

Perspektiven der Forst- und Holzwirtschaft in Deutschland

Aktualisierte Version, April 2016

Autoren: Andreas Bolte (TI), Jan Börner (ZEF), Nadine Bräsicke (JKI), Bernd Degen (TI), Matthias Dieter (TI), Bodo Saake (UNI HH), Bernd Uwe Schneider (GFZ)

Präambel

Für das vorliegende Hintergrundpapier hat der Bioökonomierat Experten eingeladen, den aktuellen Wissensstand zum Thema Forst- und Holzwirtschaft und deren Rolle in der Bioökonomie zu beschreiben. Zudem sollten Zielkonflikte und Wissenslücken identifiziert werden. Das vorliegende Dokument erhebt nicht den Anspruch, eine abgeschlossene und vollständige Beschreibung des Clusters Forst und Holz zu sein. Vielmehr werden für die Weiterentwicklung einer dynamischen Bioökonomie besonders wichtige Fragen betrachtet. Die Arbeit der Autoren wurde in der Geschäftsstelle des Bioökonomierates koordiniert und vom Rat eng begleitet. Das Hintergrundpapier steht in der Verantwortung der genannten Autoren. Der Bioökonomierat dankt den Autoren für die geleistete Arbeit. Damit wurde für den Rat die Grundlage geschaffen, politische Empfehlungen zum Thema Forst- und Holzwirtschaft abzugeben.

Zusammenfassung

Neben der Landwirtschaft zählen die Forst- und Holzwirtschaft zu den wichtigsten Produzenten nachwachsender Rohstoffe für die Bioökonomie. Holz und Holzreste können zu wertvollen Rohstoffen der Bioökonomie werden. Anders als landwirtschaftliche Produkte stehen sie nicht in Konkurrenz zur Lebensmittelproduktion. Die Bewirtschaftung von Wäldern hat in Deutschland Tradition. Sie ist zu großen Teilen bereits ökonomisch etabliert. In der Summe hat der Cluster Forst und Holz im Jahr 2012 eine Bruttowertschöpfung von 55 Mrd. Euro erwirtschaftet und einen Umsatz von gut 180 Mrd. Euro erzielt. Etwa 1,1 Millionen Menschen sind im Cluster Forst und Holz in Deutschland beschäftigt. Deutschland hat mit 3,7 Mrd. m³ Gesamtvorrat den höchsten Holzvorrat in der Europäischen Union. Neben dem Beitrag zu Einkommen und Beschäftigung leistet die Nutzung dieser Vorräte einen positiven Beitrag zum Klimaschutz insbesondere durch die Herstellung langlebiger Holzprodukte, die Kaskadennutzung sowie den Ersatz nicht-nachwachsender Rohstoffe. Ein Ausbau der Bioökonomie trägt damit zur stärkeren Holznachfrage bei. Ertragssteigerungen lassen sich durch waldbauliche Maßnahmen, veränderte Umtriebszeiten, Züchtungen oder verbessertes Saatgut erzielen. Klimatische Änderungen verlangen jedoch Anpassungsprozesse, um Ertragseinbußen durch Schädlinge, Trockenheit oder häufigere Sturmereignisse zu minimieren. Hier gilt es, den Bestand anzupassen und unter anderem durch Pflanzenschutzkonzepte zu sichern. Holz- und Holzprodukte werden in Deutschland vor allem traditionell genutzt. Aus neuen Produkten oder Verwertungskonzepten könnte sich eine Steigerung der Wertschöpfung ergeben. Dafür kommen vor allem Holzbestandteile wie Fasern oder chemische Grundstoffe in Frage, die aus dem chemischen Aufschluss von Holz gewonnen werden. Beispiele dafür sind Nano- oder Kompositmaterialien, aber auch biotechnologisch und chemisch genutzte Zucker. Der Wald muss aber auch in der Kulturlandschaft anderen Ökosystemdienstleistungen wie Erho-

lung, Bereitstellung von sauberem Trinkwasser und Naturschutz erbracht. Viele dieser Ökosystemdienstleistungen sind bislang nicht ausreichend in Wert gesetzt worden. Hier müssen Zielkonflikte gelöst werden.

Holz- und Forstprodukte werden international stark gehandelt. In ökonomisch weniger entwickelten Ländern spielen sie auch lokal eine wichtige Rolle, da sie speziell für einkommensschwächere Menschen die Möglichkeit einer wirtschaftlichen Partizipation bieten. Politische Maßnahmen in Deutschland sind daher auch auf ihre internationalen Auswirkungen wie etwa indirekte Landnutzungsänderungen zu prüfen.

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung: Rolle der Forst- und Holzwirtschaft in der Bioökonomie	4
1.1 Der Wirtschaftsbereich Forst und Holz in Deutschland	4
1.2 Status und Entwicklung der Waldfläche in Deutschland	5
1.3 Internationale Rahmenbedingungen	5
1.4 Klimawandel und Klimaschutz	6
1.5 Kulturelle Bedeutung des Waldes in Deutschland.....	7
1.6 Ökosystemdienstleistungen des Waldes	8
1.7 Bedeutung von Wald in Entwicklungsländern	8
2. Nutzung von Wald und Holz	9
2.1 Verwendung von Holz als industrieller Rohstoff und zukünftiges Nutzungspotenzial... 9	
2.2 Innovatives Nutzungspotenzial von Holz	11
3. Innovation: Schutz und zusätzliche Nutzungspotenziale	14
3.1 Forschung zur innovativen Nutzung von Holz.....	14
3.2 Kurzumtriebsplantagen und Agroforstsysteme	15
4. Zusätzliche Potenziale im Forstbereich	15
4.1 Nachhaltige Forstwirtschaft und integrierter Pflanzenschutz	16
4.2 Produktionssteigerung durch Forstpflanzenzüchtung	18
5. Internationale Betrachtungen	20
5.1 Politik.....	20
5.2 Internationaler Ausblick	21
6. Betrachtung von Zielkonflikten	22

1. Einleitung: Rolle der Forst- und Holzwirtschaft in der Bioökonomie

Die Forstwirtschaft ist ein wichtiger Rohstoffproduzent für die Bioökonomie. Ihre Rolle ähnelt damit der Agrarwirtschaft (Bioökonomierat, 2015; Bioökonomierat, 2014). Balken, Bretter oder Fasern – also Holz in mechanisch verarbeiteter Form – sind traditionell wichtig für die Herstellung von Möbeln, Dämmstoffen oder Baumaterialien. Hinzu kommt die Verwendung in der Papier- und Zellstoffindustrie. Energetisch wird Holz stärker zur Wärme- als zur Stromerzeugung genutzt (BMW, 2013). Die chemischen Bestandteile Cellulose und Hemicellulose können neben der Nutzung als Polymer auch zu monomeren Zuckereinheiten abgebaut werden und somit als Rohstoff für zahlreiche biotechnologische Prozesse dienen. Auch der komplexe Naturstoff Lignin kann als Polymer oder nach Abbaureaktionen genutzt werden. Die industrielle Ligninnutzung erfolgt momentan jedoch nur thermisch oder in polymerer Form. Inhalts- oder Extraktstoffe (z. B. Lignane, Gerbstoffe) werden industriell bereits in kleinen Mengen genutzt. Im Gegensatz zu den meisten agrarischen Produkten ist Holz für den Menschen nicht direkt als Nahrungsmittel verwertbar. Als nicht-essbarer Naturstoff kommt ihm damit eine besondere Rolle zu, den Zielkonflikt zwischen Tank und Teller zu mindern. Mit den folgenden Ausführungen widmen sich die Autoren dem Wirtschaftsbereich Holz und Forst sowie der ökologischen und kulturellen Bedeutung des Waldes. Darüber hinaus werden internationale Auswirkungen der Holznutzung in Deutschland sowie der Handel mit Holz betrachtet.

1.1 Der Wirtschaftsbereich Forst und Holz in Deutschland

Der Cluster Forst und Holz umfasst alle Wirtschaftszweige in Deutschland, die in ihrer Produktion vom Rohstoff Holz oder seinen Bestandteilen abhängig sind. Neben der Forstwirtschaft zählen dazu die Unternehmen der Holzbe- und Holzverarbeitung, des Holzbauhandwerks, des Papier-, Verlags- und Druckereigewerbes sowie des Holzhandels. All diesen Wirtschaftszweigen ist zu eigen, dass sie Holz oder dessen Bestandteile als wesentlichen Inputfaktor einsetzen. In der Summe hat der Cluster Forst und Holz im Jahr 2012 eine Bruttowertschöpfung von 55 Mrd. Euro erwirtschaftet bei einem Umsatz von gut 180 Mrd. Euro. Etwa 1,1 Millionen Menschen sind im Cluster Forst und Holz in Deutschland beschäftigt (Becher, 2014). Mit seiner Wirtschaftskraft trägt der Cluster etwa 3 % zur gesamtwirtschaftlichen Leistungskraft in Deutschland bei. Innerhalb des Clusters hält die Forstwirtschaft nur 3 % gemessen am Umsatz. Als Rohstoffproduzentin ist sie aber für den gesamten Cluster Forst und Holz unverzichtbar. Deutschland ist mit 11,4 Mio. ha zu einem Drittel bewaldet. Damit ist die Waldbewirtschaftung nach den landwirtschaftlich genutzten Flächen bundesweit die zweitgrößte Landnutzungsform. Knapp die Hälfte der Wälder (48 %) gehört privaten Eigentümern. Die Größe der Besitztümer fällt sehr unterschiedlich aus. Es gibt etliche große Forstbetriebe mit jeweils deutlich mehr als 1.000 ha. Die Hälfte des Privatwaldes (50 %) befindet sich aber in den Händen von Eigentümern, deren Besitz jeweils höchstens 20 ha beträgt und die damit kaum als wirtschaftliche Einheiten bezeichnet werden können. Des Weiteren gehört dem Staat ein Drittel (33 %) des Waldes in Deutschland und den Körperschaften knapp ein Fünftel (19 %) (BMEL, 2014). Insgesamt wird die Anzahl der Waldbesitzer in Deutschland auf ein bis zwei Millionen Menschen geschätzt. Die diversifizierte Waldbesitzstruktur hat Auswirkungen auf die Steuerungsmöglichkeit der Waldbewirtschaftung. Privatwaldbesitzer können – zumindest außerhalb von Schutzgebieten – im Rahmen der gesetzlichen Regelungen ihr Waldeigentum nach ihren betrieblichen Zielen bewirtschaften. Staatliche Steuerung beschränkt sich daher, neben der Ausweisung von Schutzgebieten, auf die Förderung erwünschter Bewirtschaftungsmaßnahmen oder Beratungsangebote durch staatliche Forstbehörden. Die Bewirtschaftung des öffentlichen

Waldes (Bundes-, Landes- und Körperschaftswald) richtet sich in der Regel auf einen Ausgleich zwischen Nutz-, Schutz- und Erholungsfunktionen des Waldes. Die Bewirtschaftung der Wälder in Deutschland folgt dem Grundsatz der Multifunktionalität. Wälder haben häufig mehrere Funktionen gleichzeitig zu erfüllen. Darunter fallen Holzproduktion, Erholung, Bodenschutz, Wasserregulation, Klima- oder Naturschutz. Entsprechend dominieren in Deutschland die Mischwälder mit 76 % Flächenanteil. Sie bilden die Multifunktionalität meist besser ab als Reinbestände. Nur auf einem kleinen Teil der Fläche, vornehmlich in Vorranggebieten des Naturschutzes, sind einzelne Funktionen wie die der Holzproduktion oder der Erholung ausgeschlossen. Die Forstwirtschaft in Deutschland produziert Holz in sehr langen Produktionszeiträumen. Die Tendenz zu alten Wäldern hat sich in den letzten Jahren verstärkt, knapp ein Viertel des Waldes (24 %) ist älter als 100 Jahre (BMEL, 2014).

1.2 Status und Entwicklung der Waldfläche in Deutschland

Die vier Hauptbaumarten Fichte (25 % Flächenanteil), Kiefer (22 %), Buche (15 %) und Eiche (10 %) prägen das Waldbild in Deutschland. Von den nicht-heimischen Baumarten erreicht nur die Douglasie mit etwa 2 % nennenswerte Flächenanteile (BMEL, 2014). Deutschland hat mit 3,7 Mrd. m³ Gesamtvorrat den höchsten Holzvorrat in der Europäischen Union. Innerhalb des letzten Jahrzehnts (2002 bis 2012) ist der durchschnittliche Vorrat pro Hektar um 7 % auf 336 m³ angestiegen (BMEL, 2014). Hohe stehende Holzvorräte weisen Privatwälder auf (352 m³/ha), während die Staatswälder in Landesbesitz und Körperschaftswälder etwas weniger vorratsreich sind (327 m³/ha). Der Vorratsanstieg betrifft alle Hauptbaumarten bis auf die Fichte, deren Flächenanteil und Vorrat durch den Umbau von Fichtenreinbeständen in Laub- und Mischwälder gesunken ist. Stark erhöht hat sich besonders der Vorrat von alten und starken Bäumen mit einem Durchmesser über 50 cm (Anteil Buche 2012: 38 %, Fichte 19 %, Polley & Hennig, 2015). Der Holzzuwachs liegt auf einem weiterhin hohen Niveau von 10,8 m³/ha/a für alle Baumarten (im Hauptbestand). Am zuwachsstärksten sind die Nadelbaumarten Douglasie, Tanne und Fichte (18,9 bis 15,3 m³ha⁻¹a⁻¹). Geringere Zuwächse haben Kiefer, Buche und Eiche (9,3 bis 8,3 m³ha⁻¹a⁻¹).

1.3 Internationale Rahmenbedingungen

Weltweit betrachtet ist die Situation zum Teil deutlich unterschiedlich. Insgesamt nimmt die Waldfläche auf der Welt ab. In erster Linie zu Lasten von Primärwäldern (FAO, 2010). Die Fläche gepflanzter Wälder nimmt dagegen zu. Deren Bewirtschaftung erfolgt jedoch wesentlich intensiver als in Deutschland. Die häufigste Rotationslänge als Produktionszeitraum liegt bei 21 bis 30 Jahren (Carle & Holmgren, 2008). Der Anteil an gepflanzten Wäldern, die älter als 100 Jahre sind, beträgt weltweit entsprechend nur 5 %. Sie liegen vorwiegend in Europa. Der weiter zu erwartende Ausbau der Plantagenwälder in den Tropen und deren Produktivitätsfortschritte durch Züchtung, Düngung oder waldbautechnische Maßnahmen lassen eine steigende Marktproduktion aus diesen Ländern erwarten. Weltweit ist die räumliche Trennung von Waldfunktionen (Segregation) häufig die vorherrschende Strategie zum Umgang mit unterschiedlichen Ansprüchen. Wälder dienen entweder der Produktion von Holz, dem Schutz des Bodens oder dem Schutz der biologischen Vielfalt.

