des Klimawandels stieß in Wissenschaft und Politik global auf großes Echo.

Studien zur Zukunft des Klimas werden vor allem an großen öffentlich geförderten Forschungsinstituten, häufig auch im Auftrag öffentlicher Einrichtungen wie dem Umweltbundesamt, erstellt. In Deutschland verfügen insbesondere das Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung und das Max-Planck-Institut für Meteorologie über aufwändige Klimamodelle, anhand denen auch regionale Klimaprognosen und –szenarien für Teilgebiete Deutschlands simuliert werden.

Folgende Quellen scheinen für die Auswertung im Hinblick auf das Projekt „Waldvisionen 2100“, auch in räumlicher und zeitlicher Hinsicht, angemessen und hinreichend:

Tabelle 2-9: Synopse ausgewählter Quellen zum Klimawandel

Quelle	Bericht	Regionaler Schwerpunkt	Zeitlicher Horizont	Inhaltliche Schwerpunkte
IPCC	Forth Assessment Report (2007)	global	2080-2100 für das Klimasystem 2030 für die ökonomische Verfügbarkeit von Technologien	Physikalische Mechanismen Regionale Vulnerabilität und Adaptation Mitigation
Stern	Stern Review on the Economics of Climate Change (2006)	global	2020 und unbestimmt darüber hinaus	Ökonomische Folgen und Implikationen
MPI (Hrsg.: UBA)	Neuentwicklung von regional hoch aufgelösten Wetterlagen für Deutschland und Bereitstellung regionaler Klimaszenarios (2007a)	Deutschland nach Regionen aufgelöst	unbestimmt	Klima- und Wetterparameter für einzelne Regionen in Deutschland
PIK	Studie zur klimatischen Entwicklung im Land Brandenburg bis 2055 (2003)	Brandenburg	2055	Vulnerabilität

Quelle: eigene Zusammenstellung IZT

2.2.2 Robustheit

Die Robustheit der Aussagen zum Klimawandel kann anhand von drei Perspektiven eingeschätzt werden: die Selbsteinschätzung der Unsicherheiten in der wissenschaftlichen Literatur, einschließlich Wissenslücken, den Umgang mit Zukunftsunsicherheiten und auch Unsicherheiten, die auf divergierende Interessenlagen zurückgeführt werden können.

Die Unsicherheiten des Klimawandels werden in den Teilberichten des *Forth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* einer Selbsteinschätzung unterzogen, aber verschieden repräsentiert:

- Wahrscheinlichkeit („Likelihood“) in *Climate change 2007. The physical science basis* (IPCC 2007a),
- Wahrscheinlichkeit („Likelihood“) und Vertrauen („Confidence“) in *Climate change 2007. Impacts, adaptation, vulnerability* (IPCC 2007b),
- Übereinstimmungsniveau („level of agreement“) und Menge der Beweise („amount of evidence“) in *Climate change 2007. Mitigation* (IPCC 2007c).

Da sich die Aussagen in den drei Teilberichten teilweise überschneiden, wird - wann immer möglich - auf das Konzept der Working Group III *Mitigation* (IPCC 2007c) zurückgegriffen. Das „level of agreement“ bezieht sich auf den Konsens in der wissenschaftlichen Literatur, wohingegen „amount of evidence“ die Anzahl und Qualität unabhängiger Quellen zum Ausdruck bringen soll. Darüber hinaus werden explizit Wissenslücken angeführt.

Die inhärente Zukunftsunsicherheit wird mit Hilfe von Szenarien beschrieben. Die vier Haupttypen aus dem IPCC *Special Report on Emission Scenarios* (SRES) haben folgende Eckpunkte:

Tabelle 2-10: Eckpunkte der IPCC Emission Scenarios (Auswahl)

A1	A2	B1	B2
Sehr schnelles Weltwirtschaftswachstum Bevölkerungsmaximum Mitte des 21. Jahrhunderts Schnelle Einführung neuer und effizienterer Technologien (A1F1: fossil; A1T: regenerativ; A1B: Balance) Regionale Konvergenz	Sehr heterogene Welt Kontinuierlich steigende Bevölkerung Ökonomische Entwicklung regionalbezogen Wirtschaftswachstum pro Kopf und technologischer Wandel fragmentiert und langsamer	Konvergente Welt Bevölkerungsmaximum Mitte des 21. Jahrhunderts Strukturwandel zur Dienstleistungs- und Informationsökonomie Einführung sauberer und effizienter Technologien	Lokale Nachhaltigkeitslösungen Kontinuierlich steigende Bevölkerung, aber < A2 Mittleres ökonomisches Entwicklungsniveau Langsamere und diversere technologischer Wandel als A1 und B1

Quelle: IPCC 2007c

Diese Szenarien tragen der tatsächlichen Umsetzung der United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC) oder den Emissionszielen des Kyoto-Protokolls keine Rechnung. In den hier untersuchten Modellierungen (IPCC 2007, Stern 2006, UBA 2007a) wird auf diese Szenarien Bezug genommen. Die großräumigen Modelle von IPCC sind quantitativer Art. Die Unsicherheiten finden ihren Niederschlag in Bandbreiten für einzelne Werte. Der Stern-Report (2006) hat erstmalig für verschiedene Modelltypen auch Schadereignisse mit sehr geringer Eintrittswahrscheinlichkeit, aber immensem Schadensausmaß - entsprechend gewichtet - berücksichtigt. Insbesondere deshalb erscheinen die ökonomischen Implikationen des Klimawandels in einem viel dramatischerem Lichte, als bisher angenommen. Die regionalen Modelle (IPCC 2007 und UBA 2007a) tragen den größeren Unsicherheiten als im großräumigen Maßstab Rechnung, indem sie lediglich qualitative und halbquantitative Aussagen treffen.

Die dritte Art von Unsicherheiten sind normativer Natur und in der Regel auf divergierende Interessenlagen zurückführbar. Zwar durchdringt dieser Typus auch die beiden anderen Arten von Unsicherheiten, geht aber noch weit darüber hinaus (z.B. Agenda-Setting). Sie werden in den Berichten selbst nicht, oder nur am Rande thematisiert. „Zwischen den Zeilen“ und im klimapolitischen Diskurs treten sie jedoch zu Tage. Angesichts der Verfasstheit eines Großteils der wichtigen Klimastudien als Arbeiten von größeren Forschungseinrichtungen im Auftrag von Regierungen lassen sich folgende grundlegende Divergenzen festmachen:

- Zwischenstaatliche Interessenkonflikte

- Divergierende Auffassungen über die Rolle des Staates, insbesondere gegenüber der Privatwirtschaft und der Zivilgesellschaft
- Forschungseinrichtungen zwischen Seriosität und den Erfordernissen der Aufmerksamkeitsökonomie

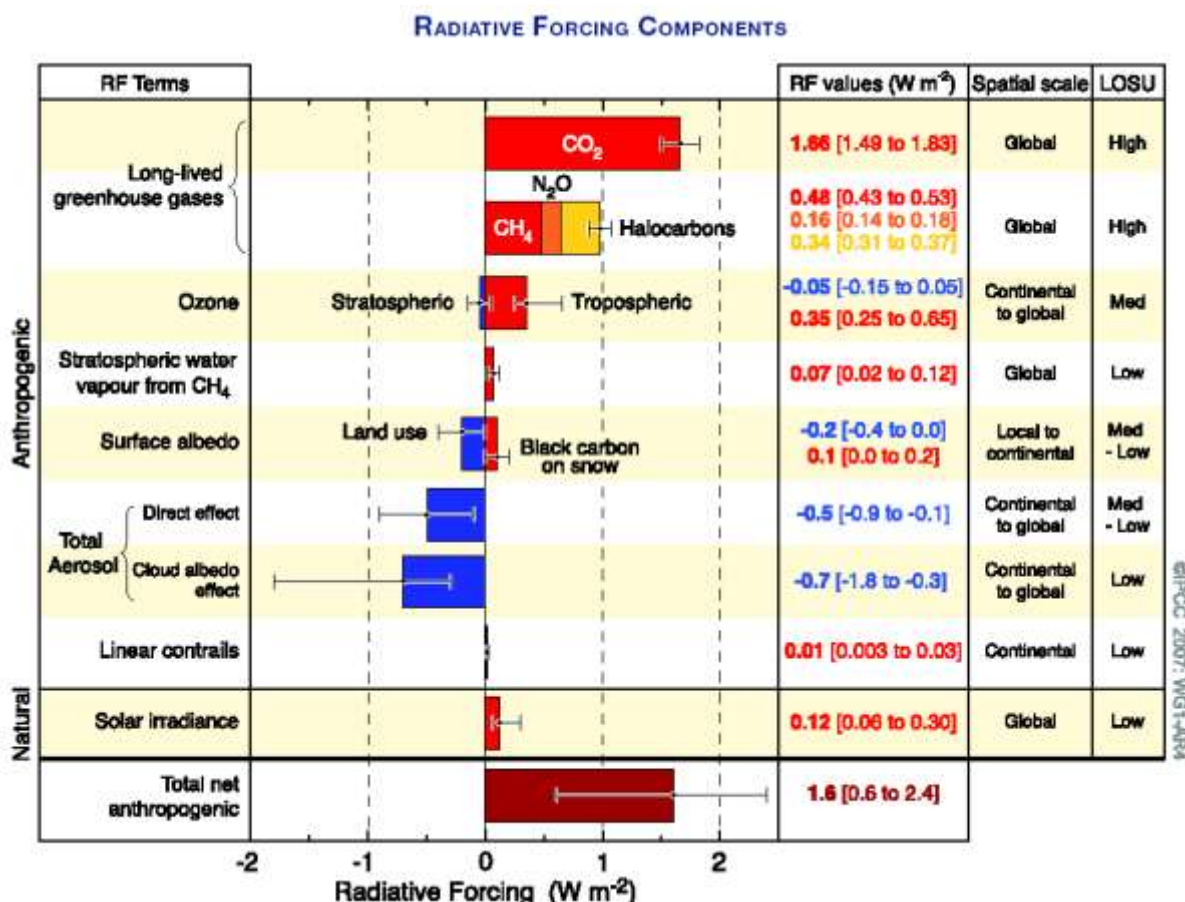
Tendenziell scheinen die Gegner der Hypothese des anthropogen (mit-)verursachten Klimawandels in der Wissenschaft langsam weniger zu werden. Je nach Interessenlage sind sie jedoch bei wichtigen, insbesondere wirtschaftlichen Fragen als Interessenvertreter sehr präsent. Auch in den Massenmedien treten die wenigen Wissenschaftler, die den anthropogenen Klimawandel verneinen, nach wie vor häufig in Erscheinung, um kontroversere Diskussionen zu haben.

2.2.3 Kernaussagen

2.2.3.1 Treibhausgasemissionen und Klimamodelle bis 2100

Seit dem *Forth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* bestehen nur noch minimale wissenschaftliche Zweifel über Art und Ausmaß des anthropogenen Beitrags zum Treibhauseffekt. Der Treibhauseffekt verändert die Strahlungsbilanz der Erde. Folgende Grafik zeigt die Beiträge verschiedener Komponenten zur Strahlungsbilanz der Erde, wobei der Löwenanteil der anthropogenen Eingriffe deutlich wird:

Abbildung 2-5: Treibende Kräfte für die globale Strahlungsbilanz 2005



Anmerkung: LOSU = Level of Scientific Understanding (Niveau des wissenschaftlichen Verstehens)

Quelle: IPCC 2007a

„Die Treibhausgasemissionen sind seit vorindustrieller Zeit angewachsen, mit einem Anstieg von 70 % zwischen 1970 und 2004. Das größte Wachstum an Treibhausgasemissionen zwischen 1970 und 2004 ist aus dem Energieversorgungssektor gekommen (+ 145 %). Das Wachstum der direkten Emissionen in dieser Periode vom Transport betrug 120 %, Industrie 65 % und LULUCF³ 40 %.“ (hohe Übereinstimmung, viele Beweise)

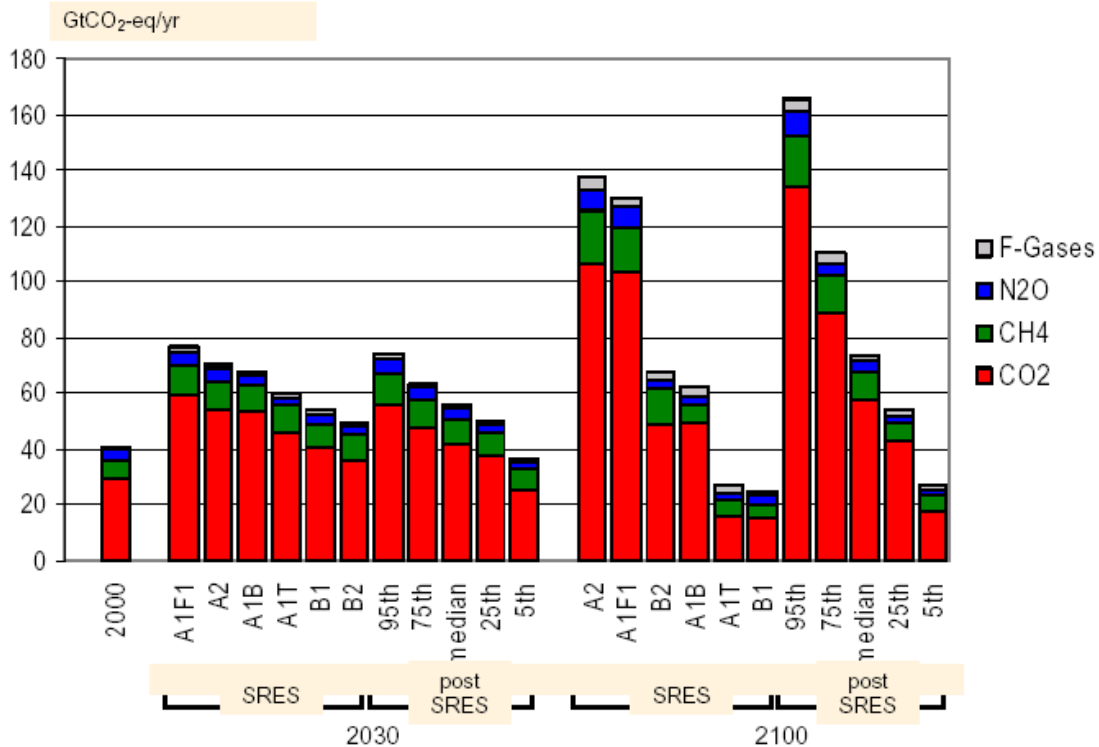
„Mit der jetzigen Klimawandelminderungspolitik und damit verbundener Nachhaltigkeitspraxis werden die globalen Treibhausgasemissionen in den nächsten paar Dekaden weiter ansteigen.“ (hohe Übereinstimmung, viele Beweise)

In den nächsten beiden Jahrzehnten wird die globale mittlere Erdtemperatur pro Dekade – unabhängig von den SRES-Zukunftsszenarien - um weitere 0,2°C ansteigen. Dieser Wert ist mindestens doppelt so groß wie die im 20. Jahrhundert vorherrschende natürliche Variabilität. Selbst wenn die Treibhausgasemissionen umgehend stabilisiert werden könnten, würde die anthropogene Erderwärmung wegen der zeitlichen Wirkungsverzögerungen für Jahrhunderte weiter ansteigen (IPCC 2007a). Zwar ist es nicht mehr möglich, den Klimawandel in den nächsten 20 oder 30 Jahren zu verhindern, aber es ist möglich die Gesellschaften und Ökonomien bis zu einem gewissen Grade vor den Auswirkungen zu schützen (Stern 2006). Im jüngsten IPCC-Bericht heißt es, dass bis 2020 die Weichen für eine drastische Reduzierung der Treibhausgasemissionen gestellt sein müssen, damit die globale mittlere Temperatur der Erdatmosphäre nicht über 2°C im Vergleich zum Temperaturniveau 1980-1999 steigt (IPCC 2007b).

³ LULUCF: Land use, land use change, and forestry. Dazu zählen auch Emissionen aus Waldbränden sowie organischer Zersetzung nach dem Holzeinschlag oder Entwaldung (CO₂, CH₄, N₂O).

Folgende Abbildung zeigt die globalen Treibhausgasemissionen für 2000 und die projizierten baseline Emissionen in den Jahren 2030 und 2100 für die verschiedenen SRES- sowie Post-SRES Zukunftsszenarios:

Abbildung 2-6: Globale Treibhausgasemissionen für 2000 und projizierte baseline Emissionen für 2030 und 2100 aus IPCC SRES und post-SRES Literatur



Anmerkung: Die Grafik zeigt die Emissionen von sechs illustrativen SRES Szenarios sowie die Häufigkeitsverteilung der Emissionen in den post-SRES Szenarios (5th, 25th, median, 75th, 95th Perzentile), Fluorierte Gase umfassen HFCs, PFCs und SF₆

Quelle: IPCC 2007c

Die höchsten Treibhausgasemissionen treten sowohl 2030, als auch weiter stark steigend 2100 in den SRES – Szenarien A1F1 und A2 auf. Im Vergleich zum Basisjahr 2000 weisen alle Zukunftsszenarios einen Anstieg der Treibhausgasemissionen auf, die Ausnahmen sind die Szenarien A1T und B1 für 2100. Beide Szenarios sind durch schnellen technologischen Wandel charakterisiert, zum einen regenerative Energien und zum anderen sowohl saubere und effiziente Technologien, als auch ein Wandel zur Dienstleistungs- und Informationsökonomie.

„Seit dem SRES publizierte Baseline-Emissionsszenarios sind in ihrer Bandbreite vergleichbar mit denen aus dem IPCC Special Report on Emission Scenarios (SRES) (25-135 Gt CO₂-Äq./a in 2100).“ (*hohe Übereinstimmung, viele Beweise*)

Die Klimasensitivität ist jedoch eine Hauptunsicherheit für Emissionsminderungsszenarios, die ein bestimmtes Temperaturniveau treffen sollen. Folgende Tabelle zeigt die erforderliche Treibhausgasemissionsdynamik für bestimmte Stabilisierungsniveaus:

Tabelle 2-11: Eigenschaften von Stabilisierungsszenarien

CO ₂ -Konzentration (ppm)	CO ₂ -Äq.-Konzentration (ppm)	Globaler mittlerer Temperaturanstieg über vorindustriellem Gleichgewicht (°C)	Peak-Jahr für CO ₂ -Emissionen	Globale CO ₂ -Emissionsänderung 2050 – 2000 (%)
350-400	445-490	2,0-2,4	2000-2015	-85 bis –50
400-440	490-535	2,4-2,8	2000-2020	-60 bis –30
440-485	535-590	2,8-3,2	2010-2030	-30 bis +5
485-570	590-710	3,2-4,0	2020-2060	+10 bis +60
570-660	710-855	4,0-4,9	2050-2080	+25 bis +85
660-790	855-1130	4,9-6,1	2060-2090	+90 bis +140

Quelle: IPCC 2007c

„Um die atmosphärische Treibhausgaskonzentration zu stabilisieren, müssen die Emissionen einen Höhepunkt durchschreiten und dann abfallen. Je niedriger das Stabilisierungsniveau, desto schneller müssten dieser Peak und die Abnahme erfolgen.“ (*hohe Übereinstimmung, viele Beweise*)

In Kombination mit Abbildung 2.6 wird deutlich, dass in den Szenarien A1F und A2 ein langfristiger Temperaturanstieg auf 4,9-6,1°C wahrscheinlich ist, wohingegen bei den Szenarien A1T und B1 die langfristige Stabilisierung wahrscheinlich bei einem Temperaturanstieg von 2,4-2,8°C über dem vorindustriellen Gleichgewicht liegt.

