

6

KLIMASCHUTZ ALS ÖKOSYSTEMLEISTUNG DES WALDES IN DEUTSCHLAND: WIE TRAGEN DEUTSCHE WÄLDER ZUM SCHUTZ DER ATMOSPHERE BEI?

KOORDINIERENDER AUTOR

PETER ELSASSER

AUTOREN

MATTHIAS BÖSCH, GEORG LEEFKEN, BERNHARD MÖHRING, TILL PISTORIUS,
JOACHIM ROCK, SEBASTIAN RÜTER, BETTINA SCHRÖPPEL

MIT EINEM BEITRAG VON

GEORG WINKEL

GUTACHTER

ECKHARD HEUER, ERNST-DETLEF SCHULZE, MATTHIAS DIETER, RAINER KANT

6.1	Klimapolitik und Wälder	151
6.1.1	Klima-, naturschutz- und wirtschaftspolitische Ausgangslage	151
6.1.2	Waldbezogene Regeln der internationalen Klimapolitik	152
6.1.3	Nationale Klimapolitik	153
6.2	Wie beeinflussen Wälder und Waldnutzung in Deutschland die Treibhausgasbilanz der Atmosphäre?	156
6.2.1	Kohlenstoffspeicherung in Bäumen	157
6.2.2	Kohlenstoffspeicherung in Begleitvegetation, Totholz, Streu und Böden	158
6.2.3	Kohlenstoffspeicherung in Holzprodukten	158
6.2.4	Substitutionswirkungen	159
6.2.5	Derzeitige Tendenz der Senkenentwicklung	159
6.3	Maßnahmen zum Erhalt und zur Erhöhung der Klimaschutzleistung im Forst- und Holzsektor	159
6.3.1	Vermeidung von Netto-Speicherverlusten (Emissionen)	160
6.3.2	Neuanlage von Wald (Pflanzung, Sukzession)	160
6.3.3	Bewirtschaftung bestehender Wälder	161
6.4	Ökonomische Werte von Klimaschutz und anderen Ökosystemleistungen des Waldes	163
6.4.1	Nutzen für die Forstbetriebe	163
6.4.2	Nutzen für die Gesellschaft	164
6.5	Fazit	166
	Literatur	167

KERNAUSSAGEN

- ▶ Weltweit ist Entwaldung eine der bedeutendsten Quellen der Emission von Treibhausgasen. Walderhaltung ist deshalb ein Kernanliegen der internationalen Klima- wie auch der Biodiversitätspolitik. In Deutschland ist dieses Ziel durch Gesetze, funktionsfähige Verwaltungen und Justiz institutionell durchgesetzt, mit dem Ergebnis einer ausgeglichenen bzw. schwach positiven Waldflächenbilanz.
- ▶ Demgegenüber haben bewirtschaftungsbedingte Veränderungen der Kohlenstoffvorräte in den Wäldern nachgeordnete Bedeutung für die Kohlenstoffbilanz, sofern die Bewirtschaftung entlang der forstlichen Grundsätze der Nachhaltigkeit erfolgt.
- ▶ Will man sämtliche der für den Treibhausgasgehalt der Atmosphäre relevanten Wirkungen bewirtschafteter wie auch unbewirtschafteter Wälder berücksichtigen, so darf die Betrachtung nicht auf den Wald und seine Senkenleistung allein begrenzt werden, sondern muss auch den Holzproduktspeicher sowie mögliche Substitutionseffekte bei der stofflichen und energetischen Holzverwendung umfassen. Bezieht man dies in die Betrachtung ein, so relativiert sich die Wirkung vieler Maßnahmen, da sich Wald- und Holzproduktspeicher zum Teil gegenseitig puffern. Das bedeutet: Wird der Waldspeicher vergrößert, so geht dies tendenziell zu Lasten des Holzproduktspeichers sowie möglicher Substitution, und vice versa.
- ▶ Waldwirtschaft in Deutschland verursacht im Gegensatz zur Industrieproduktion und zur Landwirtschaft keine Nettoemissionen. Vielmehr leistet sie über die Senkenleistung der Wälder und der Holzprodukte sowie über Substitutionseffekte einen Beitrag zur Eindämmung des Treibhauseffekts.
- ▶ In umgekehrter Richtung beeinflusst der Klimawandel selbst die Wälder. Einerseits können allgemeine Erwärmung und Verlängerung der Vegetationsperiode generell das Pflanzenwachstum fördern, andererseits erhöhen sich Bestandsrisiken durch verstärkte Sommertrockenheit, Extremwetterereignisse und biotische Kalamitäten; diese bedrohen auch die Senkenleistung. Ob per Saldo die positiven oder die negativen Auswirkungen überwiegen, ist maßgeblich von Ausmaß und Geschwindigkeit des Klimawandels abhängig. Für diese ist wesentlich, wann und wie stark THG-Emissionen weltweit eingedämmt werden können.
- ▶ Möglichen Schäden für die Biodiversität und die Ökosystemleistungen der Wälder vorzubeugen, kann ein triftiger Grund für Maßnahmen zur Anpassung von Wäldern an den Klimawandel sein. Diese müssen angesichts der Langlebigkeit der Bäume weit vor ihrem Wirksamwerden geplant sein. Aufgrund der Unsicherheit über Art und Ausmaß des Klimawandels, aber auch wegen der unterschiedlichen Ziele, die mit der Anpassung verfolgt werden, sind je nach lokalen Voraussetzungen sehr unterschiedliche Anpassungsstrategien begründbar – die Stabilisierung labiler Nadelbaumbestände durch Umwandlung in naturnahe Mischwälder genauso wie eine Verkürzung der Produktionszeiten und eine Anreicherung der Bestände mit raschwüchsigen Exoten.
- ▶ Aus forstbetrieblicher Sicht ist die Senkenleistung der Wälder weiterhin ein öffentliches Gut; der Nutzen dieser Ökosystemleistung kommt den Betrieben finanziell nicht zugute. Wenn es im Interesse der Gesellschaft liegt, bestimmte Klimaschutz- und Klimaanpassungsoptionen zu stärken, ist zu klären, wer die entsprechenden zusätzlichen Kosten trägt, und wie Waldbesitzer für solche Optionen gewonnen werden können. Es erscheint sinnvoll, hier eine Anpassung der bestehenden Förderinstrumente zu diskutieren und gegebenenfalls eine entsprechende Neuausrichtung vorzunehmen.

KERNAUSSAGEN

- ▶ Die vorhandenen umweltökonomischen Bewertungen von Ökosystemleistungen der Wälder in Deutschland zeigen, dass Wälder durch ihre Holzproduktion, aber auch durch die Bereitstellung weiterer öffentlicher Güter für die Gesellschaft einen erheblichen Nutzen bewirken. Im Vergleich zum monetären Wert der Holzproduktion, der Erholungsleistung sowie auch des Schutzes der Biodiversität in Wäldern tritt der Wert der Senkenleistung für die deutsche Bevölkerung derzeit nicht in den Vordergrund.
- ▶ In politischen Diskussionen über die zukünftige Gestaltung der Wälder in Deutschland werden häufig klimapolitische Argumente angeführt, auch zur Untermauerung jeweils entgegengesetzter Interessenstandpunkte. Viele klimapolitische Argumente in Bezug auf Wälder sind unter hiesigen Rahmenbedingungen jedoch wenig belastbar und gegenüber anderen Anliegen der Gesellschaft an Schutz und Nutzung der Wälder auch von nachgeordneter Bedeutung.

6.1 KLIMAPOLITIK UND WÄLDER

6.1.1 Klima-, naturschutz- und wirtschaftspolitische Ausgangslage

Klimapolitische Ziele in Deutschland wie auch weltweit sind darauf gerichtet, eine gefährliche anthropogene Störung des Klimasystems durch ansteigende Treibhausgaskonzentrationen in der Atmosphäre zu vermeiden (UNFCCC, 1992: Art. 2). Dies erfordert insbesondere, Emissionen von Treibhausgasen zu begrenzen. Wälder und Waldbewirtschaftung verursachen jedoch – im Gegensatz zur Industrieproduktion und zur Landwirtschaft – normalerweise keine nennenswerten Emissionen, sofern die Bewirtschaftung entlang der forstlichen Grundsätze der Nachhaltigkeit erfolgt und die Waldfläche nicht verringert wird. Generell können Wälder sogar als Kohlenstoffsenken wirken (»Mitigation«) und so anderweitige Emissionen kompensieren. Dies gilt explizit auch für bewirtschaftete Wälder: Tatsächlich waren in der jüngeren Vergangenheit die Wälder in Europa, und generell in der nördlichen Hemisphäre, insgesamt eine Kohlenstoffsenke (Goodale et al., 2002; Luyssaert et al., 2010; Pan et al., 2011), und sie werden dies in absehbarer Zukunft voraussichtlich auch bleiben (Eggers et al., 2008). Je nach Verwendung und Nutzungsdauer können auch Holzprodukte einen Beitrag zum Klimaschutz leisten, indem sie Kohlenstoff speichern und/oder emissionsintensivere Materialien und Energieträger ersetzen. Bewirtschaftung von Wäldern und Holznutzung treffen aber vielfach auf Vorbehalte, wenn es um Klimapolitik geht. Einer der Gründe dafür ist, dass die Berücksichtigung der Waldspeicher in den internationalen Regeln eine Hintertür dafür bot, Mengenziele zur Begrenzung industrieller Emissionen aufzuweichen. Die Anpassung der Wälder an den Klimawandel ist ein weiterer

wesentlicher Aspekt in der klimapolitischen Diskussion, da der Klimawandel die Produktivität und die Stabilität von Wäldern gefährdet, und damit auch die von ihnen gebotenen Leistungen – die Kohlenstoff-Senkenleistung genauso wie alle anderen Ökosystemleistungen des Waldes. Das Anpassungserfordernis stellt die Waldbewirtschaftung in Deutschland (wie auch anderswo) vor besondere Herausforderungen, weil Bäume sehr langlebig sind: Anpassungsmaßnahmen müssen weit vor ihrem Wirksamwerden erfolgen, und entsprechend unter erheblicher Unsicherheit über Art, Ausmaß und lokale Auswirkungen des Klimawandels (siehe Infobox 6.1).

Für die Naturschutzpolitik sind Schutz und nachhaltige Nutzung der biologischen Vielfalt sowie gerechte Nutzenverteilung die zentralen Ziele (CBD, 1992: Art. 1; BMU, 2007). Leitbilder des Naturschutzes orientieren sich daher u. a. an der Artenausstattung, die jeweils mit traditionellen Flächennutzungen einhergeht. Bei Wäldern spielt zusätzlich der Aspekt der Naturnähe eine bedeutende Rolle (Scherzinger, 1996) – stärker als etwa bei der Landwirtschaft, für welche der Erhalt einer menschlich überprägten Kulturlandschaft sowie der damit verbundenen biologischen Vielfalt von zentraler Bedeutung ist. Von Natur aus wäre Deutschland nahezu komplett bewaldet; Wald ist daher im Allgemeinen die naturnächste Vegetation. Zudem sind Häufigkeit und Intensität menschlicher Eingriffe in die Natur in der Waldbewirtschaftung generell geringer als bei anderen Flächennutzungen, etwa in der Landwirtschaft: Wird – wie forstüblich – nur alle 5–10 Jahre im Rahmen von Jungbestandspflege, Durchforstung oder Endnutzung in die Bestände eingegriffen, so bleiben jährlich 80–90% der Waldfläche ohne Eingriff. Dennoch verändert jede Bewirtschaftungsmaßnahme auch im

Wald die jeweils dort entstandene Situation und kann so in latentem Spannungsverhältnis zum Leitbild »Naturnähe« stehen. Erhalt und Nutzung von Wäldern erfordern also zumal vor dem Hintergrund des Klimawandels Kompromisse, nicht nur zwischen verschiedenen Nutzungsansprüchen an die Wälder, sondern auch zwischen einzelnen Zielen und Leitbildern des Naturschutzes selbst.

Bei wirtschaftspolitischer Betrachtung ist zunächst festzuhalten, dass der ganz überwiegende Teil des Waldes in Deutschland bewirtschaftet wird; für die Forstbetriebe ist er die Produktionsbasis. Deren Fläche befindet sich zu knapp 50 % in privater Hand, bei überwiegend sehr geringer Größe der Einzelbetriebe; etwa 30 % der Waldfläche sind im Besitz der verschiedenen Bundesländer, weitere 20 % gehören den diversen Gemeinden, kommunalen Stiftungen und Städten. Der Staatswald des Bundes umfasst lediglich knapp 4 % der Waldfläche. Diese vielfältigen Eigentümer verfolgen sehr unterschiedliche Ziele für ihren Wald. Ertragsziele gehören oft, aber nicht immer dazu; insbesondere dürfte die Maximierung finanzieller Erträge nur für eine Minderheit der Betriebe das ausschließliche Bewirtschaftungskriterium sein. Gleichwohl sind Einnahmen für Betriebe grundsätzlich überlebenswichtig. Unter den Einnahmequellen der Forstbetriebe dominiert der Rohstoff Holz bei weitem; über 90 % der Einnahmen basieren auf Holzverkauf. Die Flächenenerträge aus Forstwirtschaft sind dabei vergleichsweise gering. Mit den Erträgen konkurrierender Flächennutzungen können sie meist nicht mithalten – und dies desto weniger, je stärker die Produktion von Nahrungsmitteln, nachwachsenden Rohstoffen und erneuerbaren Energien staatlich gefördert wird. Die erheblichen Flächenverluste über die letzten Jahrzehnte, insbesondere für Siedlungen und Verkehrswege, sind aber im Wesentlichen zu Lasten der Landwirtschaftsfläche gegangen; die Waldfläche Deutschlands hat in den letzten Jahrzehnten nicht abgenommen und stieg sogar kontinuierlich leicht an (NIR, 2012). Dies ist wesentlich auf gesetzliche Vorschriften zum Walderhalt zurückzuführen (BWaldG §9). Neben Holz produzieren Wälder und Forstwirtschaft eine Reihe weiterer Ökosystemleistungen (wie beispielsweise den Schutz vor Hochwasser oder Lawinen, die Reinigung und Verstetigung der Wasserspende, die Bereitstellung von Erholungsangeboten, sowie schließlich auch die Klimaschutzleistung selbst) und sind wichtige Habitats für Pflanzen und Tiere. Diese Leistungen sind oft nicht marktgängig; ihre Erträge kommen den Forstbetrieben daher nicht direkt zu Gute. Indirekt können solche Leistungen durch einzelne maßnahmenbezogene Subventionen staatlich gefördert werden (z. B. Bestandesbegründung

mit Laubholz, Jungbestandspflege etc.). Bezogen auf die Fläche entspricht die Fördersumme im Privatwald etwa 10–15 €/ha*a, was aber nur etwa 3–5 % im Vergleich zur landwirtschaftlichen Förderung ausmacht (Möhring und Mestemacher, 2009). Die forstlichen Subventionen entgelten zumeist nicht die Leistungen selbst, sondern lediglich (Anteile der) durch Maßnahmen entstandenen Kosten. Den Forstbetrieben werden dadurch nur wenige Anreize geboten, nicht marktgängige Ökosystemleistungen der Wälder speziell zu fördern.