1.4 Klimawandel und Klimaschutz

Die aktuellen Klimaprognosen deuten auf eine Erwärmung mit häufigeren und intensiveren Witterungsextremen wie Trockenheit und Hitzeperioden hin (Jacob u. a., 2014). Deren regionale Ausprägung kann zeitlich und räumlich sehr variieren. In der Folge unterliegen die Waldökosysteme neuen Anpassungsprozessen, wobei noch erhebliche Kenntnislücken zu deren Anpassungsfähigkeit vorliegen. Für die Forstwirtschaft, die mit entsprechend langjährigen Produktionszeiträumen kalkulieren muss, können in der Konsequenz vergleichsweise massive Veränderungen entstehen. Klimabedingte Veränderungen und klimatische Extreme wie z. B. extreme Trockenperioden, steigende Grundwasserstände, verlängerte Vegetationszeiten, Temperaturextreme, höhere saisonale Durchschnittstemperaturen etc. können zu Vitalitätsverlusten und verminderter Regenerationsfähigkeit von Beständen führen. In deren Folge kann es zu Zuwachseinbußen, vermehrtem Krankheits- und Schädlingsbefall oder zum Zusammenbruch ganzer Bestände bzw. Bestandsstrukturen kommen. (Allen u. a., 2010).

Der Anpassungsprozess an veränderte Klimafaktoren betrifft aber nicht nur die Störungsanfälligkeit der Waldbestände, sondern auch das Spektrum und die Häufigkeit der sich an den Waldbäumen entwickelnden Schadorganismen (Bräsicke u. a., 2014). Höhere saisonale Durchschnittstemperaturen bei gleichzeitig veränderten Niederschlagsmengen, häufigere Sturmereignisse sowie ein erhöhter CO₂-Gehalt in der Atmosphäre können die Entwicklungsbedingungen (z. B. Habitatbedingungen, Nahrungsqualität) für heimische Schadinsekten verbessern und deren Reproduktionspotenzial erhöhen. Gebietsfremde Schadorganismen können ihr Verbreitungsgebiet erweitern und in neue Wirtsländer einwandern. Bereits eingeschleppte wärmeliebende Arten haben aufgrund der mildereren Temperaturen im Winter gute Überlebenschancen und können sich dauerhaft etablieren. Ohne Kontroll- und Ausgleichsmechanismen, wie Konkurrenten oder Feinde, können die Neuankömmlinge die einheimische Flora und Fauna sowie bei humanpathogenen Arten auch die Gesundheit von Mensch und Tier gefährden. Gleichzeitig werden sie eine Bedrohung für die Erfüllung der Waldfunktionen und können hohe finanzielle Verluste in der Forst- und Holzwirtschaft verursachen. Die klimatischen Veränderungen werden zusammen mit der steigenden Globalisierung des Handels sowohl die Waldschutzmaßnahmen als auch den Aufwand in der Pflanzenquarantäne erhöhen. Neben der Bereitstellung von kurzfristig wirksamen Bekämpfungsmaßnahmen sollten auch umweltschonende Pflanzenschutzverfahren entwickelt werden, die auf selbstregulatorischen und zumeist biologischen Wirkungszusammenhängen beruhen. Sie ermöglichen es, ökologische und soziale Aspekte mit wirtschaftlichen Interessen zu vereinbaren. Bisher sind jedoch noch keine klaren Auswirkungen des Klima- und Umweltwandels auf die Zuwachsleistung der deutschen Wälder insgesamt ersichtlich, auch wenn Zuwachsstudien an einzelnen Beständen diese Tendenz klar zeigen (z. B. Pretzsch u. a., 2014). Die geänderte Altersstruktur der Bestände mit höherem Baumaltern überlagert mögliche positive Klimaeinflüsse im Periodenvergleich zwischen 1992 bis 2002 und 2002 bis 2012. Der weitere Anstieg der Kohlendioxidkonzentration der Luft, längere Wachstumsperioden durch Erwärmung und weiterhin erhöhter Stickstoffeintrag lassen bei ausreichender Wasserversorgung zwar ein höheres Wachstum der Waldbestände erwarten (Nabuurs u. a., 2002; Eggers u. a., 2008). Zusätzlich können sich geplante präventive Maßnahmen des Waldumbaus mit dem Ersatz trockenheits- und sturmempfindlicher Fichtenbestände durch tolerantere, aber zuwachsschwächere Laubbaumarten (vgl. Übersicht Bundesländer durch Bolte u. a., 2009) zukünftig mindernd auf die Zuwachsleistung auswirken.

Waldökosysteme entziehen der Atmosphäre durch Photosynthese CO₂ und binden den Kohlenstoff im Zuge ihres Wachstums im Holz und im Boden. Solange Waldbestände also noch im Holzvorrat wachsen, erfüllen sie ihre sogenannte Senkenfunktion durch Entzug von CO₂ aus der Atmosphäre. Deutschlandweit speichern Waldökosysteme knapp 2 Mrd. t. Kohlenstoff im Waldbestand und im Waldboden bis 30 cm Bodentiefe. Durch Vorratsanreicherung werden jährlich durchschnittlich 52 Mio. t. CO₂ festgelegt (Dunger u. a., 2014; Wellbrock u. a., 2014). Hier nicht betrachtet ist die C-Anreicherung im tieferen Unterboden, die wahrscheinlich eine erhebliche zusätzliche Kohlenstoffsenke darstellt und kaum erforscht ist. Das Wachstum von Waldbeständen kulminiert im Alter und damit auch die CO₂-Bindung. Werden alte Bestände geerntet, wird Fläche freigemacht für neue, junge Bestände, die wieder nachwachsen und damit erneut CO₂ aus der Atmosphäre entziehen.

Beim Generationenwechsel hängen Erhalt und Ausbau des Kohlenstoffspeichers im Wesentlichen von vier Faktoren ab: Das sind a) das Bestandsalter und die Naturverjüngung (u. a. durch Einbringung von Untersaat), b) die Wahl der Baumart oder Baumartenkombination, c) die Verwendung geeigneten, hochwertigen forstlichen Vermehrungsgutes sowie d) der Verwendung des Holzes der Altbestände. Wird es im Extremfall verbannt, gelangt ein großer Teil, des über Jahrzehnte bis Jahrhunderte im Holz gebundene CO₂ unmittelbar wieder in die Atmosphäre und der Klimaschutzeffekt ist negativ. Werden allerdings Produkte aus Holz hergestellt, verlängert sich die Speicherwirkung solange die Produkte in Gebrauch sind. Da bei der Verarbeitung von Holz häufig weniger Prozessenergie benötigt wird als bei Produkten aus alternativen Rohstoffen, werden mit der Verwendung von Holzprodukten häufig auch noch indirekt Emissionen vermieden. Dieser sogenannte stoffliche Substitutionseffekt liegt im Durchschnitt einer Vielzahl betrachteter Produkte bei etwa 2,1 (Sathre & O'Connor, 2010).

Wird Holz direkt nach der Ernte oder nach Ende des Lebenszyklus als Produkt zur Energiegewinnung verbrannt, erfolgt ebenfalls eine CO₂-Freisetzung. Ein energetischer Substitutionseffekt ergibt sich erst, wenn der Einsatz holzbasierter Energie tatsächlich zu einem Ersatz von Energie aus fossilen Energieträgern führt. Bei freiem Verrotten als Alternative liegt der energetische Substitutionseffekt bei durchschnittlich 0,67 (Rüter, 2011). Er ist aber stark von der verwendeten Energietechnologie abhängig. In einem Vergleich der CO₂-Bilanzen unterschiedlicher Waldbewirtschaftungskonzepte für Deutschland zeigt sich, dass mittelfristig die beiden Substitutionseffekte (stofflich und energetisch) die beiden Speichereffekte (Wald und Holzprodukte) überwiegen (Rüter u. a., 2011; Wellbrock u. a., 2014).

1.5 Kulturelle Bedeutung des Waldes in Deutschland

Der deutsche Wald in seiner heutigen Form wurde durch verschiedene Faktoren (Nutzungswandel, historische Phasen der Übernutzung, ökonomischer Wandel, Veränderung des Klimas, geschichtliche Ereignisse, Eigentumswechsel, technischer Fortschritt) geprägt (Poschlod, 2015). Er ist damit das Ergebnis menschlicher Beeinflussung. Die heutigen Wälder sind keine Primärwälder, sondern das Ergebnis von forstwirtschaftlicher Pflege und Nutzung. Trotzdem haben Wälder im dicht besiedelten Deutschland seit jeher eine besondere Bedeutung als Raum für Erholung und Naturerleben und als wichtiger Kulturraum. Im beginnenden 18. Jahrhundert entwickelte der sächsische Berghauptmann Hans Carl von Carlowitz die bis heute geltenden Prinzipien des nachhaltigen Wirtschaftens. Darauf folgende Epochen der Kunst- und Kulturgeschichte haben den Wald immer wieder als Motiv aufgegriffen. Lyriker wie Joseph von Eichendorff oder der Maler Caspar David Friedrich haben im 19. Jahrhun-

dert dazu beigetragen, dass der Wald zu einer Sehnsuchtslandschaft und zum Hort kultureller Traditionen avancierte. Die „deutsche Eiche“ wurde zum Sinnbild von Stabilität. Bis heute ziert sie die Motivseiten deutscher Münzen. In den 80er und beginnenden 90er Jahren des vergangenen Jahrhunderts avancierte der Kampf gegen das Waldsterben zum Gründungsmythos der deutschen Umweltpolitik (Taz vom 30.3.2015). Zudem spielt der Wald in der Umweltpädagogik (Waldkindergärten) eine wichtige Rolle. Ebenso hat der Wald eine Bedeutung für Tourismus und Erholung.

1.6 Ökosystemdienstleistungen des Waldes

Neben ihrer Bedeutung als Wirtschaftsfaktor erbringen Wälder – wie andere Ökosysteme auch – eine Vielzahl an Ökosystemdienstleistungen in den Bereichen Unterstützung, Versorgung, Regulierung und Kultur (Krieger, 2001). Die Schutzleistungen von Waldflächen betreffen Trinkwassergewinnung, den Hochwasserschutz und wegen ihrer hohen Retentionskapazität nicht zuletzt den Schutz des regionalen Klimas (Schröter, 2005). In jüngerer Zeit werden einige Ökosystemdienstleistungen des Waldes besonders diskutiert. Hierzu gehören die Grundwasserneubildung, der Erhalt der biologischen – einschließlich genetischen – Diversität, der Schutz biologischer Prozesse, der Klimaschutz durch erhöhte CO₂-Sequestrierung, die vielfältigen Erholungsfunktionen, die mögliche Sekundärproduktion, Erosionsschutz, Energieholzbereitstellung etc. Diese zumeist nicht monetarisierten oder monetarisierbaren Leistungen spiegeln in Summe die von der Gesellschaft an den Wald gestellten Anforderungen wider und bilden andererseits eine konzeptionelle Grundlage, um eine adäquate Inwertsetzung der sonstigen durch Waldbewirtschaftung und Waldbesitz erbrachten Leistungen anzustreben. Diese Vielfalt an Ökosystemdienstleistungen wird von kaum einer anderen Landnutzungsform erbracht.

1.7 Bedeutung von Wald in Entwicklungsländern

In vielen Entwicklungsländern spielt Wald eine wichtige Rolle als Rohstoff- und Nahrungsmittelquelle für die ländliche Bevölkerung. Oft dienen Waldprodukte der Subsistenzwirtschaft. In vielen Datenerhebungsverfahren wird das Haushaltseinkommen in Entwicklungsländern jedoch über die Ausgaben der Haushalte ermittelt, so dass ein bedeutender Anteil des waldbasierten Einkommens (der sog. ‚hidden harvest‘), nicht quantifiziert wird (Scoones u. a., 1992). Jüngste Forschungsergebnisse zeichnen ein sehr differenziertes Bild dieser „versteckten Ernte“. Auf der Basis einer in 24 Ländern und 8000 Haushalten durchgeführten Studie zeigen Angelsen u. a. (2014), dass Waldprodukte im Durchschnitt 22 % des Einkommens von Haushalten in tropischen und subtropischen Waldgebieten ausmachen. Nur ca. 1 % davon stammt aus der Plantagenwirtschaft. Den höchsten Einkommensanteil haben Waldprodukte in Lateinamerika (29 %), den geringsten in Asien (18 %). Mit 35 %, in Afrika sogar 42 %, ist die energetische Verwertung von Waldprodukten als Brennholz oder Holzkohle global die wichtigste Nutzungsform. Nahrungsmittel (30 %) und Baumaterial (25 %) sind die beiden wichtigsten weiteren Nutzungskategorien (ebd.).

Oft profitieren Haushalte mit geringem Einkommen vom informellen Zugang zu Waldressourcen, deren Nutzungsrechte schlecht definiert sind oder formell nicht durchgesetzt werden (Jagger u. a., 2014). Darüber hinaus wird dem Wald in Entwicklungsländern von vielen Autoren auch eine Sicherheitsnetzfunktion zugeschrieben (z. B. Pattanayak & Sills 2001; McSweeney, 2004). Auf globaler Ebene hat sich dies aber nur in begrenztem Maße bestätigt. Wunder u. a. (2014) zeigen zwar, dass

vor allem nach sog. exogenen Schocks, wie zum Beispiel einem dürrebedingten Ernteausfall, ländliche Haushalte vermehrt auf Waldprodukte zurückgreifen. Von den knapp über 5000 Haushalten in Asien, Afrika und Lateinamerika, die von solchen Schocks betroffen waren, gaben jedoch nur ca. 8 % Waldprodukte als wichtigste Handlungsstrategie an. Darüber hinaus zeigt dieselbe Studie, dass die saisonale Korrelation zwischen Einkommen aus Wald und anderen Quellen in nur 4 von den 35 untersuchten Studiengebieten auf eine Substitutionsbeziehung hindeutet. Der heutige Wissensstand deutet also darauf hin, dass Wald in Entwicklungsländern über die Nutzung von Holz hinausgehende essentielle Beiträge zur Grundversorgung und Armutsminderung leistet. Auch wenn es regional viele Beispiele für die Rolle von Wald als ökonomisches Sicherheitsnetz gibt, scheint dies auf globaler Ebene jedoch nur eine untergeordnete Rolle zu spielen.