„Die Bandbreite der bewerteten Stabilisationsniveaus kann mit der Aufstellung eines Technologie-Portfolios adressiert werden, die schon jetzt verfügbar sind oder in den nächsten Dekaden als kommerziell verfügbar erwartet werden.“ (*hohe Übereinstimmung, viele Beweise*)

Die Verbesserung der Energieeffizienz spielt in den meisten Klimaszenarien über alle Regionen und Zeitskalen eine Schlüsselrolle. Für niedrigere Stabilisierungsniveaus muss mehr Wert auf Low Carbon Energiequellen, wie erneuerbare Energien und Nuklearenergie (IPCC 2007c), sowie Carbon Capture and Storage (CCS) gelegt werden. Auch moderner Bioenergie wird eine Schlüsselrolle beigemessen. LULUCF-Minderungsoptionen ermöglichen größere Flexibilität und Kosteneffektivität bei der Stabilisierung (vgl. Kapitel 2.3.3.4 und 2.4.3.4). Je niedriger das Stabilisierungsniveau, desto größer ist auch der Bedarf nach effizienterer Forschungs- und Entwicklungsförderung und nach angemessenen Anreizen zur Begegnung von Einführungs- und Diffusionshindernissen (IPCC 2007c).

„Sowohl top-down als auch bottom-up-Studien zeigen substanzielles ökonomisches Potenzial für die Linderung von Treibhausgasemissionen, die das projizierte Wachstum der globalen Emissionen kompensieren oder die Emissionen unter die jetzigen Niveaus verringern könnten.“ (*hohe Übereinstimmung, viele Beweise*)

„In 2030 werden die makro-ökonomischen Kosten für Multigasemissionsminderung, entsprechend der Emissionstrajektorien zur Stabilisierung zwischen 445 und 710 ppm CO₂-Äq., geschätzt zwischen einer Verringerung des globalen BSPs um 3 % und einem kleinen Wachstum verglichen mit der baseline. Die regionalen Kosten werden sich jedoch wesentlich von globalen Durchschnittswerten unterscheiden.“ (*hohe Übereinstimmung, viele Beweise*)

„In 2050 liegen die globalen durchschnittlichen makro-ökonomischen Kosten für Multigasemissionsminderung, entsprechend der Stabilisierung zwischen 445 und 710 ppm CO₂-Äq., zwischen einem Plus von 1 % und einer Abnahme von 5,5 % des BSPs. Die regionalen Kosten werden sich jedoch wesentlich von globalen Durchschnittswerten unterscheiden.“ (*hohe Übereinstimmung, mittlere Beweislage*)

Nach Auffassung des viel beachteten Stern-Reports (Stern 2006) können die schlimmsten Klimafolgen noch vermieden werden, wenn wir jetzt nachdrücklich handeln. Starkes und frühzeitiges Handeln ist zwar kostenträchtig (rund 1 % des BSP), überwiegt jedoch bei weitem die ökonomischen Kosten des Nicht-Handelns (mindestens 5 % des jährlichen BSPs bis zu mehr als 20 %).

Sektorale Schlüsseltechnologien und –praktiken zur Minderung der CO₂-Emissionen bis 2030 - interpretiert für die Rolle des Forst/Holz-Clusters - finden sich in Kapitel 2.4.3.1. Die Unsicherheiten der Bestimmung von baselines, der Rate des technologischen Wandels, etc. sind hoch. Zudem fehlen Informationen über einzelne Länder, Sektoren und Treibhausgase.

Hauptverursacher des Klimawandels und Hauptbetroffene sind nicht identisch. Zu den Hauptverursachern zählen die ökonomisch potenten Länder der nördlichen Hemisphäre, die USA, Japan und die EU, und zunehmend auch Schwellenländer wie China, Indien, Brasilien, Mexiko und Südafrika. Hauptbetroffene sind vor allem die Bewohner kleiner Inselstaaten, niedrig liegender Küstendeltas und (sub-) tropischer Agrarregionen. In diesen Ländern fehlen häufig auch die Mittel, um sich den inzwischen unabwendbaren Folgen des Klimawandels anzupassen.

Weitere Kernaussagen sind:

„Änderungen in Lebensstil und Verhaltensweise können zur Minderung des Klimawandels über alle Sektoren beitragen. Auch Management Praktiken können eine positive Rolle haben. *(hohe Übereinstimmung, mittlere Beweislage)*

„In allen analysierten Weltregionen können – unabhängig von den verschiedenen Methoden kurzfristige positive Nebeneffekte auf die Gesundheit aus reduzierter Luftverschmutzung wesentlich sein und einen beträchtlichen Anteil der Minderungskosten kompensieren.“ *(hohe Übereinstimmung, viele Beweise)*

Geo-Engineering Optionen, wie z.B. Ozean-Düngung zur direkten Entfernung von CO₂-Emissionen aus der Atmosphäre oder Blockade der Sonnenlichteinstrahlung durch Einbringen von Materie in die obere Atmosphäre, bleiben hoch-spekulativ und unbewiesen, und mit dem Risiko unbekannter Nebenwirkungen. Verlässliche Kostenschätzungen für diese Optionen sind nicht veröffentlicht worden *(mittlere Übereinstimmung, eingeschränkte Beweislage)*

2.2.3.2 Empirische Belege für den globalen Klimawandel und prognostizierte Klimafolgen

Der Klimawandel ist unwiderruflich im Gange, wie es inzwischen aus Beobachtungen im *Forth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* bewiesen ist. Folgende Tabelle charakterisiert die daraus resultierenden langfristigen Wettertrends hinsichtlich ihrer Wahrscheinlichkeit. Die Zunahme der Wetterextreme hat auch Auswirkungen auf die Forstökosysteme. Dies ist Gegenstand von Kapitel 2.3.3.

Tabelle 2-12: Extreme Wetterereignisse und ihre Wahrscheinlichkeiten

Phänomen und Richtung des Trends	Wahrscheinlichkeit für den Trend im 20. Jahrhundert	Wahrscheinlichkeit eines anthropogenen Beitrags	Wahrscheinlichkeit des Trends im 21. Jahrhundert (SRES-Szenarios)
Wärmere und weniger kalte Tage und Nächte über den meisten Landflächen	Sehr wahrscheinlich	Wahrscheinlich	Nahezu sicher
Wärmere und häufigere heiße Tage und Nächte über den meisten Landflächen	Sehr wahrscheinlich	Wahrscheinlich (nachts)	Nahezu sicher
Hitzewellen. Zunahme der Häufigkeit über den meisten Landflächen	Wahrscheinlich	Wahrscheinlicher als nicht	Sehr wahrscheinlich
Schwere Niederschlagsereignisse. Zunahme der Häufigkeit über den Gebieten	Wahrscheinlich	Wahrscheinlicher als nicht	Sehr wahrscheinlich
Von Dürre betroffene Fläche nimmt zu	Wahrscheinlich in vielen Regionen seit 1970	Wahrscheinlicher als nicht	Wahrscheinlich
Intensive tropische Zyklonaktivität nimmt zu	Wahrscheinlich in vielen Regionen seit 1970	Wahrscheinlicher als nicht	Wahrscheinlich
Extrem hoher Meeresspiegel. Zunahme der Häufigkeit	Wahrscheinlich	Wahrscheinlicher als nicht	Wahrscheinlich

Quelle: IPCC 2007a

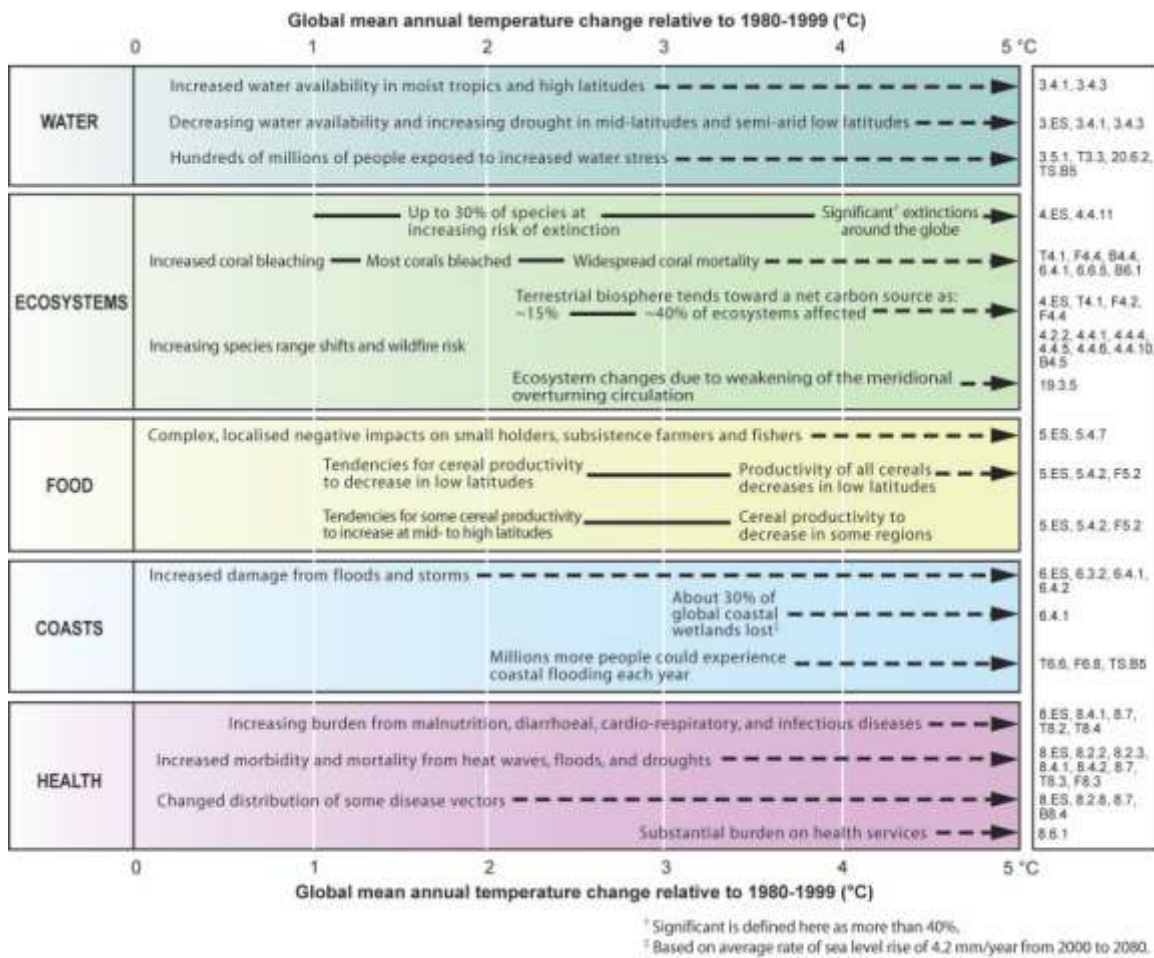
Neben der Zunahme von Wetterextremen sind u.a. folgende Phänomene empirisch belegt:

- Ansteigen des globalen Meeresspiegels durch Abschmelzen von Gletschern, des Grönlandeises, des arktischen und antarktischen Eisschildes, sowie thermische Expansion (*high confidence*) (IPCC 2007a),
- Absinken der saisonal von Frost bedeckten Bodenfläche um 7 % seit 1990 (IPCC 2007a) und auch der Stabilität von Permafrostböden (*high confidence*) (IPCC 2007b), und
- früheres Eintreffen des Frühlings, Ausbreitung von Tier- und Pflanzenarten polwärts und aufwärts (z.B. Malaria-Mücken), längere Wachstumsperioden (*very high confidence*) (IPCC 2007b).

Folgende Grafik zeigt die Auswirkungen verschiedener globaler mittlerer Temperaturanstiege gegenüber der Periode 1980-1999⁴ auf Wasser, Ökosysteme, Nahrung, Küsten und Gesundheit:

⁴ Zwischen vorindustrieller Zeit und dieser Periode 1980-1999 ist die mittlere globale Oberflächentemperatur bereits um 0,7 °C angestiegen. Die ist insbesondere bei der Interpretation von Abbildung 2-7 in Verbindung mit Tabelle 2-11 zu beachten.

Abbildung 2-7: Illustrative Beispiele für die projizierten globalen Wirkungen für den Klimawandel, verbunden mit verschiedenen Anstiegen der globalen mittleren Oberflächentemperatur im 21. Jahrhundert



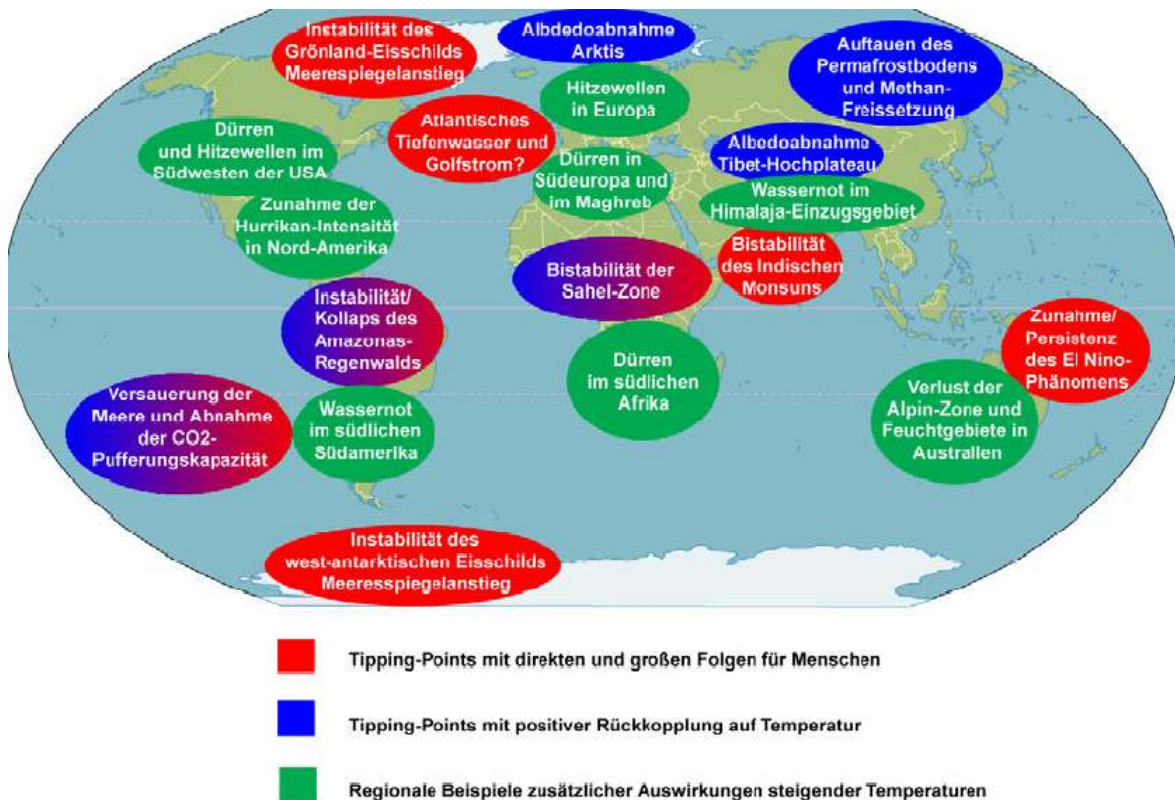
Quelle: IPCC 2007b

Zahlreiche großräumige, langfristige Änderungen des Klimas sind empirisch belegt, und werden sich in den nächsten beiden Jahrzehnten verstärken. Im kleinräumigeren Maßstab ist es wegen der relativ größeren natürlichen Klimavariabilität und dem Einfluss anderer Faktoren schwieriger, externe anthropogene von natürlichen Einflüssen zu unterscheiden.

2.2.3.3 Abrupte Klimaänderungen infolge von „Kipp-Punkten“

Die nicht-linearen Wechselwirkungen im Klimasystem lassen die Existenz von sogenannten „Kipp-Punkten“, oder „Tipping-Points“, vermuten. Folgende Abbildung soll dies illustrieren:

Abbildung 2-8: Weltkarte der „Tipping-Points“ und regionale Auswirkungen des Klimawandels



Von diesen „Kipp-Punkten“ finden im aktuellen *Forth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* nur noch zwei ausführlichere Beachtung (IPCC 2007b).

- Sehr starkes Ansteigen des Meeresspiegels (4-6 Meter) infolge der Entgletscherung Grönlands und des westantarktischen Eisschildes mit Überflutung von Küstenzonen, Inseln und Flussdeltas. Das vollständige Abschmelzen des Grönlandeisschildes und des westantarktischen Eisschildes würde zu einem Meeresspiegelanstieg von 7 Metern bzw. 5 Metern führen. (*medium confidence*)
- Starke Störung der Meridional Overturning Circulation (MOC) (*very unlikely*), aber Verlangsamung der Zirkulation (*very likely*). An anderer Stelle heißt es, dass der direkte Treibhauseffekt den Abkühlungseffekt der Verlangsamung der MOC z.B. im Bereich des Golfstroms in Westeuropa überkompensieren wird.

Diese abrupten Störungen sind auch die großen Unbekannte bei den Kostenschätzungen für die Klimafolgen. Um ihre Dimension zu veranschaulichen seien zwei Beispiele illustriert:

- Die periodisch wiederkehrende El Niño Southern Oscillation ENSO hat in der Vergangenheit im Verein mit katastrophalen wirtschaftlichen und politischen Entscheidungen durch das Ausbleiben des Monsuns in Indien und China sowie Trockenperioden im brasilianischen Sertao alleine in zwei Episoden Ende des 19. Jahrhunderts je nach Schätzung 30 bis 60 Millionen Todesopfer gefordert. Ein Kollaps des Amazonas-Regenwaldsystems infolge des Klimawandels könnte die verheerenden lokalen Klimafolgen noch verstärken.
- Durch das Abschmelzen des Grönlandeisschildes und des arktisches Eises, das in etwa zwei bis drei Jahrzehnten erwartet wird, steigt nicht nur der Meeresspiegel. Es öffnet sich auch ein neues Meer für den internationalen Waren- und Güterverkehr zwischen Europa, Nordamerika und Asien (Nordwest- und Nordostpassage). Durch diesen Handel können Städte am Nordpolarmeer einen ungeahnten Aufschwung nehmen, wenn es in Anbetracht

des Auftauens des Permafrostbodens gelingt, eine geeignete Hinterlandanbindung zu schaffen.