6.1.2 Waldbezogene Regeln der internationalen Klimapolitik

Den allgemeinen Rahmen für die internationale Klimapolitik bildet die Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen (UNFCCC, 1992), die 1994 in Kraft getreten ist und bisher von 195 Vertragsparteien verbindlich angenommen wurde. Sie verpflichtet die Vertragsparteien in allgemeiner Form, ihre Emissionen zu begrenzen sowie regelmäßig über den Stand ihrer anthropogenen Treibhausgasemissionen zu berichten. Diese Berichte müssen auch den Bereich Landnutzung, Landnutzungsänderungen und Forstwirtschaft umfassen.

Verbindliche Emissionsgrenzen wurden erst mit dem Kyoto-Protokoll festgelegt, allerdings bislang nur für die in Annex I der Klimarahmenkonvention aufgeführten Industrieländer. In Bezug auf Wälder ist hier geregelt, dass Emissionen (aus Treibhausgasquellen) bzw. umgekehrt der Abbau von Treibhausgasen (in Form von Senken) von allen Industriestaaten angerechnet werden müssen, sofern sie aus Entwaldung und Aufforstung stammen (Art. 3.3). Die Anrechnung entsprechender Vorratsveränderungen im bestehenden Wald (Art. 3.4) war in der ersten Verpflichtungsperiode 2008–2012 noch freiwillig und ist in der zweiten Verpflichtungsperiode (seit 2012) für alle beteiligten Industriestaaten verpflichtend geworden; Deutschland hat sich bereits in der ersten Verpflichtungsperiode für diese Option entschieden. Allerdings konnten Waldsenken zunächst nur innerhalb bestimmter Grenzen angerechnet werden (Emissionen durch Entwaldung durften im Zeitraum 2008–2012 nur bis zu einer pauschalen Obergrenze – maximal 9 Mt C/a – durch die Vorratszunahme im bestehenden Wald ausgeglichen werden; auch die Vorratszunahme in bereits bestehenden Wäldern wurde nur bis zu einer jeweils länderspezifischen Höchstgrenze anerkannt. Für Deutschland betrug sie 1,24 Mio. t C/a). In der zweiten Verpflichtungsperiode entfallen diese Grenzen aufgrund eines veränderten Bilanzierungsverfahrens. Vorgesehen ist eine Bilanzierung gegen ein sogenanntes »Forest Management Reference Level«

(FMRL), in das natürliche Entwicklungen, Alterstrends, die Weiterführung der bisherigen Bewirtschaftung und natürliche Störungen einbezogen werden (können). Dies hat zur Folge, dass die angerechneten Emissionen oder Speichererhöhungen von den realen Änderungen deutlich verschieden sein können! Übersteigt die Kohlenstoffspeicherung eines Landes dieses FMRL, so können davon bis zu 3,5 % der Basisjahremissionen angerechnet werden. Darüber hinaus müssen in Zukunft Veränderungen angerechnet werden, die sich aus Bestandesänderungen des Holzprodukte-Speichers ergeben (decision 2/CMP.7, UNFCCC, 2011).

Durch die Begrenzung der Emissionsrechte der Staaten im Rahmen des Kyoto-Protokolls, die Handelbarkeit der entsprechenden Emissionszertifikate sowie die Anerkennung von Senkenzertifikaten sind neue institutionelle Rahmenbedingungen geschaffen worden. Diese bieten die Voraussetzung, die Senkenleistung des Waldes zumindest teilweise (nämlich nur innerhalb der jeweiligen Anrechnungsgrenzen) zu einem knappen und handelbaren Wirtschaftsgut werden zu lassen, das marktfähig ist und finanzielle Erträge ermöglicht. Diese Erträge können allerdings nicht von den Forstbetrieben, sondern nur von den beteiligten Staaten realisiert werden, da das Kyoto-Protokoll ausschließlich Rechtsverhältnisse zwischen Staaten regelt.

Aus diesem Grunde hatten sich von forstwirtschaftlicher Seite ehemals Hoffnungen darauf gerichtet, dass die Emissionshandelsrichtlinie der Europäischen Union (EU, 2003) forstliche Senkenzertifikate in das Europäische Emissionshandelssystem integrieren würde. Da dieses Emissionshandelssystem Rechte und Pflichten auf Betriebsebene regelt, hätte der ökonomische Wert der Waldsenkenleistung dadurch auch den Forstbetrieben selbst zugute kommen können. Nach den später erlassenen Ergänzungsrichtlinien (EU, 2004, 2009) ist eine Integration forstlicher Senkenzertifikate aber zumindest bis 2020 nicht vorgesehen (Ciccarese et al., 2011). Richtlinie 2009/29/EG (EU, 2009) sieht lediglich vor, dass mindestens 50 % der Einnahmen aus der Versteigerung von Emissionszertifikaten für bestimmte Zwecke des Klimaschutzes und der Klimaanpassung verwendet werden sollen, unter denen auch »Kohlenstoffspeicherung durch Forstwirtschaft in der Gemeinschaft« als Zweck genannt ist (EU, 2009: Art. 10 Abs. 3d).

Vor dem Hintergrund der ins Stocken geratenen internationalen Klimapolitik relativiert sich die Frage danach, welchen Beitrag die Wälder in Deutschland zur Eindämmung des Treibhauseffektes leisten könnten. Der weit überwiegende

Teil der weltweiten Emissionen unterliegt keinen konkreten Begrenzungen: Für Entwicklungsländer sind solche Grenzen bislang ohnehin nicht vereinbart worden, und unter den Industrieländern haben sich im Wesentlichen nur noch die europäischen Staaten und Australien in der 2. Verpflichtungsperiode des Kyoto-Protokolls zu einer Begrenzung ihrer Emissionen verpflichtet. Diese Staaten sind insgesamt für lediglich ca. 12 % der weltweiten Emissionen verantwortlich.

6.1.3 Nationale Klimapolitik

Die nationale Klimapolitik basiert auf dem nationalen Klimaschutzprogramm aus dem Jahr 2000 und seiner Fortschreibung fünf Jahre später (BMU, 2000, 2005). Dort ist als Ziel benannt, die CO₂-Emissionen bis zum Jahr 2005 um 25 % unter das Niveau von 1990 zu senken, bzw. die sechs Treibhausgase des Kyoto-Protokolls um 21 % (= 844 Mio. t CO₂/a) im Zeitraum 2008–2012 zu senken. In darüber hinausgehenden Selbstverpflichtungen strebte die Bundesregierung an, die CO₂-Emissionen 2008–2012 um 30 % zu mindern (BMU, 2005), bis 2020 um 40 %, und bis 2030 um 55 %, jeweils im Vergleich zu 1990 (BMWI und BMU, 2010). Wälder und ihre Bewirtschaftung spielen in diesen stark auf Emissionen aus fossilen Quellen fokussierten Programmen nur eine untergeordnete Rolle. Nachrichtlich wird auf das Potential durch Pflege und den Erhalt der Wälder sowie auf deren Flächenzunahme verwiesen, das auf 30 Mio. t CO₂ im Zeitraum 1990–2010 geschätzt wird (BMU, 2000, S. 87; nähere Erläuterungen zu diesen Zahlen fehlen dort). Dieses Potential soll durch Schutz bestehender und Ausweisung neuer Waldflächen (Kapitel 10.1), Verbesserung der Vitalität und Anpassungsfähigkeit der Wälder (Kapitel 10.2), Waldbauliche Maßnahmen zur Sicherung und Erhöhung der Kohlenstoffspeicherung (Kapitel 10.3) sowie eine vermehrte Verwendung von Holz als Rohstoff und Energieträger (Kapitel 10.4) genutzt werden. Diese recht allgemein gehaltenen Hinweise werden jedoch nicht konkret quantifiziert bzw. priorisiert. Auch in der Fortschreibung der Klimaschutzstrategie wird lediglich gefordert, die Forstwirtschaft solle »weiterhin bzw. in zunehmendem Maße einen Beitrag durch die Festlegung von Kohlenstoff in Böden und Biomasse der Wälder« leisten (BMU, 2005, S. 26).

Die Anpassungsstrategie der Bundesregierung aus dem Jahr 2008 zeigt ebenfalls nur Handlungsoptionen auf und verweist bezüglich der Rolle von Wäldern und Forstwirtschaft im Klimawandel lediglich in wenigen Absätzen auf die Wichtigkeit stabiler Bestände. Sie fordert einen Umbau in robuste Mischbestände, vermehrte Forschung sowie eine Verbesserung der Kommunikation zwischen Förstern und

INFOBOX 6.1

Anpassungen in der Forstwirtschaft und deren Auswirkungen
von Georg Winkel

Klimapolitik betrifft Wald und Forstwirtschaft in zweierlei Hinsicht: Zum einen spielen Wälder und Holz eine Rolle in der Mitigationpolitik, z. B. dann, wenn Kohlenstoffvorräte im Wald (einschließlich des Waldbodens) oder in den Holzproduktespeichern erhöht werden sollen oder aber die bioenergetische Nutzung von Holz gefördert wird. Zum anderen geht es um die Frage, welchen Beitrag Wälder zur Anpassung an Klimaänderungen leisten können (beispielsweise über die Regulierung des Landschaftswasserhaushaltes), und wie sie selbst an mögliche Auswirkungen des Klimawandels angepasst werden können. Klimaschutz und Anpassung sind eng miteinander verwoben, u. a., da stabile Wälder eine wesentliche Voraussetzung für die Erhaltung der durch sie erbrachten Ökosystemleistung der Kohlenstoff-Sequestrierung sind. Im Folgenden wird der Anpassungsaspekt betrachtet.

Die Anpassung der Waldökosysteme an den Klimawandel in Mitteleuropa ist eine komplexe Aufgabe. Zusätzlich zu den der Klimaanpassung inhärenten Unsicherheiten (über Art, Ausmaß und Zeitraum von Klimaveränderungen) tritt in Wäldern das Problem der Langfristigkeit ökosystemarer Prozesse besonders zu Tage (Hamrick, 2004; Milad et al., 2011, 2013). Schon das in vielen Wirtschaftswäldern in Deutschland erreichte Lebensalter von Laubbäumen von ca. 100–140 Jahren führt dazu, dass Baumindividuen prognostizierten Klimaveränderungen während ihrer Lebensspanne voll ausgesetzt sein werden. Zwar sind Bäume zumindest auf Populationsebene evolutionär an Klimaschwankungen relativ gut angepasst (Hamrick, 2004; Kätzel, 2008), gleichwohl mindert dieser Umstand die Chancen einer »naturschutzgerechten« Anpassungsstrategie bei einem raschen Klimawandel; denn gerade alte Bäume (deutlich älter als 140 Jahre) sind für den Erhalt walddispersiver Biodiversität wertvoll (Moning und Müller, 2009; Brunet et al., 2010). Zugleich müssen Anpassungsmaßnahmen in Wäldern auf lange Zeiträume hin geplant werden, was aber aufgrund der vielen Unsicherheiten eigene Probleme aufwirft (Hoogstra und Schanz, 2008).

Im Konkreten können Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel für die Wälder in Deutschland (die aktuell zu über 97% einer aktiven forstwirtschaftlichen Nutzung unterliegen) vielfältig ausfallen und z. B. die Baumartenwahl, Umtriebszeiten,

die Struktur oder den Holzvorratsreichtum der Wälder oder die Waldböden betreffen. In gewisser Vereinfachung lassen sich derzeit zwei Hauptstrategien der Anpassung unterscheiden, die von unterschiedlichen Priorisierungen bezüglich der Ökosystemleistungen ausgehen (Winkel et al., 2011; Storch und Winkel, 2012). Die eine Strategie kann als Anpassung durch Intensivierung der Bewirtschaftung beschrieben werden: Hier geht es vor allem darum, Bestandesrisiken durch eine Senkung der Produktionsalter zu senken. Zudem wird verstärkt auf nicht-heimische Baumarten gesetzt, die auch unter Klimawandelgesichtspunkten gute Wuchsleistungen erwarten lassen (vgl. Überblick in Milad et al., 2012a). Die zweite Strategie lässt sich als Anpassung durch Hinwirken auf naturnahe, vielfältige und strukturreiche Wälder beschreiben. Hierbei liegt der Schwerpunkt darauf, die Resilienz der Wälder durch Baumartenmischung und genetische Vielfalt, Biomasseanreicherung sowohl in Form von Lebend- als auch Totholz, Naturverjüngung und evolutionär-dynamische Selektionsprozesse und ein Mosaik an Altersstrukturen zu stärken (Milad et al., 2012a). Beide Strategien sind nicht völlig unvereinbar. Sie unterscheiden sich jedoch hinsichtlich ihres Potentials für Ökosystemleistungen. Die zweitgenannte Strategie birgt größere Potentiale für den Biodiversitätsschutz, aber auch kulturelle Leistungen des Waldes wie Walderholung (Milad et al., 2013, 2012a, 2012b).

Abschließend seien zwei zentrale Aspekte hervorgehoben: Erstens werden durch die Anpassungspolitik im Wald Elemente beider Strategien gefördert. Anpassungspolitik ist (z. B. als Anpassungsstrategien) in der Regel unspezifisch formuliert (z. B. Anpassung durch »naturnahen Waldbau«). Die konkrete Steuerung erfolgt, wenn überhaupt, über Waldumbauprogramme, die forstliche Förderung und Beratung und die Forsteinrichtung (v. a. im öffentlichen Wald) (Storch und Winkel, 2012). Zum zweiten steht bei konkreten Maßnahmen die Klimaanpassung selten im Vordergrund. Sie dient vielmehr der Legitimierung von Programmen, die vorwiegend aus anderen Gründen verfolgt werden. In der Regel geht es um eine Abwägung vielfältiger Interessen, wobei wirtschaftliche Belange und Interessen der Holzwirtschaft einerseits und naturschutzfachliche bzw. rechtliche Anforderungen andererseits besonders bedeutend sind (Storch und Winkel, 2013).

Wissenschaft (BMU, 2008). Es werden sehr allgemeine Synergiepotentiale und Zielkonflikte benannt, die zwischen Minderung und Anpassung be-/entstehen können. Im selben Jahr hat das Umweltbundesamt Empfehlungen für eine umfassende Klimaschutzstrategie veröffentlicht, in der sowohl Aspekte der Emissionsminderung als auch der Anpassung an den Klimawandel betrachtet werden; für Wälder und Forstwirtschaft wird Minderung nicht thematisiert, sondern lediglich im Kontext der Anpassung die Wichtigkeit einer großen genetischen Vielfalt betont und gefordert, »artenreiche Mischwälder auf[zu]bauen und ökologisch anpassungsfähige Herkünfte« zu verwenden (UBA, 2009, S. 41).