2. Nutzung von Wald und Holz

Vom Holz-Gesamtzuwachs in Deutschland von 122 Mio. m³/a gingen im Zeitraum von 2002 bis 2012 jährlich 15 Mio. m³ in den Vorratsaufbau, 8 Mio. m³ verblieben als Totholzvorrat in den Wäldern. Von den verbliebenen 99 Mio. m³ Holzvorrat wurden im zehnjährigen Durchschnitt 76 Mio. m³ (Erntefestmeter ohne Rinde) genutzt, der Rest von 23 Mio. m³ umfasste Ernteverluste (Reisig, Stubben) und Rinde (BMEL, 2014). Der Holzeinschlag hat im längerfristigen Trend deutlich zugenommen und liegt aktuell bei knapp 70 Mio. m³/a (Jochem u. a., 2015). Langfristig liegt das Nutzungspotenzial kaum nennenswert höher. Das Nutzungspotenzial ist aber, zumindest in Bezug auf Holz, ein unbestimmter Begriff: Welche Ziele der Waldbesitzer und der Gesellschaft sollen bei der Bestimmung der Potenziale berücksichtigt werden? Welche Rolle spielen Technik und Kosten der Holzernte? Wie werden Bedürfnisse künftiger Generationen eingeschätzt und bei der Bestimmung der Potenziale heute berücksichtigt? Entsprechend können Potenziale nur unter bestimmten diesbezüglichen Annahmen gerechnet werden. Das Nutzungspotenzial, auf das hier Bezug genommen wird, wurde insbesondere auf Grundlage von Annahmen der Waldbaureferenten der Bundesländer über die zukünftige Waldbehandlung in ihren Bundesländern errechnet.

2.1 Verwendung von Holz als industrieller Rohstoff und zukünftiges Nutzungspotenzial

Etwa zwei Drittel des eingeschlagenen Rohholzes werden einer stofflichen Nutzung zugeführt, etwa ein Drittel direkt energetisch genutzt (Jochem u. a., 2015). Ende der neunziger Jahre lag der Brennholzanteil am Holzeinschlag noch bei unter 20 %. Das stofflich genutzte Rohholz wird zum überwiegenden Teil (76 %) in Sägewerken eingeschnitten. Der Rest wird fast vollständig von der Holzwerkstoff- und Zell-/Holzstoffindustrie eingesetzt. Zusätzlich besteht eine intensive Vernetzung der Roh- und Reststoffströme der verschiedenen Wirtschaftszweige (Mantau, 2012; Bösch u. a., 2015). Beispielsweise wird ein Großteil der Sägenebenprodukte in der Holzwerkstoff- und Zellstoffindustrie weiterverarbeitet. Des Weiteren werden zahlreiche Reststoffe und Nebenprodukte der energetischen Nutzung zugeführt. Werden diese Reststoffe und Nebenprodukte, die bei der Verarbeitung von Holz anfallen und die energetisch genutzt werden, berücksichtigt, erhöht sich der Anteil des energetisch genutzten Holzes auf gut 50 %. Die vollständige Verwertung von Holz in neuen Bioraffinerie-Verfahren ist momentan noch nicht etabliert, sondern befindet sich erst in der Pilotphase. Daher bestehen hohe Unsicherheiten bezüglich der zukünftigen Nachfragestruktur und der damit verbundenen Erwartungen an eine Ressourcenbereitstellung durch die Waldwirtschaft (Menge, Sortimente, Arten). Wegen des

langsamen Wachstums von Bäumen kann die Forstwirtschaft ihr Angebot auch nur langsam an veränderte Marktbedingungen anpassen. Steigt die Nachfrage schneller, wird Holz knapper. Das war in den letzten beiden Dekaden zu beobachten. Insbesondere bei der Fichte, dem „Brotbaum“ der Forstwirtschaft (25 % Waldfläche, 38 % des Zuwachses, 51 % der Nutzungsmenge), wurde im Zeitraum 2002 bis 2012 mehr genutzt als zuwuchs (BMEL, 2014). Entsprechend hat der Vorrat an Fichtenholz abgenommen. Genutzt wurde überwiegend in den schwächeren und mittleren Dimensionen. Sie sind am wirtschaftlichsten zu bearbeiten. In diesem Durchmesserbereich hat der Vorrat abgenommen. Der Vorrat an dicken Bäumen, sogenanntes Starkholz, hat hingegen zugenommen. Mit +2% ist der Nadelholzvorrat insgesamt im betrachteten Zeitraum 2002 bis 2012 leicht angewachsen. Bei allen Baumarten lag die Holznutzung klar unter dem Zuwachs; eine Übernutzung fand nicht statt (BMEL, 2014).

Zukünftig wird somit weniger schwaches und mittelstarkes Nadelholz in Deutschland verfügbar sein. In der Branche wird in diesem Zusammenhang auch von einer „Holzlücke“ gesprochen. In der Realität wird sie allerdings nicht beobachtbar sein, da sie durch Anstieg der Preise und entsprechende Anpassungen im Angebot, z. B. aus dem Ausland, und in der Nachfrage geschlossen wird. Steigende Preise werden die Wettbewerbssituation des Clusters Forst und Holz verschlechtern. Dem könnte mit Investitionen in technische Rationalisierungen entgegengewirkt werden. Insbesondere in der ersten Verarbeitungsstufe liegen die Gewinnanteile der Unternehmen aber sehr niedrig (Dieter & Seintsch, 2012), was die Finanzierbarkeit solcher Maßnahmen fraglich erscheinen lässt. Auch langfristig wird Nadelholz weiter knapp bleiben. Die Nadelholzfläche in Deutschland hat zwischen 2002 und 2012 bereits um 4 % abgenommen (BMEL, 2014). Im Bereich Laubholz wurde das Nutzungspotenzial bisher nicht ausgeschöpft. Trotz zahlreicher Initiativen von Unternehmen und Politik, u. a. im Bereich Forschung, konnte die Laubholzverwendung nicht angekurbelt werden. Die unterschiedlichen Holzeigenschaften von Laub- und Nadelholz erschweren die Substitution von Nadel- durch Laubholz. Zudem weisen auch die einzelnen Laubholzarten unterschiedliche Holzeigenschaften auf, was die Herstellung homogener Produkte in standardisierten Prozessen erschwert. Da Nadelholz global nicht knapp ist, z. B. durch das Angebot aus borealen Wäldern Skandinaviens und Russlands, und die deutschen Unternehmen des Clusters Forst und Holz in einem engen internationalen Wettbewerb stehen, rechnen sich die notwendigen Entwicklungskosten für den Wechsel der Rohstoffbasis häufig nicht. Erschwerend kommt hinzu, dass auch das zukünftige Angebot an Laubholz durch zunehmende Naturschutzanforderungen verringert werden wird. Erwähnt sei nur beispielhaft die von der EU-Kommission vorgegebene Pflicht, Wälder in Fauna-Flora-Habitat (FFH)-Schutzgebieten kontinuierlich im Sinne der Naturschutzziele weiterzuentwickeln und nicht nur zu erhalten. Dadurch sind Extensivierungen der Holznutzung zu erwarten, um spezifische Lebensräume für seltene Tier- und Pflanzenarten zu vermehren. Eine Produktionssteigerung an Rohholz kann z. B. durch die Pflanzung zuwachsstarker Nadelbaumarten und die Züchtung produktiverer Sorten sowie durch die Verkürzung von Umtriebszeiten und Ziel-durchmesser erreicht werden. Diese Maßnahmen widersprechen allerdings ganz oder teilweise den heute gängigen waldbaulichen Prinzipien mit dem Fokus auf der natürlichen Verjüngung vorwiegend heimischer Laubbaumarten, dem Umbau reiner Nadelbaumbestände in Laub- und Mischwälder und der einzelstammweisen Erzeugung qualitativ hochwertiger Starkhölzer, die der Markt bisher allerdings nicht mit tragfähigen Preisen quittiert.

2.2 Innovatives Nutzungspotenzial von Holz

Bislang ist die Produktpalette der Forstwirtschaft in Deutschland vor allem traditionell ausgerichtet. Mit mehr als 90 % bildet der Holzverkauf die nahezu ausschließliche wirtschaftliche Grundlage (BMEL, 2012). Inzwischen wird etwa die Hälfte des in Deutschland eingeschlagenen Holzes verbrannt. Damit bleibt der sichtbare Beitrag der Forstwirtschaft zur Bioökonomie in Deutschland bislang hinter seinen Möglichkeiten zurück (Hüttl, 2013). Es wird jedoch davon ausgegangen, dass sich die Nutzungsbereiche von Holz in Zukunft diversifizieren werden (Finnish Ministry of Employment and the Economy, 2014). Die klassischen Produkte Massivholz, Holzwerkstoffe, Zellstoff und Papier mit ihrem erheblichen Wertschöpfungs- und Beschäftigungseffekt werden auch weiterhin den größten Beitrag des Holzsektors zur Bioökonomie liefern. Neue hochwertige Produkte aus Holz und Holzbestandteilen werden aber an Bedeutung gewinnen und dazu führen, dass sich aktuelle Sektorengrenzen zwischen den verschiedenen Bereichen der Holzwirtschaft und anderen Industriesektoren wie z. B. der chemischen Industrie auflösen werden.

Für die Bauindustrie wird das massive Nadelholz und für den Holzwerkstoffsektor werden die Plattenwerkstoffe weiter eine große Bedeutung haben. Dabei wird, insbesondere für den Möbelmarkt, die Entwicklung von leichteren Werkstoffen weiter vorangetrieben. Im Ingenieurholzbau gewinnen Holzwerkstoffe wie Brettschichtholz und Brettsperrholz zunehmend an Bedeutung. Diese Werkstoffe haben auch das Potenzial, zur Laubholznutzung beizutragen, da Produkte aus Buche, Edelkastanie und Eiche inzwischen bis zur Marktreife entwickelt wurden (Studiengemeinschaft Holzleimbau e.V., 2009). Ein unmittelbarer funktionaler Ersatz von Stahl und Beton ist aufgrund der sehr unterschiedlichen Werkstoffeigenschaften nur bedingt möglich. Die Kombination von Werkstoffen wird aber weiter an Bedeutung gewinnen. Beispiele dafür sind Holz-Beton-Verbundsysteme oder Holzfassadenelemente, die in konventionellen Konstruktionen eingesetzt werden können. Der mehrgeschossige Holzbau ist in Kombination mit massiven Treppenhäusern aus Stahlbeton etabliert und baurechtlich zugelassen. Er wird in der Stadtentwicklung zunehmend an Bedeutung gewinnen (Kreuzinger, 2002).

Die Entwicklung neuer innovativer holzbasierter Produkte wird in Zukunft weiter voranschreiten. Im Bereich der Komposite werden zum einen Bulkprodukte wie WPC (Wood Plastic Composites) weiter wachsen, bei denen das Holz nach Zerkleinerung oder Mahlung mit relativ geringem technologischen Aufwand in einem breiten Absatzmarkt mit einem großen Mengenpotenzial eingesetzt werden kann. Zum anderen werden anspruchsvolle Produkte mit hoher Wertschöpfung entwickelt. Es kann erwartet werden, dass Materialien mit funktionalisierten Fasern oder Papier-Verbundsystemen für spezifische Anwendungen im Leicht- und Fahrzeugbau eingesetzt werden und sich hier die Grenzen zwischen der Holzwerkstoff- und Papierindustrie auflösen. Neue Hightech-Produkte wie Nanocellulosen, biobasierte Aerogele, oder holzbasierte Komponenten für den 3D-Druck sind noch nicht im Markt sichtbar. Diese werden aber langfristig hochpreisige Produkte mit einem hohen innovativen Potenzial ergeben. Die Mengeneffekte für den Forst- und Holzsektor werden dabei aber vorerst gering sein.

Für die Verbundmaterialien und die Umsetzung der Bioraffineriekonzeption werden voraussichtlich die langfristigen Strukturänderungen der Zellstoff- und Papierindustrie Impulse geben. In Deutschland sowie in anderen Industrieländern sinkt die Produktion von grafischen Papieren. Diese Änderungen werden nur zum Teil durch den steigenden Bedarf an Verpackungs-, Tissue- und Spezialpapieren kompensiert. Die Zellstoffindustrie sucht daher neue Anwendungsfelder für Faser- und Nebenproduk-

te. Neben den bereits genannten Verbundwerkstoffen wird die Zellstoff- und Papierindustrie die Weiterentwicklung der Zellstofffabriken und Altpapierkreislaufsysteme zu Bioraffinerien verfolgen. Bei der Faserstoffherzeugung wird eine effizientere Nutzung der Nebenprodukte wie Lignin, Rinde, Extraktstoffe und eine verbesserte Energiebilanz im Focus stehen (Pätäri u. a. 2011; Hämäläinen u. a. 2011). Die stark verbesserte Ausschleusung von Kraft-Ligninen wird auch den Marktzugang für neue Ligninprodukte erheblich erleichtern.

Für neuartige Bioraffinerie-Prozesse gibt es zwei große Entwicklungslinien. Ein Weg ist der Aufschluss des Holzes mit einer nachfolgenden enzymatischen Hydrolyse zur Gewinnung von Fermentationsrohstoffen und Lignin (Galbe & Zacchi, 2002; Mosier u. a., 2005; Hendriks & Zeeman, 2009; Doherty u. a., 2011). Organosolv-Verfahren mit nachfolgender enzymatischer Hydrolyse, wie die in Leuna von Fraunhofer betriebene Pilot-Anlage, sind besonders gut für Laubholz geeignet. Dampfaufschluss-Verfahren mit enzymatischer Nachhydrolyse, wie die Demonstrationsanlage der Clariant AG in Straubing, sind vor allem für Stroh und Laubhölzer geeignet. Diese Entwicklungen können für die Zukunft eine breitere Nutzung der vorhandenen Rohstoffbasis aus dem Forst und auch die Verwertung von Holz aus Kurzumtriebsplantagen ermöglichen. Die kombinierte Nutzung von Holz und Stroh kann dabei die Versorgungssicherheit erhöhen.