2.2.3.4 Regional unterschiedliche Auswirkungen des Klimawandels in Deutschland

Der globale Klimawandel hat regional unterschiedliche Auswirkungen auf den Wasserhaushalt, die Forst- und Landwirtschaft. Die Abschätzung der regionalen Auswirkungen des globalen Klimawandels ist jedoch mit sehr großen Unsicherheiten behaftet. Die Ergebnisse gekoppelter Klimamodelle für Temperatur bzw. Niederschlag werden deshalb in der Regel halbquantitativ dargestellt (vgl. u.a. UBA 2007a). Darüber hinaus zeigt folgende Tabelle die Vulnerabilität der Forstwirtschaft nach verschiedenen Regionen (UBA 2005):

Tabelle 2-13: Regionale klimatische Differenzierungen (vereinfacht) und Vulnerabilität der Forstwirtschaft gegenüber dem Klimawandel

Region	Niederschlag Sommer (A1B/ B1)	Niederschlag Winter (A1B/ B1)	Mitteltemperatur (A1B/ B1)	Frosttage, heiße Tage	Vulnerabilität
Durchschnitt	Abnahme	Zunahme	Zunahme	Abnahme / Zunahme	
Küste	▼ / ▼	▲ / ▲	0 / 0	▼ / ▲	-
Nordwestdeutsches Tiefland	▼ / ▼	0 / 0	▲ / 0	▼ / ▲	-
Nordostdeutsches Tiefland	▼ / ▼	0 / 0	▲ / 0	▼ / ▲	++
Westdeutsche Tieflandsbucht	▼ / ▼	▲ / ▲	▲ / 0	▼ / ▲	+
Zentrale Mittelgebirge und Harz	▼ / ▼	▲ / ▲	0 / 0	0 / ▲	+
Südostdeutsche Becken und Hügel	0 / 0	0 / 0	▲ / ▲	0 / 0	++
Erzgebirge, Thüringer und Bayrischer Wald	▼ / ▼	0 / 0	0 / 0	0 / 0	+
Links- und rechtsrheinische Mittelgebirge	▼ / ▼	▲ / ▲	▲ / ▲	0 / ▲	+
Ober rheingraben	0 / 0	▲ / ▲	▲ / 0	0 / ▲	++
Alp und nordbayrisches Hügelland	0 / ▼	▲ / ▲	▲ / 0	0 / 0	+
Alpenvorland	0 / 0	0 / 0	▲ / 0	0 / 0	++
Alpen	0 / 0	0 / 0	0 / 0	0 / 0	+

Änderung über Durchschnitt ▼▲, Änderung unter Durchschnitt ▲▼

Vulnerabilität: - gering; + mäßig; ++ hoch; A1B und B1: SRES-Szenarios

Quelle: UBA 2007a, UBA 2005

Die Vulnerabilität der Forstwirtschaft gegenüber dem Klimawandel hängt zum einen von den klimatischen Faktoren selbst ab, zum anderen von den Ökosystemen mit ihren Böden und Baumarten.

- Eine extreme Zunahme der Winterniederschläge unabhängig von den IPCC-Szenarien ist wahrscheinlich für die Nordseeküste, Hessen, das Hunsrück sowie Oberfranken, zudem

in der westdeutschen Tieflandsbucht (Szenario A1B). Hier wird die Wasser-regulierende und Boden-schützende Funktion des Waldes an Bedeutung zunehmen. Die Abnahme der Frosttage ist an der Küste, im Nordwestdeutschen Tiefland, Nordostdeutschen Tiefland und der Westdeutschen Tieflandsbucht am gravierendsten. Dies kann im Laufe des Jahres u.a. vermehrte und intensivere Schädlingsplagen bewirken.

- Eine extreme Abnahme der Sommerniederschläge ist unabhängig von den IPCC-Szenarien an der Elbmündung, im Harz und im Osterzgebirge zu erwarten, zudem an der Ostseeküste und im Nordostdeutschen Tiefland (Szenario A1B) bzw. auf der Schwäbischen Alp (Szenario B1). Die Zunahme heißer Tage ist an der Küste, im Nordwestdeutschen Tiefland, im Nordostdeutschen Tiefland, der Westdeutschen Tieflandsbucht, im Links- und rechtsrheinischen Mittelgebirge und im Oberrheingraben weitflächig gravierend. Dies setzt die Wälder im Sommer in diesen Regionen unter Trockenstress und erhöht die Waldbrandgefahr.
- Eine extreme Zunahme der Mitteltemperatur unabhängig von den IPCC-Szenarien ist für die Südostdeutschen Becken und Hügel sowie die Eifel angezeigt, zudem für das Nordwestdeutsche Tiefland, das Nordostdeutsche Tiefland, die Westdeutsche Tieflandsbucht, den Oberrheingraben, die Alp und das nordbayrisches Hügelland sowie Oberbayern (Szenario A1B). In diesen Regionen kommt es zu einem Verdrängungsprozess der kühle Standorte bevorzugenden Arten.

Besonders vulnerable Wälder gegenüber dem Klimawandel sind Standorte

- mit geringer Wasserverfügbarkeit (von Dürre betroffene Teile Ostdeutschlands: abnehmende Niederschläge und Sandböden),
- mit starken Temperaturveränderungen (Südwestdeutschland) und
- mit Anbau der Fichte außerhalb ihrer natürlichen Standorte (Süd- und Westdeutschland).

Das geringe Wasserangebot während des Sommers ist der limitierende Wachstumsfaktor der natürlichen Vegetation, der bewirtschafteten Wälder und der landwirtschaftlichen Nutzpflanzen. Um das geringer werdende Wasserangebot konkurrieren zudem Industrie, Haushalte, Tourismus und Landwirtschaft, was perspektivisch zu Nutzungskonkurrenzen führen kann. Vor diesem Hintergrund sind integrierte Nutzungskonzepte zu schaffen und umzusetzen (PIK 2003).

2.3 Wechselwirkungen von Klimawandel und Waldökosystemen

2.3.1 Quellenlage

Zunächst fällt ins Auge, dass zwar der Wald in den Berichten des Intergovernmental Panel on Climate Change in seinen Wechselwirkungen mit dem Klima gewürdigt wird (IPCC 2007), nicht aber das Klima in den UN-Studien zum Wald in gleichem Maße (UN 2005, FAO 2006).

Auch auf nationaler Ebene offenbart die Quellenlage, dass der Wald vor allem problembezogen als Größe in der Klimafolgenforschung thematisiert wird. Hervorzuheben ist hier insbesondere eine Studie zur Vulnerabilität verschiedener Sektoren, auch des Forstsektors, gegenüber dem Klimawandel (UBA 2005), sowie eine Untersuchung zur möglichen Rolle des Waldes als CO₂-Senke im Klimaschutzregime des Post-Kyoto-Prozesses (UBA 2007b). Die Urheber dieser beiden Studien sind eher im wissenschaftlichen Klimaschutz, als in der wissenschaftlichen Befassung mit dem Wald zu verorten. Auf politischer Ebene gibt es zudem nur zaghafte Versuche einzelner Wald-/Forstverbände, die Synergien zwischen Waldwirtschaft und Klimaschutz in der öffentlichen Diskussion aufzuwerten. Im jährlichen Waldzustandsbericht dagegen werden die klimatischen Auswirkungen im Zusammenspiel mit anderen Faktoren analysiert (BMVEL 2005).

Diese offensichtlich unterbelichtete Waldoption zum Klimaschutz und inverse Wechselwirkungen sind bislang unzureichend gewürdigt. Deshalb sollen zusätzlich zwei Aufsätze (IZT 2007, Simonis 2007) herangezogen werden, auch wenn diese die Forschungs- und Handlungslücke nicht

beheben, sondern bestenfalls benennen können. Ein weiterer Artikel von der FH Eberswalde formuliert neun Thesen zu Klimawandel, Waldbau und Naturschutz (Bolte, Ibisch 2007).

Wie zur langfristigen Zukunft des Waldes, so ist die Quellenlage auch zum Thema Wald und Klimaschutz in fernerer Zukunft unbefriedigend, so dass vorläufig mit folgenden Quellen vorlieb genommen werden muss:

Tabelle 2-14: Synopse ausgewählter Quellen zum Thema Wald und Klimaschutz

Institution	Bericht	Regionaler Schwerpunkt	Zeitlicher Horizont	Inhaltliche Schwerpunkte
IPCC	Forth Assessment Report (2007)	Global	2080-2100 für das Klimasystem 2030 für die ökonomische Verfügbarkeit von Technologien	Physikalische Mechanismen Regionale Vulnerabilität und Adaptation Mitigation
PIK, UBA (Hrsg.)	Klimawandel in Deutschland. Vulnerabilität und Anpassungsstrategien klimasensitiver Systeme. No. 08/05	Deutschland nach Regionen aufgelöst	Unbestimmte Zukunft	Sektorale Vulnerabilität
MPI et al. UBA (Hrsg.)	Kyoto-Protokoll: Untersuchung von Optionen für die Weiterentwicklung der Verpflichtungen für die 2. Verpflichtungsperiode, No. 02/07	Deutschland	2012+	Wald als Senke
BMVEL	Waldzustandsbericht (2005)	Deutschland nach Bundesländern aufgelöst	Gegenwart	Waldzustandsdaten
IZT	Trendreport und Szenarien; Holzwende 2020+ Paper (2007)	Deutschland	2020+	Trendbeschreibungen, Integrierte Strategien
Simonis	Energieoption und Waldoption (2007)	Global	Unbestimmte Zukunft	Waldpolitik als Klimapolitik
Bolte, Ibisch	Neun Thesen zu Klimawandel, Waldbau und Waldnaturschutz (2007)	Deutschland	Unbestimmte Zukunft	Anpassung der Forstwirtschaft an den Klimawandel

Quelle: eigene Zusammenstellung IZT

2.3.2 Robustheit

Die Hauptaussagen zu den Auswirkungen des Klimawandels des *Forth Assessment Reports* des IPCC finden sich im Teilbericht *Climate change 2007. Impacts, adaptation, vulnerability* (IPCC 2007b). Bei den meisten Aussagen werden Wahrscheinlichkeit („Likelihood“) und/oder Vertrauen („Confidence“) angegeben. Allerdings beziehen sich die Aussagen vorwiegend auf die Gegenwart und Vergangenheit. Eine Differenzierung der forstlichen Auswirkungen der verschiedenen Szenarien wird nicht vorgenommen. Die Aussagen zur Mitigation finden sich dagegen im Teilreport der WG III (vgl. Kapitel 2.2.2).

Der Waldzustandsbericht erscheint jährlich. Er beruht auf repräsentativen Erhebungen auf einem hohen wissenschaftlichen Niveau (BMVEL 2005).

Die im Auftrag des Umweltbundesamtes vom Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung PIK erstellte Studie *Klimawandel in Deutschland. Vulnerabilität und Anpassungsstrategien klimasensitiver Systeme* (UBA 2005) versteht unter Vulnerabilität gegenüber dem globalen Wandel „die Wahrscheinlichkeit, mit der ein spezifisches Mensch-Umwelt-System Schaden nimmt durch Veränderungen in der Gesellschaft oder der Umwelt und unter Berücksichtigung seiner Anpassungskapazität.“ Damit finden sich Robustheitsaussagen implizit im Vulnerabilitätskonzept wieder. Darüber hinaus zeichnet sich die Studie durch eine umfassende, nicht repräsentative Befragung von Mitarbeitern staatlicher Einrichtungen aus klimasensitiven Bereichen, darunter auch Forstwirtschaft, aus. Jedoch konnte „aus Kostengründen [...] nur ein Vertreter pro Bundesland und Bereich befragt werden.“ Auch der Rücklauf der Fragebögen aus einigen Bundesländern war nur sehr gering. Mithin sind die Aussagen subjektiv und decken auch nicht das Spektrum divergierender Meinungen z.B. aus Zivilgesellschaft und Privatwirtschaft ab. Gewisse Validierungen sind im Rahmen von Stakeholderworkshops vorgenommen worden.

Der Bericht *Kyoto-Protokoll: Untersuchung von Optionen für die Weiterentwicklung der Verpflichtungen für die 2. Verpflichtungsperiode, Teilvorhaben „Senken in der 2. Verpflichtungsperiode“* (UBA 2007) ist vom Max-Planck-Institut für Biogeochemie, dem Öko-Institut und der ECOFYS GmbH ebenfalls im Auftrag des Umweltbundesamtes entstanden. Die quantitativen Abschätzungen der zukünftigen Kohlenstoffquellen und –senken im Bereich der Forstwirtschaft erfolgten zum einen anhand der Extrapolation der FAO-Daten bis 2020, indem von konstanten Netto-Änderungsraten der Waldfläche ausgegangen wird (FAO 2006), zum anderen anhand des DIMA-Modells, das ökonomische Rahmenbedingungen berücksichtigt und Abschätzungen bis 2100 ergibt. Die handlungsorientierten Vorschläge finden sich auf dem Niveau von Optionen und Kernregeln für zukünftige Verpflichtungen. Sie spiegeln den vorläufigen Diskussionsstand, allerdings auf wackliger Datenbasis wieder.

Die ausgewerteten Papiere des IZT sind im Rahmen des Holzwende-Projektes entstanden. Darunter sind ein Trendreport, dem insbesondere die fragmentarischen Informationen zu den forstwirtschaftlichen Sturmschäden entnommen sind, und die Szenarien für nachhaltige Zukunftsmärkte für Holz. Beide Quellen haben den Charakter einer sekundäranalytischen Aufbereitung von Literaturquellen, ergänzt um Interviews, und formulieren mögliche, wahrscheinliche und normative Zukünfte. Der Aufsatz von Simonis (2007) kondensiert in prägnanter Form die Defizite der heutigen Klima- und Waldpolitik und weist Wege zu einer Aufwertung der Kohlenstoffspeicherungsstrategie in den internationalen Klimaschutzpolitik auf. Auch der Artikel von Bolte und Ibisch (2007) spitzt das umfangreiche, heterogene Wissen zu den Auswirkungen des Klimawandels auf den Wald in Form von Thesen zur Anpassung der Forstwirtschaft zu.

2.3.3 Kernaussagen

Die Wälder und der Forst/Holz-Sektor sind mit dem globalen Klimawandel im Rahmen einer Rohstoffwende vor allem über diese drei Interaktionsmuster eng verknüpft:

- Die Bindung von Kohlenstoff in Wäldern und in Holzprodukten trägt zur Minderung der Treibhausgasemissionen bei.
- Die Wälder als Rohstoffbasis sind in solch einer Rohstoffwende selbst vulnerabel gegenüber dem Klimawandel und neuartigen Waldschäden.
- In einer Welt klimatischer Extremereignisse haben die Wälder regional eine puffernde und schützende Funktion, insbesondere über die Regulierung die Wasserhaushaltes, als Schutz des Bodens und als Barriere gegen Stürme.

In einer Welt klimatischer Extremereignisse ist es sehr wahrscheinlich, dass die unmittelbar wahrnehmbare Schutzfunktion des Waldes und seine Bedrohung selbst durch klimatische Extremereignisse zu einer Aufwertung seines Bestandsschutzes, auch auf Kosten der rohstofflichen Nutzung führt. Der Verlust des Naturerbes Wald durch äußere Bedrohungen

könnte kurzfristig zu einem Klima der Angst beitragen; allerdings sind mittelfristig auch Gewöhnungs- und Verdrängungseffekte wahrscheinlich (Erdmann 2007 - IZT).

2.3.3.1 Empirisch belegte Auswirkungen des Klimawandels auf die Waldökosysteme

Gemäß IPCC (2007b) sind folgende Auswirkungen des Klimawandels auf die Forstwirtschaft empirisch belegt:

„In den terrestrischen biologischen Systemen <Anmerkung des Verfassers: also auch Wäldern> der *mittleren Breiten* beginnt der Frühling früher, die Wachstumsperiode wird länger und Pflanzen- und Tierarten breiten sich polwärts aus.“ (*very high confidence*)

“Der Temperaturanstieg hat in den *höheren Breiten* der nördlichen Hemisphäre Einfluss auf das landwirtschaftliche und forstwirtschaftliche Management gehabt, z.B. durch früheres Ausbringen der Getreidesaat und Änderungen der Störungsmuster von Wald durch Feuer und Plagen.“ (*medium confidence*)

Kurz- bis mittelfristig steigt im globalen Maßstab die Holzproduktivität moderat, allerdings mit hoher regionaler Variabilität (Zunahme in Nordeuropa, Abnahme in Zentral- und Osteuropa). Die Forstökosysteme Zentral- und Osteuropas werden aber infolge des Klimawandels zunehmend durch Waldbrände und Schädlingsbefall bedroht (IPCC 2007b). Folgende Phänomene und Auswirkungen sind für die Forstwirtschaft besonders relevant:

Tabelle 2-15: Klimaphänomene und ihre Auswirkungen auf Forstökosysteme

Klimaphänomen	Wahrscheinlichkeit des Zukunftstrends im 21. Jahrhundert	Hauptsächliche Wirkungen auf Forstökosysteme
Wärmere und seltenere kalte Tage und Nächte, wärmere und häufigere heiße Tage und Nächte	Nahezu sicher	Biomasseproduktivität steigend in kälteren Gebieten, sinkend in wärmeren Gebieten Zunahme von Insektenplagen
Häufigere Hitzewellen	Sehr wahrscheinlich	Biomasseproduktivität sinkend in wärmeren Gebieten wegen Hitzestress Zunahme der Waldbrandgefahr
Häufigere schwere Niederschläge	Sehr wahrscheinlich	Schädigung von Pflanzen, Bodenerosion und -auswaschung
Zunahme der von Dürre betroffenen Gebiete	Wahrscheinlich	Landdegradation, geringere Erträge, Ernteausfall Zunahme der Waldbrandgefahr
Stärkere Westwinde in den mittleren Breiten	Sehr wahrscheinlich	Sturmbruch, Ernteausfall

Quelle: IPCC 2007a, IPCC 2007b

2.3.3.2 Kombinationswirkungen von Klimawandel und neuartigen Waldschäden

Wie ist es um die Gesundheit des deutschen Waldes bestellt? Neuartige Waldschäden sind ein Sammelbegriff für vorwiegend anthropogen verursachte Waldschäden, die sich in sichtbaren Baumkrankheiten wie lichtereren Kronen bis hin zum Tod („Waldsterben“) äußern. Wurde zu Beginn der neuartigen Waldschäden noch die Versauerung („saurer Regen“) als Hauptverursacher dieser Phänomene ausgemacht, so wird heute ein Bündel von Stressoren für die neuartigen Waldschäden verantwortlich gemacht. Neben der Versauerung gehören auch die Eutrophierung, photochemischer Smog, Borkenkäferbefall und klimatische Extremereignisse zu den Stressoren. Auf die neuartigen Waldschäden wurde insbesondere in Deutschland in den

80iger Jahren des 20. Jahrhunderts mit verschiedenen umweltpolitischen und –rechtlichen Instrumenten reagiert. Neben der Novelle des Bundeswaldgesetzes ist die Luftreinhaltepolitik bei der Verringerung säurebildender und eutrophierender Emissionen erfolgreich gewesen, wohingegen Episoden photochemischen Smogs im Sommer alltäglich sind.

Seit 1984 wird im Rahmen eines forstlichen Monitorings als Indikator für die Gesundheit der Bäume ihr Kronenzustand jährlich erfasst. Um die Synergien klimatischer Stressoren mit anderen Faktoren der neuartigen Waldschäden hervorzuheben, wird nicht der neueste Bericht herangezogen, sondern der Bericht über den *Zustand des Waldes 2004* (BMVEL 2005), in dem die Folgen des Rekordsommers 2003 einer integrierten Bewertung unterzogen werden. Insgesamt ist im Waldzustandsbericht für 2004 eine deutliche Verschlechterung zu verzeichnen, bei Eiche und Buche stärker als bei den Nadelbäumen. Dieser Bericht hebt in seiner zusammenfassenden Wertung der Befunde hervor:

- „Der Kronenzustand der Waldbäume hat sich in 2004 erheblich verschlechtert. Der Anteil der Waldflächen mit deutlichen Kronenverlichtungen (Schadstufen 2-4) stieg im Bundesdurchschnitt um acht Prozentpunkte auf 31 %. Dies ist auf Bundesebene die bisher im Vergleich zum jeweiligen Vorjahr größte Zunahme und gleichzeitig auch der höchste Stand seit Beginn der Zeitreihe.“
- Die lange durch Säure- und Stoffeinträge aus der Luft erheblich vorbelasteten Wälder wurden im Jahr 2003 infolge der Witterungsbedingungen Trockenstress und hohen Ozonwerten ausgesetzt. Das volle Ausmaß dieser Belastungen zeigte sich 2004 stärker als 2003 selbst.
- Die Vitalität fast aller Baumarten hat infolge des Trockenjahres 2003 gelitten. So kam es in den 18 Monaten zuvor –auch witterungsbedingt- zu einer Massenvermehrung der Borkenkäfer, die bei der Fichte zu hohen Ausfällen und mehreren Millionen Kubikmetern Schadholzanfall führte. Im Zusammenspiel mit der außergewöhnlich starken Fruktifizierung der Buche und weiteren Faktoren wie Insekten hat sich der Anteil der Buchen mit deutlichen Kronenverlichtungen (Schadstufen 2-4) nahezu verdoppelt (55 %).
- „In den Waldböden sind die Stoff- und Säureinträge von Jahrzehnten gespeichert (z.B. Schwefel, Stickstoff, Schwermetalle) und werden auf absehbare Zeit Nährstoffversorgung, Wurzelbildung und Nährstoffaufnahme der Pflanzen beeinträchtigen.“

Es ist deutlich geworden, dass der Waldzustand sowohl von der aktuellen, als auch von vorherigen Witterungsbedingungen abhängt. Laubbäume, die ihr Kronendach jährlich neu aufbauen, reagieren heftiger auf Trockenjahre als die immergrünen Nadelbäume.