Der von der Regierung im Jahr 2011 beschlossene »Aktionsplan Anpassung der Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel« spezifiziert zwar die Rolle der Wälder im Klimawandel und Klimaschutz nicht näher, vernetzt aber die Anpassungsstrategie mit anderen nationalen Prozessen wie der nationalen Biodiversitätsstrategie (BMU, 2007) und der Waldstrategie 2020 der Bundesregierung (Bundesrepublik Deutschland, 2011). In der Biodiversitätsstrategie wird Klimawandel in Bezug auf Wälder eher am Rande thematisiert; als Anpassungsmaßnahme wird beispielhaft ein Anbau möglichst vielfältiger Mischbestände erwähnt, und als Mitigationsmaßnahmen insbesondere auf die Neubegründung von Waldflächen an geeigneten Standorten sowie natürliche Entwicklung von Moorwäldern verwiesen. Holznutzung findet zwar Erwähnung in der Zukunftsvision für Wälder (»Der aus Wäldern nachhaltig gewonnene Rohstoff Holz erfreut sich großer Wertschätzung«), wird im Zusammenhang mit dem Klimawandel aber nicht weiter behandelt. Die Waldstrategie verfolgt als Vision, dass »... standortgerechte, vitale und an den Klimawandel anpassungsfähige Wälder mit überwiegend heimischen Baumarten [...] durch eine nachhaltige Bewirtschaftung erhalten und weiter entwickelt [werden]. Die Wälder stellen die erforderlichen Rohstoffe bereit, bieten vielfältige Lebensräume für Flora und Fauna, erfüllen ihre Schutzfunktionen und laden zur Erholung ein. Die Naturnähe, Stabilität und Vielfalt der Wälder in Deutschland hat deutlich zugenommen.« Bezüglich der Rolle der Wälder im Klimaschutz wird hier gefordert, Wald als Kohlenstoffsenke zu erhalten, Maßnahmen zur Anpassung an den Klimawandel und zur Erschließung des Senkenpotentials von Wald und Holz zu ergreifen, welche die Klima- und Energieziele der Bundesregierung unterstützen, sowie auch die Verwendung von »Holz aus nachhaltiger Forstwirtschaft zur Substitution energieintensiver Materialien mit nachteiliger Öko- und CO₂-Bilanz« zu fördern. Auch diese Strategie löst aber die existierenden und potentiellen Ziel-

konflikte bezüglich der anderen Handlungsfelder nicht auf und bietet kein abgestimmtes und operationalisiertes Paket von Maßnahmen bzw. Politikinstrumenten.

Die deutsche Klimapolitik wurde seit dem Klimaschutzprogramm 2000 stetig weiterentwickelt, analog zu dem als »Meseberger Beschlüsse« bekannten integrierten Energie- und Klimaprogramm (IEKP). Dieses definiert die Instrumente, die dazu beitragen sollen, dass die klima- und energiepolitischen Ziele der Bundesregierung erreicht werden. Für Wald und Forstwirtschaft besonders relevant sind das seit dem Jahr 2000 mehrfach modifizierte Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) und das Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz (EEWärmeG) von 2008. Beide Gesetze unterstützen eine durch die signifikanten Preissteigerungen für Heizöl ohnehin stark wachsende Nachfrage nach Holz als Energieträger. Durch das EEG wird die bevorzugte Einspeisung von Strom aus erneuerbaren Quellen wie Biomasse zu festen und garantierten Tarifen in das deutsche Stromnetz geregelt. Mit dem EEWärmeG soll durch regulatorische Vorgaben erreicht werden, dass bis 2020 mindestens 14% des Wärme- und Kälteenergiebedarfs von Gebäuden durch erneuerbare Energien gedeckt wird; es ist mit einem Marktanreizprogramm gekoppelt, das u. a. die Nutzung von fester Biomasse (hier vor allem Holzpellets und -hackschnitzel) subventioniert.

Vor diesem Hintergrund sind Marktentwicklungen und übergeordnete Politikansätze, die indirekt die Bewirtschaftung von Wäldern und damit die Ökosystemleistungen beeinflussen, von größerer Relevanz als die unspezifischen Ziele für die Rolle der Wälder im Klimaschutz. Insbesondere die u. a. auch klimapolitisch motivierten Ziele für den Ausbau erneuerbarer Energien und die diesbezüglichen Instrumente sorgen für zusätzliche Anreize und eine spürbar wachsende Nachfrage nach Energieholz. Das nachhaltig mobilisierbare Potential wird hierfür zwischen 12 und 19 Mio. m³ pro Jahr gesehen (BMU und BMELV, 2009). Auf dieser Basis setzt der auf dem Europäischen Biomasseaktionsplan (EU-COM, 2005) fußende deutsche Biomasseaktionsplan das Ziel, den Anteil der Bioenergie am gesamten Primärenergieverbrauch von 4,9% auf 11% bis ins Jahr 2020 zu steigern (BMU und BMELV, 2009, S. 10) (vgl. auch Kapitel 3), u. a. durch Mobilisierung von Holzreserven. Der Ausbau der Biomassenutzung soll gleichzeitig einen »Beitrag zu anderen umweltpolitischen Zielen, wie z. B. dem Erhalt der Biodiversität, der Bodenfruchtbarkeit sowie Gewässer- und Immissionschutz« leisten, und »schützenswerte Landschaften [...] und Gebiete, die einen Schutzstatus haben, insbesondere solchen mit hoher Kohlenstoffsenkenfunktion« erhalten.

Die in diesen Forderungen impliziten Zielkonflikte – z. B. zwischen erhöhter Holzmobilisierung für energetische Zwecke und dem Ziel, den Wald als Kohlenstoffsenke zu erhalten – werden ebenso wenig thematisiert wie ökologische Aspekte oder die Rohstoffkonkurrenz zur stofflichen Verwendung von Holz.

Im Gegensatz zu diesen Rahmenbedingungen, die die Nachfrage nach Holz im Klimakontext erhöhen, gibt es nur wenige neue Ansätze für konkrete Politikinstrumente, welche Waldbesitzer als Zielgruppe definieren und Anreize für klimapolitisch abgestimmte Aktivitäten schaffen. Ein solcher Ansatz ist der »Waldklimafonds«, der jüngst etabliert worden ist und u. a. forstliche Minderungs- sowie auch Anpassungsaktivitäten fördert. Die Finanzierung dafür ist allerdings noch vor der Etablierung des Fonds von ursprünglich avisierten 35 Mio. € auf 7,2 Mio. € pro Jahr reduziert worden (AGE, 2013). Da der Fonds durch die Erlöse der Zertifikatversteigerungen im Europäischen Emissionshandelssystem gespeist wird (s. o.), diese Erlöse aber aufgrund niedriger Zertifikatspreise weit hinter den ursprünglichen Erwartungen zurückbleiben, schien es lange ungewiss, ob in Zukunft überhaupt mit Ausschüttungen aus dem Fonds gerechnet werden kann (Holz-Zentralblatt, 2013).

Zusammengefasst lässt sich feststellen, dass eine aktive, unmittelbar auf Klimaschutz ausgerichtete oder daran angepasste nationale Politik zur Bewirtschaftung der Wälder in Deutschland bislang nicht stattfindet. Diverse diesbezügliche Politikelemente finden sich zwar in etlichen sektoralen Strategien, bleiben aber wenig konkret, und die Strategien sind untereinander auch wenig koordiniert. Die Bedeutung von Wäldern und Holzverwendung global im Klimaschutz wird in vielen Kontexten sowohl für Anpassung als auch für Minderung herausgehoben, spielt aber in der deutschen Klimaschutzpolitik faktisch nur eine untergeordnete Rolle. Dies ist auf mehrere Faktoren zurückzuführen:

- ▶ die politische Fokussierung der Bundesregierung und der EU auf die Reduktion von fossilen Emissionen,
- ▶ die Komplexität des Themas »Kohlenstoffflüsse und -speicherung in terrestrischen Ökosystemen« sowie deren Interaktion mit Holzproduktespeichern und Substitutionseffekten,
- ▶ die angesichts sich verändernder klimatischer Bedingungen und geringer Flächenverfügbarkeit begrenzte Steuerbarkeit der C-Sequestrierung.

Die bestehenden ökonomischen Instrumente wie die beschriebenen Emissionshandelssysteme (international, EU ETS) bieten kaum Ansatzpunkte, Wälder und Forstwirtschaft in den Klimaschutz einzubinden. Sie liefern weder Ansätze zur Steuerung der C-Sequestrierung noch eine funktionsfähige Grundlage für die Inwertsetzung dieser Ökosystemleistung. Dass die institutionellen Voraussetzungen hierfür gleichwohl tatsächlich gestaltet werden können, zeigen Ansätze wie z. B. der Vertragsnaturschutz oder andere Systeme zur Abgeltung von Ökosystemleistungen (»PES-Schemata«), für die es weltweit funktionierende Beispiele gibt.

6.2 WIE BEEINFLUSSEN WÄLDER UND WALDNUTZUNG IN DEUTSCHLAND DIE TREIBHAUSGASBILANZ DER ATMOSPHERE?

Um diese Frage zu beantworten, müssen sämtliche durch Wälder und Waldnutzung bewirkte klimaschutzbezogene Effekte betrachtet und der Blick nicht allein auf den Wald selbst bzw. den in ihm gespeicherten Kohlenstoff verengt werden, wie es z. B. im Rahmen der Treibhausgasbilanzierung unter dem Protokoll von Kyoto in der 1. Verpflichtungsperiode der Fall war.

Das mit Abstand wichtigste Treibhausgas mit Bezug zum Wald ist Kohlendioxid (CO₂), gefolgt von Distickstoffoxid/Lachgas (N₂O) und Methan (CH₄). Letztere werden vor allem bei Waldbränden und/oder aus ehemals nassen Böden emittiert; in verschiedenen Einzeluntersuchungen wurde auch gezeigt, dass Lachgasemissionen nach Starkregen, nach Holznutzungen sowie auch nach Waldkalkungen durchaus bedeutsam sein können. Die primären Ursachen der letztgenannten Emissionen sind jedoch nicht in der Waldbewirtschaftung zu suchen, sondern vielmehr im Eintrag reaktiven Stickstoffs aus der Landwirtschaft sowie aus Verbrennungsprozessen. Der Wissensstand zu Lachgas- und Methanemissionen aus Wäldern ist derzeit noch begrenzt; für Deutschland insgesamt liegen keine hinreichend belastbaren Informationen vor. Daher werden diese Gase hier nicht weiter behandelt und die Darstellung auf Kohlenstoff konzentriert.

Für die Ermittlung der Treibhausgasbilanz des Waldes in der Berichterstattung nach Klimarahmenkonvention und Protokoll von Kyoto wird das Ökosystem in fünf zu erfassende Kompartimente eingeteilt (ober- und unterirdische lebende Biomasse, Totholz, Streu, Boden) und an der Grenze zwischen Wald und anderen Landnutzungen abgeschlossen. In klimapolitischen Diskussionen wird bisweilen darauf

TABELLE 6.1 ▶ Treibhausgasbilanz des deutschen Waldes 2010.

(Quelle: nach NIR, 2012, S. 482, Kapitel 7.2 – »forest land«).

Zu beachten: Emissionen haben positive, Sequestrierung aus der Atmosphäre negative Vorzeichen. 1 Gg entspricht 1000 t.

Speicher bzw. Aktivität	Emission (Gg CO ₂ -Äq)
▶ Lebende Biomasse (ober- und unterirdisch)	-21.772
▶ Totholz (ober- und unterirdisch)	-3.638
▶ Streuschicht	-593
▶ Entwässerung organischer Böden	675
▶ Verluste aus mineralischen Böden nach Umwandlung	333
▶ Kalkung	58
▶ Waldbrand	4
Summe	-24.933

verwiesen, dass über die Vorratsänderung an Kohlenstoff hinaus auch die absolute Höhe der Kohlenstoffvorräte oder die Verweildauer des Kohlenstoffes in den Wald- bzw. Holzspeichern relevant seien. Diese sind jedoch für die Treibhausgasbelastung der Atmosphäre unerheblich, solange entweder die Netto-Stromgrößen (Summe aller Zu- und Abgänge in bzw. aus den Speichern) oder die Bestandesveränderung in den Speichern (z. B. zwischen zwei Inventuren) ermittelt werden, da auf diesen beiden Wegen die Netto-Änderung des Gehalts an Treibhausgasen aus Wald und Holznutzung in der Atmosphäre bestimmt werden kann. Betrachtet man lediglich den Waldspeicher, so macht sich die Holzernte als Kohlenstoffverlust bemerkbar und ist eine Netto-Emission aus dem Wald, obgleich eine nachgelagerte stoffliche Nutzung in Form von Holzprodukten weiterhin Kohlenstoff speichert. Auch vom Forst- und Holzsektor ausgehende positive Effekte durch die Substitution fossiler Brennstoffe werden bei einer engen Betrachtungsweise, die sich auf die Waldspeicher beschränkt, nicht mit abgebildet (Rock und Bolte, 2011).

6.2.1 Kohlenstoffspeicherung in Bäumen

Die oberirdische Baumbiomasse und deren Veränderungen, insbesondere des Derbholzes (über 7 cm Durchmesser), sind

im Wald am besten dokumentiert und erforscht. Zudem lässt sich die unterirdische Biomasse der Bäume gut über Expansionsfunktionen berechnen, wenn deren oberirdischer Anteil bekannt ist. Absolut waren in der lebenden ober- und unterirdischen Baumbiomasse im deutschen Wald 2008 1,23 Mrd. t C gespeichert (4.150.000 Gg CO₂), 80 % hiervon oberirdisch (Dunger et al., 2009).

Durch Maßnahmen wie Baumartenwahl, Durchforstungsintensität und -intervall, die verwendeten Maschinen und viele andere Wege, kann die jährliche Netto-Aufnahme an Kohlenstoff in einem Waldbestand beeinflusst werden (siehe Badeck et al., 2005; Jandl et al. 2007b sowie Abschnitt 6.3). Dabei sind sowohl die Vorratshöhe als auch die jährliche Kohlenstoffbindung (Sequestrierung) jeweils unterschiedlich von den verschiedenen Optionen beeinflussbar. Die Betrachtung der C-Sequestrierung wie auch der Vorratshöhe in den Bäumen ist allein nicht hinreichend, da es enge Wechselwirkungen und zum Teil auch gegenläufige Entwicklungen mit den Treibhausgasbudgets in Streu und Böden (und auch in Holzprodukten sowie deren Substitutionswirkungen) gibt, die jeweils einbezogen werden müssen (siehe Abschnitte 6.2.3, 6.2.4).

6.2.2 Kohlenstoffspeicherung in Begleitvegetation, Totholz, Streu und Böden

Über die Speicherung von Kohlenstoff in der Begleitvegetation liegen keine bundesweiten belastbaren Zahlen vor. Die Verjüngung der Waldbäume ist bereits in der oberirdischen lebenden Biomasse enthalten, und annuelle Pflanzen spielen in der Bilanzierung keine signifikante Rolle. Im Totholz der verschiedenen Zersetzungsstufen sind nach Ergebnissen der Inventurstudie 2008 ca. 34,76 Mio. t C gespeichert (Oehmichen et al., 2011), was einem durchschnittlichen Vorrat von 3,25 t C/ha bzw. 11,9 t CO₂/ha entspricht.

