



HINTERGRUND // MÄRZ 2021

Umweltschutz, Wald und nachhaltige Holznutzung in Deutschland

Für Mensch & Umwelt

Umwelt 
Bundesamt

Impressum

Herausgeber:

Umweltbundesamt
Fachgebiet II 4.3
Postfach 14 06
06813 Dessau-Roßlau
Tel: +49 340-2103-0
info@umweltbundesamt.de
Internet: www.umweltbundesamt.de

 /umweltbundesamt.de

 /umweltbundesamt

 /umweltbundesamt

 /umweltbundesamt

Autoren und Autorinnen:

Gudrun Schütze
Jens Günther
Eric Fee
Anne Klatt
Ulrike Döring
Doreen Schmitz
Anja Behnke
Almut Reichart
Anja Nowack
Frank Brozowski
Jürgen Fischer
Mareike Güth
Torsten Schwanemann
Katja Hofmeier

Satz und Layout:

le-tex publishing services GmbH

Publikationen als pdf:

www.umweltbundesamt.de/publikationen

Bildquellen:

Titel: Adobe Stock/DRPL
S. 4: Shutterstock/Robert Kneschke
S. 6/7: Adobe Stock/John Smith
S. 10: Shutterstock/Kletr
S. 23: Adobe Stock/crimson
S. 39: Adobe Stock/Ingo Bartussek
S. 44: Adobe Stock/Wonderful pictures
S. 54: Adobe Stock/gaborphotos

Stand: März 2021

ISSN 2363-829X

2. Überarbeitete und aktualisierte Auflage –
Redaktionsschluss 30.06.2020

HINTERGRUND // MÄRZ 2021

Umweltschutz, Wald und nachhaltige Holznutzung in Deutschland



Inhalt

1 Einführung	6
2 Wald, Naturhaushalt und Mensch – eine sensible Dreierbeziehung	8
2.1 Waldfunktionen	8
2.2 Wald als relativ naturnaher Lebensraum	9
2.3 Waldzustand und Umwelteinflüsse	9
2.4 Bewirtschaftungseinflüsse	11
3 Schutz der Wälder und nachhaltige Holznutzung – Anforderungen des Umweltbundesamtes	13
3.1 Ökosystemfunktionen und -leistungen der Wälder erhalten	13
3.1.1 Nutzungsansprüche sind vielfältig – und es gibt Flächenkonkurrenzen	13
3.1.2 Waldwirtschaft als Pfeiler einer integrierten nachhaltigen Biomassestrategie	19
3.1.3 Wald als Klimaschützer	22
3.1.4 Wälder an den Klimawandel anpassen	25
3.1.5 Fremdstoffeinträge vermeiden oder minimieren	28
3.2 Nachhaltige Holznutzung	35
3.2.1 Holz als Rohstoff für Bau- und Werkstoffe	36
3.2.2 Holz als Rohstoff für Zellstoff- und Papierprodukte	41
3.2.3 Holz als Chemierohstoff	44
3.2.4 Holz als Energieträger	45
3.2.5 Nutzungskaskaden und nachhaltige Altholzverwertung	46
4 Schlussfolgerungen und Empfehlungen	47
4.1 Was bedeutet „nachhaltige und umweltfreundliche Forst- und Holzwirtschaft“?	47
4.2 Kann Deutschland seine Holzproduktion nachhaltig und umweltgerecht steigern?	47
4.3 Wege zu gesunden und leistungsfähigen Wäldern der Zukunft	49
4.4 Effiziente Nutzung in- und ausländischer Holzvorräte für Produkte und die Energiegewinnung	50
4.5 Gesundheits- und umweltverträgliche Herstellung von Holzprodukten	51
4.6 Forschungs- und Entwicklungsbedarf	52
4.7 Wie können die Empfehlungen umgesetzt werden?	52
Literatur	56



1 Einführung

Wald- und Holznutzung sind wichtige Bausteine zur Rettung des Klimas, für den Erhalt der Biodiversität oder den Ersatz synthetischer Werkstoffe wie Plastik durch natürliche Werkstoffe. Das internationale Klimaabkommen von Paris im Jahr 2015 setzt einen starken Impuls, die für den Klimaschutz wichtige Funktion der Wälder zur Kohlenstoffbindung weiter zu stärken. Aber auch die Bedeutung der Holzprodukte für Klima- und Ressourcenschutz wird zunehmend in den Fokus gerückt (z. B. BMEL 2018; BMBF & BMEL 2020). Gleichzeitig sollen die vielen anderen Leistungen der Wälder für Mensch und Naturhaushalt (siehe Box 1), etwa die Schutz- und Erholungsfunktionen, erhalten und möglichst gestärkt werden. Die Vielfalt an Lebensräumen, Arten und genetischen Variationen ist dafür eine wichtige Voraussetzung. Während die Anforderungen an die deutschen Wälder steigen, reagieren diese oft empfindlich, wenn sich Umwelt- und Nutzungsbedingungen ändern. So sind die einheimischen Wälder dem Klimawandel, Luftverunreinigungen und anderen Stressfaktoren ausgesetzt, die ihre Vitalität und Widerstandskraft überfordern und die biologische Vielfalt beeinträchtigen können. Es besteht die Besorgnis, dass ein zu starker Holzeinschlag und eine noch intensivere Forstwirtschaft diese Effekte verstärken, die Nachhaltigkeitsgrenzen übersteigen und die Waldfunktionen beeinträchtigen. Den steigenden Bedarf mit Holz aus dem Ausland zu decken, dessen Nachhaltigkeit häufig nicht sichergestellt werden kann, ist keine Lösung.