Neben den Kombinationswirkungen von Klimafaktoren und neuartigen Waldschäden sind in Zukunft womöglich auch der Wasserhaushalt und die Bodenqualität stärker ins Visier zu rücken. Die Rolle des Wasserhaushalts und des Bodens für die Waldvitalität ist jedoch nicht hinreichend erforscht. In der forstlichen Fachwelt wird teilweise auch von einer „tickenden Zeitbombe“ – gemeint ist die akkumulierte Schadstofflast - im Boden gesprochen, die die Vitalität der Wälder in Deutschland gravierend beschädigen könnte. Das verstärkte Auftreten der neuartigen Waldschäden in den 1980iger Jahren hat erheblich zur Entstehung und Diffusion eines Umweltbewusstseins in Deutschland beigetragen. Eine „zweite Welle neuartiger Waldschäden“ könnte einen Schub in der Akzeptanz von waldbezogenen Umwelt- und Klimaschutzmaßnahmen bewirken.

2.3.3.3 Auswirkungen des Klimawandels auf forstwirtschaftliche Erträge – Das Beispiel Sturmschäden

In welchem Maße durch den Klimawandel forstwirtschaftliche Erträge zukünftig beeinflusst werden, hängt zum einen vom tatsächlichen Temperaturanstieg ab, zum anderen sind die zukünftigen Formen der Waldbewirtschaftung mit Blick auf Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel entscheidend. In diesem Teilkapitel wird vorwiegend auf Aussagen aus dem Trendreport des IZT (Behrendt et al. 2007 - IZT) zum Thema Sturmschäden zurückgegriffen.

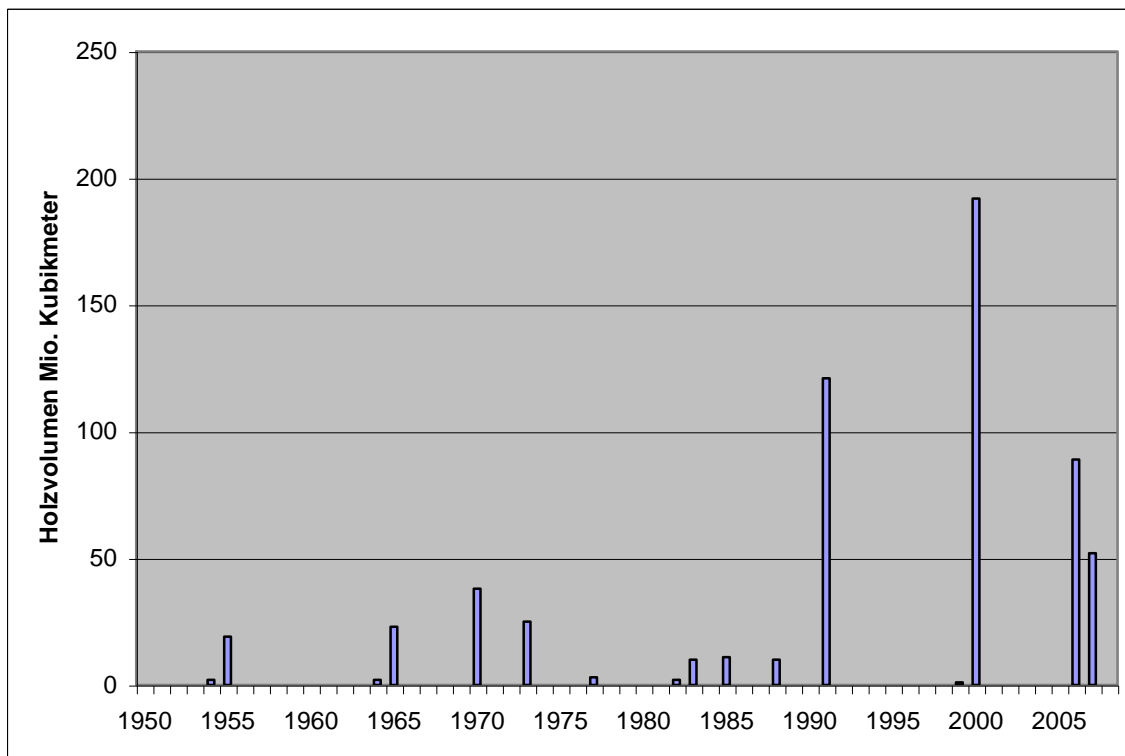
Es ist davon auszugehen, dass gewisse Risikofaktoren der Forstwirtschaft, wie Waldbrandgefahr, Schädlingsbefall und Wetterextreme tendenziell zunehmen werden. Durch Stürme (wie z.B. „Wiebke“ und „Lothar“) sind in den letzten Jahren erhebliche Forstschäden entstanden. Das Ausmaß der Waldschäden durch ein Sturmereignis illustriert die Schadmengung, die der Orkan „Lothar“ im Jahr 1999 in Europa hinterlassen hat.

Tabelle 2-16: Schadensbilanz nach Orkan „Lothar“

	Geschätzte Schadmengung (Mio. Fm)	x-fache des regulären Jahreseinschlags	Quelle
Frankreich	138	4	HZB
Schweiz	12	2,5	BUWAL
Baden-Württemberg	29	3	Holzkurier
Bayern	4,3 (90% Fichte) bzw. 1/7 von 1990	1/3	Bay. Staatsforstverwaltung
Österreich	0,3-0,4		Holzkurier
Gesamt Europa	200		Holzkurier

Quelle: Bayerische Forstverwaltung 2000, unter <http://forst.int-dmz.bayern.de> (20.2.2006)

Beim jüngsten Orkan „Kyrill“ waren in Europa insgesamt rund 53 Mio. Festmeter Holz geschädigt. In Deutschland war Nordrhein-Westfalen mit 12 Mio. Festmetern am stärksten betroffen. Dies entspricht rund 6,2% des Gesamtbestandes. Insgesamt ist in den letzten Jahrzehnten die Schadholzmengung durch Sturm erheblich angestiegen. Den Höchststand markiert dabei die Sturmserie 2000 mit knapp 200 Mio. Festmetern. Die Schadensentwicklung erklärt sich zum einen aus der Häufung der Sturmereignisse, zum anderen hat auch die Waldfläche in den letzten Jahren deutlich zugelegt. Gleichzeitig sind „die Waldbestände durch stetigen Vorratsaufbau älter, höher und somit anfälliger gegen Sturm geworden“ (Hillmann 2006).

Abbildung 2-9: Holzschäden in Europa durch Stürme von 1950-2007 (in Mio. m³)

Quellen: www.stormrisk.eu; http://www.skogsstyrelsen.se/epi/epi_server4/templates/SNormalPage.aspx?id=33399

Der Einfluss des Klimawandels auf das Holzangebot hängt von Geschwindigkeit und Ausmaß des Klimawandels und von den Anpassungsreaktionen der zukünftigen Waldbewirtschaftungsformen ab: In dem Maße wie Sturmhäufigkeit und –stärke zunehmen, werden die Forstschäden zunehmen. Dies schmälert das marktliche Holzangebot, was temporär zu Preiserhöhungen führen wird. Der Umbau der Wälder wird die Baumartenzusammensetzung verändern. Der Fichtenanteil wird zurückgehen, der Laubholzanteil steigen. Da der Umbau langsam vonstatten geht, ist erst langfristig mit Auswirkungen auf das Holzangebot zu rechnen (vgl. Kapitel 2.4.3.2).

Die Einwände bezüglich des Zusammenhangs von globalem Klimawandel und Zunahme klimatischer Extremereignisse wie Stürme sind angesichts der überwältigenden Beweislage im vierten Assessment-Report des IPCC weitgehend zu entkräften. Zwar ist nicht jedes Einzelereignis auf den Klimawandel zurückzuführen, wohl aber die statistische Häufung. Angesichts der hohen politischen Legitimität und wissenschaftlichen Qualität der jüngsten IPCC-Berichte liegt die Beweislast bei den Kritikern dieses Zusammenhangs.

2.3.3.4 Kohlenstoffspeicherung in Wäldern und Waldplantagen

Die reale Entwicklung des globalen Waldbestandes wirkt den globalen Klimaschutzziele diametral entgegen. Der jährliche Waldverlust trägt mit 18 % mehr zu den globalen Treibhausgasemissionen bei als der Transportsektor (Stern 2006). Angesichts der weltweit stark steigenden Waldplantagenfläche sind auch die Aussagen über die Kohlenstoffspeicherung in der Landwirtschaft relevant. Zu den Minderungspotenzialen im Forst- und Agrarsektor heißt es in IPCC (2007c):

„Waldbezogene Mitigation-Aktivitäten können signifikant Quellemissionen verringern und CO₂-Entfernung als Senken zu geringen Kosten vergrößern, und so ausgelegt werden, dass sie Synergien mit Adaptation und nachhaltiger Entwicklung schaffen.“ (*hohe Übereinstimmung, viele Beweise*)

„Landwirtschaftliche Praktiken können zusammen zu geringen Kosten einen signifikanten Beitrag leisten, die Kohlenstoffsenken zu vergrößern, Treibhausgasemissionen zu verringern und Biomasse-Speicherung für die energetische Nutzung beizusteuern.“ (*mittlere Übereinstimmung, mittlere Beweislage*)

Die größten Potenziale für den Beitrag von LULUCF zum Klimaschutz liegen in der Reduzierung der Entwaldung, weiteren Aufforstungen und einer nachhaltigen Waldwirtschaft (UBA 2007b). Die entscheidenden Zukunftsfaktoren sind die Landnutzungsgeschichte, die Altersklassenverteilung von genutzten Wäldern und menschliche Eingriffe. Indirekte Effekte wie die CO₂-Düngung, Stickstoffdeposition und längere Wachstumsperioden scheinen einen eher geringeren Einfluss zu haben. Allerdings machen die Zunahme extremer Wetterereignisse und Störungen wie Insektenplagen und Brände vor allem die borealen und tropischen Wälder mit den höchsten Kohlenstoffvorräten pro Fläche anfällig für Verluste.

Sowohl die Berechnungsansätze nach FAO (2006), als auch nach IIASA sagen voraus, dass die Landnutzungsänderung bis 2020-2030 eine C-Quelle bleiben wird, danach könnten die Aufforstungseffekte die Entwaldungseffekte übersteigen. Folgende Tabelle zeigt die geschätzten CO₂-Emissionen aus der Entwaldung und CO₂-Speicherung im Jahr 2020 bei gleich bleibenden Nettoänderungsraten in der nationalen Waldfläche.

Tabelle 2-17: CO₂-Emissionen aus der Entwaldung und CO₂-Speicherung im Jahr 2020 bei gleich bleibenden Nettoänderungsraten in der nationalen Waldfläche

Land	CO ₂ -Emissionen aus Entwaldung 2020 (Tg CO ₂)	CO ₂ -Aufnahme aus Aufforstung 2020 (Tg CO ₂)
Annex-I-Staaten	107 (36-179)	279 (221-351)
Deutschland	0	4,2 (3,6-4,8)
EU-25	3	211 (179-243)
USA	0	12 (10-13)
Kanada	0	0
Russische Föderation	17 (3-39)	10 (3-20)
Japan	0	0
Australien	83 (27-133)	14 (9-27)
Nicht-Annex-I-Staaten	3030 (1400-4800)	2750 (1490-5260)
Argentinien	49 (15-89)	10 (2-17)
Brasilien	836 (262-1516)	5 (0-9)
China	0	1810 (1130-3390)
Indien	14 (11-23)	97 (61-182)
Indonesien	404 (264-571)	17 (11-32)
Malaysia	50 (38-63)	0
Papua-Neuguinea	44 (14-71)	0
Dem. Rep. Kongo	5 (2-8)	0
Welt	3136 (1400-5000)	3030 (1700-5600)

Quelle: UBA 2007b berechnet aus Daten von FAO 2006

Auch wenn die eindimensionale Projektion in dieser Quelle sehr zweifelhaft ist, lässt sie doch einige zentrale Schlussfolgerungen zu:

- Die CO₂-Emissionen durch Entwaldung überwiegen global die CO₂-Aufnahme durch Aufforstung. Allerdings geht dieser Effekt angesichts der Unsicherheiten der Biomasseschätzungen nahezu unter.
- Die Wälder in den Annex-I-Staaten spielen für die CO₂-Bilanz im globalen Maßstab 2020 eine untergeordnete Rolle. Angesichts der erhöhten globalen Holznutzung in den letzten Jahren scheint die CO₂-Freisetzung aus Entwaldung in den Annex-I-Staaten jedoch unterschätzt, insbesondere für Russland.
- Die CO₂-Emissionen aus der Entwaldung in Brasilien und Indonesien stellen für die Welt ein dramatisches Problem ihrer CO₂-Bilanz dar. Eine Kompensation gelingt nur, wenn die äußerst ambitionierten Aufforstungsprogramme in China, in geringerem Maße auch Indien, bis 2020 auch tatsächlich realisiert werden können.

Die IIASA-Modellrechnungen sagen für die Entwicklung bis 2100 aus (UBA 2007b):

- Im Jahr 2100 werden 600 Mio. Hektar (wieder-)aufgeforstet und 370 Mio. Hektar entwaldet, was einem globalen Netto-Waldflächengewinn von 230 Mio. Hektar entspricht.
- Die Entwaldungsrate wird in der zweiten Hälfte des Jahrhunderts, 2050-2100, im Vergleich zu 2000-2050 abnehmen. Die (Wieder-)Aufforstungsraten werden nur leicht zunehmen.

Beide Entwicklungen gehen auf ein kontinuierliches Anwachsen des Kohlenstoffpreises (Carbon Pricing) und damit veränderte monetäre Anreizstrukturen zurück. Ob sich diese realisieren lassen, ist jedoch sehr ungewiss.

2.4 Integrierte Strategien

Zur Begegnung oder Förderung der Wechselwirkungen zwischen Klimawandel und Waldökosystemen kristallisieren sich eine Reihe von integrierten Strategien heraus.

2.4.1 Quellenlage

Die ausgewerteten Quellen zu den Wechselwirkungen zwischen Wald und Klima einerseits sowie waldwirtschaftliche und -politische Strategien sind weitgehend identisch. Dies hat seinen Grund darin, dass die Studien nicht bei der systemischen Beschreibung von Zusammenhängen stehen bleiben, sondern Handlungsoptionen in ihre Betrachtungen integrieren. Zur Quellenlage siehe Kapitel 2.3.1.

2.4.2 Robustheit

Die Beurteilung der Robustheit befindet sich bereits in Kapitel 2.3.2, weil viele zukunftsbezogene Aussagen in den ausgewerteten Quellen ohne waldwirtschaftliche und -politische Strategien nicht sinnvoll und robust getroffen werden können.

Die Faktenbasis, sowohl was die Klimasensitivität einzelner Baumarten, als auch die Kombinationswirkungen mit anderen Umweltstressoren anbetrifft, ist zwar im Waldzustandsbericht solide, aber die strategischen Implikationen, insbesondere für den Waldbau liegen nicht gebündelt vor. Die Bundesländer geben eigene Anbauempfehlungen heraus. Auch die Diskussionen zur C-Sequestrierung und zur unsicheren Rohstoffbasis befinden sich in einem vergleichsweise frühen Stadium, in dem sich viele wichtige Akteure noch gar nicht positioniert haben.

Ähnlich wie bei den Klimaprojektionen gibt es auch in Bezug auf die Verbindung mit dem Wald Interessensdivergenzen zwischen einzelnen Staaten, zwischen verschiedenen gesellschaftlichen Akteuren und auch unterschiedliche Auffassungen von Forschungseinrichtungen. Die starke Rolle des Staates bei forstwirtschaftlichen Maßnahmen zur Klimaminderung (IPCC 2007c) spiegelt z.B. die Durchsetzung staatlicher Interessen im Entstehungskontext der IPCC-Berichte wieder, die von Teilen der Zivilgesellschaft und Privatwirtschaft so nicht geteilt werden und deshalb Widerspruch hervorrufen.

Vielen waldbezogenen Quellen fehlt die klare Zuspitzung auf die klimapolitischen Leistungen der Forst- und Holzwirtschaft. Der regionale Ansatz „Cluster Forst- und Holzwirtschaft“ beispielsweise sieht vor allem Antworten auf Defizite in der leistungsfähigen Organisation und Selbstdarstellung des Leistungen einer nachhaltigen Waldbewirtschaftung als vordringlich an, klimapolitische Bezüge stehen jedoch nicht im Vordergrund (Mrosek, Schulte 2004).⁵ Die Leistungsfähigkeit des „Cluster Forst- und Holzwirtschaft“-Ansatzes auch in bezug auf den Klimawandel wird angesichts divergierender Interessen, u.a. der Forstwirtschaft und Holzwirtschaft jedoch auch kritisch eingeschätzt.

2.4.3 Kernaussagen

2.4.3.1 Waldbezogene Maßnahmen zur Linderung des Klimawandels

Der *Forth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* führt eine sektoral gegliederte Übersicht von Schlüsseltechnologien und –praktiken zur Linderung des Treibhauseffektes auf (IPCC 2007c). Für die Forstwirtschaft lassen sich folgende Bezüge herstellen:

Tabelle 2-18: Schlüsseltechnologien und –praktiken zur Linderung des Treibhauseffektes

Sektor	Heute ökonomisch verfügbar	Bis 2030 ökonomisch verfügbar
Energieversorgung	Holz und Waldreststoffe als CO ₂ -neutraler Biomasselieferant	Kohlenstoffeffang (CCS) und -speicherung für Biomassekraftwerke
Transport	Biokraftstoffe (ohne Holz)	Biokraftstoffe der 2. Generation
Gebäude	Verbesserte Holzöfen verbesserte Isolierung u.a. mit Dämmstoffen aus Holz	Aufbau langlebiger urbaner Kohlenstofflager
Industrie	Erhöhung der Prozesseffizienz in der Holzindustrie	Optimiertes Forst/Holz-Wertschöpfungsketten-Management (u.a. Spezialfasern, Hybridisierung, Systemlösungen)
Landwirtschaft	Erhöhung der Kohlenstoffbindung im Boden Kurzumtriebsplantagen	Erhöhung der Ausbeute, u.a. durch Gentechnik
Forstwirtschaft und Wälder	Aufforstung, Wiederaufforstung, Forstmanagement, Verringerung der Entwaldung	Baumartenverbesserung zur Erhöhung der Biomasseproduktion und Kohlenstoffbindung, u.a. auch durch Gentechnik
Abfall	Stoffliches und energetisches Holzrecycling	Unsichere Rahmenbedingungen

Quelle: IPCC 2007c, eigene Interpretationen und Bewertungen

Die hier vorgestellte Maßnahmenübersicht vereint verschiedene Vorschläge unterschiedlicher Effektivität. Die bis 2030 wirtschaftlich verfügbaren Schlüsseltechnologien und –praktiken sind mit hoher Unsicherheit behaftet. Über die Unsicherheit sozio-ökonomischer Rahmenbedingungen und etwaiger technischer Probleme hinaus sind die Maßnahmenportfolios auf die starke Forcierung durch Leitbilder angewiesen. Berührungspunkte zum Leitbild-Assessment bestehen hier vor allem hinsichtlich der neueren Leitbilder „Rohstoffwende“, „Technisierung des Waldes“, „Kohlenstoffspeicher“ und „High Tech-Cluster Forst/Holz“.