Nach Auswertungen der aktuellen Bodenzustandserhebung im Wald (BZE 2) sind derzeit ca. 17,8 t C/ha in der Streuauflage gespeichert (NIR, 2013; entspricht 65,3 t CO₂/ha). Laubwaldbestände weisen dabei unterdurchschnittliche C-Vorräte in der Streu auf (im Mittel 7,1 t C/ha), Nadelwaldbestände überdurchschnittliche (23,5 t C/ha); Mischbestände liegen mit ca. 14,9 t C/ha dazwischen. Für mineralische Böden liegen derzeit noch keine baumartenspezifischen Auswertungen vor. Über alle Baumarten betragen die durchschnittlichen Vorräte ca. 61,1 t C/ha (mineralische Böden, bis 30 cm Tiefe; NIR, 2013; entspricht 224,2 t CO₂/ha). Für die Streu wurde eine sehr geringe (statistisch nicht von Null unterscheidbare) Abnahme und für den Boden eine Zunahme von 0,3 t C/ha*a ermittelt. Bei der derzeitigen Bewirtschaftung wird also insgesamt der C-Vorrat in Streu und Mineralboden zusammen leicht erhöht. Für organische Böden wurde eine durchschnittliche Emission in Höhe von 0,68 t C/ha*a und eine Lachgasemission (N₂O) von 0,6 kg N/ha*a berechnet.

Durch Maßnahmen, die den Wurzelumsatz oder die Streuproduktion beeinflussen, kann auf die Netto-Sequestrierung von C in Boden und Streu eingewirkt werden (Details hierzu bei Badeck et al., 2005 sowie Jandl et al., 2007a, 2007b). Negative Auswirkungen auf die Sequestrierung können sich indirekt dadurch ergeben, dass steigende Energiepreise zunehmend auch die Nutzung ehemals im Wald belassener Baumbestandteile wirtschaftlicher werden lassen und Ernteverfahren wie Ganzbaumernte und Stockrodung Vorschub leisten (d.h. die Entnahme kompletter Bäume einschließlich Kronen und ggf. Wurzeln aus dem Wald). Solche Verfahren führen zu zusätzlichem Biomasse- und Kohlenstoffentzug aus den Wäldern.

6.2.3 Kohlenstoffspeicherung in Holzprodukten

Anders als die lebende Pflanzenbiomasse entnehmen Holzprodukte der Atmosphäre kein CO₂, sondern speichern lediglich

einen Teil des Kohlenstoffs, welchen die Bäume während ihres Wachstums sequestriert und im Holz festgelegt haben. Ein Teil dieses Kohlenstoffs wird einer stofflichen Nutzung in Holzprodukten zugeführt, bis er am Ende der jeweiligen Nutzungsdauer durch natürliche Zersetzung oder thermische Verwertung des Holzes wieder in die Atmosphäre oxidiert.

Für die Abschätzung des Beitrags einer verzögerten Freisetzung des gebundenen Kohlenstoffes in Holzprodukten zur Gesamtbilanz des Sektors ist es zunächst notwendig, zwischen den Begriffen »Methode« und »Ansatz« zu unterscheiden (Rüter, 2010). Während der Begriff der »Methode« den rechnerischen Rahmen umschreibt, wie die durch die Nutzung von Holzprodukten verzögerten Emissionen ermittelt werden – nämlich, entsprechend der Berechnungsmethode für den Wald, über die Änderung der Speicher über die Zeit – definiert der Begriff des »Ansatzes« die Systemgrenze, die bei der Quantifizierung des Produktspeichers berücksichtigt wird. Letzteres ist insbesondere in der klimapolitischen Diskussion, wenn es um die Anrechnung der Kohlenstoffwirkung der stofflichen Holznutzung geht, von elementarer Bedeutung. So hat die Art, wie oder zu welchen Teilen der Außenhandel mit Holzprodukten in die Berechnung eingeht, einen großen Einfluss auf die ermittelte Höhe des Kohlenstoffspeichers und dessen Dynamik. Auch Verschiebungen im Verhältnis zwischen Produktion und Verbrauch von Rohholz bzw. Holzprodukten wirken sich auf die Berechnung der gespeicherten Kohlenstoffmengen und der aus dem Speicher entweichenden Emissionen aus. Eine Abschätzung ist daher nur nach einer Eingrenzung des Systemraums möglich und sinnvoll.

Für die Ermittlung der Speicherwirkung in einem Land muss im Prinzip der Verbrauch, der sich aus der Produktion und dem Außenhandel von Holzprodukten errechnet, als Kohlenstoffzufluss unterstellt werden. Allerdings könnte dabei in die Abschätzung auch Holz aus solchen Wäldern einbezogen werden, die in Bezug auf ihre Kohlenstoffvorräte nicht nachhaltig bewirtschaftet werden. Um dies zu vermeiden, hat sich die Staatengemeinschaft Ende des Jahres 2011 im Zusammenhang mit der Fortführung des Kyoto-Protokolls darauf geeinigt, bei der Ermittlung des Produktspeichers nur solche Holzprodukte zu berücksichtigen, deren Holz aus heimischem Einschlag sowie aus Wäldern stammt, deren CO₂-Bilanz ihrerseits im Zuge einer Anrechnung unter einem verbindlichen Klimaschutzregime berücksichtigt wird. In einer ersten Abschätzung der Speicherwirkung durch Holzprodukte nach dieser Berechnungsmethodik errechnete

Rüter (2011) für den Durchschnitt der Jahre 2005–2009 einen Nettoeffekt von jährlich –17,9 Mio. t CO₂.

6.2.4 Substitutionseffekte

Bei der Verwendung von Holz entstehen in der Regel positive Substitutionseffekte (Sathre und O'Connor, 2010), d. h. es werden weniger Treibhausgase emittiert als bei der Herstellung funktionsgleicher Produkte aus Alternativmaterialien (z. B. Aluminium, Stahl, Beton). Bei der Verwendung von Holz als Feststoff spricht man von materieller, bei der Nutzung als Energieträger von energetischer Substitution.

Der erzielte Substitutionseffekt kann durch eine sogenannte Kaskadennutzung oder Recycling von Holz sowie Ausweitung der Verwendung von Holz in den Produktbereichen mit möglichst hohem Substitutionspotential erhöht werden. Durch eine vermehrte Verwendung z. B. von Waldfrischholz zur Energiegewinnung (zu Lasten der Verwendung als Feststoff) oder in Produkten mit geringem Substitutionspotential sinkt er.

Das energetische Substitutionspotential von Holz im Vergleich zu leichtem Heizöl beläuft sich auf 0,67 t C/t C (Rüter, 2011). Das bedeutet, dass der Einsatz einer Tonne Kohlenstoff aus Holz für die Energiegewinnung die Freisetzung von 0,67 t C aus diesem fossilen Energieträger einsparen würde. Allein unter Klimaschutzgesichtspunkten ist demnach der Einsatz von Waldfrischholz direkt in Kraftwerken kontraproduktiv, wenn man das Holz auch anderweitig verwenden könnte. Umgekehrt bedeutet dies aber auch, dass der Verzicht auf die Verbrennung von Holz entsprechende Emissionen aus fossilen Brennstoffen nach sich zieht. Für den materiellen Substitutionseffekt liegen keine Untersuchungen vor, welche den gesamten Bereich der stofflichen Holzverwendung abdecken würden. In einer Metaanalyse verschiedener internationaler Studien, welche sich vornehmlich mit der Holzverwendung im Bausektor auseinandersetzen, wird der entsprechende Durchschnittswert mit 2,1 t C/t C beziffert (Sathre und O'Connor, 2010) – durch den Einsatz einer Tonne Kohlenstoff im Bausektor würde also die Freisetzung von 2,1 t C aus der Verwendung von anderen Baumaterialien (Beton, Aluminium o. Ä.) eingespart. Entsprechende Untersuchungen aus Deutschland bestätigen diese Größenordnung (Rüter, 2011). Dieser Wert gilt nur für in Produkten verwendetes Holz und kann nicht direkt auf Holz im Wald bezogen werden. Das liegt zum einen an der Vielfalt an Holzprodukten und Produktionswegen, in die Holz aus einem im Wald liegenden Stamm gelenkt werden kann, zum anderen an der Fülle möglicher Alternativmate-

rialien, die in Herstellung und Gebrauch jeweils unterschiedliche Emissionsintensitäten aufweisen. Um trotzdem eine Vorstellung vom Substitutionspotential des genutzten Holzes zu bekommen, kann man die absolute Höhe der möglichen Substitutionseffekte (durch eine stoffliche Holznutzung und Energiegewinnung) der über einen bestimmten Zeitraum neu in Holzproduktspeicher eingegangenen Menge Holz ermitteln und diese auf die im selben Zeitraum erfassten Abgänge im Wald (deren Verwendung in amtlichen Statistiken nicht vollständig erfasst wird) beziehen. Für den Zeitraum 2002–2008 ergibt sich so für jede den Wald verlassende Tonne Kohlenstoff in Holz ein geschätzter durchschnittlicher Substitutionseffekt von 1,35 t C/t C (Rock und Bolte, 2011) – also ein niedrigerer Betrag als sich aus dem Vergleich zwischen Produkten ergeben hat. Je nach Allokation des Holzes in der Holz verarbeitenden Industrie kann der reale Effekt höher oder aber auch deutlich niedriger ausgefallen sein.

6.2.5 Derzeitige Tendenz der Senkenentwicklung

Bei Beibehaltung der derzeitigen Waldbewirtschaftung ist für die nähere Zukunft eine jährliche Nettosenke von 22,42 Mio. t CO₂-Äq/a (einschließlich der Anrechnung des Holzproduktspeichers) projiziert worden (Bundesrepublik Deutschland, 2011). Dieser Wert wurde ohne Berücksichtigung von Substitutionspotentialen oder Totholz-, Boden- und Streuspeicher ermittelt; er unterschätzt insofern also die reale Senkenleistung.

6.3 MASSNAHMEN ZUM ERHALT UND ZUR ERHÖHUNG DER KLIMASCHUTZLEISTUNG IM FORST- UND HOLZSEKTOR

Wirksame Maßnahmen zur Erhaltung und Erhöhung der Klimaschutzleistungen müssen entweder die in Wäldern und Holzprodukten zusammen gebundenen Kohlenstoffvorräte erhalten oder vergrößern, oder sie müssen eine überproportionale Emissionseinsparung in anderen Sektoren der Volkswirtschaft bewirken (oder beides). Diesem Ziel dienen grundsätzlich ein dauerhafter Baumbewuchs des Waldbodens, ein hoher jährlicher Zuwachs, hohe durchschnittliche Holzvorräte der Waldbestände bei geringen Verlustrisiken und eine langfristige Verwendung des geernteten und verarbeiteten Holzes unter Generierung möglichst hoher Substitutionseffekte. Aus forstwirtschaftlicher Sicht ergeben sich daraus grundsätzlich folgende Handlungsfelder:

- ▶ Vorratssteuerung (Durchschnittliche Vorratshöhe, Zuwachs),
- ▶ Risikominimierung (kein Vorratsabbau durch Kalamitäten),

- ▶ Bodenschutz (Erhaltung der Humusvorräte),
- ▶ Nutzholzproduktion (verwertbare Holzsortimente).

Einige der hier einzuordnenden forstlichen Maßnahmen vergrößern den Waldspeicher zu Lasten des Holzproduktespeichers und umgekehrt. Synergien mit Waldnaturschutzzielen ergeben sich tendenziell eher dann, wenn die Kohlenstoffspeicherung auf den Waldspeicher konzentriert wird; andersherum setzen manche Maßnahmen zugunsten der Vergrößerung des Holzproduktespeichers oder der Substitutionspotentiale eine intensiviertere Holznutzung voraus, die für die Forstbetriebe wirtschaftlich interessant sein kann, aber oft zu Konflikten mit Waldnaturschutzzielen führt. Daher sind bei der Auswahl der Maßnahmen die Klimaschutzziele gegenüber anderen Zielen abzuwägen. Hierzu gehört auch die Minimierung des Ausfallrisikos von Waldbeständen durch Kalamitäten. Dies ist in Deutschland unter dem Aspekt des Klimaschutzes derzeit noch kein großes Problem (beispielsweise kommen hier größere Waldbrände mit einer umfangreichen direkten Freisetzung von CO₂ in die Atmosphäre im Vergleich zu Südeuropa noch relativ selten vor); mit zunehmender Erwärmung der Atmosphäre kommt der Erhaltung und Sicherung der Waldbestände gegen biotische und abiotische Gefahren in Zukunft aber eine steigende Bedeutung zu.

6.3.1 Vermeidung von Netto-Speicherverlusten (Emissionen)

Weltweit werden fast 20% der globalen CO₂-Emissionen durch Waldzerstörung und Landnutzungsänderung verursacht. Der Erhalt dieser Wälder und eine nachhaltige Waldwirtschaft sind daher von zentraler Bedeutung (Heuer, 2009). In Deutschland ist die Waldfläche grundsätzlich gegenüber Umwandlungen gesetzlich gesichert (BWaldG § 9), und es besteht derzeit keine Gefahr einer schleichenden Entwaldung, beispielsweise durch unregelmäßige Waldplünderungen. Tatsächlich hat die Waldfläche in Deutschland in den letzten vier Jahrzehnten um ca. 1 Mio. ha zugenommen (derzeit 11,1 Mio. ha) (BMELV, 2009, S. 8). Auch bei positiver Waldflächenbilanz kann der Kohlenstoffspeicher »Wald« im Rahmen genehmigter Umwandlungen aber zeitweilig reduziert werden, u.a. im Rahmen der Anlage von Infrastrukturtrassen. Diese Reduktion geschieht trotz der dabei notwendigen Ersatzaufforstungen, weil in diesen Fällen vorratsreichere Wälder durch vorratsarme Jungbestände ersetzt werden. Entsprechend dient ein Schutz vor Waldumwandlungen selbst dort, wo diese durch Ersatzaufforstungen kompensiert werden, auch der Vermeidung von Speicherverlusten.

Die Altersklassenstruktur der einzelnen Baumarten ist in Deutschland sehr unausgeglichen. Dies gilt vor allem für die flächenmäßig bedeutsamen Fichten-, Kiefern- und Buchenwälder. Während bei den genannten Nadelbaumarten derzeit die jüngeren bis mittleren Alter überwiegen (40–70 Jahre), sind bei den Buchen viele Wälder zwischen 100–140 Jahre alt (Polley et al., 2009b). Daher sind die Kohlenstoffvorräte je ha Waldfläche bei der Baumart Buche zurzeit höher als bei der Baumart Fichte. Vor dem Hintergrund zukünftig anzunehmender Nutzungen (erhöhte Nachfrage, Ausgleich der Altersstruktur der Wälder) kann sich dies jedoch zukünftig umkehren: Die unausgeglichene Altersstruktur führt dazu, dass bis zur Mitte des Jahrhunderts überproportional viele Waldbestände erntereif werden. Auch bei Fortführung der nachhaltigen Bewirtschaftung wird es daher temporär insgesamt zu einer Verringerung der Kohlenstoffvorräte im Wald kommen. Dabei gehen Schätzungen davon aus, dass sich die Gesamtmenge des oberirdisch gespeicherten Kohlenstoffs in den kommenden 40 Jahren um 19,1 Mio. t C verringern kann, was einer jährlichen Emission von 1,75 Mio. t CO₂ entspräche (Dunger und Rock, 2009).