Eine weitere Nutzungsoption für Holz und Stroh in Bioraffinerien sind thermochemische Prozesse, die durch Pyrolyse oder Vergasung Treibstoff oder Grundchemikalien bereitstellen. Diese Verfahren werden intensiv in Pilot- und Demonstrationsanlagen untersucht. In Deutschland sind hier vor allem das Carbo V und Bioliq-Verfahren hervorzuheben. Carbo V ist ein zweistufiger Vergasungsprozess zur Erzeugung von Biokraftstoff, der von der Linde-Gruppe weiterentwickelt wurde. Bioliq ist eine Kombination aus Pyrolyse und Vergasung, die in einer Pilotanlage beim KIT Karlsruhe betrieben wird (Meier u. a., 2013). Kurzfristig können die thermochemischen Verfahren noch nicht unter Marktbedingungen mit der Petrochemie konkurrieren. Ihre Umsetzung wird bis auf Weiteres von den gesetzlichen Rahmenbedingungen auf dem Treibstoffsektor bestimmt. Langfristig werden thermochemische Prozesse im Bereich der Grundstoff- und Aromatenchemie sowie für Recyclingkonzepte einen wichtigen Baustein darstellen. Insbesondere für feuchte Biomasse sind auch verschiedene Verfahren der hydrothermalen Carbonisierung interessant. Da diese Verfahren wohl eher bei der Verwertung von Wasser- und Reststoffströmen eingesetzt werden, spielt deren Verwendung für den Forst- und Holzsektor keine zentrale Rolle.

Die Nutzung von Lignin ist gegenwärtig ein interessantes, aber kleines Marktsegment. Bis vor zwei Jahren wurden weltweit ca. 1,2 Mio. t Lignin für eine Vielzahl von Einsatzgebieten genutzt. Dabei wurden ca. 80 % Lignosulfonate und nur zu einem kleinen Teil Kraft- und Soda-Lignine verwendet. 2013 hat die Firma Domtar (Plymouth, USA) eine neuartige LignoBoost-Anlage zur Ausschleusung von Kraftlignin aus der Ablaage installiert. Andere Kraftzellstoffwerke arbeiten ebenfalls an derartigen Verfahren im Pilotbetrieb. Zusätzlich sind weltweit ca. 23 Pilot- und Demonstrationsanlagen zur Erzeugung von Ethanol aus Lignocellulosen in Betrieb, die ebenfalls Lignine zur Bemusterung oder Vermarktung zur Verfügung stellen können (Podschun u. a., 2015). Durch die Zunahme der verfügbaren Ligninquellen ist eine starke Dynamik bei der Entwicklung ligninbasierter Produkte im Bereich Harze, Polyurethane, Dispergiermittel und Composite entstanden, die bald auch in Deutschland zu neuen Produkten führen werden (Laurichesse & Averous, 2014). Als große Innovation für den Ligninsektor wird der Ersatz von Polyacrylnitril durch Lignin bei der Erzeugung von Carbonfasern für die Automobilin-

dustrie gesehen. Für diese Anwendung müssen die Carbonfasern nicht den höchsten Festigkeitsanforderungen entsprechen (Baker & Rials, 2013). 2014 wurden weltweit ca. 100.000 t Carbonfasern erzeugt. Momentan liegt die reale Nachfrage noch unter den verfügbaren Kapazitäten (Kraus u. a., 2014). Haupthindernis für den verstärkten Einsatz der Carbonfasern sind hohe Rohstoffkosten, die jedoch durch den Einsatz von Lignin erheblich reduziert werden könnten. Wenn dies gelingt, könnte im Automobilbau ein enormes Anwendungspotenzial für ligninbasierte Carbonfasern generiert werden. Dies ist eine mittel- bis langfristige Perspektive, da gegenwärtig noch erhebliche Entwicklungshemmnisse überwunden werden müssen.

Für die Produktion von holzbasierten Polymerprodukten können sowohl Cellulose als auch Hemicellulosen genutzt werden. Die polymere Nutzung der Holzcellulose hat eine lange Tradition. Diese basiert auf der Erzeugung von reinen Faserstoffen mit hohem Cellulosegehalt, die als Chemiezellstoffe bezeichnet werden. Dieser Sektor stagnierte viele Jahre bei einer weltweiten Produktion von ca. 4 Mio. t. In den letzten 5 Jahren hat sich die Produktion von Chemiezellstoff verdoppelt und betrug 2013 bereits ca. 8 Mio. t. Ein weiteres starkes Wachstum wird für die nächsten Jahre prognostiziert (Risi, 2013). Die Produkte aus Chemiezellstoff sind eine Vielzahl von Cellulosederivaten sowie Celluloseerzeugnisse (Viscose- und Lyocell-Fasern). Die Cellulosederivate werden als Additive in zahlreichen Industriezweigen von der Bau- bis zur Lebensmittel- und Pharmaindustrie eingesetzt (Risi, 2013). Neue Forschungsentwicklungen im Bereich der Cellulosechemie sind häufig auf komplexe Produkte ausgerichtet, die für strukturierte Oberflächen, Nanomaterialien, Sensoren und medizinische Anwendungen optimiert werden. Diese Produkte versprechen trotz geringer Produktionsvolumina eine hohe Wertschöpfung. Der große Mengenanstieg bei den Chemiezellstoffkapazitäten ist durch die steigende Nachfrage nach Textilfasern aus Viskose bedingt, die vor allem vom asiatischen Markt hervorgerufen wird (Risi, 2013). Die Entwicklung wird voraussichtlich weiter anhalten und neue Möglichkeiten zur Holznutzung für Chemiezellstoffe in Deutschland und Europa eröffnen. Die direkte Isolierung von Hemicellulosen aus Holz ist technisch möglich, aber ökonomisch nicht attraktiv. Daher dürften Hemicellulosen eher als Nebenprodukt aus anderen Prozessen der Zellstoff-, Papier-, und Holzwerkstoffindustrie gewonnen werden. Hier wurden verschiedene Methoden zur Isolierung von Xylanen und Mannanen untersucht und ihre Anwendung für Derivate, Filme, Folien und Additive getestet (Ebringerova & Heinze, 2000; Pertzold-Welcke u. a., 2014). Für diese Produkte ist jedoch erst mittel- bis langfristig mit marktgängigen Produkten zu rechnen.

Ein wichtiger Ansatz für die Zukunft muss die verstärkte Verknüpfung der verschiedenen Nutzungsmöglichkeiten sein, um die Effizienz der Holzverwendung weiter zu verbessern. Dies beinhaltet zum einen die verstärkte Nutzung von Abfall- oder Prozessnebenströmen. Zum anderen entstehen große Vorteile bei einer Kaskadennutzung von Holz, bei der die stoffliche Verwendung an erster Stelle steht. Für viele Produkte müssen geeignete Recycling- und Downcyclingsysteme entwickelt oder verbessert werden, so dass die energetische Verwertung an letzter Stelle der Nutzungskaskade steht.

3. Innovation: Schutz und zusätzliche Nutzungspotenziale

In Deutschland existieren zahlreiche Projekte zur Förderung der Erforschung innovativer Nutzungskonzepte für Holz, die von den Bundesministerien für Bildung und Forschung sowie für Ernährung und Landwirtschaft getragen werden. Hinzu kommen Initiativen auf Bundesländer- und regionaler Ebene. Die Ziele beziehen sich vor allem auf nachhaltige Nutzungskonzepte, die ökologische (Dekarbonisierung, Schutz gesellschaftlicher Güter, Ressourceneffizienz) oder ökonomische (neue Wertschöpfungsketten) Vorteile versprechen.

3.1 Forschung zur innovativen Nutzung von Holz

Über alle Bereiche hinweg dominieren zwei Ausrichtungen: die Nutzung von Holz oder Holzbestandteilen als chemisch-technischer Rohstoff sowie die Nutzung von Holz als Bau-, Dämm- oder Werkstoff (BMEL, 2008). Für die chemisch-stoffliche Nutzung ist ein möglichst effizienter und ökologisch verträglicher Aufschluss von geringwertigen Holzsegmenten sowie Holzabfällen und Nebenprodukten der Holz- und Sägeindustrie entscheidend. Die Entwicklung von neuen Technologien soll dabei im Rahmen von Bioraffineriekonzepten die gesamte Wertschöpfungskette verbessern und das Recycling und die Kaskadennutzung beinhalten. Effiziente Konzepte sollen durch eine intensive Verzahnung biotechnischer, chemischer und thermochemischer Verfahren erreicht werden. Diese Entwicklungsrichtung beinhaltet auch die Erzeugung von Plattformchemikalien, die fermentative Verwertung der Kohlenhydrate und die Herstellung von Biotreibstoffen aus Holz oder Holzbestandteilen. Für die Nutzung der Holzkomponenten als Polymer werden Modifizierungen von Polysacchariden und Ligninen für neue Materialien und Werkstoffe gefördert. Die Entwicklung geht dabei überwiegend zu hochwertigen Produkten. Die Ausweitung der stofflichen Nutzung von Lignin ist aufgrund der großen strukturellen Vielfalt der Lignine in verschiedenen Pflanzen, die durch die Abbaureaktionen in den unterschiedlichen Aufschluss- und Bioraffinerieprozessen weiter vergrößert wird, eine besondere Herausforderung. Hier müssen die Struktur-Eigenschafts-Beziehungen weiter aufgeklärt werden. Gegenwärtig erfolgt die Anwendung überwiegend energetisch im Rahmen der Chemikalienrückgewinnung der Zellstofffabriken. Für die Zukunft ist es wichtig, Produktions- und Bemusterungsmengen verschiedener Lignine verfügbar zu machen. Bei den Kompositen und Verbundmaterialien wird künftig noch stärker nach interdisziplinären Lösungen gesucht werden, die die Erfahrungen der Holzwerkstoff-, Papier- und Polymerindustrie verbinden. Metalle oder Kunststoffe können durch Materialien aus thermisch modifiziertem Holz oder durch Komposite ersetzt werden. Diese spielen unter anderem im Baugewerbe oder der Automobilindustrie eine Rolle. Im Rahmen der Verwertung mechanisch aufbereiteten Holzes gilt es, die Einsatzmöglichkeiten von Holz als Konstruktionswerkstoff für die Bauindustrie zu erweitern. Dazu gehören auch Gebäudeteile wie Fenster, Türen, Fußböden, Fassadenelemente oder Deckenverkleidungen. Im Rahmen von Kaskaden- oder Koppelnutzungskonzepten sollte generell die komplette Verwertung aller Bestandteile angestrebt werden. Dies bedeutet auch, dass in Zukunft nicht nur die Nebenprodukte, sondern auch Abfallstoffe wie Aschen oder Klärschlämme in das Verwertungskonzept einbezogen werden müssen. Die gestiegenen Ansprüche an die Rohstoffe, den Holzschutz in puncto Nachhaltigkeit, Langlebigkeit oder Recyclingfähigkeit, sind dabei zu berücksichtigen.

3.2 Kurzumtriebsplantagen und Agroforstsysteme

Insbesondere hinsichtlich der prognostizierten Holznachfrage wird ab 2020 von einer deutlichen „Holzlücke“ (vgl. 2.) ausgegangen (Mantau, 2009). Dieser Mehrbedarf könnte entweder durch einen erhöhten Holzeinschlag und -import oder in Teilen durch die Produktion von Holz in Kurzumtriebsplantagen (KUP) auf Agrarstandorten gedeckt werden. Je nach Standort und verwendetem Vermehrungsgut schwanken die jährlichen Ertragswerte für Holzbiomasse zwischen 10 und 20 t turo pro Hektar. Beide Landnutzungsansätze stellen eine alternative Form der Produktion energetisch nutzbarer Holzbiomasse dar und nehmen eine Mittelstellung zwischen forstlicher und agrarischer Landnutzung ein. In Kurzumtriebsplantagen werden schnell wachsende Baumarten (i. d. R. Pappelklone, Weide oder Robinie) flächenhaft angebaut, während der Anbau von Bäumen in Agroforstsystemen (z. B. beim Alley-Cropping) streifenweise als integraler Bestandteil und Schutz der landwirtschaftlichen Nutzflächen erfolgt. Durch die Baumreihen wird ein günstiges Mikroklima geschaffen, Wind- und Wassererosion minimiert, die Dauer der Direkteinstrahlung der Sonne verringert und Nährstoffe sowie Kohlenstoff über die Laubstreu der Bäume in die Ackerstreifen eingetragen. Dieser Systemansatz nutzt also die vorhandenen Nährstoff- und Wasserressourcen viel effizienter als eine reine landwirtschaftliche Kultur. Die vorliegenden Untersuchungen liefern klare Hinweise, dass insbesondere marginale Standorte und Konversionsflächen durch den Anbau von Gehölzen mit geringem Aufwand in Wert gesetzt und produktiv bewirtschaftet werden können. Darüber hinaus fördern die Übergänge zwischen Baum- und Ackerstreifen die biologische Vielfalt. Agroforstsysteme eignen sich damit in besonderer Weise auch für die Vernetzung verschiedener Biotope. Im Kontext der durch den Naturschutz geforderten teilweisen Stilllegung forstlicher Nutzflächen können agroforstliche Ansätze daher auch ein wichtiges Element für eine gesamtheitliche landnutzungsübergreifende Diskussion landschaftsökologische Optionen bilden (s. o.). Derzeit wird das Flächenpotenzial in Deutschland für den Anbau von Holzbiomasse in KUP und Agroforstflächen auf rund 1,3 Mio. ha geschätzt. Es sei darauf hingewiesen, dass die forstliche Nutzung von Agrarflächen mit einer Verringerung der Agrarproduktion einhergeht. Sollte sich der Trend einer Zunahme extremer Witterungsbedingungen in der Wachstumsperiode manifestieren, so wäre allerdings durchaus denkbar, dass beide Bewirtschaftungsformen zukünftig auch auf ertragreicheren Standorten eine Option darstellen (Quinkenstein u. a., 2009). Durch die Bereitstellung von Holz aus KUP und Agroforstsystemen ließe sich für die Waldbewirtschaftung ein erhebliches Entlastungspotenzial schaffen.