⁵ Aus der Gesamtstudie sind vor allem einzelne Fachartikel extrahiert und veröffentlicht worden.
<http://www.wald-zentrum.de>; Zugriff am 2.10.2007

2.4.3.2 Waldumbau als regionale Anpassungsstrategie an den Klimawandel

Nicht nur angesichts der höheren Biodiversität, sondern auch angesichts der höheren Resistenz gegenüber klimatischen Extremereignissen und aus Gründen der Verringerung der Waldbrandgefahr ist in Deutschland ein Waldumbau eingeleitet worden, bei dem auf Kosten von Nadelbäumen Laubbäume gepflanzt werden. Die folgende Tabelle zeigt die Entwicklung der Baumbestände in Deutschland bis 2030 im Überblick (Öko-Institut 2004). Zugrunde gelegt sind die Mittelwerte der Langfristziele der Bundesländer. Die Steigerung des Laubbaumanteils auf 60 % wird wohl erst gegen 2100 abgeschlossen sein.

Tabelle 2-19: Waldumbau nach Baumarten

Baumart	1990	2000	2010	2020	2030
Buche	25 %	27 %	29 %	30 %	31 %
Eiche	9 %	10 %	10 %	11 %	11 %
Fichte	35 %	34 %	33 %	31 %	31 %
Kiefer	31 %	30 %	29 %	27 %	27 %

Quelle: Öko-Institut 2004

Allerdings beruhen die Basisdaten des Öko-Instituts noch auf der 1. Bundeswaldinventur. Der geplante Waldumbau ist an neuere Erkenntnisse der Klimafolgenforschung anzupassen. Insbesondere der Rekordsommer 2003 und die starken Winterstürme 1999 (Orkan „Lothar“) lieferten neu empirische Befunde über die Vulnerabilität von Waldökosystemen. Folgende Tabelle liefert einen, allerdings unvollständigen, Überblick über die bevorzugten Standorte einzelner Baumarten sowie deren Vulnerabilität gegenüber dem Klimawandel und neuartigen Waldschäden.

Tabelle 2-20: Baumarten und ihre Vulnerabilität gegenüber dem Klimawandel und neuartigen Waldschäden

	Bevorzugte Standorte	Vulnerabilität gegenüber Klimawandel	Waldzustand (Veränderung 2003-2004)
Fichte	Natürlich: feuchte, kühle Standorte Anthropogen: Anbau wegen guter Wuchsleistung auch außerhalb	Geringe Toleranz gegenüber Trockenheit und Hitze Anfällig gegenüber Kalamitäten wie Borkenkäfer und Stürme	Starke Verschlechterung auf sehr hohe Schadquote
Kiefer		Wenig anfällig gegenüber Trockenstress Erhöhte Waldbrandgefahr in Kieferreinbeständen	Geringe Verschlechterung bei relativ niedriger Schadquote
Douglasie	Nicht einheimische Baumart	Wenig anfällig gegenüber Trockenstress Anfällig gegenüber Stürmen	
Tanne		Geringer Toleranzbereich	Hohe Schadquote
Buche	Natürlich: feuchte Standorte Anthropogen: standortangepasster Anbau	Wenig trockenresistent anfällig bei Anbau an Trockenheitsgrenze Anfällig gegenüber Stürmen	Sehr starke Verschlechterung auf sehr hohe Schadquote
Hainbuche		Wenig anfällig gegenüber Trockenstress	
Eiche		Wenig anfällig gegenüber Trockenstress, aber auch gegenläufige Meinungen	Moderate Verschlechterung bei hoher Schadquote
Birke		Anfällig gegenüber Stürmen	
Linde		Wenig anfällig gegenüber Trockenstress	
Pappel		Anfällig gegenüber Stürmen	

Quelle: UBA 2005, BMVEL 2005

Mischwälder sind tendenziell besser angepasst an den Klimawandel (insbesondere Stürme, Verringerung der Waldbrandgefahr) als reine Nadelwälder, auch wegen erhöhter genetischer Variabilität. Ältere Wälder sind vielfältiger, struktureicher und speichern mehr Kohlenstoff, allerdings sind sie anfälliger für Umweltstress und Holzentwertung durch Kalamitäten. Insgesamt wird dem Klimawandel aus waldbaulicher Sicht am ehesten mit Diversifizierung begegnet.

Problematisch ist insbesondere die Anfälligkeit der ökonomisch bedeutsamen, schnell wachsenden Fichte gegenüber sowohl Klimawandel als auch den neuartigen Waldschäden. Das natürliche Verbreitungsgebiet der Fichte liegt in subalpinen und hochmontanen Lagen der Hoch- und Mittelgebirge. Deshalb werden die anthropogen geprägten Standorte in Süd- und Westdeutschland besonders anfällig gegenüber dem Klimawandel sein. Auch wenn im Zuge des Waldumbaus Fichten- durch mit Buchen durchmischte Bestände ersetzt werden, so ist dies aus Sicht der Trockenstressanfälligkeit und Empfindlichkeit gegenüber neuartigen Waldschäden kritisch zu beurteilen. Der Klimawandel benachteiligt in vielen Trockenregionen die Buche (u.a. in Ostdeutschland), die besser durch Eichen-Hainbuchen- bzw. Eichen-Kiefernwälder zu ersetzen sind (UBA 2005). Der Einsatz hitze- und dürreresistenter Baumarten wie der Douglasie wird angesichts der Einführung einer fremden Spezies kontrovers diskutiert.

Der Bestandszieltypenerlass des Landes Brandenburg differenziert bereits nach eher ökologischen oder ökonomischen Anbauinteressen, der für Landeswälder verpflichtenden und für Privatbesitzer empfehlenden Charakter hat. Aber auch das besonders früh vom Klimawandel betroffene Brandenburg (niedrige Niederschläge, geringe Wasserspeicherkapazität des Bodens) hat bei seinem Bestandszieltypenerlass noch keine Klimaszenarien berücksichtigt. Allerdings lässt er schon jetzt eine große Vielfalt an Mischungen zu.

Angesichts der sehr heterogenen Quellenlage zu waldbaulichen Konzepten sollen hier nur grundsätzliche Probleme und Stoßrichtungen des Waldumbaus aufgeführt werden. Bolte und Ibsch (2007) haben diese zu prägnanten Zukunftsthesen verdichtet, darunter:

- „Der Klimawandel verändert die Standortbedingungen. Das Klima muss in der Standortserkundung zukünftig grundsätzlich als Variable statt als Konstante berücksichtigt werden.“
- „Unter den Bedingungen des Klimawandels trägt die waldbauliche Steuerung des Bodenwasserangebots und des Waldinnenklimas zunehmend zum Erfolg der Waldbewirtschaftung bei. Dies gilt insbesondere für den Erfolg der Verjüngung.“
- „Eine Naturverjüngung von Waldbeständen bietet in gewissen Grenzen eine Option zur Anpassung der Waldbestände an geänderte Klimabedingungen durch Selektion besser angepasster Bäume [...] Allerdings ist es fraglich, ob diese Herangehensweise allein angesichts von Generationszeiten und Klimawandelgeschwindigkeit erfolgreich sein wird.“
- „Bei Kunstverjüngungen wie Pflanzung und Saat, Z.B. beim Waldumbau, kann die Verwendung von trockenheitsangepassten Fremdherkünften von Waldbaumarten zu einer Risikominderung beitragen. [...]“
- „Eine Verwendung unterschiedlicher Baumarten bzw. verschiedener Herkünfte gleicher Baumarten in Mischung verhindert ebenfalls das Risiko von großflächigen klimatischen bedingten Waldschäden. [...]“
- „Der Klimawandel selbst sowie auch die denkbaren [...] waldbaulichen Reaktionen stellen Paradigmen des Waldnaturschutzes infrage. Entsprechende Konflikte und Überprüfungen von überkommenen Leitbildern und Maßnahmen erscheinen unvermeidbar.“

In der Fachwelt umstritten ist die Einführung von Fremdarten. So bestehen neben ökologischen Bedenken auch z.B. wissenschaftliche Zweifel an der Robustheit der Douglasie gegenüber Trockenheit. Insbesondere die letzte These, die Infragestellung von Paradigmen des Naturschutzes durch den Klimawandel, wird in der forstlichen Fachwelt zwar weitgehend befürwortet, aber in der Öffentlichkeit bislang nur wenig wahrgenommen. Waldbauliche Restriktionen des Naturschutzes, u.a. in den Waldgesetzen, und der Sensibilisierungsgrad der Naturschutzverbände in Bezug auf klimapolitische Chancen werden durch die immer dringlichere Anpassung an den Klimawandel auf die Agenda kommen. Ob die potentiell natürliche Vegetation (PNV) die größte Widerstandskraft gegenüber den zu erwartenden Klimaereignissen haben wird, ist unsicher. „Naturnaher Wald“ und „standortangepasster Wald“ fallen deshalb nicht unbedingt zusammen.

Insgesamt gesehen ist der Wald/Forst-Sektor im Hinblick auf den Klimawandel im Vergleich zu anderen Sektoren gut eingestellt (UBA 2005). Handlungsbedarf liegt insbesondere noch bei der Anpassung von Wäldern im Privatbesitz; auch einige Regionen bedürfen noch der Maßnahmenplanung. Vordringlich ist der Umbau von Fichtenreinbeständen an nicht angepassten Standorten. Auch hinsichtlich eines wirksamen Monitorings waldbaulicher Entwicklungen besteht noch Handlungsbedarf.

2.4.3.3 Versicherungslösungen für die Holzwirtschaft

Der Klimawandel mit seiner Zunahme von Schadereignissen für den Wald wie Stürme, Dürren, Waldbrände und Borkenkäferplagen stellt für die Holzwirtschaft eine besondere Herausforderung dar. Durch die schadhafte Einzelereignisse wie z.B. Windbruch gelangen große Mengen teilweise wertgeminderten Holzes auf den Markt.

Auf volatile Preise und schwankende Mengenverfügbarkeit kann der Forst/Holz-Sektor mit zwei Hauptstrategien reagieren (Erdmann 2007 – IZT):

- Die Versicherung gegenüber Forstschäden und Preisschwankungen steckt noch in den Kinderschuhen. Oft fehlt es an geeigneten Geschäftsmodellen und an der vorsorgeorientierten Wahrnehmung der Risiken seitens der Forstwirtschaft (vgl. u.a. Volken 2003). Einzelne Unternehmen wie die Fa. Axa-Versicherung bieten neben etabliertem Versicherungsschutz wie Waldbrandversicherung und Haftpflichtversicherung für Waldbesitzer inzwischen auch Versicherungsschutz gegen Sturmschäden ab Windstärke 8.
- Die räumliche Entkopplung der Holzwirtschaft von der Rohstoffbasis ist im Zuge der Globalisierung der Holzmärkte bereits im Gange. Die Deckung des Holzbedarfs aus größeren Entfernungen stößt jedoch auf Kostengrenzen.

Auch die Anpassung an den Klimawandel mit den Waldumbauprogrammen stellt die Forst- und Holzwirtschaft langfristig vor neue Aufgaben. Eine bessere Abstimmung und Kooperation zwischen Waldbau, Forst- und Holzwirtschaft könnte einen Lösungsweg bahnen. Durch die zunehmenden Mischbestände mit höherem Laubholzanteil steht ein anderes, unter derzeitigen Bedingungen schwerer mobilisierbares und vermarktbares Segment zur Verfügung. Mittelfristig sind deshalb neue Märkte zu entwickeln, die die verstärkten Laubholzbestände und auch Althölzer aufnehmen können.

2.4.3.4 Operationalisierung der Kohlenstoffspeicherungsstrategie

Die C-Sequestrierung in europäischen Wäldern spielt im klimapolitischen Prozess bislang nur eine untergeordnete Rolle (Simonis 2007). Ursachen dafür sind scheinbar widersprüchliche wissenschaftliche Aussagen, uneinheitliche und schwache forstwirtschaftliche Positionen sowie politisches Kalkül. Für die Umsetzung von Senken-Projekten in Entwicklungsländern wird ein aufwändiges Planungs-, Genehmigungs- und Kontrollverfahren verlangt, das Projektgrößen über 1000 ha voraussetzt. Die Projektkosten selbst liegen in der Größenordnung von 100000-250000 €. Sequestrierungsprojekte im kleineren Maßstab befinden sich in der Diskussion (Schulz 2005).

Die CO₂-Sequestrierung von Wäldern ist hohen Fluktuationen unterworfen. Die Quantifizierung muss sowohl das gesamte Ökosystem, einschließlich Boden und Holzprodukte, als auch verschiedene Waldtypen und Altersstrukturen berücksichtigen. Eine Modellierung der CO₂-Sequestrierung nach diesen Maßgaben für 16 verschiedene Waldtypen in Europa ergab folgende Werte (Nabuurs, Schelhaas 2002):

- Der Kohlenstoffvorrat im Boden ist der dauerhafteste und größte Speicher im Wald, der sich nur langsam vergrößert, allerdings durch Kahlschlag rasch beseitigt werden kann. Bis zu 15 Jahre nach der Aufforstung kann der Wald eine Netto-C-Quelle sein.
- Die mittlere maximale Sequestrierungsrate erreicht nach rund 38 Jahren mit 2,98 Mg C/ha und Jahr ihr Maximum (je nach Waldtyp 1,15 bis 4,1 Mg C/ha und Jahr).
- Nach 200 Jahren sättigt die Netto-Sequestrierungsrate im Mittel bei 0,8 Mg C/ha und Jahr (je nach Waldtyp 0,13 bis 1,4 Mg C/ha und Jahr).
- Die langjährige mittlere Kohlenstoff-Speicherung in der Biomasse von Bäumen und Waldprodukten liegt im Mittel bei 114 Mg/ha (je nach Waldtyp 52-196 Mg C/ha).

Folgende Tabelle zeigt die Auswirkungen verschiedener forstlicher Maßnahmen auf die Kohlenstoffspeicherung, wobei die Änderung des Kohlenstoffvorrats maßgeblich ist:

Tabelle 2-21: Auswirkungen forstlicher Maßnahmen auf die Kohlenstoffspeicherung

Maßnahme	Auswirkung
Aufforstung, insb. landwirtschaftliche Stilllegungsflächen	Vergrößert den Speicher Biomasse, Streu und Boden
Erhöhung der Umtriebszeit	Vergrößert den Speicher Biomasse

Baumartenwahl (höhere Kohlenstoffspeicherung)	Vergrößert den Speicher Biomasse
Erhöhung der Bestandsdichte	Vergrößert den Speicher Biomasse
Totholzanreicherung	Vergrößert den Speicher Totholz
Erhöhte Bestandsstabilität	Vermeidet Verluste aller Speicher im Wald
Boden- und Humuspflege	Vermeidet die Verluste der Speicher Streuauflage und Boden
Verstärkte Holznutzung	Vergrößert den Speicher Holzprodukte
Förderung langlebiger Holzprodukte und konsequente Wiederverwertung	Vermeidet Verluste des Speichers Holzprodukte

Quelle: Schulz 2005

Derzeit fehlt es in vielen Ländern, so auch in Deutschland, an einer Strategie, mit gezielter Waldbewirtschaftung sowohl die Senkenleistung des Waldes, als auch die Substitutionsleistungen durch verstärkte Holznutzung aufeinander abzustimmen und zu optimieren (Schweizerischer Forstverein 2005).

Die Option zur Anrechnung von Kohlenstoffsinken durch Waldbewirtschaftung im Rahmen des Kyoto-Prozesses wird von der EU derzeit nicht wahrgenommen. In Deutschland könnten maximal 1,24 Mio. Tonnen Kohlenstoff angerechnet werden. Alleine der durchschnittliche jährliche Vorratsaufbau in Bayern lag 1987-2002 um einen Faktor 3 höher (Schulz 2005). Wenn die C-Sequestrierung in das Kohlenstoffdioxid-Emissionshandelsregime integriert wird, ohne gleichzeitig die Nachfrage nach Emissionsreduktionen stark zu erhöhen, so wird das kurzfristige Risiko befürchtet (Stern 2006), den Schlüsselprozess der Stärkung der bestehenden Kohlenstoffmärkte zu destabilisieren. Die CO₂-Senkenanrechnung könnte durch eine volkswirtschaftliche Inwert-Setzung der Waldeistung eine effizientere Klimapolitik forcieren. Unter bestimmten Voraussetzungen wie Mindestgröße des Waldes und effektive Planung kann die Senkenwirtschaft für den Waldeigentümer ein interessanter Markt sein. Allerdings konkurriert die CO₂-Senkenanrechnung im Wald mit verstärkter Holznutzung und mit der Bestandsverjüngung zur Stabilitätserhöhung (Schweizerischer Forstverein 2005).

Dennoch formieren sich in Deutschland langsam Allianzen zur Anerkennung der Wälder als CO₂-Senke im Kyoto-Prozess, insbesondere unter Beteiligung der Waldbesitzerverbände. Darüber hinaus gibt es eine Ausweitung freiwilliger Initiativen der Privatwirtschaft für die Schaffung kompensatorischer Systeme. Vom Flugkunden (z.B. Fa. Lufthansa), über den Biertrinker (z.B. Fa. Krombacher) bis hin zum Telekommunikationsnutzer (z.B. Deutsche Telekom) reichen die Angebote, den Klimaeffekt der nachgefragten Aktivität durch Aufforstung zu kompensieren. Zentraler Erfolgsfaktor ist die Zusammenarbeit mit vertrauenswürdigen NGOs, die die tatsächliche Einhaltung der Kompensationsmaßnahme garantieren. Neben diesen neuen strategischen Allianzen gibt es für den Bürger auch firmenunabhängige Modelle zur Kompensation seiner CO₂-Emissionen (Myclimate, Atmosfair, 3C, Climate Care).

Die (Wieder-)Aufforstung und das Stoppen der Entwaldung sind wohl die kosteneffektivsten Klimaschutzmaßnahmen überhaupt (Stern 2006). Haupthemmnisse für die Ausweitung der Waldfläche, durch Aufforstung, Forstmanagement und Eindämmung der Entwaldung, sind Landnutzungskonflikte und Kapitalmangel. Groß angelegte internationale Pilotprogramme sollten die besten Wege explorieren, die Entwaldung zu stoppen. Als effektive Umweltschutzmaßnahmen zumindest in einigen Ländern haben sich für den Wald/Forst-Sektor herausgeschält (IPCC 2007c):

- Finanzielle Anreize zur Vergrößerung der Waldfläche, zur Verringerung der Entwaldung und zur Aufrechterhaltung und Management des Waldes
- Regulierung der Landnutzung und seine Durchsetzung

Am wirksamsten ist daneben die Vergrößerung des Holzproduktspeichers (Schulz 2005). Die Anrechnung der Holznutzung als CO₂-Senke im Kyoto-Prozess ist derzeit nicht möglich

(Schweizerischer Forstverein 2005). Die CO₂-Minderungswirkung tritt vor allem durch die Substitution treibhausgasintensiverer Materialien ein. Vielversprechend sind hier vor allem die langlebigen Bestandslager, da das CO₂-erst mit sehr starkem Zeitverzug freigesetzt wird. Die Bestandslager-Perspektive in der Technosphäre ist jedoch nur wenig ausgeprägt (vgl. Baccini 2005; Erdmann et al. 2003). Insbesondere die CO₂-Senke Holz im Bau ist nur unzureichend untersucht.