Vor diesem Hintergrund ist es für eine Aufrechterhaltung der Senkenleistung im Forst- und Holzsektor wichtig, die im Wald freigesetzten Kohlenstoffmengen im Holzproduktespeicher möglichst weitgehend aufzufangen sowie Tendenzen entgegenzuwirken, welche den Einsatz von Holz zugunsten anderer Werkstoffe (insb. Kunststoffe, Stahl, Beton) reduzieren könnten.

Unter dem Aspekt »Emissionsvermeidung« ist zudem auf die weithin unterschätzte Problematik überhöhter Stickstoffeinträge in die Waldböden zu verweisen (vgl. Schulze et al., 2009). Deren Ursache liegt nicht in der Waldbewirtschaftung, sondern in Stickstoffemissionen aus Landwirtschaft, Energiegewinnung und Verkehr. Atmosphärischer Stickstoff wird jedoch in Waldböden in klimaschädliches Lachgas umgewandelt und emittiert; diese Prozesse können durch Bodenbearbeitung im Wald beschleunigt werden. Eine ursachenkonforme Gegenmaßnahme besteht darin, die Stickstoffemissionen der genannten Sektoren zu reduzieren.

6.3.2 Neuanlage von Wald (Pflanzung, Sukzession)

Aufforstung und natürliche Wiederbewaldung bisher nicht bewaldeter Flächen erzeugt zusätzliche Kohlenstoffsenken (Burschel et al., 1993; Paul et al., 2009). Im deutschen Treibhausgasinventar ist derzeit eine Waldzunahme von ca. 3.100 ha pro Jahr erfasst (NIR, 2012). Allein in den ersten

20 Jahren entziehen neu angelegte Mischwälder aus einheimischen Baumarten auf ehemaligen Acker- oder Weideflächen bei minimaler Bodenbearbeitung der Atmosphäre im Mittel zwischen 5 und 20 t CO₂/ha*a (1,4–5,4 t C/ha*a) (Paul et al., 2009). In den zwei danach folgenden Jahrzehnten wird die Kohlenstoffbindung aufgrund der Wachstumsdynamik der Bäume mehr als verdoppelt (vgl. Paul et al., 2009, Anhang D; vgl. auch Dunger et al., 2009).

Der Umfang der Kohlenstoffspeicherung auf Waldflächen kann durch die Baumartenwahl wesentlich beeinflusst werden. Sie ist gleichzeitig eine der wichtigsten ökonomischen Entscheidungen im Forstbetrieb, da sie sehr langfristig wirkt (vgl. u. a. Speidel, 1972; Röhrig et al., 2006). Wüchsige Nadelbaumarten wie die Douglasie oder Küstentanne binden im Rahmen einer forstlichen Bewirtschaftung durch ihr Wachstum mit rund 4,4–5,8 t C/ha*a deutlich mehr Kohlenstoff als die Laubbaumarten Eiche und Buche (2,3 bzw. 3,2 t C/ha*a). Die Baumart Fichte (3,1 t C/ha*a) ist in dieser Hinsicht mit der Buche vergleichbar (Wördehoff et al., 2012). Aufgrund des rascheren Wachstums werfen die genannten Nadelbaumbestände deutlich früher Erträge ab. In finanzieller Hinsicht rentieren sich Investitionen in diese Baumarten daher wesentlich eher. Aus forstbetrieblicher Sicht gibt es dadurch erhebliche Anreize, bei Erstaufforstungen auf Nadelbaumarten zu setzen. Sind diese aus naturschutzfachlichen Gründen (oder aufgrund anderer Anliegen der Gesellschaft) nicht erwünscht, so ist ein Ausgleich der entstehenden finanziellen Nachteile zweckmäßig, um die Grundeigentümer zu Erstaufforstungen mit höheren Laubbaumanteilen zu bewegen.

6.3.3 Bewirtschaftung bestehender Wälder

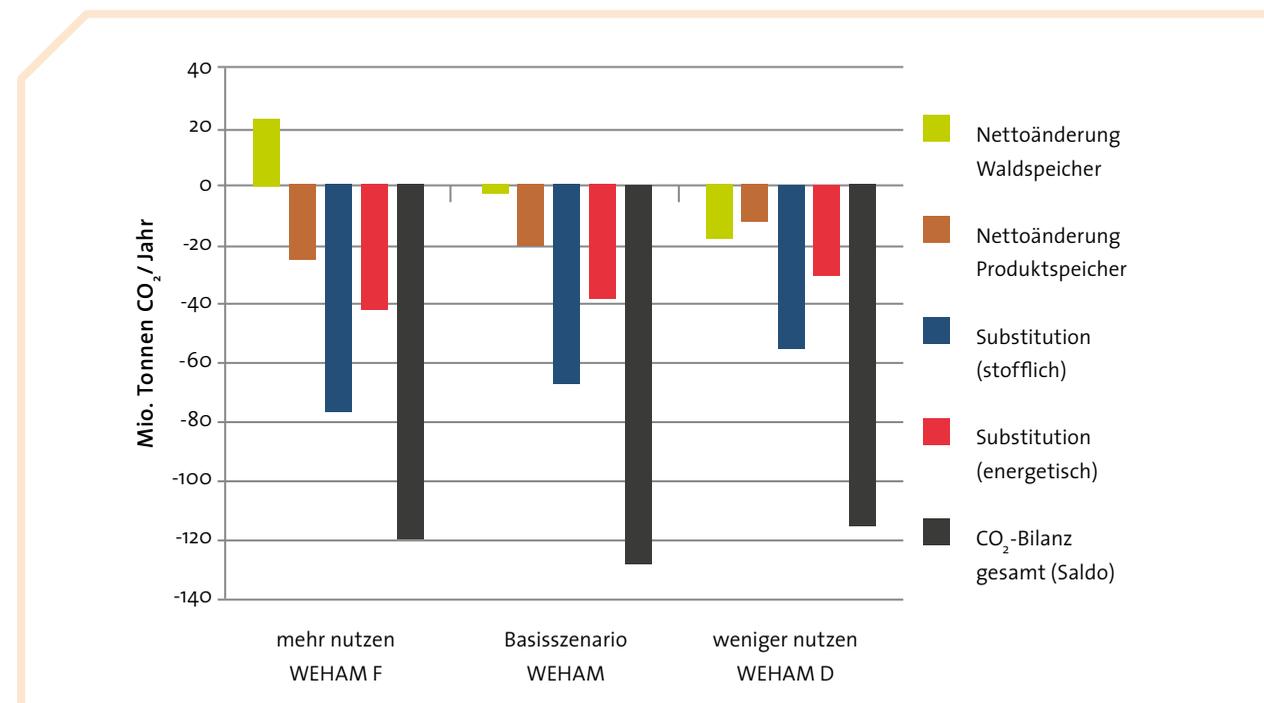
Die Größe des Kohlenstoffspeichers bestehender (Wirtschafts-)Wälder hängt insbesondere von der Höhe der durchschnittlich in den Wäldern vorhandenen Holzmasse (Holzvolumen) ab. Der Holzvorrat der Wälder und damit auch die Menge des darin gebundenen Kohlenstoffs wird durch den Zuwachs der Bäume und deren Nutzung bzw. Absterben bestimmt und kann durch die waldbauliche Behandlung der einzelnen Waldbestände stark beeinflusst werden. Sehr wirksam ist die Beeinflussung der Zielstärke (dies ist die Erhöhung bzw. Verringerung der letztendlich angestrebten Baumdimension), die in der Regel mit einer Verlängerung bzw. Verkürzung der durchschnittlichen forstlichen Produktionszeiträume einhergeht (Burschel et al., 1993). Eine Erhöhung der Zielstärke bzw. Verlängerung der Produktionszeit bewirkt eine Anhebung der Holzvorräte und der darin gespeicherten C-Vorräte in den betroffenen

Wäldern. Daraus ergeben sich jedoch ein geringeres jährliches Nutzungspotential und damit ein abnehmender Zufluss zum Produktspeicher aus heimischem Holz, womit gegebenenfalls eine verringerte Substitutionsleistung verbunden ist. Für Deutschland insgesamt wurde auf Basis der »Inventurstudie 2008« ermittelt, wie sich eine Anhebung bzw. Absenkung der Holzvorräte durch entsprechende Änderungen der Produktionsdauer per Saldo in der Periode 2013–2020 auswirken würde, jeweils im Vergleich zur Fortführung der bisherigen Bewirtschaftung (Rüter et al., 2011). Es zeigte sich, dass eine Anhebung der Holzvorräte bis 2020 um etwa 5% (»Szenario D«) gegenüber dem Fortführen der bisherigen Bewirtschaftung (Basisszenario) erwartungsgemäß den Waldspeicher selbst vergrößerte und eine Absenkung der Holzvorräte um etwa 9% ihn verkleinerte (»Szenario F«). Bei Betrachtung der jeweiligen gesamten CO₂-Bilanz einschließlich der durch Substitution vermiedenen Emissionen erwiesen sich jedoch sowohl das Szenario D als auch das Szenario F dem Basisszenario unterlegen: Per Saldo würde die Emissionsbilanz sowohl bei Anhebung der Holzvorräte entsprechend Szenario D steigen (um 12,5 Mio t CO₂/a) als auch bei einer Absenkung gemäß Szenario F (immerhin noch um 7,8 Mio t CO₂/a). Dies sind 10% bzw. 6% mehr Emissionen als im Basisszenario. Diese Verhältnisse sind in Abbildung 6.1 veranschaulicht.

Zu ähnlichen Ergebnissen kamen auch Simulationsrechnungen, die die Kohlenstoffbilanzen unterschiedlich bewirtschafteter Modellbetriebe über den Zeitraum 2000–2100 unter prognostizierten Klimaänderungen verglichen haben (Köhl et al., 2011): Gewinnmaximierung bei relativ kurzen Umtriebszeiten einerseits wie auch der komplette Verzicht auf Holznutzung andererseits ergaben beide per Saldo deutlich geringere Beiträge zur Entlastung der Atmosphäre als eine zielstärken- bzw. waldreinertragsorientierte Bewirtschaftung (wie sie in etwa der heutigen Praxis der naturnahen bzw. multifunktionalen Forstwirtschaft entsprechen). Würde die Waldbewirtschaftung primär auf die Senkenleistung unter Berücksichtigung der Substitutionseffekte ausgerichtet (und würde der stehende Bestand analog bewertet), so würde dies nach derzeitiger Kenntnis tendenziell zu einer Verkürzung der geplanten Produktionszeiten (Rock, 2011) und einer Hinwendung auf zuwachstarke Baumarten führen, deren Holz in Produkten mit hohem Substitutionseffekt verwendet werden kann. Eine so ausgerichtete Bewirtschaftung geriete allerdings leicht in Konflikt mit verschiedenen anderen Ökosystemleistungen und Biodiversitätszielen.

ABBILDUNG 6.1 ▶ CO₂-Bilanz des Sektors Forst und Holz nach drei verschiedenen Szenarien bis 2020.

(Quelle: nach Daten von Rüter et al., 2011).



Vorraterhöhungen im Wald können auch einen weiteren unerwünschten Effekt haben, indem sie das Risiko ungeplanter Kohlenstofffreisetzung aufgrund abiotischer und biotischer Risiken steigern. Wegen der unterschiedlichen Risikoanfälligkeit der Baumarten trifft dieses Problem insbesondere Fichten(rein)bestände wesentlich stärker als (laubbaumreiche) Mischbestände. Zudem steigt die Ausfallwahrscheinlichkeit, je länger die Bäume den Risiken ausgesetzt sind. Im Interesse der Anpassung an (steigende) Produktionsrisiken kann es daher sowohl sinnvoll sein, Bestände zur Stabilisierung mit Mischbaumarten anzureichern (sofern dies nicht durch hohe Wildbestände verhindert wird), als auch die Produktionszeiten zu verkürzen.

Eine Möglichkeit, den durchschnittlichen Holzvorrat in bestehenden Wäldern wie auch das Holznutzungspotential zu erhöhen, besteht in einem verstärkten Anbau besonders zuwachsstarker Baumarten, z. B. Douglasien. Da die heute verfügbaren Douglasienarten ursprünglich nicht in Europa heimisch sind, wird diese Option allerdings aus Naturschutzsicht in Frage gestellt. Steigerungen des Kohlenstoffspeichers in Waldbeständen erscheinen grundsätzlich auch dadurch möglich, dass lichtbedürftige Baumarten (z. B. Kiefer) mit Schatten ertragenden Baumarten (z. B. Buche)

unterbaut werden (Burschel et al., 1993). Das entsprechende Mitigationspotential ist jedoch kaum erforscht.

Neben den Waldbäumen ist der Waldboden (Auflage und Mineralboden) ein mindestens gleichermaßen wichtiger Kohlenstoffspeicher. Bei forstwirtschaftlichen Maßnahmen sollte er daher nicht gefährdet werden. Dies bedeutet konkret, mit bodenschonenden Verfahren zu arbeiten, da sonst Kohlenstoffvorräte in der Bodenstreu und Humusaufgabe verloren gehen können. Dies gilt insbesondere für Waldmoore und anmoorige Waldböden, deren C-Vorrat je Hektar fast viermal so hoch ist wie derjenige in mineralischen Böden (vgl. Kapitel 4.2). Letzterer ist in dieser Hinsicht unempfindlicher (Wördehoff et al., 2012). Auch dort ist aber die Gefahr des Abbaus von Rohhumusaufgaben gegeben – ein Problem, das auch im Zuge des Waldumbaus von Nadelwald in laubbaumreichere Bestände zu bedenken ist.

In wirtschaftlicher Hinsicht bewirkt eine Erhöhung der Produktionsdauer eine erhebliche zusätzliche Kapitalbindung im Forstbetrieb (als Anhaltspunkt kann davon ausgegangen werden, dass ein Aufschub der Holzernte zum Zweck der Erhöhung des Vorrats um 100 m³/ha es erfordert, den Wert

dieses Holzvorrates um rund 5.000 €/ha zu erhöhen. Dies löst bei den Forstbetrieben Liquiditätsprobleme aus, verursacht zusätzliche Kosten aus der Kapitalbindung und erhöht auch die Risikokosten zur Abdeckung von Bestandsrisiken). Aus betrieblicher Sicht lässt sich eine Erhöhung der Holzvorräte daher bevorzugt durch stabilitätsfördernde Maßnahmen und eine Steigerung der Produktivität der Bestände erreichen.