4. Zusätzliche Potenziale im Forstbereich

Unterschiedliche waldbauliche Maßnahmen können die Nutzungspotenziale von Wäldern erhöhen. Zu den wichtigsten Möglichkeiten gehören die Aufforstung bisher nicht forstlich genutzter Flächen, die Wahl besonders produktiver Baumarten sowie die Verwendung züchterisch verbesserten forstlichen Vermehrungsguts bei der Verjüngung von Wäldern, die Verkürzung der Zieldurchmesser bzw. Umtriebszeiten von Baumarten mit hohem Jugendwachstum und die Düngung von Waldstandorten (s. Tabelle 1, unten). Eine Reihe dieser Maßnahmen führt zu Zielkonflikten mit Akteuren des Naturschutzes. Zwischen 1990 und 2012 ist die Waldfläche nur gering um etwa 2 % angewachsen (ca. 200.000 ha) (UBA, 2014; Bolte u. a., 2013). Bei einer maximal realistischen zusätzlichen Aufforstungsfläche von 260.000 ha (Elsasser, 2008) und einer jährlichen Aufforstungsrate von 10.000 ha bis zu Jahr 2030 ließen sich kurzfristig keine zusätzlichen Nutzungspotenziale erreichen (Tab. 1, Bolte & Polley, 2010). Den größten kurzfristigen Effekt hätte hingegen eine Absenkung der Bestandsvorräte über ei-

ne Verkürzung der durchschnittlichen Umtriebszeiten (Mobilisierungseffekt). Langfristig sind weitere, aber im Umfang deutlich geringere Steigerungen durch eine Annäherung der Umtriebszeiten an das Optimum des Volumenzuwachses möglich (Tabelle 1, Bolte & Polley, 2010). Bei einer Anlage von Kurzumtriebsplantagen (Balsampappel, 4-jähriger Umtrieb) würden in den nächsten zehn Jahren geringe zusätzliche Nutzungspotenziale entstehen. Bei der Anlage von langlebigen Hochwäldern (Fichte, 80 J. Umtriebszeit) werden nennenswertes Zusatzpotenziale erst am Ende der Umtriebszeit erreicht (Tabelle 1, Bolte & Polley, 2010). Auch eine geänderte Baumartenwahl mit dem Ersatz von Fichtenbeständen durch hochproduktive Douglasienbestände bringt kaum zusätzliche Nutzungspotenziale im ersten Jahrzehnt, sondern erst nach vierzig Jahren und mehr. Eine zusätzliche Düngung dürfte kurzfristig ebenfalls keine nennenswerten Effekte erzielen, da viele Wälder in Deutschland durch luftbürtige Stickstoffeinträge ausreichend mit Stickstoff versorgt sind und die Wirkung schädlicher Säureeinträge auf vielen belasteten Standorten durch eine Kompensationskalkung (Kalzium und ggf. Magnesium) ausgeglichen werden. Langfristig können aber erhöhte Nährstoffexporte durch verstärkte Biomassenutzung insbesondere von Kronenmaterial und Rinde zu Nährstoffmangel führen (Weis & Göttlein, 2012). Einen Ausgleich durch gezielte Düngung kann das Produktionsniveau solcher Waldbestände erhalten, Quantifizierungen hierzu sind aber derzeit nicht möglich.

Tabelle 1: Zusätzliche Nutzungspotenziale durch waldbauliche Maßnahmen

	Potenzial [Mio. m ³ ha ⁻¹ a ⁻¹]	
	Kurzfristig (binnen 10 Jahre)	Langfristig
Erstaufforstung		
Hochwald	0	1,6*
Kurzumtriebsplantagen	0,6	1,8
Baumartenwechsel (Fichte → Douglasie, 20%)	0,1	1,7**
Umtriebszeitverkürzung	24	3***

* Nach 80 Jahren

** Nach 60 Jahren

*** Nach 20 Jahren

(angepasst nach Bolte und Polley 2010)

4.1 Nachhaltige Forstwirtschaft und integrierter Pflanzenschutz

Schadereignisse in Wäldern können durch abiotische (u. a. Stürme, Dürre) und biotische Schadursachen (z. B. Insektengradationen oder Pilzinfektionen) hervorgerufen werden. Innerhalb einer geregelten Forstwirtschaft besitzen Waldschäden vorwiegend eine ökonomische Bedeutung, da sie wirtschaftliche Auswirkungen zur Folge haben. Hierzu zählen die Beeinträchtigung des Forstwirtschaftsbetriebes (z. B. durch das Ausbleiben oder die Vernichtung von Samenerträgen, die Störung des Verjüngungsbetriebes sowie umfangreiche Wiederaufforstungsmaßnahmen), des Wirtschaftszieles (u. a. durch die Minderung des Holzertrages und der Güte des Nutzholzes) sowie des Nettoertrages (u. a. durch Produktionsausfälle). Auch sozio-kulturelle Verluste, wie die Beeinträchtigung der Schutz- und Erholungsfunktionen, sind hierbei zu nennen. Daher ist der Pflanzenschutz in Wäldern Voraussetzung

und wichtiger Bestandteil einer nachhaltigen und leistungsfähigen Holzproduktion sowie der Bereitstellung von ökologischen und sozialen Dienstleistungen. Die Regulierung der Schadorganismen im Forst erfolgt nach den Grundsätzen des integrierten Pflanzenschutzes gemäß Anhang III der Richtlinie 2009/128/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 21.10.2009 über einen Aktionsrahmen der Gemeinschaft für die nachhaltige Verwendung von Pestiziden in der jeweils geltenden Fassung. Hierbei werden verschiedene Verfahren angewandt, die auf biologischen, biotechnischen, pflanzenzüchterischen sowie anbau- und kulturtechnischen Maßnahmen basieren, welche die Anwendung chemischer Pflanzenschutzmittel auf ein notwendiges Maß beschränken. Der Einsatz von chemischen Pflanzenschutzmitteln ist nach der Verordnung (EG) NR. 1107/2009 des europäischen Parlamentes und des Rates sowie durch das nationale Pflanzenschutzgesetz (2012) geregelt und erfolgt nach den Grundsätzen der guten fachlichen Praxis. Im Interesse einer Ressourceneffizienz im Rahmen der gesamten Wertschöpfungskette ist ein nachhaltiger Pflanzenschutz ein zentrales Thema der Bioökonomie (Bioökonomierat, 2014). Der Einsatz von chemischen Pflanzenschutzmitteln ist eine Ausnahme, wenn keines der anderen genannten Verfahren einen ausreichenden Erfolg verspricht.

Im Wald- bzw. Forstschutz bleibt der Einsatz auf wenige Anwendungen im Rahmen der Begründung und Sicherung von Jungwuchsf Flächen, zum Objektschutz wertvoller Holzsortimente sowie auf existenzbedrohende Massenvermehrungen beschränkt. Die im Rahmen der Waldbegründung und Kultursicherung eingesetzten Präparate gewährleisten eine nachhaltige Bewirtschaftung der Wälder, indem ihr Einsatz in Problemsituationen oder auf Extremstandorten die waldbaulichen Zielsetzungen ermöglichen. Eine größere und zunehmende Relevanz besitzen die kalamitätsbedingten Insektizidmaßnahmen, die einer Nutzen-Risiko-Analyse unterliegen, die sowohl forstwirtschaftliche Überlegungen als auch die Umweltrisiken gegeneinander abwägt. Dies basiert auf der Grundlage einer fachkundigen Begutachtung der Forstverwaltungen, die ein regelmäßiges und flächendeckendes Monitoring mit bewährten, anerkannten Verfahren nutzen. Bei Bekämpfungsmaßnahmen steht immer der Erhalt der Waldfläche und die Sicherung der Waldfunktionen im Vordergrund, wobei es auch Ertragsausfälle zu verringern gilt. Besonders die Larven verschiedener Schadinsekten im Kronenraum von Kiefer und Eiche erfordern bestandssichernde Maßnahmen, die abgesehen von einzelnen Extremsituationen aber überschaubar bleiben. Die hierbei vorrangig eingesetzte Applikationsform basiert auf dem Einsatz von Hubschraubern, die über eine abdriftmindernde Düsenteknik verfügen. In Abhängigkeit des Belaubungszustandes und der Vitalität des Waldbestandes sowie des Witterungsverlaufes sind verschiedene Präparate (Einsatz von biologischen Substanzen, Hemmstoffen oder synthetischen Insektiziden) im Waldschutz notwendig, die nach einer Risikoabwägung eingesetzt werden.

In der EG-Richtlinie 2009/128 vom 21.10.2009 wurde in Artikel 9 Absatz 1 der Einsatz von Luftfahrzeugen zur Ausbringung von Pflanzenschutzmitteln grundsätzlich verboten. Für Deutschland wurden in § 18 Abs. 2 Nr.1 und 2 PflSchG jedoch Ausnahmetatbestände für Luftfahrzeugeinsätze im Anwendungsbereich Forst (Kronenbereich von Wäldern) und Weinbau (Steillagen) vorgesehen. Das Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit (BVL) genehmigt auf Antrag Anwendungen von Pflanzenschutzmitteln mit Luftfahrzeugen. Zusätzlich müssen auch die Pflanzenschutzmittel für die Anwendung mit Luftfahrzeugen zugelassen sein.

Anfang 2015 wurden erstmals Genehmigungen für mindestens zwei unabkömmliche Insektizide (biologisch/synthetisch) vom BVL erteilt, die bis zum Ende der Zulassung des jeweiligen Mittels ausschließlich für die Anwendung mit Luftfahrzeugen gelten. Für die umstrittenen Anwendungsbestim-

mungen – a) nur auf 50 % einer zusammenhängenden Waldfläche zu behandeln und b) das generelle Verbot von Insektizidmaßnahmen in Naturschutzgebieten – wurden des Weiteren Ausnahmeregelungen festgesetzt. Demnach kann die Anwendung auch auf mehr als 50 % der Waldfläche erfolgen, wenn die Schadschwelle zur Bestandsbedrohung nachweislich überschritten ist. Unter Abstimmung auf Landesebene sowie mit den zuständigen Naturschutzbehörden darf zum Erhalt des Pflanzenbestandes im Sinne der Zweckbestimmung des Schutzgebietes eine Anwendung auch in Naturschutzgebieten erfolgen. Dennoch ist die zur Verfügung stehende Wirkstoffpalette u. a. bei den Insektiziden im Anwendungsbereich Forst weiterhin unzureichend. So fehlen insbesondere Präparate zur Bekämpfung von Afterraupen der Blattwespenarten sowie alternative Pflanzenschutzmittelwirkstoffe und -produkte für die in nächster Zeit auslaufenden Zulassungen. Hier besteht ein dringender Handlungsbedarf zur Schließung der Anwendungslücken im Forst.

In Zeiten des Klimawandels, der Globalisierung und den erwarteten Gefährdungen durch Forstschadorganismen sind die Maßnahmen im Waldschutz zur Vorbeugung, Kontrolle sowie Regulierung von Schaderregern zu unterstützen und zu intensivieren. Hierfür gilt es kurzfristig wirksame Bekämpfungsmaßnahmen zur Verfügung zu stellen und langfristig umweltschonende Pflanzenschutzverfahren zu erarbeiten. Gleichermaßen gilt es, die Zusammenarbeit zwischen den an der Zulassung von Pflanzenschutzmitteln beteiligten Bundesbehörden, den Antragstellern von Pflanzenschutzmitteln und den zuständigen Landesbehörden im Bereich Waldschutz zu verbessern. Weiterhin sind unterstützende Anpassungsstrategien und -maßnahmen im Waldbau notwendig, deren Umsetzung eine gewisse Vorlaufzeit benötigen. Ebenso besteht Forschungsbedarf, um das Wissen über die komplexen Zusammenhänge und Wirkungen von natürlich (z. B. Insektenkalamitäten) und anthropogen (Effekte von Pflanzenschutzmitteln) bedingten Störungen zu verbessern.

4.2 Produktionssteigerung durch Forstpflanzenzüchtung

Bäume haben im Vergleich zu anderen Artengruppen eine hohe genetische Vielfalt (Hamrick & Godt, 1992). Als langlebige und ortsfeste Organismen benötigen sie genetische Variation, um sich an ändernde Umweltbedingungen anzupassen. Die Wahl des richtigen forstlichen Vermehrungsgutes ist daher für den Erfolg der Fortwirtschaft entscheidend. In langfristig angelegten Feldversuchen mit Saatgut unterschiedlicher Herkunft (Herkunftsversuche) werden geeignete und weniger geeignete Saatgutquellen bestimmt (Lindgren & Persson, 1997). Der Mehrertrag aufgrund besserer Wüchsigkeit von guten gegenüber schlechten Herkünften liegt zwischen 10 % und 60 % (Kleinschmit, 2002; Lie-sebach, 2002). Durch Forstpflanzenzüchtung lassen sich die Wüchsigkeit, Resistenzen gegenüber abiotischen und biotischen Schadfaktoren und die Holzqualität steigern sowie die Zusammensetzung der Holzhaltstoffe verändern. Hierbei werden besonders geeignete Bäume ausgewählt und in mehreren Generationszyklen aus ihnen Nachkommen erzeugt und durch Selektion wiederum verbesserte Individuen ausgewählt (Nanson, 2004).

Die Geschwindigkeit und das Ausmaß der züchterischen Verbesserung hängen von der Stärke der genetischen Kontrolle des Zielmerkmals, der Generationsdauer der Baumart und der Intensität des Züchtungsprogramms ab (Degen, 2009). Im Vergleich zu anderen Ländern wurde in Deutschland relativ wenig in Forstpflanzenzüchtung investiert. Immer wieder wurden Züchtungsprogramme unterbrochen. Die Züchtung erfolgte hierbei wegen der erforderlichen langen Zeiträume ausschließlich bei öffentlich finanzierten Einrichtungen. Seit den 50er Jahren des letzten Jahrhunderts konzentrierte sich

die Züchtung hauptsächlich auf Pappeln, Lärchen, Kiefern, und Fichten (Braun & Hering, 1987; Kleinschmit, 1985, Kohstock & Schneck, 1992; Wühlisch, 2006). Im Jahr 2014 haben vier forstliche Forschungseinrichtungen ihre Anstrengungen gebündelt und für die sechs Baumarten: Lärche, Kiefer, Fichte, Eiche, Bergahorn und Douglasie ein zunächst auf 15 Jahre ausgerichtetes neues Züchtungsprogramm begonnen (Liesebach u. a., 2013). Der Blick ins Ausland zeigt, dass es bereits eine Reihe sehr erfolgreicher Züchtungsprogramme bei Bäumen gibt. Hierbei liegt der Schwerpunkt bei schnellwachsenden Baumarten mit einer relativ kurzen Generationsdauer und kurzen Umtriebszeiten. Zu nennen sind hier insbesondere die Züchtungsprogramme mit verschiedenen Eukalyptus-Arten und deren Hybriden in Brasilien und Südafrika (Degen & Sebbenn, 2014; Retief & Stranger, 2009), mit *Pinus radiata* in Neuseeland und Australien, *Pinus taeda* im Südosten der USA (Mc Keand & Bridgwater, 1998), *Pinus sylvestris* in Schweden (Hanrup u. a., 2008) und *Pinus pinaster* in Süd-West-Frankreich (Bouffier u. a., 2009).

Die ersten systematischen Züchtungsprogramme haben ihren Anfang in den 50er Jahren des letzten Jahrhunderts. Bei der Dauer eines Züchtungszyklus von 10 bis 20 Jahren wird in den genannten Programmen heute mit der 2. bis 5. Generation gearbeitet. Forstliche Züchtungsprogramme sind wesentlich langwieriger und logistisch aufwendiger als Züchtungsprogramme in der Landwirtschaft. Der Züchtungsfortschritt, also die Verbesserung der gezüchteten Merkmale, ist jedoch absolut vergleichbar mit den Erfolgen im Agrarbereich. Eine Steigerung des Zuwachses von bis zu 30 % je Züchtungszyklus konnte in den meisten Fällen realisiert werden. Fast alle Züchtungsprogramme werden von mehreren Einrichtungen gemeinsam in Form von Konsortien betrieben.