Die Vereinbarungen zur Anrechnung von Kohlenstoffquellen und –senken in Marrakesch gelten nur für die erste Verpflichtungsperiode von 2008-2012. Da sich der Landnutzungssektor „als unerwartet komplizierte Materie entpuppte, entstanden sehr komplexe, z.T. inkonsistente Modalitäten zur Anrechnung von Kohlenstoffquellen und –senken.“ (UBA 2007b)

Tabelle 2-22: Argumente für die Einbindung von LULUCF Emissionen in das post 2012-Klimaschutzregime

Befürwortend	Ablehnend
Flexibilität, ökonomische Effizienz	Billige LULUCF-Reduktionen könnten von anderen nötigen Reduktionen und Technologie-Entwicklung für fossile Brennstoffemissionen wegführen
Anziehen von Ressourcen zum Schutz des Waldes, was sonst nicht möglich wäre	Schwierige Messbarkeit von LULUCF Emissionen
Unterstützung der Einbindung einzelner Länder, die Kompensation für reduzierte Entwaldung erwarten (z.B. Papua-Neuguinea)	Hohe natürliche Variabilität der Emissionen könnten den Emissionshandelsmarkt stören

Quelle: UBA 2007b

Zu den Hauptmaßnahmen zur Ausgestaltung einer C-Sequestrierungsstrategie gehören (UBA 2007b):

Tabelle 2-23: Hauptmaßnahmen zur Ausgestaltung einer C-Sequestrierungsstrategie

Maßnahme UBA 2007	Einschätzung
Verlängerung der Rotationsperiode	bei kurzfristiger Kohlenstoffspeicherung durch Aufschieben der Ernte muss der Holzbedarf aus anderen Quellen gedeckt werden
Vermehrte C-Speicherung in langlebigen Holzprodukten	die angeführten kumulierten technischen Potenziale taugen nicht für eine sachliche Diskussion
Anrechnung von C-Vorratsänderungen aufgrund von Managementänderungen im Vergleich zu BAU	Keine messtechnische Überprüfbarkeit möglich
Eliminierung des Altersklasseneffekts durch theoretische Gleichverteilungsannahme	Keine messtechnische Überprüfbarkeit möglich

Quelle: UBA 2007b und eigene Bewertungen

Die prinzipielle Sinnhaftigkeit einer LULUCF Strategie für den Klimaschutz ist gegeben, der Teufel steckt jedoch bei der Umsetzung im Detail.

Folgende Kernregeln und Optionen werden u.a. vorgeschlagen (UBA 2007b):

1. Beibehalten des Prinzips der länderdifferenzierten Pflichten
2. Einbindung einer LULUCF-Verpflichtung:
 - Option 1: Sektorumfassende Verpflichtung
 - Option 2: separate LULUCF-Verpflichtung
 - Option 3: neuer Verpflichtungstyp (z.B. basierend auf C-Vorräten)
 - Option 4: Separates Protokoll für den Sektor LULUCF

3. Anrechnung des direkten menschlichen Einflusses auf Emissionen
Option 1: wie bisher
Option 2: Anrechnung aller C-Emissionen und –Senken auf den Landflächen
Option 3: Diskontierungsansatz
4. Einbeziehung bestimmter LULUCF-Aktivitäten:
Option 1: Aufforstung, Wiederaufforstung und Entwaldung zwingend,
Bewirtschaftungsmaßnahmen für Land freiwillig
Option 2: Zusätzliche Aktivitäten (u.a. Walddegradation, Holzprodukte) und Zwänge

Weitere Kernregeln und Optionen beziehen sich auf die Länge der Verpflichtungsperiode, die Walddefinition, Anrechnungsregeln und Basisjahr, LULUCF in den flexiblen Mechanismen sowie auf länderspezifische Besonderheiten.

Im Gegensatz zur Klimapolitik ist die internationale Waldpolitik auf der Ebene der Vereinten Nationen nur schwach institutionalisiert. Zur wirksamen Begegnung des Klimawandels scheint eine pro-aktive Interpretation, Umsetzung und Fortschreibung des Kyoto-Protokolls ebenso von Nöten, wie die Fortentwicklung des Forums für Wälder der Vereinten Nationen, idealerweise in Richtung einer verbindlichen Wald-Konvention (Simonis 2007). Allerdings ist in der öffentlichen Debatte auch stärker auf die komplexen Prozesse der Netto-CO₂-Abgabe bzw. –Absorption hinzuweisen. Die Wälder und ihre Standorte stellen eben nur unter bestimmten Voraussetzungen langfristig eine Netto-Kohlenstoffsénke dar (Nabuurs, Schelhaas 2002). Auch wenn in der Nachfolge zum Kyoto-Protokoll die Senkenoption nicht verankert wird, so wird voraussichtlich doch ein Markt für die Kohlenstoffspeicherung entstehen, und zwar weil Unternehmen im Rahmen ihrer Corporate Social Responsibility Aktivitäten die Aufforstung und das Waldmanagement als zugkräftige Strategien erkannt haben.

3 Bewertung und Schlussfolgerungen

3.1 Zukunftsthesen

Die komplexen Wechselwirkungen zwischen der Entwicklung der Waldressourcen, dem Klimawandel und menschlicher Eingriffe in diese Interaktionsmuster erschweren eine Klassifizierung von langfristigen Aussagen als Trend, Leitbild, Szenario oder ähnliches. Dennoch soll im folgenden ein Versuch unternommen werden, zunächst zentrale Aussagen aus Sicht des IZT zu generieren und hinsichtlich seiner zeitlichen Dimension und Robustheit zu charakterisieren. Grundlage sind die Kernaussagen und Robustheitseinschätzungen aus dem Kapitel 2.

Als zeitliche Referenzpunkte werden, sofern sinnvoll, die Jahre 2020, 2050 und 2100 anvisiert. Die Robustheit der Aussagen wird mit hoch, mittel, gering bezeichnet.

1. Der natürliche Klimawandel wird durch einen anthropogenen Klimawandel überlagert, der in seiner Geschwindigkeit ohne Beispiel in der Menschheitsgeschichte ist. Die Menschheit hat keine Erfahrungen mit einem solch raschen Klimawandel innerhalb von Jahrzehnten und betritt somit Neuland. (*hoch*)
2. Der Klimawandel mit seinen Auswirkungen auf die Wälder (Zunahme extremer Wetterereignisse, Verschieben von Vegetationszonen, steigende Vulnerabilität) lässt sich bis 2020 nicht mehr wirksam aufhalten. (*hoch*)
3. Eine Trendwende der globalen Klimaerwärmung könnte bis 2100 durch Extremereignisse wie Vulkanausbrüche, „Nuklearen Winter“ oder gezielte Einbringung von Aerosolen in die Stratosphäre erreicht werden (*gering*)
4. Oberhalb eines Anstiegs um 3 C über dem vorindustriellen Niveau wären die Folgen für die Menschheit und die Wälder bereits 2050 katastrophal. Regional ist auch schon 2020-2050 bei geringerem Temperaturanstieg mit dramatischen landschaftlichen, sozialen und ökonomischen Verwerfungen zu rechnen. (*mittel*)
5. Die internationale Staatengemeinschaft hat starken klimapolitischen Erfolgsdruck. Je nachdem, welches Stabilisierungsniveau der CO₂-Konzentration erreicht werden soll, müssen bis 2020 die politischen Weichen für eine Klimawende gestellt sein, damit bis 2050 die Maßnahmen greifen können, die zur Stabilisierung des Klimas bis Ende des Jahrhunderts erforderlich sind. (*mittel*)
6. Um den Anstieg auf deutlich unter 3°C oberhalb des vorindustriellen Niveaus zu senken, muss bis 2020 ein Maßnahmenportfolio gebündelt werden, das eine Waldoption beinhaltet. Auch aus Kostengründen kann es sich die internationale Staatengemeinschaft nicht leisten, auf eine starke Waldoption zu verzichten (z.B. Integration in den Zertifikathandel). (*gering*)
7. Mit starkem politischen Willen und finanziellen Anreizen sollte es bis 2050 gelingen, die hohe Entwaldungsrate angesichts des Bevölkerungsdrucks und anderer Nutzungsansprüche dauerhaft unter die Aufforstungsrate zu senken. (*mittel*)
8. Entscheidend auch für die Kohlenstoffspeicherung ist die Nachhaltigkeit der Forstwirtschaft in Russland, Indonesien, Brasilien und China. Bis 2020 wird sie in Teilgebieten nachhaltig sein, bis 2050 auf der jeweiligen gesamten Landesfläche. (*mittel*)
9. Außerhalb Europas wird sich der Plantagenbau bis 2050 verdoppeln und bis 2100 verfünffachen, sofern andere Nutzungsansprüche wie Siedlungsdruck und Nahrungsmittelproduktion wirksam anders bekämpft werden können. (*mittel*)
10. Bis 2020 wird der Waldbau verstärkt den veränderten klimatischen Standortbedingungen Rechnung tragen. Regionale Klimaprognosen für Deutschland werden vor 2050 nicht zuverlässig möglich sein, weshalb die regionalen Waldbaustrategien ihren explorativen Charakter beibehalten werden. (*mittel*)

11. Der Waldumbau wird bis 2050 in Deutschland weitgehend abgeschlossen sein. Das veränderte Angebotspotenzial forstwirtschaftlicher Ressourcen wird sich schleichend bis 2100 in Richtung Laubhölzer verschieben. (*hoch*)
12. Die Waldschäden durch klimatische Extremereignisse werden 2050 sowohl im Privatwald, als auch im Staats-, Landes- und Körperschaftswald auf nahezu der gesamten Waldfläche durch effiziente Versicherungslösungen ausgeglichen. (*gering*)
13. Der Waldzustand wird sich in Europa aufgrund verstärkter Anstrengungen zur Verkehrsreduktion und Luftreinhaltungspolitik sowie dem Waldumbau bis 2050 erholen, so dass sich die Vulnerabilität gegen Wetterextremen deutlich verringern wird. (*gering*)
14. Deutschland wird um 2020 die Voraussetzungen für eine Rohstoffwende geschaffen haben. Auf landwirtschaftlichen Stilllegungsflächen werden optimierte Gehölzer mit definierten Faserqualitäten für die chemische Industrie und für die energetische Nutzung angebaut, deren Ausbaugrenze um 2050 erreicht wird. (*mittel*)
15. Im Jahr 2050 wird die Kohlenstoffspeicherung in langlebigen Bestandslagern wie z.B. Bauwerken durch starke Instrumente europaweit gefördert und bis 2100 ein wirksamen Kohlenstoffspeicher im Bestand vorhanden sein. (*mittel*)

3.2 Einflussfaktoren

Noch vor wenigen Jahren war das Forst/Holz-Cluster in Deutschland ein vergleichsweise stabiler, schwer beweglicher Wirtschaftssector. In jüngeren Strategiepapieren der Europäischen Kommission mit einem Zeithorizont bis 2030 wurde die Verbesserung der immer prekärer werdenden Ertragsituation forstwirtschaftlicher Betriebe in den Mittelpunkt gestellt (EC 2005). Im Jahr 2007 sieht die Ertragslage eines Großteils forstwirtschaftlicher Betriebe in der EU bereits wieder exzellent aus. Grund dafür sind zum einen die deutlich gestiegene Auslandsnachfrage nach Holz und Holzprodukten u.a. aus den USA und aus China, zum anderen die drastisch gestiegene Nachfrage nach Holz für die energetische Nutzung. Die traditionell langfristig und rohstoffseitig orientierte Forstwirtschaft ist also durch die Globalisierung und die energetische Verwertbarkeit von Holz nachfrageseitig mit äußerst dynamischen Märkten gekoppelt. Somit wird das Forst/Holz-Cluster insgesamt selbst zum dynamischen Wirtschaftssector, dessen gezielte Entwicklung vor dem Hintergrund zukünftig wechselnder Engpassfaktoren stattfinden muss.

Die Einbettung der Forst- und Holzwirtschaft in größere sozio-ökonomische Zusammenhänge ist durch immer vielfältigere und stärkere Wechselwirkungen gekennzeichnet. Die etablierten Planungs- und Prognoseinstrumente der Forstwirtschaft wie die Bundeswaldinventur spiegeln diese Vernetzung jedoch nur unzureichend wider. So wird in der Bundeswaldinventur II mit Vorratsprognosen für das Jahr 2042 ein eindimensionales deterministisches Zukunftsbild suggeriert (BMVEL 2004), das den tatsächlich möglichen, gleichfalls realistischen Zukunftsverläufen nicht ausreichend Rechnung trägt. Bestes Beispiel sind die Folgen der BWI II selbst: Durch die überhöhten Aufkommensprognosen haben österreichische Investoren insbesondere in Bayern zu einem viel rascheren Abbau als prognostiziert beigetragen. Zudem ist die Notwendigkeit deutlich geworden, zwischen theoretischem und technisch-ökonomischem Potential besser zu differenzieren.

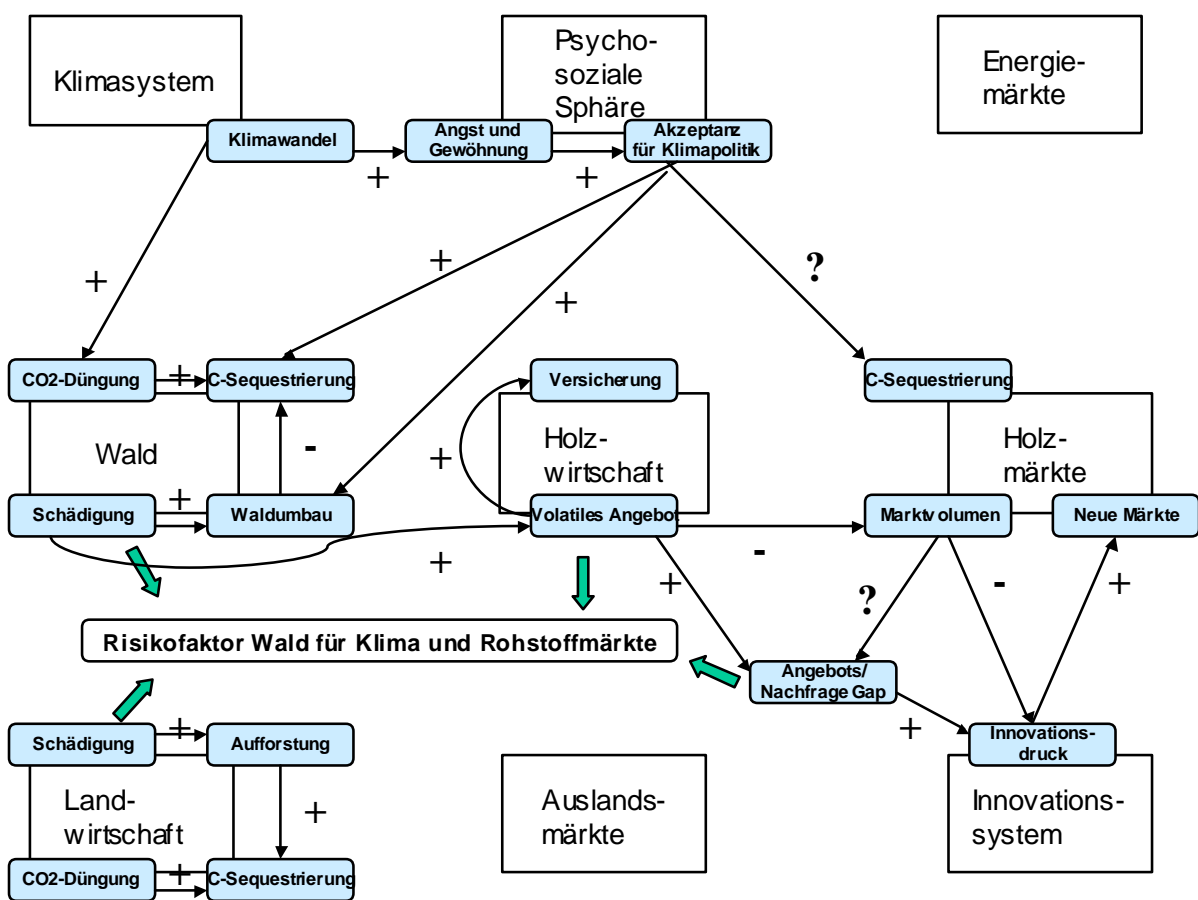
Die Fortschreibung von Trends in die Zukunft oder die Prognose einer Trendumkehr ist grundsätzlich mit Unsicherheiten behaftet. Einzelne Trends wie der demografische Wandel und der Klimawandel lassen sich aufgrund ihrer Mächtigkeit und des Zeitverzuges der Wirkung etwaiger Gestaltungsmaßnahmen mit hoher Sicherheit bis in das Jahr 2020 prognostizieren. Dies gilt aber nicht für Trends wie die Globalisierung der Holzmärkte, die sehr plötzlich das Gefüge von Holzpreis, Holzverfügbarkeit und Holzmenge verwerfen können. Durch starke, nicht-lineare Wechselwirkungen zwischen an für sich unbedeutend erscheinenden Trends können sich mehrere kleine Störereignisse aufschaukeln oder aber Einzelereignisse das Forst/Holz-Cluster vor drastische Veränderungen stellen. Diese Störereignisse mit geringer Eintrittswahrscheinlichkeit, aber immensen Folgen werden in der Fachwelt „Wild Cards“ genannt (vgl. u.a. Steinmüller 2005). Beispiele dafür sind durch Katastrophen ausgelöste

Migrationsströme oder Borkenkäferepidemien infolge eines Winters ohne Frost, die einen Großteil des Holzvorrates vernichtet. Aus diesen Gründen sind mehrere, verschiedene Zukünfte in Betracht zu ziehen, um robuste Nachhaltigkeitsstrategien entwickeln zu können.

Im Hinblick auf das integrative Konzept einer nachhaltigen Entwicklung wäre es wünschenswert, die Entwicklungsdynamiken und Wechselwirkungen systematisch und belastbar zu erfassen und zu bewerten. Die Informationslage lässt dies jedoch nicht ohne weiteres zu. Die vorliegenden Zukunftsstudien sind diesbezüglich lückenhaft, von sehr unterschiedlicher Aussagequalität und teilweise von der Realität eingeholt.