Insgesamt zeigt sich, dass zur Verbesserung der Kohlenstoffbilanzen der Waldbewirtschaftung unterschiedliche Maßnahmen zur Verfügung stehen, welche sich hinsichtlich ihrer jeweiligen Synergien zu Naturschutzzielen einerseits sowie zu einzelwirtschaftlichen Zielen andererseits deutlich unterscheiden und die daher konfliktträchtig sein können. Es zeigt sich aber auch, dass Maßnahmen häufig gegenläufige Wirkungen auf die Waldspeicher bzw. Holzproduktspeicher und Substitutionspotentiale haben können; die Wirkungen gleichen sich daher teilweise gegenseitig aus. Rein qualitative Diskussionen der jeweiligen Klimawirksamkeit können ohne Bilanzierung der tatsächlichen quantitativen Auswirkungen leicht in die Irre führen.

6.4 ÖKONOMISCHE WERTE VON KLIMASCHUTZ UND ANDEREN ÖKOSYSTEMLEISTUNGEN DES WALDES

Über den ökonomischen Wert aller Ökosystemleistungen des Waldes sowie ihrer Wechselwirkung mit der Klimaschutzleistung liegen in Deutschland keine umfassenden Erkenntnisse vor. Gleichwohl lässt es die Datenlage, in Verbindung mit einer Reihe bereits publizierter umweltökonomischer Studien, zu, wichtige Aspekte näher zu beleuchten.

6.4.1 Nutzen für die Forstbetriebe

Es liegt nahe, dazu mit dem Wert der Klimaschutzleistung für die Forstbetriebe zu beginnen. Wie bereits oben beschrieben (siehe Abschnitt 6.1), bewirkt die Bereitstellung der Senkenleistung im Wald für die Forstbetriebe unmittelbar keine finanziellen Erträge, da diese Leistung weder über das Europäische Emissionshandelssystem noch über andere staatliche Institutionen in ein privat handelbares Gut überführt worden ist. Der Handelswert der Senkenleistung in den Wäldern ist folglich Null. Sieht man von den (eingeschränkten) Möglichkeiten der Vermarktung freiwilliger Emissionsreduktionen ab (siehe Ciccarese et al., 2011; Peters-Stanley et al., 2012), so entfallen daher auch Anreize für die Betriebe, die Senkenleistung des Waldes zu vergrößern. Ob der in der Etablierungsphase befindliche Waldklimafonds derartige Marktanreize ersetzen kann, bleibt abzuwarten; seine grundsätzliche Ausrichtung auf die Förderung einzel-

ner Klimaschutzprojekte sowie auch das stark reduzierte Mittelvolumen des Fonds schränken das Potential dafür aber ein (vgl. Abschnitt 6.1.3). Indirekt profitieren die Forstbetriebe hingegen von der nationalen Klimapolitik, insbesondere der staatlich geförderten Nachfrage nach erneuerbaren Energien, die die (Energieholz-) Nachfrage anregt und damit generell zu Holzpreissteigerungen führt (vgl. Abschnitt 6.1.3). Das damit verbundene Ertragspotential ist aber an den Verkauf von Holz gebunden; entsprechend erhöht dies die Opportunitätskosten ungenutzter Holzvorräte und verstärkt so die Anreize, Wälder intensiver (sowie auch früher) zu nutzen.

Der Klimawandel selbst verändert die Produktionsbedingungen für die Betriebe. Temperaturanstieg und Verlängerung der Vegetationsperioden könnten regional sogar förderlich auf Zuwachs und künftige Erträge wirken, die prognostizierte Zunahme von Extremwetterereignissen (z. B. Trockenperioden, Stürme) sowie mögliche biotische Kalamitäten erhöhen aber die Produktionsrisiken. Welches Ausmaß der Klimawandel und die daraus folgenden Risiken annehmen werden, ist noch weitgehend unbekannt; Anpassungsmaßnahmen müssen daher im Vorhinein unter entsprechendem Informationsmangel geplant werden. Grundsätzlich nützen Anpassungsmaßnahmen den Betrieben nur dann, wenn sie die Risiken senken und der finanzielle (Gegenwarts-)Wert der Risikosenkung höher ist als die Kosten der Anpassung. Diese werden wesentlich durch die (heutigen) Investitionskosten bestimmt (sowie durch die zukünftige Ertragsminderung im Falle eines Umstiegs auf risikoärmere, aber ertragsschwächere Baumarten). Investitionskosten sind insbesondere dort hoch, wo der Umbau in stabilere Mischbestände es nötig macht, auf künstliche Bestandsbegründung anstelle von Naturverjüngung zurückzugreifen; aufgrund der langen forstlichen Produktionszeiträume sind solche Investitionen sehr hohen Zinsbelastungen ausgesetzt. Ertragsstarke Baumarten, welche relativ früh Erträge ermöglichen, rücken daher zwangsläufig in das betriebliche Interesse. Dies stellt ein Hemmnis für das Naturschutzanliegen dar, den Waldumbau zur Erhöhung der Naturnähe der Wälder zu nutzen und hierbei auf heimische Baumarten wie insbesondere die Buche zu setzen, da diese – als typische Klimaxbaumart – durch späte Zuwachskulmination gekennzeichnet ist. Dieses Hemmnis wird noch verstärkt durch mittelfristige Prognosen, nach denen zukünftig die Knappheit von (raschwüchsigem) Nadelholz auf den Holzmärkten in Deutschland wesentlich stärker steigen wird als die des Laubholzes (Dunger und Rock, 2009; Dieter und Seintsch, 2012).

6.4.2 Nutzen für die Gesellschaft

Viele der vorstehend angesprochenen Aspekte gelten in abgewandelter Form auch, wenn man die Nutzenbetrachtung auf die Gesellschaft insgesamt ausweitet. So liegt die künftige Versorgung mit der Ökosystemleistung »Rohholzversorgung« ebenfalls im gesellschaftlichen Interesse, und auch das Kalkül, ob, wann und in welchem Umfang in Anpassungsmaßnahmen zu investieren sei, unterscheidet sich nicht grundsätzlich von dem aus einzelbetrieblicher Sicht (insbesondere dann nicht, wenn die Gesellschaft Anpassungsmaßnahmen in privaten Wäldern finanziell fördert und in öffentlichen Wäldern selbst veranlasst). Allerdings ist zur Bewertung des gesellschaftlichen Nutzens zusätzlich der Wert derjenigen Ökosystemleistungen zu betrachten, die aufgrund ihrer Eigenschaften als öffentliche Güter nicht in das einzelwirtschaftliche Kalkül eingehen. Mit umweltökonomischen Methoden lassen sich auch diese monetär bewerten; dies dient u. a. dazu, ihren Wert im Vergleich zum Wert anderer, marktgängiger Güter greifbar zu machen. Entsprechende Bewertungsergebnisse liegen für die Klimaschutzleistung selbst sowie für einige weitere »kulturelle« Ökosystemleistungen vor, in denen das Naturkapital der Wälder der Bevölkerung unmittelbaren Konsumnutzen stiftet.

Der Nutzen der Senkenleistung des Waldes kann anhand der durch sie vermiedenen Schäden beziffert werden. Zieht man dazu globale Schätzungen über Schadenskosten heran, so wurden diese im vierten Assessment Report des IPCC auf eine Größenordnung von -10 – $+350$ US\$/tC geschätzt (Yohe et al., 2007; vgl. auch Kapitel 2) – sie reichen also bis in den negativen Bereich hinein (dies würde bedeuten, dass der Klimawandel per Saldo keinen Schaden, sondern Nutzen bewirkt). Die breite Spannweite entsteht aufgrund unterschiedlicher Annahmen und Unsicherheiten in Bezug auf Zinssätze, Klimasensitivität, Zeitverzögerung sowie unterschiedliche Bewertungsmethoden. Aufgrund des globalen Charakters des Klimawandels verteilt sich der Schaden – und somit auch der Nutzen seiner Vermeidung – über die gesamte Weltbevölkerung, bei teilweise starken regionalen Unterschieden (siehe z. B. Tol, 2002, 2013). Im vorliegenden Band werden durchgehend mittlere Schadenskosten von 80 €/t CO₂ unterstellt (vgl. Kapitel 2). Multipliziert mit der derzeitigen jährlichen Senkenleistung der deutschen Wälder (22,42 Mt CO₂/a einschließlich Speicherung in Holzprodukten, vgl. Abschnitt 6.2.5) ergäbe sich daraus weltweit ein jährlicher Nutzen in Höhe von knapp 2 Mrd. € pro Jahr. Unter der vereinfachenden Annahme einer weltweit gleichmäßigen Schadensverteilung entfallen davon auf die deutsche Bevölkerung (entsprechend ihres Anteils an der Weltbe-

völkerung) 1,2 %, also 21 Mio. €/Jahr. (Substitutionspotentiale sind in dieser Berechnung aufgrund der unsicheren Datenlage nicht enthalten. Unter den in Abschnitt 6.2.4 genannten Bedingungen würden sie die genannten Werte jeweils um etwa 30 % erhöhen).

Noch unmittelbarer ließe sich der Nutzen der Senkenleistung aus Sicht der deutschen Bevölkerung beziffern, wenn deren diesbezügliche Zahlungsbereitschaft direkt ermittelt würde. Leider ist uns hierzu keine bevölkerungsrepräsentative Untersuchung bekannt. Nach einem entsprechenden Bewertungsexperiment in der Stadt Mannheim beträgt die Zahlungsbereitschaft der dortigen Bevölkerung für Emissionsreduktionen knapp 12 €/t CO₂ (Löschel et al., 2013). Sofern sich dies auf die deutsche Bevölkerung insgesamt übertragen ließe, ergäbe sich daraus ein aggregierter Wert der derzeitigen Senkenleistung in Höhe von 267 Mio. € pro Jahr (= $11,89$ €/t mal $22,42$ Mio. t/a).

Die volkswirtschaftlichen Auswirkungen von Klimaschutzmaßnahmen werden durch die (realen oder potentiellen) Handelserträge für Emissionszertifikate aufgezeigt, welche auf politisch vereinbarten Emissionsminderungszielen basieren. Diese spiegeln nicht den individuellen Nutzen, sondern letztlich die volkswirtschaftlichen Grenzkosten der politisch festgesetzten Verknappung von Emissionsberechtigungen wider. Ein solcher Handel mit Emissionszertifikaten aus Waldbewirtschaftung ist heute grundsätzlich im Rahmen des Kyoto-Protokolls vorgesehen. Die im zwischenstaatlichen Emissionshandel realisierten Preise pro Tonne CO₂ lassen sich als volkswirtschaftlicher Wert einer Tonne eingesparter CO₂-Emission (bzw. einer Tonne der Atmosphäre durch Waldbewirtschaftung entzogenen Kohlendioxids) interpretieren. Solche Transaktionen werden normalerweise bilateral ausgehandelt und die vereinbarten Preise auch nicht offiziell mitgeteilt. Verstreut vorliegende Informationen deuten darauf hin, dass während der ersten Kyoto-Verpflichtungsperiode das Handelsvolumen niedrig war und die Preise unter 20 €/t CO₂ lagen (Elsasser, 2008). (Zur Einordnung sei daran erinnert, dass Preise in diesem Markt aufgrund der geringen Zahl an Marktteilnehmern stark durch Einzelverhandlungen wie auch politische Setzungen beeinflusst werden können und reale Knappheit daher nur bedingt widerspiegeln.) Für die erste Kyoto-Verpflichtungsperiode liegen auch aggregierte Bewertungsergebnisse der Senkenleistung der Wälder vor. Aufgrund der deutschen Anrechnungsgrenze von $1,24$ Mio. t C/a (= $4,55$ Mio. t CO₂/a) (vgl. Abschnitt 6.1.2) war der Wert der Speicherleistung (Produkt aus anrechnungsfähiger Menge und Preis bzw. einge-

sparten Vermeidungskosten) über einen weiten Bereich mengenunabhängig. Unter der Annahme eines (aus heutiger Sicht hoch erscheinenden) Preises von maximal 20 €/t CO₂ resultierten für die erste Verpflichtungsperiode rechnerisch also maximal 91 Mio. €/a als Wert der Senkenleistung des bestehenden Waldes nach Art. 3.4 des Kyoto-Protokolls zugunsten der deutschen Volkswirtschaft (Elsasser, 2008). Über die zweite Verpflichtungsperiode (2013–2020) liegen noch keine entsprechenden Bewertungen vor, und die Preisentwicklungen sind aufgrund grundsätzlich veränderter Anrechnungsregeln sowie auch Marktconstellationen kaum absehbar. Aus heutiger Sicht ist es aber sehr unwahrscheinlich, dass die hier umrissene Größenordnung überschritten oder auch nur erreicht werden wird, da sowohl die Senkenleistung des deutschen Waldes insgesamt aufgrund der Altersklassenstruktur mittelfristig zurückgeht (s. o.) als auch nur wenige Anzeichen dafür existieren, dass die Preise durch zusätzliche politisch gesetzte Verknappung von Emissionsrechten erheblich steigen würden.

Im Vergleich dazu sind die Werte anderer Ökosystemleistungen der Wälder in Deutschland um deutlich mehr als eine Größenordnung höher. Meyerhoff et al. (2012) haben die Zahlungsbereitschaft der hiesigen Bevölkerung für ein Bündel von Maßnahmen untersucht, welches zur Umsetzung der Nationalen Biodiversitätsstrategie in unterschiedlichen Ökosystemen geeignet erscheint, darunter auch die Wälder in Deutschland. Die für Wälder konkretisierten Maßnahmen umfassten das Zulassen natürlicher Waldentwicklung auf 430.000 ha, einen Umbau in naturnahe Laub- oder Mischbestände auf 700.000 ha, die Erhöhung der Strukturvielfalt durch Totholzanreicherung, Biotopbäume und Waldränder auf 220.000 ha sowie den Schutz aller bestehenden Nieder- und Mittelwälder (100.000 ha). Es zeigte sich, dass unter den bewerteten Ökosystemen die höchste Zahlungsbereitschaft auf die Wälder entfiel, nämlich aggregiert $2,22$ Mrd. € pro Jahr (bzw. $8,26$ Mrd. € pro Jahr, wenn Antwortverweigerern die durchschnittliche Zahlungsbereitschaft der Antwortbereiten unterstellt wurde). Gleichzeitig erwies sich, dass sich die Zahlungsbereitschaft für das gesamte Maßnahmenbündel nicht signifikant veränderte, wenn es zusätzlich Vorsorgemaßnahmen zur Anpassung an Klimaänderungen enthielt. Die Autoren interpretierten hieraus, dass der Nutzen entsprechender Risikoprämien aus Sicht der Bevölkerung offensichtlich nur gering ist (möglicherweise deswegen, weil direkte Eingriffe wie z. B. Flächenumwandlungen als größere Bedrohung für das Naturkapital und die damit verbundenen Leistungen gesehen werden als veränderte Klimabedingungen).