Der größte Teil der Waldfläche in Deutschland wird naturverjüngt. Der Anteil künstlich verjüngter Waldfläche liegt in den letzten Jahren bei ca. 40 %. Nur bei der Kunstverjüngung gibt es die Möglichkeit, ungeeignete Saatgutquellen (Herkünfte) auszutauschen und gezielt züchterisch verbessertes Pflanzenmaterial in den Wald zu bringen (Kleinschmit, 1999; Liesebach, 2002). In Deutschland ist das Inverkehrbringen von forstlichem Saat- und Pflanzgut im Forstvermehrungsgutgesetz (FoVG) vom 22. Mai 2002 geregelt. Das FoVG nennt vier Kategorien von forstlichem Vermehrungsgut: „Quellengesichert“, „Ausgewählt“, „Qualifiziert“ und „Geprüft“. Auf der künstlich verjüngten Fläche in Deutschland wird überwiegend Vermehrungsgut der Kategorie „ausgewählt“ angebaut. Das am Markt verfügbare, hochwertigere Vermehrungsgut der Kategorie „geprüft“ und „qualifiziert“ wird nur unzureichend genutzt. Sein Anteil beläuft sich auf schätzungsweise weniger als 5%.

Zahlreiche Untersuchungen (z. B. Rau, 1998) belegen, dass durch die Verwendung von Vermehrungsgut aus Samenplantagen eine Steigerung der Wuchsleistung um 5% bis 10% bei gleichzeitiger Qualitätsverbesserung möglich ist. Modellrechnungen am Thünen-Institut für Forstgenetik (Liesebach, unveröffentlicht) ergaben, dass durch die gezielte Verwendung jetzt schon verfügbaren verbesserten forstlichen Vermehrungsgutes die Holzproduktion jährlich um 760.000 m³ bis 1.800.000 m³ gesteigert werden könnte. Das heißt bei konsequenter Verwendung von hochwertigem forstlichen Vermehrungsgutes könnten die Wälder Deutschlands nach zehn Jahren zwischen 7,6 und 18 Mio m³ mehr Holz produzieren. Der Effekt hängt neben den Eigenschaften des forstlichen Vermehrungsgutes vom flächenmäßigen Anteil der Kunstverjüngung und der Länge der Umtriebszeiten ab. Besonders effektiv wäre die Anlage von Hochleistungsplantagen mit züchterisch verbessertem Vermehrungsgut mit Umtriebszeiten, die sich an dem Zeitpunkt der Kulmination des durchschnittlichen Gesamtzuwachses orientieren (z. B. Pappeln = 10 bis 20 Jahre Umtriebszeit, Hybridlärchen und Douglasien = 25 bis 60

Jahre Umtriebszeit). Durch lokal angepasstes züchterisch verbessertes forstliches Vermehrungsgut ließe sich die Produktivität der Wälder in Deutschland mittelfristig um 10 % steigern. Vor dem Hintergrund der Klimaänderungen mit seinen Folgen (Trockenstress, Pilz- und Insektenkalamitäten) wird besser angepasstes forstliches Vermehrungsgut zudem sehr wichtig sein, um die befürchteten Produktionsausfälle zu minimieren (Koskela u. a., 2007).

5. Internationale Betrachtungen

Biobasierte Transformationsprozesse in Deutschland und Europa können internationale Biomassehandelsströme beeinflussen (Britz & Hertel, 2011; Deininger, 2013). Eine Weiterentwicklung des Clusters Forst und Holz besitzt daher immer auch eine internationale Dimension, deren wesentliche Punkte im Folgenden erläutert werden.

5.1 Politik

Holz und auf Basis von Holz gefertigte Produkte sind intensiv gehandelte Güter. Weltweit werden ca. 1,7 Mrd. m³ Rohholz stofflich genutzt. In der gleichen Größenordnung (umgerechnet in Kubikmeter Rohholzäquivalent) werden Holz und Holzprodukte weltweit auch international gehandelt (Dieter, 2009). Der Handel findet vor allem im Bereich Papier-Halbwaren statt, gefolgt von Papier-Fertigwaren und Holz-Fertigwaren. International spielt der Handel mit Rohholz nur eine untergeordnete Rolle. Die großen Regionen der Erde sind unterschiedlich stark in den internationalen Handel eingebunden. Afrika am wenigsten – Südostasien dagegen ist der Wirtschaftsraum mit dem größten Handelswachstum. Größter Handelsraum ist nach wie vor Europa, was aber u. a. daran liegt, dass die Länder der EU noch als eigene Länder betrachtet werden und nicht die EU als gesamte Einheit.

Biobasierte Transformationsprozesse in Deutschland und Europa können internationale Biomassehandelsströme beeinflussen (Britz & Hertel, 2011; Deininger, 2013). Schon heute gehören beispielsweise Holzpellets mit einem Handelsvolumen von ca. 4 Mio. t zu den wichtigsten international gehandelten biogenen Festbrennstoffen (Sikkema u. a., 2011). Unter den weltweit gehandelten Holzprodukten insgesamt haben sie aber nur eine sehr nachrangige Bedeutung. Deutschland gehört aktuell noch zu den wenigen europäischen Ländern, in denen der Holzpelletbedarf weitgehend aus eigener Produktion gedeckt wird. Deutschland ist – über alle Produkte auf Basis Holz hinweg – Nettoimporteur. Mit knapp 2 Mio. m³ (r) liegt der Nettoimport 2012 allerdings nur bei 1,5 % der Ausfuhr. Der Saldo ist damit annähernd ausgeglichen. Auf der Basis globaler Szenarioanalysen werden bei einem weiteren Ausbau des Bioenergiesektors steigende Preise sowohl für holzbasierte Festbrennstoffe als auch auf dem Rohholzmarkt vorausgesagt (Buongiorno u. a., 2011). Die stärksten Produktionszuwächse im Bereich der Brennholzproduktion werden in den USA, Brasilien und China erwartet, wobei ca. 40 % der steigenden Nachfrage aus der Produktion in Entwicklungsländern gedeckt würde.

Abschätzungen des globalen Potenzials der Holzbiomasseproduktion sind von großen Unsicherheiten gekennzeichnet (Slade u. a., 2011). Zu den Gründen dafür zählt zum einen die große Anzahl international verwendeter Definitionen für den Begriff „Wald“.

5.2 Internationaler Ausblick

Über den Handel von Holz und holzbasierten Produkten hinaus, wirkt sich die Beteiligung Deutschlands an internationalen biobasierten Rohstoffmärkten vielfältig auf die Bereitstellung von global und lokal relevanten Ökosystemdienstleistungen aus. Ein klimarelevantes Maß für die Erfassung solcher handelsbasierter Effekte ist der „ökologische Fußabdruck“ (Wackernagel u. a., 1999). Im EU-Vergleich liegen die Pro-Kopf-Fußabdrücke Deutschlands für Landnutzung und CO₂-Emission über dem Durchschnitt und in Bezug auf Wasser knapp darunter. Absolut betrachtet hat Deutschland wegen seiner hohen Bevölkerungszahl dennoch EU-weit den höchsten Land- und CO₂-Abdruck (Steen-Olsen u. a., 2012). International steht Deutschland darüber hinaus auf Platz acht der Länder mit den höchsten jährlichen Importen an effektiv genutzter Nettoprimärproduktion (engl. Human Appropriation of Net Primary Production, HANPP) (Erb u. a., 2009). Diese Nachfrage wird zu großen Teilen durch die landwirtschaftliche Produktion in Ländern mit global relevanten Beständen biomasse- und artenreicher tropischer und subtropischer Wälder gedeckt. Dazu gehören u. a. Brasilien, Argentinien, Malaysia und Indonesien. Mit Ausnahme von Brasilien ist in vielen dieser Länder zwischen 2000 und 2012 ein zunehmender Rückgang der Waldbedeckung zugunsten der Ausweitung landwirtschaftlicher Flächen zu verzeichnen (Hansen u. a., 2013).

In vielen Ländern mit hohen Entwaldungsraten ist der Zugang zu subnationalen Handelsregisterdaten schwierig. Daher kann die forstwirtschaftliche Produktionssteigerung auf ökologisch sensiblen Naturwaldflächen derzeit noch nicht detailliert erfasst werden. Einige Studien zeigen jedoch, dass die Produktion global gehandelter Produkte wie Soja, Palmöl und Rindfleisch mit einer erheblichen Bedrohung von Habitaten in tropischen Primärwäldern und entwaldungsbedingten CO₂-Emissionen einhergeht (Lenzen u. a., 2012; Godar u. a., 2015). Innovative Maßnahmen zum Schutz der Tropenwälder, wie zum Beispiel sogenannte Hybridlösungen, bei denen die an global relevanten Wertschöpfungsketten beteiligten Akteure, teils in Kooperation mit den nationalen Autoritäten, nachhaltige Rohstoffbeschaffungsstandards erarbeiten und umsetzen, sind wissenschaftlich noch wenig erforscht (Lambin u. a., 2014). Untersuchungen des brasilianischen Sojamotoriums zeigen beispielsweise, dass die durch Sojabauern verursachte Entwaldung zugunsten der Ausweitung von Sojaflächen auf zuvor extensiv genutzten Weideflächen zurückging (Gibbs u. a., 2015). Gleichzeitig war jedoch eine ungleich höhere Expansion von Weideflächen in Primärwaldgebieten der Amazonasregion zu verzeichnen (Arma u. a., 2011).

Der diesem Phänomen möglicherweise zugrundeliegende Mechanismus des indirekten Landnutzungswandels (engl. ILUC) stellt ein ernstzunehmendes Hindernis auf dem Weg zu einer nachhaltigen Gestaltung bioökonomisch relevanter internationaler Wertschöpfungsketten dar. So zeigen szenariobasierte Analysen der Auswirkungen von deutschen bzw. europäischen Politikmaßnahmen im Bioökonomiebereich, dass sich internationale Preiseffekte in ähnlicher Form auf die Nachfrage nach Land in Entwicklungsländern mit schwacher Umweltgesetzgebung bzw. Umsetzungsstrukturen auswirken können (Britz & Hertel, 2011; Delzeit u. a., 2012; Pelikan u. a., 2015). Produktspezifische Maßnahmen können darum umfassende nationale Politikansätze zum Schutz von tropischen und subtropischen Naturwäldern und deren Ökosystemdienstleistungen nicht ersetzen, sondern nur ergänzen. In beiden Bereichen sind derzeit noch große Wissenslücken bezüglich der Wirksamkeit und Kosteneffektivität alternativer Tropenwaldschutzmaßnahmen zu schließen (Baylis u.a, in Druck).

6. Betrachtung von Zielkonflikten

Naturnaher Waldbau vs. Anpassung der Wälder an den Klimawandel: Um produktive Wälder zu erhalten, müssen sie an die geänderten Wachstums- und Überlebensbedingungen durch den Klimawandel angepasst werden. Die Waldbewirtschaftung in Deutschland erfolgt heute weit überwiegend im Rahmen des „naturnahen Waldbaus“. Dazu gehören die Förderung heimischer bzw. standortangepasster Baumarten, der Verzicht auf Kahlschläge, der Vorzug von Naturverjüngung der Waldbestände, der Aufbau gemischter und strukturreicher Wälder und einzelbaum-orientierte Eingriffe (Spathelf, 1997). Eine erhöhte Arten- und Strukturvielfalt in naturnah bewirtschafteten Wäldern kann die Waldanpassung unterstützen. Einschränkungen bei der künstlichen Anpflanzung von Baumarten und bei der Verwendung von eingeführten Baumarten erschweren aber die Verwendung und Verbreitung von nachweislich gut angepassten Bäumen. Dies vermindert die Möglichkeit, hochwertiges forstliches Vermehrungsgut mit besserem Wuchspotenzial und gesteigerter Resistenz gegenüber abiotischen und biotischen Schadfaktoren einzubringen. Zusätzlich vermindern geringere Eingriffsintensitäten das Auftreten stresstoleranter Pionier-Baumarten. Dadurch kann ein Zielkonflikt zwischen den Prinzipien des naturnahen Waldbaus und einer optimalen Anpassung der Wälder an den Klimawandel entstehen.

Waldbewirtschaftung vs. Unterschutzstellung: In den vergangenen Jahren kamen zunehmend Forderungen nach dem ungestörten Ablauf natürlicher Vorgänge in Wäldern auf, die dauerhaft gewährleistet werden sollen. Damit verbunden sind Stilllegungen forstwirtschaftlich genutzter Flächen verbunden, die sich aus einer landschaftsökologischen Sichtweise ableiten. Genutzte und nicht-genutzte Wälder unterscheiden sich in ihrer Klima- und Naturschutzfunktion. Die Forderungen nach ungenutzten Wäldern, die bis 2020 der natürlichen Entwicklung überlassen werden sollen, sind in der Nationalen Biodiversitätsstrategie (NBS) als 5 %-Ziel des Waldflächenanteils enthalten. Zudem sollen auch 2 % der Landesfläche als Wildnisgebiete (inkl. Wälder) entwickelt werden. In ungenutzten Wäldern tragen neben der Kohlenstoffspeicherung im lebenden Baumbestand die CO₂-Bilanz des Totholzes (Vorratsaufbau gegenüber Zersetzung Vgl. 2.2) und der Humus-Aufbau im Waldboden zum Klimaschutz bei. Die Nichtnutzung von Holz verhindert allerdings eine Substitution energie-intensiver Materialien (Stahl, Beton, Kunststoff) bei stofflicher Holznutzung bzw. energetischer Nutzung fossiler Brennstoffe. Da dieser Substitutionseffekt genutzter Wälder den Effekt des Kohlenstoff-Vorratsaufbaus klar überwiegt, ist eine Nutzung von Wäldern aus Klimaschutzsicht vorteilhaft, insbesondere wenn langlebige Holzprodukte (Bauwerke, Möbel) hergestellt werden (Rock & Bolte, 2011). Bei Kaskadennutzung erhöht sich dieser Vorteil noch weiter. Anders ist die Naturschutzfunktion genutzter und ungenutzter Wälder zu bewerten. Totholz in Menge und Dimension sowie Sonderstrukturen an lebenden Bäumen wie Höhlen, Faulstellen oder Kronenbrüche haben eine hohe Bedeutung für seltene und bedrohte Tier- und Pflanzenarten (Winter, 2005). In genutzten Wäldern ist eine naturschutzfachlich erwünschte Untergrenze von durchschnittlich 30 m³ ha⁻¹ (Müller & Bütler, 2010) bisher nicht erreicht (BWI, 2012: 20,6 m³ ha⁻¹, Kluppschwelle 10 cm). Die Erhöhung des Totholzvorrats um 10 m³/ha würde einen Nutzungsverzicht von mehr als 2 m³ha⁻¹a⁻¹ über einen Zeitraum von 20 Jahren erfordern (Kroiher & Oehmichen, 2010).