Die Dynamik der Wechselbeziehungen von Waldressourcen und Klimawandel hängt vom ausgesprochen komplexen Zusammenwirken einer ganzen Reihe von Faktoren ab. Zentrale Faktoren und Wirkungen des Szenarios „Globaler Klimawandel - Risikofaktor Wald“ aus dem Holzwende-Projekt (IZT 2007) sind für den beleuchteten Ausschnitt hier vereinfacht dargestellt:

Abbildung 3-1: Dynamik im Szenario „Globaler Klimawandel - Risikofaktor Wald 2020“



+ positive Wirkung, - negative Wirkung, ? starke Unsicherheiten

Anmerkung: bis 2100 können sich diese Beziehungen ändern

Quelle: Erdmann 2007 - IZT

Die Geschwindigkeit und das Ausmaß des Eintretens von Phänomenen hängen ganz wesentlich vom Wirkungsgefüge der wesentlichen Treiber und Hemmnisse ab. Folgende Tabelle fasst einige wesentliche Treiber und Hemmnisse zusammen:

Tabelle 3-1: Treiber und Hemmnisse für das Szenario „Globaler Klimawandel - Risikofaktor Wald 2020“

Treiber		Hemmnisse	
Klimawandel	Globale Erhöhung der	Fehlen einer C-	Unterbewertung der

	Treibhausgasemissionen und Senkung der CO ₂ -Absorptionskapazität	Sequestrierungsstrategie	Aufforstung und der C-Speicher in der Technosphäre
Waldumbau	Programme der Bundesländer	Wahrnehmungsdefizite in der Forstwirtschaft und im Versicherungswesen	Unzureichende Einstellung auf volatile Holzpreise und –verfügbarkeiten

Quelle: eigene Zusammenstellung des IZT 207

Neben diesen Treibern und Hemmnissen mit hoher Eintrittswahrscheinlichkeit können die realen Entwicklungen auch von Ereignissen mit geringer Eintrittswahrscheinlichkeit, aber mit großer Auswirkung abhängen. Durch diese Wild Cards können die skizzierten Entwicklungen entweder viel schneller, oder in ganz anderer Ausprägung eintreten. Um die Unsicherheit auch dieses Szenarios zu illustrieren seien abschließend einige wenige Wild Cards exemplarisch genannt:

- Eintreten von Kippeffekten wie Abbrechen des Golfstroms
- Extreme Klimaereignisse und dramatische Waldschäden als Normalzustand bewirken eine Abkehr vom heimischen Rohstoff Holz
- Politische Aufwertung der C-Sequestrierungsstrategie auf das Niveau z.B. der Energietechnikdebatte
- Lösung der Energieprobleme der Menschheit, z.B. durch Kernfusion
- Weltpolitische Isolation zentraler Länder mit großen Waldressourcen, die auf Kahlschlag setzen

3.3 Steuerungsoptionen (Governance)

Die Waldwirtschaft wird sich stärker mit möglichen Anpassungsleistungen auseinandersetzen müssen und Waldbaukonzepte neu ausrichten. Dies gilt insbesondere für die klimasensiblen Naturräume. Südwestdeutschland mit dem Oberrheingraben, die zentralen Teile Ostdeutschlands mit dem nordostdeutschen Tiefland, dem südostdeutschen Becken und Hügel sowie das Alpenvorland weisen die höchste Verwundbarkeit der Forstwirtschaft auf. Baumarten, die bisher geringere Erträge brachten, weil sie eher trockenheitsresistent sind, könnten künftig wirtschaftlich vorteilhafter sein als die dominante, feuchtigkeitsliebende Fichte. Schutzwälder spielen regional angesichts extremer Wetterereignisse (Stürme, Dürren) eine immer größere Rolle. Die Schutzfunktion des Waldes erlangt aber auch angesichts der CO₂-Bindung eine neue globale Bedeutung. Frei werdende Flächen aus der Landwirtschaft bieten ein wichtiges Aufforstungspotenzial.

Zunehmend wird der Wald auch als CO₂-neutraler Ressourcenlieferant im Vergleich zu anderen Rohstoffen aus Sicht des Klimaschutzes wichtig. Der großen Unsicherheit bei der Entwicklung des Klimawandels und seiner Auswirkungen auf die Waldwirtschaft wird mit einer Risikoverteilung zu begegnen sein. Für den Waldbau wichtige Entwicklungslinien reichen hier vom Umbau der Wälder in Richtung einzelbaumstabiler Mischbestände mit standortgerechten Baumarten und vielfältigen Bestandstrukturen mit inneren Waldrändern über die Reduktion der Vorräte bewirtschafteter Wälder bis hin zum Aufbau eines wirksamen Monitoring waldbaulicher Entwicklungen.

Neben dem technischen Weg zum Klimaschutz, der insbesondere Energieeffizienz, erneuerbare Energien und Carbon Capture and Storage (CCS) verfolgt, gibt es die Waldoption zum Klimaschutz, die auf Erhalt bestehender Kohlenstoffspeicher in Wäldern, auf Vergrößerung der Kohlenstoffspeicher durch Wiederaufforstung sowie auf Ersatz energieintensiver Materialien durch nachwachsende Rohstoffe zielt. Die asymmetrische Forcierung der beiden Klimaschutzstrategien hat verschiedene Gründe. Zur Aufwertung der Waldoption sind vor allem eine Verbesserung der Informationsbasis, konzeptionelle Fortschritte sowie das Überwinden bestehender Machtkonstellationen von Bedeutung.

Aus der Analyse leiten sich folgende Handlungsbedarfe ab:

Wissenschaft:

- Verbesserung der Klimafolgenabschätzungen unter Berücksichtigung besserer Vergleichbarkeit von Aussagen und stärkerer Einbeziehung der Waldoption
- Schaffung einer validen Faktenbasis zur Ausgestaltung einer C-Sequestrierungsstrategie für Wald und Holzprodukte
- Entwicklung standortgerechter, integrierter Klimaanpassungsmaßnahmen für die Forstwirtschaft

Politik:

- Berücksichtigung der Wälder als CO₂-Senke im Kyoto-Prozess, Integration der Wälder in das CO₂-Handelsregime
- Informationsaustausch und Bündelung von Erfahrungen der Landesforstverwaltungen zum Waldumbau
- Förderung des Bestandslageraufbaus an Kohlenstoff und nicht des Verbrauchs

Unternehmen und Verbände:

- Organisation auf privatwirtschaftlicher Basis zum Senkenmanagement und zur Vermarktung der Senkenleistung
- Neue strategische Allianzen für CO₂-kompensatorische Maßnahmen
- Anbieten von geeigneten Versicherungslösungen für klimabedingte Waldschäden

Die multifunktionalen Leistungen des Waldes bringen es mit sich, dass durch eine offensive C-Sequestrierungsstrategie und den an die Klimafolgen angepassten Waldumbau zahlreiche positive volkswirtschaftliche Nebeneffekte erzielt werden können, die vermutlich die negativen Effekte bei weitem überwiegen. Insbesondere bei der Begründung und Ausformulierung einer dringend benötigten C-Sequestrierungsstrategie sind diese ins Feld zu führen, vor allem:

- Verbesserte Luftqualität
- Erhöhung der Versorgungssicherheit durch heimische Rohstoffe
- Hohe volkswirtschaftliche Wertschöpfung durch stoffliche Nutzung
- Entwicklung einer artenreichen und ästhetischen Kulturlandschaft (nur bei geeigneter Konzeption)
- Minderung der Klimafolgen

Problematisch ist aus heutiger Sicht insbesondere die unsichere Wissensbasis über die Effekte, Voraussetzungen, Grenzen und Gestaltungsmöglichkeiten der C-Sequestrierungsstrategie. Dem gilt es dringend Abhilfe und Gehör zu verschaffen. Insbesondere auch im Hinblick auf die energetische Holznutzung sind etwaige Unverträglichkeiten mit anderen übergeordneten politischen Zielen, wie z.B. Ernährungssicherheit, aufzuzeigen.

Stake Überschneidungen der Wald- und Klimapolitik gibt es auch mit anderen Politiksektoren. Zum Beispiel die prognostizierte, durch den Klimawandel verursachte Wasserknappheit in Brandenburg wird möglicherweise zu Nutzungskonflikten mit anderen Sektoren wie der Landwirtschaft oder dem Tourismus führen. Hier sind insbesondere von der Politik mittelfristige Ausgleichskonzepte zu entwickeln. Auch über Jahrhunderte im Einsatz befindliche wasserbauliche Maßnahmen, wie z.B. Entwässerungskanäle, müssen angesichts des verringerten Wasserdargebots auf den Prüfstand.

Insgesamt scheint eine konsistente integrierte Wald- und Klimaschutzstrategie vordringlich zu sein.

4 Literatur

- Aretz, Hirschl 2007: Biomassepotenziale in Deutschland – Übersicht maßgeblicher Studienergebnisse und Gegenüberstellung der Methoden. Dendrom-Diskussionspapier Nr.1
- Baccini 2005: Urban Mining: Resource Management Strategies in New Urban Systems. Bremen
- Behrendt et al. 2006: Trendreport -Zukunftstrends für das Bauen mit Holz. IZT. Holzwende-Paper
- Behrendt, Rupp 2006: Perspektiven der Holzmobilisierung zur Stärkung nachhaltiger Zukunftsmärkte der Forst- und Holzwirtschaft. IZT. Holzwende-Paper
- BMELV 2004: Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz: Bundeswaldinventur, Das potenzielle Rohholzaufkommen 2003 bis 2042
- BMELV 2005: Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz: Bericht über den Zustand des Waldes 2004
- Bolte, Ibisch 2007: Neun Thesen zu Klimawandel, Waldbau und Waldnaturschutz. AFZ-DerWald 11/2007
- European Commission (Hrsg.) "Vision 2030 - Innovative and Sustainable Use of Forest Resources" 2005
- Erdmann 2007: Zukunftsszenarien für nachhaltige Zukunftsmärkte der Holzwirtschaft. IZT. Holzwende-Paper (im Erscheinen)
- Erdmann et al. 2003: Nachhaltige Bestandsbewirtschaftung nicht erneuerbarer knapper Ressourcen. IZT-Werkstattbericht Nr. 68
- FAO 2006: Global Forest Resources Assessment 2005. Progress towards sustainable forest management. FAO Forestry Paper
- Harmeling, Bals 2005: Die Millennium-Entwicklungsziele und der globale Klimawandel. Hintergrundpapier. Germanwatch
- Henseling et al. 2006: Kundenorientierung im Holzbau. IZT. Holzwende-Paper
- Hillmann, M. (2006) Nach dem Sturm ist vor dem Sturm – Sturmschäden intelligent begegnen, Forstwirtschaft der Landwirtschaftskammer Niedersachsen
- IPCC 2007a: Contribution of Working Group I to the Forth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Summary for Policy Makers
- IPCC 2007b: Climate Change 2007: Impacts, Adaptation, Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Forth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Summary for Policy Makers
- IPCC 2007c: Climate Change 2007: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Forth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Summary for Policy Makers
- Knoll, Rupp 2007: Nutzungskonkurrenz um die Ressource Holz. IZT. Holzwende-Paper
- Mrosek, Schulte 2004: Cluster Forst- und Holzwirtschaft. In: AFZ/Der Wald 23/2004, 2-4
- Nabuurs, Schelhaas 2002: Carbon profiles of typical forest types across Europe assessed with CO2FIX. In: "Ecological Indicators" 1(2002)213-223
- Öko-Institut (Hrsg.) (2004): Stoffstromanalyse zur nachhaltigen energetischen Nutzung von Biomasse, Darmstadt
- PIK 2003: Studie zur klimatischen Entwicklung im Land Brandenburg bis 2055 und deren Auswirkungen auf den Wasserhaushalt, die Forst- und Landwirtschaft sowie die Ableitung erster Perspektiven. PIK-Report No. 83

Polley et al. 2005: Ergebnisse der 2. Bundeswaldinventur: Holzvorrat, Holzzuwachs und Holznutzung. In: AFZ/Der Wald 60, 111-113

Schulte 2006: Das neue Holzmaß ist ein Barreläquivalent, in: Holz-Zentralblatt, Sonderdruck

Schulz 2005: Die diskrete Hohlenstoffspeicherung der deutschen Forstpartie. LWFaktuell Nr.49, S. 26-27

Schweizerischer Forstverein 2005: Anrechnung der CO₂-Senken des Schweizer Waldes. Grundlagenpapier und Empfehlungen der AG Wald/ und Holzwirtschaft im Klimaschutz

Simonis 2007: Energieoption und Waldoption. Plädoyer für eine Doppelstrategie im Klimaschutz. Solarzeitalter 1/2007

Stern 2006: Stern Review on the Economics of Climate Change. Volkswirtschaftlicher Dienst der britischen Regierung

Thoroe, C.; Dieter, M (2005): Holzmarkt der Zukunft; in: Agrarische Rundschau 5/2005

UBA 2005: Klimawandel in Deutschland. Vulnerabilität und Anpassungsstrategien klimasensitiver Systeme. Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung. Hrsg. Umweltbundesamt, No. 08/05

UBA 2007a: Neuentwicklung von regional hoch aufgelösten Wetterlagen für Deutschland und Bereitstellung regionaler Klimaszenarios auf der Basis von globalen Klimasimulationen mit dem Regionalisierungsmodell WETTREG auf der Basis von Klimasimulationen mit ECHAM5/MPI-OM T63L31 2010 bis 2100 für die SRES-Szenarios B1, A1B. und A2. Climate & Environment Consulting Potsdam GmbH. Hrsg. Umweltbundesamt

UBA 2007b: Kyoto-Protokoll: Untersuchung von Optionen für die Weiterentwicklung der Verpflichtungen für die 2. Verpflichtungsperiode, Teilvorhaben „Senken in der 2. und Verpflichtungsperiode“. Max-Planck-Institut für Biogeochemie, Öko-Institut, ECOFYS. Hrsg. Umweltbundesamt, No. 02/07

UN 2005: European Forest Sector Outlook Study 1960-2000-2020. Main Report. United Nations

5 Anhang

Aus dem Basispapier sind zwei Einflussfaktoren ‚Klimawandel‘ sowie ‚Klima- und Energiepolitik‘ abgeleitet worden, die im Verein mit anderen Einflussfaktoren in die Generierung von Zukunftsszenarien münden werden. Im folgenden sind sie charakterisiert und in ihren Ausprägungen im Hinblick auf die Jahre 2020, 2050 und 2100 skizziert.

5.1 Tableau - Einflussfaktor Klimawandel

Einflussfaktor

Globaler Klimawandel

Kurze Beschreibung

Der globale Klimawandel wird vorwiegend durch die Erhöhung der mittleren Erdtemperatur angetrieben. Hauptursache ist die Überlagerung von natürlichem und anthropogen bedingtem Treibhauseffekt. Regional und zeitlich unterschiedlich kommt es durch die Klimaerwärmung zu einer Veränderung in der Häufigkeit und Menge von Niederschlägen sowie einer Zunahme von Wetterextremen. Neben schleichenden Veränderungen des Klimas ist darüber hinaus mit „Kipp-Effekten“ zu rechnen, bei denen es zu abrupten Veränderungen des Klimagefüges insgesamt kommen kann. Der Einfluss der Klimaerwärmung auf die Entwicklung der Wälder in Deutschland hängt wesentlich von ihrem Tempo und ihrer Intensität ab, aber auch von den möglichen regionalspezifischen Anpassungsleistungen des Waldes ab.

Indikatoren

- Globale Treibhausgasemissionen
- Anstieg der globalen mittleren Oberflächentemperatur
- Häufigkeit und Ausmaß von Wetterextremen in Mitteleuropa (Stürme, Dürren, Hitzeperioden, ...)

Wirkungen

Allgemeine Wirkungen

- Zunahme extremer Wetterereignisse (vgl. Tab. 2.12)
- Ansteigen des Meeresspiegels
- Auftauen des Permafrostbodens, längere Wachstumsperioden und Standortverschiebungen der Vegetation
- Wachsende Gefahr von Kipp-Effekten im Gesamtklimagefüge (vgl. Abb. 2.8)
- Regional uneinheitliche Veränderung weiterer Klimaparameter (Niederschläge, Frosttage, ...) (Tab. 2.13)
- Vulnerabilität einzelner Sektoren und Regionen gegenüber dem Klimawandel (Tab. 2.13)

Wechselwirkungen mit anderen Einflussfaktoren

Starke Wechselwirkungen mit den anderen Zukunftsfeldern insbesondere zu erwarten bei:

- Demographischer Wandel: Treibhausgasemissionen gekoppelt an Landnutzungskonflikte (Entwaldung) und Bedürfnisbefriedigung (u.a. Energie, Nahrung, Produkte)
- Flächennutzungskonkurrenz: s.o. Landnutzungskonflikte wegen wachsender Weltbevölkerung mit Landwirtschaft verursachen Entwaldungsdruck

- Stoffliche Verwertung: Kohlenstoffspeicherung in der Technosphäre mindert Treibhauseffekt
- Energetische Verwertung: Energienachfrage fördert Plantagenwald und Dendromassemobilisierung, CO₂-neutrale Energieträger
- Globalisierung und internationale Märkte: Lenkungseffekte des CO₂-Zertifikathandels und regionale Auswirkungen der globalen Märkte auf die Holzressourcen
- Arbeitskultur und Region: Waldumbau und Dendromassemobilisierung sind arbeitsintensiv
- Lebensstile: Angst, Gewöhnung und höhere Akzeptanz für Klimapolitik möglich: Aufwertung der Schutzfunktion des Waldes

Wirkungen auf den Wald

- Klimaphänomene und ihre Auswirkungen auf Waldökosysteme (vgl. Tab. 2.15)
- Hohe Vulnerabilität von Wäldern gegenüber dem Klimawandel in Gegenden mit starken Temperaturveränderungen (Südwestdeutschland), geringer Wasserverfügbarkeit (von Dürre betroffene Teile Ostdeutschlands: abnehmende Niederschläge und Sandböden) sowie mit Anbau der Fichte außerhalb ihrer natürlichen Standorte (Süd- und Westdeutschland)
- Kombinationswirkungen von Klimaphänomenen mit neuartigen Waldschäden, Bränden, Insektenplagen und Krankheiten. Insbesondere Fichte und Buche sind betroffen.
- Vulnerabilität gegenüber dem Klimawandel und neuartigen Waldschäden nach Baumarten (vgl. Tab. 2.20)
- Volatile und wertgeminderte, forstliche Ertragslage (u.a. Sturmbruch, Kalamitäten)

Unsicherheiten

Robustheit: hoch, mittel, gering

Der natürliche Klimawandel wird durch einen anthropogenen Klimawandel überlagert, der in seiner Geschwindigkeit ohne Beispiel in der Menschheitsgeschichte ist. Die Menschheit hat keine Erfahrungen mit einem solch raschen Klimawandel innerhalb von Jahrzehnten und betritt somit Neuland. (*hoch*)

Der Klimawandel mit seinen Auswirkungen auf die Wälder (Zunahme extremer Wetterereignisse, Verschieben von Vegetationszonen, steigende Vulnerabilität) lässt sich bis 2020 nicht mehr wirksam aufhalten. (*hoch*)

Eine Trendwende der globalen Klimaerwärmung könnte bis 2100 durch Extremereignisse wie Vulkanausbrüche, „Nuklearen Winter“ oder gezielte Einbringung von Aerosolen in die Stratosphäre erreicht werden (*gering*)

Oberhalb eines Anstiegs um 3 C im Vergleich zum vorindustriellen Niveau wären die Folgen für die Menschheit und die Wälder bereits 2050 katastrophal. Regional ist auch schon 2020-2050 bei geringerem Temperaturanstieg mit dramatischen landschaftlichen, sozialen und ökonomischen Verwerfungen zu rechnen. (*mittel*)

Die internationale Staatengemeinschaft hat starken klimapolitischen Erfolgsdruck. Je nachdem, welches Stabilisierungsniveau der CO₂-Konzentration erreicht werden soll, müssen bis 2020 die politischen Weichen für eine Klimawende gestellt sein, damit bis 2050 die Maßnahmen greifen können, die zur Stabilisierung des Klimas bis Ende des Jahrhunderts erforderlich sind. (*mittel*)