Auch zum monetären Nutzen der Erholungsleistung der Wälder in Deutschland liegen aktuelle Bewertungsergebnisse vor (Elsasser und Weller, 2013), hier definiert als das Recht, den bestehenden Wald zum Zweck der Erholung zu betreten und die Erholungsleistung somit konsumieren zu können. Als Bewertungsmethode wurde, wie im vorhergehenden Fall, Contingent Valuation eingesetzt. Insgesamt ergab sich eine aggregierte Zahlungsbereitschaft der Bevölkerung von $1,9$ Mrd. € pro Jahr. Zudem zeigte sich, dass der entsprechende Nutzen durch Veränderungen des Waldaufbaus kaum steigerbar erscheint; für die Erholungsleistung scheint im Vordergrund zu stehen, dass überhaupt Wald zur Erholung zur Verfügung steht – die konkrete Gestaltung der Wälder ist demgegenüber offensichtlich zweitrangig.

Der monetäre Wert der Holzproduktion geht aus der forstwirtschaftlichen Gesamtrechnung hervor. Für 2011 wurde er mit $3,5$ Mrd. € pro Jahr beziffert (Dieter, 2013). Dieser Bewertung liegt nicht wie zuvor das wohlfahrtstheoretische Konzept der Konsumentenrente zugrunde, sondern vielmehr beruht die Bewertung auf Umsätzen; das Bewertungsergebnis für die Holzproduktion ist also nicht vollständig mit dem der beiden vorgenannten Studien vergleichbar (unter sehr vereinfachenden Annahmen über Lage und Form von Angebots- und Nachfragekurven lässt sich der hier mitgeteilte Wert der Holzproduktion aber als Schätzwert seines monetären Nutzens im wohlfahrtstheoretischen Sinn interpretieren).

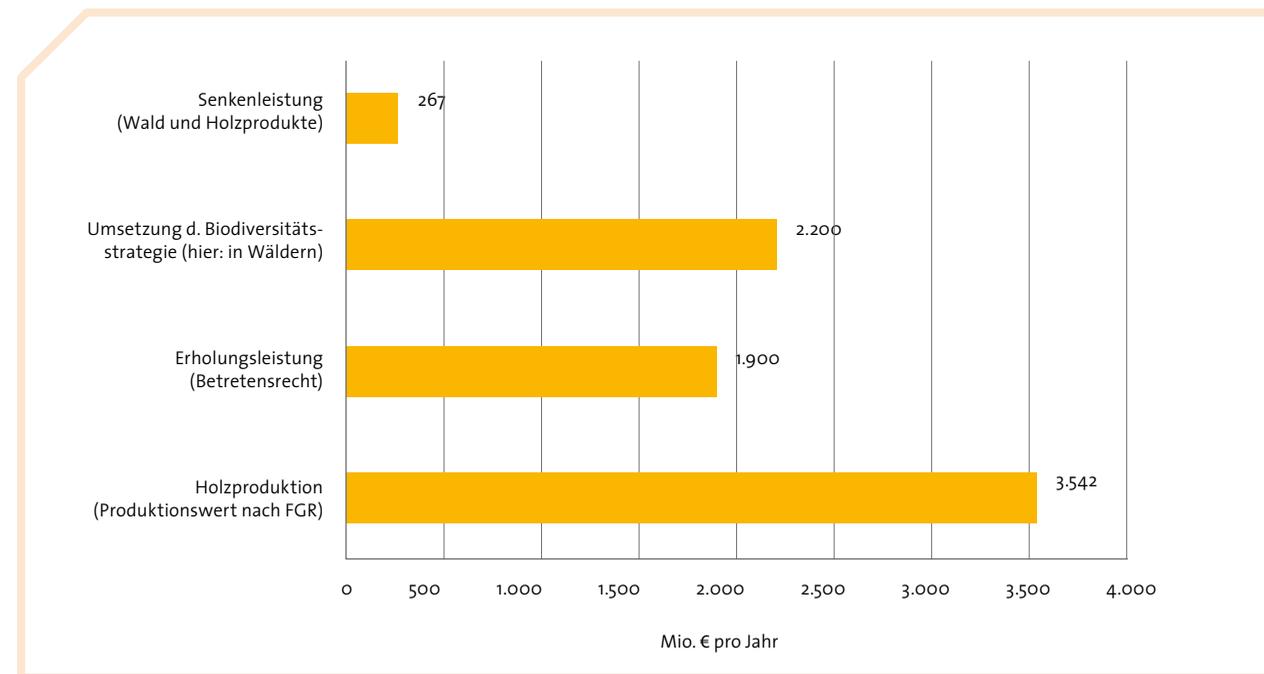
Bei allen methodischen Detailunterschieden zeigen die hier zitierten Bewertungsstudien eindeutig, dass der oben umrissene Wert der Senkenleistung des Waldes in Deutschland weit unter dem anderer Ökosystemleistungen des Waldes liegt; er bewegt sich im Vergleich zu diesen Leistungen jeweils im einstelligen Prozentbereich. Abbildung 6.2 fasst die hier referierten Wertrelationen zusammen.

Ein Direktvergleich der Werte einzelner Ökosystemleistungen einschließlich der Senkenleistung mit umweltökonomischen Methoden geht aus einer regionalen Studie zum Waldumbau in der Nordostdeutschen Tiefebene hervor. Hier wurde untersucht, wie sich ein Waldumbau vormals durch Kiefern geprägter Bestände in klimaplastische Laubmischwälder bis zum Jahr 2100 auf den Wert der Holzproduktion, des Landschaftsbildes sowie der Senkenleistung auswirkt (Elsasser et al., 2010b). Da es sich hierbei um eine Regionalstudie handelt, können die dort ermittelten Zahlungsbereitschaften nicht auf die Bundesrepublik hochgerechnet werden. Auch hier bestätigte sich aber, dass die

ABBILDUNG 6.2 ▶ Aggregierte monetäre Werte verschiedener Ökosystemleistungen des Waldes in Deutschland nach unterschiedlichen Bewertungsmethoden.

(Quelle: eigene Zusammenstellung auf Basis von Meyerhoff et al., 2012; Dieter, 2013; Elsasser und Weller, 2013; Löschel et al., 2013.

Interpretation siehe Text).



Senkenleistung gegenüber der Holzproduktion sowie dem Wert veränderter Landschaftsbilder kaum ins Gewicht fällt: Selbst unter extremen Annahmen über die auf Kohlenstoffmärkten zu erwartenden Preise spielte der Wert der Senkenleistung gegenüber der (langfristig tendenziell negativen) Wertentwicklung beim Rohholz- und Biomasseaufkommen sowie der (durchgehend tendenziell positiven) Entwicklung des Landschaftswertes nur eine sehr untergeordnete Rolle.

6.5 FAZIT

Die Ergebnisse dieses Kapitels können wie folgt interpretiert und eingeordnet werden:

- ▶ Für den Schutz des Weltklimas wie auch der globalen Biodiversität ist der Erhalt der Wälder eminent wichtig. Er ist in Deutschland de jure wie auch de facto gesichert. Zudem leisten Wälder und Waldbewirtschaftung in Deutschland im Unterschied zu konkurrierenden Landnutzungen netto einen zusätzlichen Beitrag zur Eindämmung des Treibhauseffektes. Dieser beruht nicht allein auf der Senkenwirkung der Wälder, sondern auch auf der Speicherung von Kohlenstoff in Holzprodukten sowie auf Substitutionseffekten der stofflichen und energetischen

Holzverwendung. Daher würde eine allein auf Wälder beschränkte Betrachtung der Klimaschutzleistung zu Fehleinschätzungen führen.

- ▶ Unterschiedliche Strategien können dabei helfen, die Klimaschutzleistung des Waldes zu erhalten und nach Möglichkeit zu steigern, sowie auch die Wälder an den Klimawandel anzupassen. Für die Fragestellung der vorliegenden TEEB-Studie sind deren mögliche Synergien mit Waldnaturschutzzielen von hohem Interesse. Solche Synergien ergeben sich tendenziell eher bei einer Extensivierungsstrategie, welche auf eine Akkumulation von Kohlenstoff insbesondere in den Wäldern setzt. Bei einer Intensivierungsstrategie spielen dagegen der Holzproduktspeicher sowie Substitutionseffekte der Holzverwendung eine größere Rolle; diese Strategie ist in der Summe weniger kompatibel mit Zielen des Waldnaturschutzes. In Bezug auf die Klimawirkung ist keine dieser Strategien prima vista überlegen, da sich die Wirkungen auf Wald- und Holzproduktspeicher wechselseitig beeinflussen.
- ▶ Es zeigt sich allerdings, dass der positive Einfluss der Wälder in Deutschland auf die CO₂-Bilanz weder durch eine

generelle Erhöhung der Holzvorräte noch durch deren generelle Absenkung gesteigert werden kann. Vielmehr scheint sich die hergebrachte Waldbewirtschaftung in Bezug auf die Kohlenstoffspeicherung für den Zeitraum 2013–2020 nahe an einem Optimum zu befinden.

- ▶ Obgleich Gewinnmaximierung nur für eine Minderheit der Forstbetriebe in Deutschland das ausschlaggebende Ziel sein dürfte, sind die Betriebe grundsätzlich auf hinreichende Einnahmen angewiesen. Einnahmen der Forstbetriebe beruhen überwiegend auf Holzverkauf. Die entsprechenden Marktanzreize werden durch die derzeitige Energie- und Klimapolitik verstärkt, welche die Nachfrage nach Holz als nachwachsendem Rohstoff und Energieträger steigert. Dagegen kommen weder die Klimaschutzleistung noch der Schutz der Biodiversität den Forstbetrieben unmittelbar finanziell zugute. Soll diese problematische Konstellation aufgelöst werden, so erscheint eine entsprechende Ausrichtung des Fördersystems angezeigt. Dazu müssen auch existierende Konfliktlinien zwischen Waldnatur-

schutz- und Energiewendezielen thematisiert und geklärt werden.

- ▶ Für die Gesellschaft in Deutschland bewirken etliche Ökosystemleistungen der Wälder einen erheblichen Nutzen. Nach den vorliegenden umweltökonomischen Bewertungen ist hierunter die Klimaschutzleistung nicht vorrangig; der Wert der Holzproduktion wie auch des Schutzes der Biodiversität übertreffen den Wert der Klimaschutzleistung um mindestens eine Größenordnung.
- ▶ In politischen Diskussionen über die zukünftige Gestaltung der Wälder in Deutschland werden häufig klimapolitische Argumente angeführt, auch zur Untermauerung jeweils entgegengesetzter Interessenstandpunkte. Wie gezeigt wurde, sind viele klimapolitische Argumente in Bezug auf Wälder unter hiesigen Rahmenbedingungen jedoch wenig belastbar und gegenüber anderen Anliegen der Gesellschaft an Schutz und Nutzung der Wälder auch von nachgeordneter Bedeutung.

LITERATUR

- AGE – AGRA-EUROPE, 2013. Finanzierung des Bundesprogramms Energieeffizienz gesichert. Agra-Europe 17 (13), Länderberichte, S.46.
- BADECK, F.W., ROCK, J., LASCH, P., 2005. State of knowledge regarding effects of forest management practices on ecosystem carbon storage and projected effects of changes in management practices. PIK. CarboInvent Report wp5-D5.3, Potsdam.
- BMELV – BUNDESMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT UND VERBRAUCHERSCHUTZ (HRSG.), 2009. Waldbericht der Bundesregierung 2009. Bonn.
- BMU – BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT, 2008. Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel. Berlin.
- BMU – BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT, 2007. Nationale Strategie zur biologischen Vielfalt. Berlin.
- BMU – BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT, 2005. Nationales Klimaschutzprogramm 2005. Berlin.
- BMU – BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT, 2000. Nationales Klimaschutzprogramm. Berlin.
- BMU – BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT, BMELV – BUNDESMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT UND VERBRAUCHERSCHUTZ (HRSG.), 2009. Nationaler Biomasseaktionsplan für Deutschland. Beitrag der Biomasse für eine nachhaltige Energieversorgung. Berlin.
- BMWI – BUNDESMINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT UND ENERGIE, BMU – BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT, 2010. Energiekonzept für eine umweltschonende, zuverlässige und bezahlbare Energieversorgung. Berlin.
- BRUNET, J., FRITZ, Ö., RICHNAU, G., 2010. Biodiversity in European Beech Forests. A review with recommendations for sustainable forest management. Ecological Bulletins 53: 77–94.
- BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND, 2011. Submission of information on forest management reference levels by Germany. UNFCCC, 18. Download 30.10.2014 (http://unfccc.int/files/meetings/ad_hoc_working_groups/kp/application/pdf/awgkp_germany_2011.pdf)