Pflanzenschutz vs. Naturschutz:

Insektenkalamitäten gefährden die vielfältigen Funktionen des Waldes. Vor allem in Kulturwäldern können sie wirtschaftliche Schäden nach sich ziehen. Um diese abzuwenden, kann es notwendig sein,

die Population des Schädling auf ein wirtschaftlich tolerierbares Niveau zu senken. Hier kann der Einsatz von Pflanzenschutzmitteln die *ultima ratio* sein. In Naturwäldern, in denen menschliche Bedürfnisse untergeordnet sind, gehört das Auftreten von Schadinsekten zum natürlichen Ablauf und einer ökologischen Erneuerung. Jedoch kann ein flächiges Absterben von Waldbäumen ökologische Schäden und dauerhafte Veränderungen der Biozönose für viele Jahrzehnte mit sich bringen. Dies kann mit einer Reduzierung der Biodiversität einhergehen, die durch einen Entzug des Lebensraumes bedingt wird (Wulf, 1996). Bedenken gegenüber chemischen Pflanzenschutzmaßnahmen gründen sich im Wesentlichen auf Risiken für die Umwelt und Nebenwirkungen. Selbst bei bestimmungsgemäßer und sachgerechter Anwendung können Nicht-Zielorganismen kurzfristig geschädigt werden. Maßgeblich dafür sind die Selektivität, Toxizität und Persistenz (Beständigkeit im Ökosystem) der eingesetzten Wirkstoffe. Der Behandlungszeitraum, die Wahl des Pflanzenschutzmittels, die Applikationsform sowie die Behandlungsfläche müssen stets gegen das Umweltrisiko abgewogen werden.

Energetische vs. stoffliche Nutzung:

Bei der Erzeugung von Bioenergie hat Holz als Festbrennstoff die größte Bedeutung. Dazu hat auch die Förderung von Strom aus erneuerbaren Energiequellen durch das EEG beigetragen. Allerdings wird der weit überwiegende Teil des energetisch genutzten Holzes in privaten Haushalten zur Wärmegegewinnung eingesetzt (Mantau, 2012). Für diese Form der Energienutzung gibt es keine Förderung. Der entscheidende Faktor für die starke Zunahme in den letzten Jahren war der Anstieg der Preise für fossile Energieträger (Jochem u. a., 2015). Energieerzeugung aus Holz und anderer Biomasse wird nach der Abkehr von der Atomkraft als wichtige Brückentechnologie bei der sog. Energiewende angesehen, dem Ersatz fossiler durch erneuerbarer Energieträger. Die energetische Nutzung von Holz steht mit den verschiedenen Formen der stofflichen Nutzung in Konkurrenz. Bei der stofflichen Nutzung wird sich zudem eine Konkurrenz zwischen traditionellen Nutzungsformen und neuen Bioraffinerieprozessen ergeben. Zwischen den verschiedenen Bereichen bestehen über die Flüsse an Nebenprodukten und deren Verwendung enge Verknüpfungen und Wechselwirkungen. Grundsätzlich werden die forstwirtschaftlichen Betriebe, anders als landwirtschaftliche, nicht direkt z. B. durch eine Betriebsprämie gefördert. Auch bei einer Maßnahmen-bezogenen Förderung, z. B. im Bereich der Umweltmaßnahmen, erhalten die Betriebe der Forstwirtschaft im Durchschnitt deutlich weniger Förderung als landwirtschaftliche Betriebe. Eine indirekte Förderung der Forstwirtschaft besteht zwar durch die im EEG geregelten Einspeisevergütungen für Strom aus erneuerbaren Energien. Ihr Einfluss auf die Marktpreise dürfte aber wegen des relativ geringeren Anteils des zur Stromgewinnung eingesetzten Brennholzes auch relativ gering sein. Trotzdem können Verzerrungen am Markt entstehen, die volkswirtschaftlich schädlich sind.

Literatur

Allen, C. D., u. a. (2010). A global overview of drought and heat-induced tree mortality reveals emerging climate change risks for forests. *Forest Ecology and Management*, 259(4), 660–84.

Angelsen, A., Jagger, P., Babigumira, R., Belcher, B., Hogarth, N. J., Bauch, S., Börner, J., Smith-Hall, C. & Wunder, S. (2014). Environmental Income and Rural Livelihoods: A Global-Comparative Analysis. *World Development*, 64(1), 12-28.

Arima, E. Y., Richards, P., Walker, R. & Caldas, M. M. (2011). Statistical confirmation of indirect land use change in the Brazilian Amazon. *Environmental Research Letters*, 6(2), 1-7.

Baker, D. A. & Rials, T. G. (2013). Recent Advances in Low-Cost Carbon Fiber Manufacture from Lignin. *Journal of Applied Polymer Science*, 130(2), 713-728.

Baylis, K., Honey Rosés, J., Börner, J., Corbera, E., Ezzine de Blas, D., Ferraro, P., Lapeyre, R., Persson, U. M., Pfaff A. & Wunder, S. (2016). Mainstreaming impact evaluation in nature conservation. *Conservation Letters*. 9(1), 58-64.

Becher, G. (2014). *Clusterstatistik Forst und Holz: Tabellen für das Bundesgebiet und die Länder 2000 bis 2012*. Verfügbar unter http://literatur.ti.bund.de/digbib_extern/dn054248.pdf [29.03.2016]

Bioökonomierat (2015). *BÖRMEMO 01 – Landwirtschaft in Deutschland: Ihre Rolle für die Bioökonomie*. Verfügbar unter http://www.biooekonomierat.de/fileadmin/Publikationen/berichte/BOERMEMO_Landwirtschaft_final.pdf [29.03.2016]

Bioökonomierat (2014). Nachhaltige Bereitstellung biobasierter agrarischer Rohstoffen. Verfügbar unter http://www.biooekonomierat.de/fileadmin/Publikationen/berichte/Hintergrundpapier_Rohstoffe_final.pdf [29.03.2016]

Bolte, A., Eisenhauer, D.-R., Ehrhart, H.-P., Groß, J., Hanewinkel, M., Kölling, C., Profft, I., Rohde, M., Röhe, P., & Amereller, K. (2009): Klimawandel und Forstwirtschaft: Übereinstimmungen und Unterschiede bei der Einschätzung der Anpassungsnotwendigkeiten und Anpassungsstrategien der Bundesländer. *Landbauforschung - vTI Agriculture and Forestry Research*, 59(4), 269-278.

Bolte, A. & Polley, H. (2010). *Nutzungs- und Ertragspotenziale des Waldes: Waldstrategie 2020 – Mehr Holz im Einklang mit der Gesellschaft*, Verfügbar unter: <http://veranstaltungen.fnr.de/fileadmin/allgemein/pdf/veranstaltungen/waldstrategie/2010/Bolte.pdf> [12.04.2010]

Bolte, A., Riedel, T., Stümer, W., Dunger, K. & Laggner, A. (2013). Landschaft im Wandel. *Forschungsreport 2/2013 (Heft 48)*, 44-45

Bösch, M., Jochem, D., Weimar, H. & Dieter, M. (2015). Physical input-output accounting of the wood and paper flow in Germany. *Resources, Conservation and Recycling* 94, 99-109.

Bouffier, L., Raffin, A., Rozenberg, P., Meredieu, C. & Kremer, A. (2009). What are the consequences of growth selection on wood density in the French maritime pine breeding programme?. *Tree Genetics & Genomes*, 5(1), 11-25.

Braun, H. & Hering, S. (1987). Wachstumsverlauf von Hybridlärchen (*Larix x eurolepis* Henry). *Beitr. Forstwirtschaft* 21, 164-168.

Bräsicke, N. & Wulf, A. (2014). Über die Zunahme thermophiler Schadorganismen in den Wäldern: Umbaupläne müssen dies berücksichtigen. In: LOZÁN, J. L., Grassl, H., Karbe, L. & Jendritzky, G. (Hrsg.). *Warnsignal Klima: Gefahren für Pflanzen, Tiere und Menschen*. 2. Auflage. Verfügbar unter http://www.klima-warnsignale.uni-hamburg.de/warnsignal-klima-gefahren-fur-pflanzen_tiere/ [29.03.2016]

Britz, W. & Hertel, T. W. (2011). Impacts of EU biofuels directives on global markets and EU environmental quality: An integrated PE, global CGE analysis. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 142(1), 102-109.

Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft [BMEL] (Hrsg.) (2014). *Der Wald in Deutschland. Ausgewählte Ergebnisse der dritten Bundeswaldinventur*. Verfügbar unter http://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/Broschueren/Bundeswaldinventur3.pdf?__blob=publicationFile [29.04.2016]

- Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft [BMEL] (Hrsg.) (2012). *Holzmarktbericht: Abschlussergebnisse für die Forst- und Holzwirtschaft des Wirtschaftsjahres 2012*. Verfügbar unter http://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/Landwirtschaft/Wald-Jagd/Holzmarktbericht2012.pdf?__blob=publicationFile [29.03.2016]
- Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft [BMEL] (Hrsg.) (2012). *Roadmap Bioraffinerien: Im Rahmen der Aktionspläne der Bundesregierung zur stofflichen und energetischen Nutzung nachwachsender Rohstoffe*. Verfügbar unter http://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/Broschueren/RoadmapBioraffinerien.pdf?__blob=publicationFile [29.04.2016]
- Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft [BMEL] (Hrsg.) (2008). *Förderprogramm Nachwachsende Rohstoffe: Förderung von Forschungs-, Entwicklungs- und Demonstrationsanlagen*. Verfügbar unter http://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/Broschueren/FoerderprogrammNaWaRo.pdf?__blob=publicationFile
- Bundesministerium für Wirtschaft und Energie [BMWi] (...). *Erneuerbare Energien im Jahr 2013*. Verfügbar unter <http://www.geothermie.de/fileadmin/useruploads/bundesverband/Politik/agee-stat-bericht-ee-2013.pdf> [30.03.16]
- Buongiorno, J., Raunikaar, R. & Zhu, S. (2011). Consequences of increasing bioenergy demand on wood and forests: An application of the Global Forest Products Model. *Journal of Forest Economics*, 17(2), 214-229.
- Carle, J. & Holmgren, P. (2008). Wood from Planted Forests: A Global Outlook 2005-2030. *Forest Products Journal*, 58(12), 6-18.
- Degen, B. (2009). Perspektiven der Forstpflanzenzüchtung zur Modifizierung von Gehalt und Struktur von Lignin. *Gülzower Fachgespräche, Band 31*, 238-249.
- Degen, B. & Sebbenn, A. M. (2014). Genetics and tropical forests. In: Pancel L, Köhl, M. (Hrsg.) *Tropical forestry handbook*. Berlin: Springer, 1-30.
- Deiningner, K. (2013). Global land investments in the bio-economy: evidence and policy implications. *Agricultural Economics*, 44(1), 115-127.
- Delzeit, R., Britz, W. & Holm-Müller, K. (2012). Modelling regional input markets with numerous processing plants: The case of green maize for biogas production in Germany. *Environmental Modelling & Software*, 32, 74-84.
- Dieter, M., (2009). Analysis of trade in illegally harvested timber: Accounting for trade via third party countries. *Forest Policy and Economics*, 11, 600-607
- Dieter, M. & Seintsch, B. (2012). Änderung der Wettbewerbsfähigkeit der Holz- und Papierwirtschaft in Deutschland auf Grund zunehmender Knappheit an Nadelholz. *German Journal of Forest Research*, 5(6), 116-128.
- Doherty, W. O. S., Mousavioun, P. & Fellows, C.M. (2011). Value-adding to cellulosic ethanol: lignin polymers. *Industrial Crops and Products*, 33, 259-276.
- Dunger, K., Stümer, W., Oehmichen, K., Riedel, T., Ziche, D., Grüneberg, E. & Wellbrock, N. (2014). Forest Land. *Climate Change*, 28, 517-564.
- Ebringerova, A., & Heinze, T. (2000). Xylan and xylan derivatives: Biopolymers with valuable properties - Naturally occurring xy-lans structures, procedures and properties. *Macromoleculuar Rapid Communications*, 9, 542-556.
- 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, 2288-2303
- Elsasser, P. (2008). Neuwaldbildung durch Sukzession: Flächenpotentiale, Hindernisse, Realisierungschancen. Arbeitsbericht 2008/5 des Instituts für Ökonomie der Forst- und Holzwirtschaft (OEF) des Johann Heinrich von Thünen-Institut. Verfügbar unter http://literatur.ti.bund.de/digbib_extern/bitv/dk041111.pdf [29.03.2016]
- Erb, K.-H., Krausmann, F., Lucht, W. & Haberl, H. (2009). Embodied HANPP: Mapping the spatial disconnect between global biomass production and consumption. *Ecological Economics*, 69(2), 328-334.