Um den Anstieg auf deutlich unter 3°C im Vergleich zum vorindustriellen Niveau zu senken, muss bis 2020 ein Maßnahmenportfolio gebündelt werden, das eine Waldoption beinhaltet. Auch aus Kostengründen kann es sich die internationale Staatengemeinschaft nicht leisten, auf eine starke Waldoption zu verzichten (z.B. Integration in den Zertifikathandel). (*gering*)

Mit starkem politischen Willen und finanziellen Anreizen sollte es bis 2050 gelingen, die hohe Entwaldungsrate angesichts des Bevölkerungsdrucks und anderer Nutzungsansprüche dauerhaft unter die Aufforstungsrate zu senken. (*mittel*)

Entscheidend auch für die Kohlenstoffspeicherung ist die Nachhaltigkeit der Forstwirtschaft in Russland, Indonesien, Brasilien und China. Bis 2020 wird sie in Teilgebieten nachhaltig sein, bis 2050 auf der jeweiligen gesamten Landesfläche. (*mittel*)

Außerhalb Europas wird sich der Plantagenbau bis 2050 verdoppeln und bis 2100 verfünffachen, sofern andere Nutzungsansprüche wie Siedlungsdruck und Nahrungsmittelproduktion wirksam anders bekämpft werden können. (*mittel*)

Mögliche Ausprägungen/Entwicklungen bis 2020

	Projektion A	Projektion B	Projektion C	Projektion D
Kurzbeschreibung	Bestehende Trends setzen sich fort	Alles andere ist in höchstem Maße unseriös (Wild Cards vgl. Kap. 3.2)
Indikatoren-Annahmen	Keine Trendwende bei globalen Treibhausgasemissionen Anstieg der globalen Mitteltemperatur um 0,2°C pro Dekade	
Regionaler Bezug (welche Teile von Deutschland sind v.a. betroffen?)	Keine seriösen regionalen Auflösungen möglich			
Eintrittswahrscheinlichkeit (ca.-Angaben für jeweilige Projektion in %, alle Ausprägungen zusammen nicht mehr als 100%)	Macht keinen Sinn, ggf. aus Delphi-Befragung			
Auswirkungen auf den Wald (hier nur stichwortartig)	s. o. Wirkungen auf den Wald			

Mögliche Ausprägungen/Entwicklungen bis 2050

	Projektion A	Projektion B	Projektion C	Projektion D
Kurzbeschreibung	Bestehende Trends setzen sich fort	Verlangsamung	Beschleunigung	Trendumkehr
Indikatoren-Annahmen	Keine Trendwende bei globalen Treibhausgasemissionen Anstieg der globalen Mitteltemperatur um 0,2°C pro Dekade	Stabilisierung der Treibhausgasemissionen ab 2020 wirkt 2050 Latenz des Klimawandels	Starkes Ansteigen der Treibhausgasemissionen Beschleunigter Klimawandel	Wirksame Senkung der Treibhausgasemissionen ab 2020 wirkt 2050 Latenz des Klimawandels
Regionaler Bezug (welche Teile von Deutschland sind v.a. betroffen?)	Keine seriösen regionalen Klimaauflösungen möglich	Keine seriösen regionalen Klimaauflösungen möglich	Einzelne lokale Katastrophen in Deutschland möglich, aber nicht vorhersagbar	Keine seriösen regionalen Klimaauflösungen möglich
Eintrittswahrscheinlichkeit (ca.-Angaben für jeweilige Projektion in %, alle Ausprägungen zusammen nicht mehr als 100%)	Globale Anstrengungen nötig	Starke globale Anstrengungen nötig	Globale Anstrengungen untauglich	Gewaltige globale Anstrengungen nötig
Auswirkungen auf den Wald (hier nur stichwortartig)	s.o. Wirkungen auf den Wald	s.o. Wirkungen auf den Wald; mit Latenzzeit leichte Erholung möglich	U.U. dramatisch (Sturmbruch, Epidemien, Überflutungen, Dürreschäden, ...) Dauerhafte Schädigung der Waldökosysteme	s.o. Wirkungen auf den Wald; mit Latenzzeit Erholung möglich

Mögliche Ausprägungen/Entwicklungen bis 2100

	Projektion A	Projektion B	Projektion C	Projektion D
Kurzbeschreibung	Bestehende Trends setzen sich fort	Verlangsamung	Beschleunigung	Trendumkehr
Indikatoren-Annahmen	Keine Trendwende bei globalen Treibhausgasemissionen Anstieg der globalen Mitteltemperatur um 0,2°C pro Dekade	Stabilisierung der Treibhausgasemissionen ab 2070 wirkt 2100 Latenz des Klimawandels	Starkes Ansteigen der Treibhausgasemissionen Beschleunigter Klimawandel	Wirksame Senkung der Treibhausgasemissionen ab 2070 wirkt 2100 Latenz des Klimawandels
Regionaler Bezug (welche Teile von Deutschland sind v.a. betroffen?)	Keine seriösen regionalen Klimaauflösungen möglich	Keine seriösen regionalen Klimaauflösungen möglich	Einzelne lokale Katastrophen in Deutschland möglich, aber nicht prognostizierbar	Keine seriösen regionalen Klimaauflösungen möglich
Eintrittswahrscheinlichkeit (ca.-Angaben für jeweilige Projektion in %, alle Ausprägungen zusammen nicht mehr als 100%)	Globale Anstrengungen nötig	Starke globale Anstrengungen nötig	Globale Anstrengungen untauglich	Gewaltige globale Anstrengungen nötig
Auswirkungen auf den Wald (hier nur stichwortartig)	s.o. Wirkungen auf den Wald	s.o. Wirkungen auf den Wald; mit Latenzzeit leichte Erholung möglich	U.U. dramatisch (Sturmbruch, Epidemien, Überflutungen, Dürreschäden, ...) Dauerhafte Schädigung der Waldökosysteme	s.o. Wirkungen auf den Wald; mit Latenzzeit Erholung möglich

5.2 Tableau - Einflussfaktor Klima- und Energiepolitik

Einflussfaktor

Nationale Klima- und Energiepolitik

Kurze Beschreibung

Dem globalen Klimawandel kann nur auf globaler Ebene wirksam begegnet werden (Mitigation). Diese Option ist in den Ausprägungen des globalen Klimawandels 2020/2050/2100 berücksichtigt. Die nationale Klima- und Energiepolitik hat jedoch bedeutende Möglichkeiten zur Anpassung an die Folgen des Klimawandels (Adaptation). Schlüsselmaßnahme ist hier der Waldbau als regionale Anpassungsstrategie an den Klimawandel. Dagegen sind die Operationalisierung einer globalen Kohlenstoffspeicherungsstrategie und ihre Auswirkungen in Deutschland sowie ihre praktischen Ausgestaltung stark umstritten.

Indikatoren

- Baumartenzusammensetzung (Alter, genetische Vielfalt, Baumarten, etc.) in Deutschland
- Nachhaltig, klimawandelangepasst bewirtschaftete Waldfläche in Deutschland
- Netto-Kohlenstoffabsorptionsrate im Wald
- Netto-Kohlenstoffspeicherungsrate in der Technosphäre

Wirkungen

Allgemeine Wirkungen

Siehe: Wirkungen auf den Wald

Wirkungen auf den Wald

- Verringerung der Anfälligkeit gegenüber extremen Wetterereignissen wie Stürme und Dürren
- Veränderung der Baumartenzusammensetzung durch Waldbau hin zu einem höheren Laubholzanteil
- Neuausrichtung von Waldbaukonzepten, u.a. durch Verjüngung, Binnenklima- und Bodenwassermanagement
- Ausweitung der gespeicherten Kohlenstoffmenge im Wald und in Holzprodukten

Wechselwirkungen mit anderen Einflussfaktoren

Starke Wechselwirkungen mit den anderen Zukunftsfeldern insbesondere zu erwarten bei:

- Demographischer Wandel: nur schwache Wechselwirkungen
- Flächennutzungskonkurrenz: Nachhaltig, klimaangepasst bewirtschaftete Waldfläche in Deutschland konkurriert mit nicht nachhaltiger Nutzung der Waldfläche sowie landwirtschaftlicher Nutzfläche

- Stoffliche Verwertung: Kohlenstoffspeicherung in der Technosphäre mindert Treibhauseffekt
- Energetische Verwertung: Energienachfrage fördert klimasensitiveren Plantagenwald und Dendromassemobilisierung
- Globalisierung und internationale Märkte: Lenkungseffekte des möglichen CO₂-Zertifikathandels und regionale Auswirkungen der globalen Märkte auf die Holzressourcen
- Arbeitskultur und Region: Waldumbau und Dendromassemobilisierung sind arbeitsintensiv
- Lebensstile: Angst, Gewöhnung und höhere Akzeptanz für Klimapolitik möglich: Aufwertung der Schutzfunktion des Waldes

Unsicherheiten

Robustheit: hoch, mittel, gering

Bis 2020 wird der Waldumbau verstärkt den veränderten klimatischen Standortbedingungen Rechnung tragen. Regionale Klimaprognosen für Deutschland werden vor 2050 nicht zuverlässig möglich sein, weshalb die regionalen Waldbaustrategien ihren explorativen Charakter beibehalten werden. (mittel)

Der Waldumbau wird bis 2050 in Deutschland weitgehend abgeschlossen sein. Das veränderte Angebotspotenzial forstwirtschaftlicher Ressourcen wird sich schleichend bis 2100 in Richtung Laubhölzer verschieben. (hoch)

Die Waldschäden durch klimatische Extremereignisse werden 2050 sowohl im Privatwald, als auch im Staats-, Landes- und Körperschaftswald auf nahezu der gesamten Waldfläche durch effiziente Versicherungslösungen ausgeglichen. (gering)

Der Waldzustand wird sich in Europa aufgrund verstärkter Anstrengungen zur Verkehrsreduktion und Luftreinhaltungspolitik sowie dem Waldumbau bis 2050 erholen, so dass sich die Vulnerabilität gegen Wetterextremen deutlich verringern wird. (gering)

Deutschland wird um 2020 die Voraussetzungen für eine Rohstoffwende geschaffen haben. Auf landwirtschaftlichen Stilllegungsflächen werden optimierte Gehölze mit definierten Faserqualitäten für die chemische Industrie und für die energetische Nutzung angebaut, deren Ausbaugrenze um 2050 erreicht wird. (mittel)

Im Jahr 2050 wird die Kohlenstoffspeicherung in langlebigen Bestandslagern wie z.B. Bauwerken durch starke Instrumente europaweit gefördert und bis 2100 ein wirksamen Kohlenstoffspeicher im Bestand vorhanden sein. (mittel)

Mögliche Ausprägungen/Entwicklungen bis 2020

	Projektion A	Projektion B	Projektion C	Projektion D
Kurzbeschreibung	Bestehende Waldbaukonzepte weitergeführt	Waldbaukonzepte stärker an Klimawandel angepasst	Abkehr von ordnungspolitischer Steuerung des Waldbaus	Kohlenstoffspeicherungsstrategie
Indikatoren-Annahmen	Nachhaltig bewirtschaftete Waldfläche konstant	Nachhaltig, klimaangepasste Waldfläche steigt	Nachhaltig bewirtschaftete Waldfläche nimmt ab	Netto-Kohlenstoffabsorptionsrate im Wald & Netto-Kohlenstoffspeicherungsrate in der Technosphäre nehmen zu
Regionaler Bezug (welche Teile von Deutschland sind v.a. betroffen?)	Waldbaukonzepte der 16 Bundesländer	Waldbaukonzepte der 16 Bundesländer	Abkehr von staatlichen Waldbaukonzepten in Deutschland	Hoheitliche Aufgabe (Deutschland, EU)
Eintrittswahrscheinlichkeit (ca.-Angaben für jeweilige Projektion in %, alle Ausprägungen zusammen nicht mehr als 100%)	wahrscheinlich	weniger wahrscheinlich	unwahrscheinlich	Wenig wahrscheinlich
Auswirkungen auf den Wald (hier nur stichwortartig, näher Ausführungen weiter unten)	s. o. Wirkungen auf den Wald (sehr langsam)	Geringere Vulnerabilität gegenüber Klimawandel (Latenzeit)	Hohe Vulnerabilität gegenüber Klimawandel (schnell)	Neue Waldbewirtschaftungskonzepte erforderlich

Mögliche Ausprägungen/Entwicklungen bis 2050

	Projektion A	Projektion B	Projektion C	Projektion D
Kurzbeschreibung	Waldbaukonzepte weitergeführt	Waldbaukonzepte stärker an Klimawandel angepasst	Abkehr von ordnungspolitischer Steuerung des Waldbaus	Kohlenstoff-speicherungs-strategie
Indikatoren-Annahmen	Nachhaltig bewirtschaftete Waldfläche konstant	Nachhaltig klimaangepasst bewirtschaftete Waldfläche konstant	Nachhaltig bewirtschaftete Waldfläche nimmt ab	Netto-Kohlenstoff-absorptionsrate im Wald & Netto-Kohlenstoff-speicherungsrate in der Technosphäre nehmen deutlich zu
Regionaler Bezug (welche Teile von Deutschland sind v.a. betroffen?)	Waldbaukonzepte der Bundesländer	Waldbaukonzepte basierend auf lokalen Klimaerfahrungen und Prognosen angepasst	Waldbau an regionalen Markterfordernissen orientiert	Hoheitliche Aufgabe (Deutschland, EU)
Eintrittswahrscheinlichkeit (ca.-Angaben für jeweilige Projektion in %, alle Ausprägungen zusammen nicht mehr als 100%)	Weniger wahrscheinlich	wahrscheinlich	Wenig wahrscheinlich	wahrscheinlich
Auswirkungen auf den Wald (hier nur stichwortartig, näher Ausführungen weiter unten)	Waldumbau zu $\frac{3}{4}$ abgeschlossen 40 % Laubbäume	Deutlich geringere Vulnerabilität gegenüber Klimawandel Steigender Mischwaldanteil	Hohe Vulnerabilität gegenüber Klimawandel „Cash Crops“	Neue Waldbewirtschaftung erforderlich Wald als Investitionsobjekt

Mögliche Ausprägungen/Entwicklungen bis 2100

	Projektion A	Projektion B	Projektion C	Projektion D
Kurzbeschreibung	Waldbaukonzepte weitergeführt	Waldbaukonzepte stärker an Klimawandel angepasst	Abkehr von ordnungspolitischer Steuerung des Waldbaus	Kohlenstoffspeicherungserungsstrategie
Indikatoren-Annahmen	Nachhaltig bewirtschaftete Waldfläche konstant	Nachhaltig, klimaangepasst bewirtschaftete Waldfläche konstant	Nachhaltig bewirtschaftete Waldfläche nimmt ab	Netto-Kohlenstoffabsorptionsrate im Wald & Netto-Kohlenstoffspeicherungsrate in der Technosphäre nehmen deutlich zu
Regionaler Bezug (welche Teile von Deutschland sind v.a. betroffen?)	Waldbaukonzepte der Bundesländer	Waldbaukonzepte basierend auf lokalen Klimaerfahrungen und Prognosen klimaangepasst	Waldbau an regionalen Markterfordernissen orientiert	Hoheitliche Aufgabe (Deutschland, EU)
Eintrittswahrscheinlichkeit (ca.-Angaben für jeweilige Projektion in %, alle Ausprägungen zusammen nicht mehr als 100%)	Weniger wahrscheinlich	wahrscheinlich	Wenig wahrscheinlich	wahrscheinlich
Auswirkungen auf den Wald (hier nur stichwortartig, näher Ausführungen weiter unten)	Waldumbau abgeschlossen 60 % Laubbäume	Deutlich geringere Vulnerabilität gegenüber Klimawandel Nur Mischwälder	Hohe Vulnerabilität gegenüber Klimawandel „Cash crops“	Neue Waldbewirtschaftung erforderlich Wald als Investitionsobjekt

Publikationen des Projekts „Zukünfte und Visionen Wald 2100“

Download unter: www.waldzukuenfte.de

Aretz, Astrid, IÖW; Knoll, Michael, IZT (2007): **Zukunftsfeld „Perspektiven energetischer Nutzung von Holz“**. Basispapier des Projektes „Zukünfte und Visionen Wald 2100“

Brüggemann, Beate; Riehle, Rainer, INFIS (2007): **Zukunftsfeld „Arbeitskultur, Region und Innovation“**. Basispapier des Projektes „Zukünfte und Visionen Wald 2100“

Brüggemann, Beate; Riehle, Rainer, INFIS (2007): **Zukunftsfeld „Gesellschaftlicher und kultureller Wandel“**. Basispapier des Projektes „Zukünfte und Visionen Wald 2100“

von Detten, Roderich, IFP (2007): **Zukunftsfeld „Märkte für Forst- und Holzwirtschaft vor dem Hintergrund globalisierter Marktbedingungen“**. Basispapier des Projektes „Zukünfte und Visionen Wald 2100“

von Egan-Krieger, Tanja; Ott, Konrad, Universität Greifswald (2007): **Normative Grundlagen nachhaltiger Waldbewirtschaftung. Ethik-Gutachten** im Rahmen des Projektes „Zukünfte und Visionen Wald 2100“

Erdmann, Lorenz; Behrendt, Siegfried, IZT (2007): **Zukunftsfeld „Wald und Klimawandel“**. Basispapier des Projektes „Zukünfte und Visionen Wald 2100“

Henseling, Christine, IZT (2008): **Jugendkonferenz „Zukünfte und Visionen Wald 2100“**. Ergebnisbericht des Projektes „Zukünfte und Visionen Wald 2100“

Hirschfeld, Jesko; Buchholz, Frank, IÖW (2007): **Zukunftsfeld „Flächennutzungskonkurrenzen“**. Basispapier des Projektes „Zukünfte und Visionen Wald 2100“

Marwede, Max; Erdmann, Lorenz; Behrendt, Siegfried, IZT (2007): **Leitbild-Assessment. Normative Orientierungen der Wald- und Landnutzung**. Arbeitspapier des Projektes „Zukünfte und Visionen Wald 2100“

Memmler, Michael; Schraml, Ulrich, IFP (2008): **Akteurslandkarte. Bericht über die Analyse relevanter Akteure der Waldpolitik in Deutschland**. Arbeitspapier des Projektes „Zukünfte und Visionen Wald 2100“

Mickler, Tobias; Behrendt, Siegfried; et al., IZT (2008): **Delphi-Report: Die Zukunft der Waldnutzung in Deutschland**. Ergebnisse einer Expertenbefragung zur Entwicklung von Wald, Forstwirtschaft und Landnutzung im Rahmen des Projektes „Zukünfte und Visionen Wald 2100“

Moser, Karl, K.M. Consulting; Mohaupt, Franziska, IÖW (2007): **Zukunftsfeld „Stoffliche Verwertung von Holz“**. Basispapier des Projektes „Zukünfte und Visionen Wald 2100“

Steinmüller, Karlheinz; Schulz-Montag, Beate; Veenhoff, Sylvia, Z_punkt (2008): **Waldzukünfte 2100 – Szenarioreport**. Arbeitspapier des Projektes „Zukünfte und Visionen Wald 2100“

Wurz, Antje, IFP (2007): **Zukunftsfeld „Demographische Entwicklung“**. Basispapier des Projektes „Zukünfte und Visionen Wald 2100“

Zukünfte und Visionen Wald 2100 (Hrsg.) (2008): **Waldzukünfte: Herausforderungen für eine zukunftsfähige Waldpolitik in Deutschland. Policy Paper** des Projektes „Zukünfte und Visionen Wald 2100“

www.waldzukunft.de