- BURSCHEL, P., KÜRSTEN, E., LARSON, B.C., 1993. Die Rolle von Wald und Forstwirtschaft im Kohlenstoffhaushalt – eine Betrachtung für die Bundesrepublik Deutschland. Forstliche Forschungsberichte 126, München.
- BWALDG – GESETZ ZUR ERHALTUNG DES WALDES UND ZUR FÖRDERUNG DER FORSTWIRTSCHAFT (BUNDESWALDGESETZ) VOM 2.5.1975 (BWaldG BGBl I, S. 1037), zuletzt geändert 31.7.2010.
- CBD – CONVENTION ON BIOLOGICAL DIVERSITY, 1992. Convention on Biological Diversity. Download: 30.10.2014 (<http://www.admin.ch/ch/d/sr/i4/o.451.43.de.pdf>)
- CICCARESE, L., ELSASSER, P., HORATTAS, A., PETTENELLA, D., VALATIN, G., 2011. Innovative Market Opportunities Related to Carbon Sequestration in EU Forests? In: Weiss, G., Ollonqvist, P., Pettenella, D., Slee, B. (Hrsg.), Innovation in Forestry: Territorial and Value Chain Relationships. CABI, Wallingford, UK, 131–153.
- DIETER, M., 2013. Forstwirtschaft wieder auf Rekordniveau – Produktion und Gewinn deutlich gestiegen. Ergebnisse der Forstwirtschaftlichen Gesamtrechnung 2011. Holz-Zentralblatt 139 (2): 43.
- DIETER, M., SEINTSCH, B., 2012. Änderung der Wettbewerbsfähigkeit der Holz- und Papierwirtschaft in Deutschland auf Grund zunehmender Knappheit an Nadelholz. Allgemeine Forst- und Jagdzeitung 183 (5/6): 116–128.
- DUNGER, K., ROCK, J., 2009. Projektionen zum #en Rohholzaufkommen. Ergebnisse einer Kohlenstoffinventur auf Bundeswaldinventur-Basis. AFZ – Der Wald 64 (20): 1079–1081.
- DUNGER, K., STÜMER, W., OEHMICHEN, K., RIEDEL, T., BOLTE, A., 2009. Der Kohlenstoffspeicher Wald und seine Entwicklung. AFZ / Der Wald 64 (20): 1072–1073.
- EGGERS, J., LINDNER, M., ZUDIN, S., ZAEHLE, S., LISKI, J., 2008. Impact of changing wood demand, climate and land use on European forest resources and carbon stocks during the 21st century. Global Change Biology 14 (10): 2288–2303.
- ELSASSER, P., 2008. Wirtschaftlicher Wert der Senkenleistung des Waldes unter KP-Artikel 3.4 und Ansätze zu dessen Abgeltung in der ersten Verpflichtungsperiode. Arbeitsbericht OEF 2008(6). von-Thünen-Institut, Hamburg.
- ELSASSER, P., ENGLERT, H., HAMILTON, J., 2010a. Landscape benefits of a forest conversion programme in North East Germany: Results of a choice experiment. Annals of Forest Research 53 (1): 37–50.
- ELSASSER, P., ENGLERT, H., HAMILTON, J., MÜLLER, H.A., 2010b. Nachhaltige Entwicklung von Waldlandschaften im Nordostdeutschen Tiefland: Ökonomische und sozioökonomische Bewertungen von simulierten Szenarien der Landschaftsdynamik. Arbeitsbericht vTI-OEF 2010(1). von-Thünen-Institut, Hamburg.
- ELSASSER, P., WELLER, P., 2013. Aktuelle und potentielle Erholungsleistung der Wälder in Deutschland: Monetärer Nutzen der Erholung im Wald aus Sicht der Bevölkerung. Allgemeine Forst- und Jagdzeitung 184 (3/4): 84–96.
- EU-COM – EUROPEAN COMMISSION, 2005. Aktionsplan für Biomasse. Brüssel: Kommission der Europäischen Gemeinschaften. KOM(2005) 628 endgültig v. 7.12.2005.
- EU – EUROPÄISCHE UNION, 2009. Directive 2009/29/EC of the European Parliament and Council of 23rd April 2009 amending Directive 2003/87/EC so as to improve and extend the greenhouse gas emission allowance trading scheme of the community. Official Journal of the European Union L140 (5.6.2009): 63–87.
- EU – EUROPÄISCHE UNION, 2004. Directive 2004/1001/EC of the European Parliament and Council of 27th October 2004 amending Directive 2003/87/EC on establishing a scheme for greenhouse gas emission allowance trading within the community, in respect of the Kyoto Protocol's project mechanisms. Official Journal of the European Union L 338 (13.11.2004) 18–23.
- EU – EUROPÄISCHE UNION, 2003. Directive 2003/87/EC of the European Parliament and Council of 13th October 2003 on establishing a scheme for greenhouse gas emission allowance trading within the community. consolidated version (incorporating subsequent amendments). Official Journal of the European Union L 275 (25.10.2003) 32–46.
- GOODALE, C.L., APPS, M.J., BIRDSEY, R.A., FIELD, C.B., HEATH, L.S., HOUGHTON, R.A., JENKINS, J.C., KOHLMAIER, G.H., KURZ, W.A., LIU, S., NABUURS, G.-J., NILSSON, S., SHVIDENKO, A.Z., 2002. Forest carbon sinks in the northern hemisphere. Ecological Applications 12 (3): 891–899.
- HAMRICK, J.L., 2004. Response of forest trees to global environmental changes. Dynamics and conservation of genetic diversity in forest ecology. Forest Ecology and Management 197: 323–335.
- HEUER, E., 2009. Studie bestätigt: Deutsche Wälder sind wichtige Kohlenstoffsенke. AFZ – Der Wald (20): 1068–1069.
- HOOGSTRA, M.A., SCHANZ, H., 2008. How (un)certain is the future in forestry? A comparative assessment of uncertainty in the forest and agricultural sector. Forest science 54(3): 316–327.
- HOLZ-ZENTRALBLATT, 2013. Waldklimafonds vor dem Aus? Niedriger Preis für CO₂-Zertifikate gefährdet Programme. Holz-Zentralblatt 139 (13): 301.

- JANDL, R., LINDNER, M., VESTERDAL, L., BAUWENS, B., BARITZ, R., HAGEDORN, F., JOHNSON, D.W., MINKKINEN, K., BYRNE, K.A., 2007a. How strongly can forest management influence soil carbon sequestration? Geoderma 137 (3–4): 253–268.
- JANDL, R., VESTERDAL, L., OLSSON, M., BENS, O., BADECK, F., ROCK, J., 2007b. Carbon sequestration and forest management. CAB Reviews: Perspectives in Agriculture, Veterinary Science, Nutrition and Natural Resources 2 (17): 1–16.
- KÄTZEL, R., 2008. Klimawandel. Zur genetischen und physiologischen Anpassungsfähigkeit der Waldbaumarten. Archiv für Forstwesen und Landschaftsökologie 42: 9–15.
- KÖHL, M., KENTER, B., HILDEBRANDT, R., OLSCHOFKSY, K., KÖHLER, R., RÖTZER, T., METTE, T., PRETZSCH, H., RÜTER, S., KÖTHKE, M., DIETER, M., ABIY, M., MAKESCHIN, F., 2011. Nutzungsverzicht oder Holznutzung? Auswirkungen auf die CO₂-Bilanz im langfristigen Vergleich. AFZ – Der Wald 66 (15): 25–27.
- LÖSCHEL, A., STURM, B., VOGT, C., 2013. The demand for climate protection—Empirical evidence from Germany. Economics Letters 118 (3): 415–418.
- LUYSSAERT, S., CIAIS, P., PIAO, S.L., SCHULZE, E.-D., JUNG, M., ZAEHLE, S., SCHELHAAS, M.J., REICHSTEIN, M., CHURKINA, G., PAPALE, D., ABRIL, G., BEER, C., GRACE, J., LOUSTAU, D., MATTEUCCI, G., MAGNANI, F., NABUURS, G.-J., VERBEECK, H., SULKAVA, M., VAN DER WERF, G.R., JANSSENS, I.A., 2010. The European carbon balance. Part 3: forests. Global Change Biology 16 (5): 1429–1450.
- MEYERHOFF, J., ANGELI, D., HARTJE, V., 2012. Valuing the benefits of implementing a national strategy on biological diversity – The case of Germany. Environmental Science & Policy 23: 109–119.
- MILAD, M., SCHAICH, H., BÜRGI, M., KONOLD, W., 2011. Climate change and nature conservation in Central European forests: a review of consequences, concepts and challenges. Forest Ecology and Management 261: 239–243.
- MILAD, M., SCHAICH, H., KONOLD, W., 2013. How is adaptation to climate change reflected in current practice of forest management and conservation? A case study from Germany. Biodiversity and Conservation 22(5): 1181–1202.
- MILAD, M., SCHAICH, H., KONOLD, W., 2012a. Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel – eine Analyse von Vorschlägen aus Forstwirtschaft und Naturschutz. Allgemeine Forst- und Jagdzeitung 183 (9/10): 183–196.
- MILAD, M., SCHAICH, H., KONOLD, W., 2012b. Waldnaturschutz im Klimawandel. In: Milad, M., Storch, S., Schaich, H., Konold, W., Winkel, G., 2012. Wälder und Klimawandel: Künftige Strategien für Schutz und nachhaltige Nutzung. Naturschutz und Biologische Vielfalt 125: 23–57.
- MÖHRING, B., MESTEMACHER, U., 2009. Gesellschaftliche Leistungen der Wälder und der Forstwirtschaft und ihre Honorierung. In: Seintsch, B., Dieter, M. (Hrsg.), Waldstrategie 2020. Tagungsband zum Symposium des BMELV, 10.–11. Dez. 2008, Berlin. Braunschweig: vTI. Landbauforschung / vTI Agriculture and Forestry Research Sonderheft 327: 65–73.
- MONING, C., MÜLLER, J. 2009. Critical forest age thresholds for the diversity of lichens, molluscs and birds in beech (Fagus sylvatica L.) dominated forests. Ecol. Indicat. 9: 922–932.
- NIR – NATIONAL INVENTORY REPORT, 2013. Berichterstattung unter der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen und dem Kyoto-Protokoll 2013: Nationaler Inventarbericht zum Deutschen Treibhausgasinventar 1990–2011. Hrsg. vom Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau. Download 30.10.2014 (http://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/461/publikationen/climate_change_o8_2013_nir_2013_gniffke.pdf)
- NIR – NATIONAL INVENTORY REPORT, 2012. National Inventory Report for the German Greenhouse Gas Inventory 1990–2010. Hrsg. vom Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau. Download: 30.10.2014 (http://unfccc.int/national_reports/annex_i_ghg_inventories/national_inventories_submissions/items/6598.php), deutsche Version: (<http://www.umweltbundesamt.de/publikationen/berichterstattung-unter-klimarahmenkonvention-1>)
- OEHMICHEN, K., DEMANT, B., DUNGER, K., GRÜNBERG, E., HENNING, P., KROIHER, F., NEUBAUER, M., POLLEY, H., RIEDEL, T., ROCK, J., SCHWITZGEBEL, F., STÜMER, W., WELLBROCK, N., ZICHE, D., BOLTE, A., 2011. Inventurstudie 2008 und Treibhausgasinventar Wald. von-Thünen-Institut, Braunschweig. Landbauforschung Sonderheft 343. 141 S.
- PAN, Y., BIRDSEY, R.A., FANG, J., HOUGHTON, R.A., KAUPPI, P.E., KURZ, W.A., PHILLIPS, O.L., SHVIDENKO, A., LEWIS, S.L., CANADELL, J.G., CIAIS, P., JACKSON, R.B., PACALA, S.W., MCGUIRE, A.D., PIAO, S., RAUTIAINEN, A., SITCH, S., HAYES, D., 2011. A Large and Persistent Carbon Sink in the World's Forests. Science 333 (6045): 988–993.
- PAUL, C., WEBER, M., MOSANDL, R., 2009. Kohlenstoffbindung junger Aufforstungen. Freising: Karl Gayer Institut. 64 S.
- PETERS-STANLEY, M., HAMILTON, K., YIN, D., 2012. State of the Forest Carbon Markets 2012: Leveraging the Landscape. Ecosystem Marketplace. Forest Trends, Washington, D.C.

- POLLEY, H., HENNING, P., KROIHER, F., 2009a. Baumarten, Altersstruktur und Totholz in Deutschland. Ergebnisse einer Kohlenstoffinventur auf Bundeswaldinventur-Basis. *Allgemeine Forst Zeitschrift* 64 (20): 1074–1075.
- POLLEY, H., HENNING, P., SCHWITZGEBEL, F., 2009b. Holzvorrat, Holzzuwachs, Holznutzung in Deutschland. Ergebnisse einer Kohlenstoffinventur auf Bundeswaldinventur-Basis. *Allgemeine Forst Zeitschrift* 64 (20): 1076–1078.
- ROCK, J., 2011. Ertragskundliche Orientierungsgrößen für eine "klimaoptimale" Waldbewirtschaftung. In: Nagel, J. (Hrsg.), *Deutscher Verband Forstlicher Forschungsanstalten Sektion Ertragskunde: Beiträge zur Jahrestagung 2011*. NW-FVA, DVFFA, Göttingen, 173–180.
- ROCK, J., BOLTE, A., 2011. Auswirkungen der Waldbewirtschaftung 2002 bis 2008 auf die CO₂-Bilanz. *Allgemeine Forst Zeitschrift* 66 (15): 22–24.
- RÖHRIG, E., BARTSCH, N., LÜPKE, B.V., 2006. *Waldbau auf ökologischer Grundlage*. Stuttgart: 7. Aufl., Ulmer, Stuttgart.
- RÜTER, S., 2011. Welchen Beitrag leisten Holzprodukte zur CO₂-Bilanz? *AFZ – Der Wald* 66 (15): 15–18.
- RÜTER, S., 2010. Einbeziehung von Holzprodukten in die Klimapolitik: eine künftige Anrechnung bedeutet einen Anreiz für eine verbesserte stoffliche Nutzung von Holz. *Holz-Zentralblatt* 136 (25): 623–624.
- RÜTER, S., ROCK, J., KÖTHKE, M., DIETER, M., 2011. Wie viel Holznutzung ist gut fürs Klima? CO₂-Bilanzen unterschiedlicher Nutzungsszenarien 2013 bis 2020. *Allgemeine Forst Zeitschrift* 66 (15): 19–21.
- SATHRE, R., O'CONNOR, J., 2010. *A Synthesis of Research on Wood Products & Greenhouse Gas Impacts*. Technical Report TR 19R (2. Aufl.), FPInnovations, Vancouver, B.C.
- SCHERZINGER, W., 1996. *Naturschutz im Wald. Qualitätsziele einer dynamischen Waldentwicklung*. Stuttgart: Ulmer: 447 S.
- SCHULZE, E.-D., LUYSSAERT, S., CIAIS, P., FREIBAUER, A., JANSSENS, I.A., ET AL., 2009. Importance of methane and nitrous oxide for Europe's terrestrial greenhouse-gas balance. *Nature Geoscience* 2: 842–850.
- SPEIDEL, G., 1972. *Planung im Forstbetrieb*. Parey, Hamburg und Berlin.
- STORCH, S., WINKEL, G., 2013. Coupling climate change and forest policy: A multiple streams analysis of two German case studies. *Forest Policy and Economics* 36: 14–26.
- STORCH, S., WINKEL, G., 2012. Waldnaturschutzpolitik und Klimawandel. In: Milad, M., Storch, S., Schaich, H., Konold, W., Winkel, G., 2012. *Wälder und Klimawandel: Künftige Strategien für Schutz und nachhaltige Nutzung*. *Naturschutz und Biologische Vielfalt* 125: 58–71.
- TOL, R. S. J., 2013. The economic impact of climate change in the 20th and 21st centuries. *Climatic Change* 117 (4): 795–808.
- TOL, R. S. J., 2002. Estimates of the Damage Costs of Climate Change, Part I: Benchmark Estimates. *Environmental and Resource Economics* 21 (1): 47–73.
- UBA – UMWELTBUNDESAMT, 2009. *Konzeption des Umweltbundesamtes zur Klimapolitik*. Dessau. *Climate Change* 14/2009: 110.
- UNFCCC – UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE, 2011. *Decision 2/CMP.7 (Land use, land-use change and forestry)*.
- UNFCCC – UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE, 1992. *Rahmenübereinkommen der Vereinten Nationen über Klimaänderungen*. Download: 30.10.2014 (<http://unfccc.int/resource/docs/convkp/convger.pdf>)
- WINKEL, G., GLEISSNER, J., PISTORIUS, T., SOTIROV, M., STORCH, S., 2011. The sustainably managed forest heats up. *Discursive struggles over forest management and climate change in Germany*. *Critical Policy Studies* 5: 361–390.
- WÖRDEHOFF, R., SPELLMANN, H., EVERS, J., AYDIN, C.T., NAGEL, J., 2012. *Kohlenstoffstudie Forst und Holz Schleswig-Holstein*. Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt, Göttingen.
- YOHE, G.W., LASCO, R.D., AHMAD, Q.K., ARNELL, N.W., COHEN, S.J., HOPE, C., JANETOS, A.C., PEREZ, R.T., 2007. Perspectives on climate change and sustainability. In: Parry, M.L., Canziani, O.F., Palutikof, J.P., van der Linden, J.P., Hanson, C.E. (Hrsg.), *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, UK, 811–841.