- Finish Ministry of Employment and the Economy (Hrsg.) (2014). The Finish Bioeconomy Strategy. Verfügbar unter https://www.tem.fi/files/40366/The_Finnish_Bioeconomy_Strategy.pdf [29.03.2016]
- Food and Agriculture Organization [FAO] (2010). Global Forest Resource Assessment 2010: FAO Forestry Paper 163. Verfügbar unter <http://www.fao.org/forestry/fra/fra2010/en/> [29.03.2016]
- Galbe, M. & Zacchi, G. (2002). A review on the production of ethanol from softwood. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 59, 618-628.
- Gibbs, H., Rausch, L., Munger, J., Schelly, I., Morton, D., Noojipady, P., Soares-Filho, B., Barreto, P., Micol L. & Walker, N. (2015). Brazil's Soy Moratorium. *Science*, 347(6220), 377-378.
- Godar, J., Persson, U. M., Tizado, E. J. & Meyfroidt, P. (2015). Towards more accurate and policy relevant footprint analyses: Tracing fine-scale socio-environmental impacts of production to consumption. *Ecological Economics*, 112, 25-35.
- Hamrick, J. L., Godt, M. J. W. & Sherman-Broyles, S. L. (1992). Factors influencing levels of genetic diversity in woody plant species. *New Forests*, 6, 95-124
- Hämäläinen, S., Näyhä, A. & Pesonen, H.L. (2011). Forest biorefineries: A business opportunity for the Finish forest cluster. *Journal of Cleaner production*, 19, 1884-1891.
- Hanewinkel, M., Cullmann, D. A., Schelhaas, M.-J., Nabuurs, G.-J. & Zimmermann, N. E. (2013). Climate change may cause severe loss in the economic value of European forest land. *Nature Climate Change*, 3, 203-207.
- Hannrup, B., Jansson, G. & Danell, O. (2008). Genotype by Environment Interaction in *Pinus sylvestris* L. in Southern Sweden. *Silvae Genetica*, 57, 306-311.
- Hansen, M. C., Potapov, P. V., Moore, R., Hancher, M., Turubanova, S., Tyukavina, A., Thau, D., Stehman, S., Goetz, S. & Loveland, T. (2013). High-resolution global maps of 21st-century forest cover change. *Science*, 342(6160), 850-853.
- Hendriks, A. T. W. M. & Zeeman, G. (2009). Pretreatments to enhance the digestability of lignocellulosic biomass. *Bioresource Technology*, 100, 10-18.
- Hillring, B. (2006). World trade in forest products and wood fuel. *Biomass and Bioenergy*, 30(10), 815-825.
- Hüttli, R. (2013). Bioökonomie – Chancen und Herausforderungen der Forstwirtschaft. Verfügbar unter https://www.winterkolloquium.uni-freiburg.de/WK-Vortraege/vortraege_2013/huettli_2013_kurzfassung_bioeconomie_forst [29.03.2016]
- Jacob, D. u. a., (2014). EURO-CORDEX: new high-resolution climate change projections for European impact research. *Regional Environmental Change*, 14, 563-578.
- Jagger, P., Luckert, M. K., Duchelle, A. E., Lund, J. F. & Sunderlin, W. D. (2014). Tenure and Forest Income: Observations from a Global Study on Forests and Poverty. *World Development*, 64(1), S43-S55.
- Jochem, D., Weimar, H., Bösch, M., Mantau, U. & Dieter, M. (2015). Estimation of wood removals and fellings in Germany: A calculation approach based on the amount of used roundwood. *European Journal of Forest Research*, 134(5), 869-888.
- Kleinschmit, J. (1985). Züchtung mit vegetativer Vermehrung bei Fichte. *Vorträge für Pflanzenzüchtung* 8, 137-148.
- Kleinschmit, J. (1999). Ist Naturverjüngung immer die beste Lösung für den naturnahen Waldbau? In: Kohlstock, N., Stauber, T. & Zaspel, I. (Hrsg.). *Erhaltung und Nutzung genetischer Ressourcen für den naturnahen Waldbau, Betriebswirtschaft und/oder Naturschutz. Mitteilungen der Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft*, 194, 199-214.
- Kleinschmit, W. (2002). Herkunftsfrage aus Sicht der Betriebswirtschaft. Jahrestagung des Nordwestdeutschen Forstvereins 2002 in Hann. Nienburg: NFV, 28-33.

- Kohlstock, N. & Schneck, H. (1992). Scots Pine Breeding (Pinus-Sylvestris L) at Waldsiefersdorf and Its Impact on Pine Management in the Northeastern German Lowland. *Silvae Genetica*, 41, 174-180.
- Koskela, J., Buck, A. & Teissier du Cros, E. (Hrsg.) (2007). Climate change and forest genetic diversity: Implications for sustainable forest management in Europe. *Biodiversity International*, 111 Seiten.
- Kraus, T., Kühnel, M. & Witten, E. (2014). Composites-Marktbericht 2014: Marktentwicklung Trends, Ausblicke und Herausforderungen. AVK e. Frankfurt. 44 Seiten.
- Kreuzinger, H. (2002). Bemessungen im Holzbau: Verbundkonstruktionen. .Holzbaukalender 2002, Karlsruhe: Bruderverlag.
- Kroiher, F. & Oehmichen, K. (2010). Das Potenzial der Tothholzakкумуляtion im deutschen Wald. Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen, 161(5), 171-180.
- Lambin, E. F., Meyfroidt, P., Rueda, X., Blackman, A., Börner, J., Cerutti, P. O., Dietsch, T., Jungmann, L., P. Lamarque & Lister, J. (2014). Effectiveness and synergies of policy instruments for land use governance in tropical regions. *Global Environmental Change*, 28, 129-140.
- Laurichesse, S. & Averous L. (2014). Chemical modification of lignins: Towards biobased polymers. *Progress in Polymer Science*, 39, 1266-1290.
- Lenzen, M., Moran, D., Kanemoto, K., Foran, B., Lobefaro, L. & Geschke A. (2012). International trade drives biodiversity threats in developing nations. *Nature*, 486(7401), 109-112.
- Liesebach, M. (2002). Genetik rechnet sich. Österreichische Forstzeitung, 113(6), 33-35.
- Liesebach M., Degen, B., Grotehusmann, H., Janßen, A., Konner, M., Rau, H.-M., Schirmer, R., Schneck, D., Schneck, V., Steiner, W. & Wolf, H. (2013). Strategie zur mittel- und langfristigen Versorgung mit hochwertigem forstlichem Vermehrungsgut durch Züchtung in Deutschland. Verfügbar unter http://literatur.ti.bund.de/digbib_extern/dn052664.pdf [29.03.2016]
- Lindgren, D. & Persson, A. (1997). Vitalization of results from provenance tests. In: Mátyás, C. (Hrsg.). *Perspectives of Forest Genetics and Tree Breeding in a Changing World*. IUFRO World Series, 6, 73-85.
- Mantau, U. (2009). Holzrohstoffbilanz Deutschland: Szenarien des Holzaufkommens und der Holzverwendung bis 2012. *LBF vTI Agriculture and Forestry Research, Sonderheft 327*, 27-36.
- Mantau, U. (2012). Holzrohstoffbilanz Deutschland: Entwicklung und Szenarien des Holzaufkommens und der Holzverwendung 1987 bis 2015, Hamburg, 65 Seiten.
- Mc Keand, S. E. & Bridgwater, F. E. (1998). A strategy for the third breeding cycle of loblolly pine in the Southeastern US. *Silvae Genetica*, 47, 223-234.
- Meier, D., van de Beld, B., Bridgwater, A.V., Elliott, D.C., Oasmaa, A. & Preto F. (2013). State-of-the-art of fast pyrolysis in IEA bioenergy member countries. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 20, 619-641.
- Michels, J. (2013). Freiburger Winterkolloquium, Lignozellulose-Bioraffinerie von der Idee zur Realisierung. Verfügbar unter https://www.winterkolloquium.uni-freiburg.de/WK-Vortraege/vortraege_2013/michels_2013_vortrag_lignocellulose_bioraffinerie [29.03.2016]
- Möller, K., Heydeck, P., Hielscher, K., Dahms, C. & Wenk, M. (2015). Waldschutzsituation 2014 in Brandenburg und Berlin. *AFZ Der Wald*, 7, 42-45.
- Mosier, N., Wyman, C., Dale, B., Elander, R., Lee, Y., Holtzapple, M., & Ladisch, M. (2005). Features of promising technologies for pretreatment of lignocellulosic biomass. *Bioresource Technology*, 96, 673-686.
- Müller, J. & Büttler, R. (2010). A review of habitat thresholds for dead wood: a baseline for management recommendations in European forests. *European Journal of Forest Research*, 129, 981-992.
- Nabuurs, G. J., Pussinen, A., Karjalainen, T., Erhard, M., Kramer, K. (2002). Stemwood volume increment changes in European forests due to climate change: a simulation study with the EFISCEN model. *Global Change Biology*, 8, 304-316.

- Nanson, A. (2004). Génétique et amélioration des arbres forestiers. Les Presses Agronomiques de Gembloux A.S.B.L., Gembloux Belgium, 712 Seiten.
- Pattanayak, S. K. & Sills, E. O. (2001). Do Tropical Forests Provide Natural Insurance? The Microeconomics of Non-Timber Forest Product Collection in the Brazilian Amazon. *Land Economics*, 77(4), 595-612.
- Pätäri, S., Kyläheiko, K. & Sandström, J. (2011). Opening up new strategic options in the pulp and paper industry: case biorefineries. *Forest Policy and Economics*, 13, 456-464.
- Pelikan, J., Britz, W. & Hertel, T. W. (2015). Green Light for Green Agricultural Policies? An Analysis at Regional and Global Scales. *Journal of Agricultural Economics*, 66(1), 1-19.
- Petzold-Welcke, K., Schwikal, K., Daus, S. Heinze, T. (2014). Xylan derivatives and their application potential: Mini-review of own results. *Carbohydrate Polymers*, 100, 80-88.
- Podschun, J., Stücker, A., Saake, B. & Lehnen, R. (2015). Structure-function relationships in the phenolation of lignins from different sources. *Sustainable Chemistry and Engineering*, 3(10), 2526-2532.
- Polley, H. & Hennig, P. (2015). Waldeigentum im Spiegel der Bundeswaldinventur. *AFZ-DerWald*, 60(6), 34-36.
- Pötter, B. (30. März 2015). Hysterie hilft. TAZ. Verfügbar unter <http://www.taz.de/!5014939/> [26.04.2016]
- Pretzsch, H., Biber, P., Uhl, E. u. a. (2014). Forest stand growth dynamics in Central Europe have accelerated since 1870. *Nature Communications*, 5, 4967, 1-10.
- Poschlod, P. (2015). Geschichte der Kulturlandschaft. Eugen Ulmer KG, Stuttgart, 320 Seiten.
- Rau, H.-M. (1998). Geprüftes Vermehrungsgut. *AFZ-Der Wald*, 54, 234.
- Retief, E. C. L. & Stanger, T. K. (2009). Genetic parameters of pure and hybrid populations of *Eucalyptus grandis* and *Europhylla* and implications for hybrid breeding strategy. *Southern Forests*, 71, 133-140.
- RISI (2013). Outlook for the global dissolving pulp market: Special market analysis study. RISI, Inc. Boston (US).
- Rock, J. & Bolte, A. (2011). Auswirkungen der Waldbewirtschaftung 2002 bis 2008 auf die CO₂-Bilanz. *AFZ-DerWald*, 66(15), 22-24.
- Rüter, S. (2011). Welchen Beitrag leisten Holzprodukte zur CO₂-Bilanz? *AFZ-DerWald*, 15, 15-18.
- Rüter, S., Rock, J., Köthke, M. & Dieter, M. (2011). Wie viel Holznutzung ist gut fürs Klima? *AFZ-DerWald*, 15, 19-21.
- Sathre, R. & O'Connor, J. (2010).: A Synthesis of Research on Wood Products & Greenhouse Gas Impacts. 2. Ausgabe. FPInnovations, Technical Report No. TR-19R, Vancouver, B.C, Canada, 117 Seiten.
- Scoones, I., M. Melnyk and J. N. Pretty (1992). The hidden harvest: wild foods and agricultural systems. A literature review and annotated bibliography. London, IIED.
- Sikkema, R., Steiner, M., Junginger, M., Hiegl, W., Hansen, M. T. & Faaij, A. (2011). The European wood pellet markets: current status and prospects for 2020. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*, 5(3), 250-278.
- Slade, R., Saunders, R., Gross, R. & Bauen, A. (2011). Energy from biomass: the size of the global resource. Imperial College Centre for Energy Policy and Technology and UK Energy Research Centre, London.
- Spathelf, P. (1997). Seminatürliche Silviculture in southwest Germany. *The Forestry Chronicle*, 73(6), 715-722.
- Statistisches Bundesamt (2014). Genesis-Online Datenbank: Beschäftigte und Umsatz der Betriebe im Verarbeitenden Gewerbe: Bundesländer, Jahre, Wirtschaftszweige (Code 42271 - 0011). Verfügbar unter https://www-gene-sis.destatis.de/genesis/online/data.jsessionid=81E1EFF5FA2900D0F6F3F168CA6D0646.tomcat_GO_2_3?operation=abruftebelleAbrufen&selectionname=42271-0011&levelindex=1&levelid=1459258846573&index=11 [29.03.2016]

Steen-Olsen, K., Weinzettel, J., Cranston, G., Ercin, A. E. & Hertwich, E. G. (2012). Carbon, land, and water footprint accounts for the European Union: consumption, production, and displacements through international trade. *Environmental science & technology*, 46(20), 10883-10891.

Studiengemeinschaft Holzleimbau e.V. (2009). BS-Holz aus Buche und Buche-Hybridträger, Berlin Deutsches Institut für Bautechnik, 7. Okt. Allgemeine Bauaufsichtliche Zulassung Z-9: 1-679.

Umweltbundesamt [UBA] (Hrsg.) (2014). Berichterstattung unter der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen und dem Kyoto-Protokoll 2014: Nationaler Inventarbericht zum Deutschen Treibhausgasinventar 1990 – 2012. *Climate Change*, 24, 965 Seiten.

Wackernagel, M., Onisto, L., Bello, P., Linares, A. C., Falfán, I. S. L., Garcia, J. M., Guerrero, A. I. S. & Guerrero, M. G. S. (1999). National natural capital accounting with the ecological footprint concept. *Ecological economics*, 29(3), 375-390.

S. Weis, W. & Göttlein, A. (2012). Nährstoffnachhaltige Biomassenutzung. *LWF Aktuell*, 90, 44-47.

Wellbrock, N., Stümer, W., Grüneberg, E., u. a. (2014). Wälder in Deutschland speichern Kohlenstoff. *AFZ-DerWald*, 69(18), 38-39.

Winter, S. (2005). Ermittlung von Struktur-Indikatoren zur Abschätzung des Einflusses forstlicher Bewirtschaftung auf die Biozönosen von Tiefland-Buchenwäldern. Dissertation TU Dresden, Fak. Forst-, Geo- und Hydrowissenschaften Tharandt, 322 Seiten.

Wühlisch, G. von (2006). Ergebnisse der Züchtung von Pappeln und Aspen in Großhansdorf: Perspektiven für die Energie- und Rohstoffherzeugung. *Vorträge für Pflanzenzüchtung*, 70, 157-172.

Wulf, A. (1996). Resümee aktueller Erkenntnisse aus den jüngsten Schmetterlingskalamitäten im Forst In: Wulf, A. & Berendes, K.-H. (1996). *Massenvermehrungen von Forstschmetterlingen*. Mitteilungen aus der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft, Heft 322, 239-241.

Wunder, S., Börner, J., Shively G. & Wyman, M. (2014). Safety Nets, Gap Filling and Forests: A Global-Comparative Perspective. *World Development*, 64(1), 29-42.