In Deutschland ist Wald die ursprüngliche Vegetation auf über 90 % der Landesfläche. Meist würde sich dort auch heute über kurz oder lang wieder Wald entwickeln, wenn der Mensch nicht eingreift. Unter den derzeitigen Umweltbedingungen ist er die Vegetationsform, die sich ohne künstlichen Energieaufwand, Stoffeinträge und Belastungen des Naturhaushalts durch den Menschen immer wieder

selbst organisiert und erneuert. Echte Urwälder gibt es jedoch in Deutschland nicht mehr, die Waldflächen sind heutzutage durch den Menschen beeinflusste, zum Teil deutlich überprägte Ökosysteme. So sind nach den Ergebnissen der Dritten Bundeswaldinventur lediglich 36 % der Waldfläche als naturnah oder sehr naturnah einzustufen. Demgegenüber werden 41 % als nur bedingt naturnah und knapp 24 % als kulturbetont oder kulturbestimmt beschrieben.¹ Zwar beschränkt die Forstwirtschaft den Begriff der Nachhaltigkeit heute längst nicht mehr ausschließlich auf den langfristigen Erhalt der Holzvorräte, sondern strebt eine Bewirtschaftung an, die neben der Holzproduktion auch den Nutz-, Schutz- und Erholungsfunktionen des Waldes gleichermaßen gerecht wird. Aber: Die Eignung der nicht naturnahen Wälder als Lebensraum für die ursprüngliche Pflanzen- und Tierwelt ist im Vergleich zu Urwäldern eingeschränkt und ihre Funktionen im Naturhaushalt sind verändert. Das gilt umso mehr, je weiter der Wald von einem natürlichen Zustand entfernt ist. Es stellt sich die Frage, wie ökologische Leitplanken zu setzen sind, um Nachhaltigkeit im modernen Sinne gewährleisten zu können.

Rund 98 % der Waldfläche sind begehbar und stehen theoretisch zur forstwirtschaftlichen Nutzung zur Verfügung (BMEL 2014). Schätzungsweise 93.000 Beschäftigte in rund 34.000 staatlichen, kommunalen und privaten Forstbetrieben erwirtschaften in 2017 circa 6 Mrd. Euro Jahresumsatz (Thünen-Institut 2019). Hinzu kommen rund 146.000 landwirtschaftliche Betriebe mit Wald (Statistisches Bundesamt 2019). Insgesamt setzte das Cluster Forst & Holz, d. h. die gesamte Forst- und Holzbranche inklusive Verlags- und Druckgewerbe, in 2017 etwa 184 Mrd. Euro um und beschäftigte über 1,08 Mio. Menschen

¹ vgl. Thünen-Institut, Dritte Bundeswaldinventur – Ergebnisdatenbank, <https://www.bundeswaldinventur.de/dritte-bundeswaldinventur-2012/>



(Thünen-Institut 2019). Aber: Viele Leistungen der Forstwirtschaft, insbesondere der Schutz der Naturgüter und die Beiträge zur Erholung und Gesundheit des Menschen sind bislang kaum ökonomisch bewertet und werden nicht entlohnt. Die eigentliche gesellschaftliche und wirtschaftliche Bedeutung der Wald- und Holzwirtschaft wird somit bislang ökonomisch völlig unterschätzt.

Die großen Herausforderungen, welche sich aus den vielfältigen Ansprüchen an den Wald ergeben, sind offensichtlich. So ist eine durch die Forst- und Holzbranche angestrebte, möglichst intensive Holznutzung nur bei Nährstoffnachhaltigkeit sowie ausreichendem Klima- und Biodiversitätsschutz akzeptabel. Das optimale Austarieren der unterschiedlichen Ansprüche und Ziele ist immer wieder ein kontrovers diskutiertes Thema. Nach den Dürrejahre 2018/2019 und den damit verbundenen großflächigen Kalamitäten erlangten die Diskussionen einen neuen Höhepunkt (z. B. Offener Brief zur Waldkrise 2019; WBW & WBBGR 2020; Deutsche Umweltstiftung 2019, erste Reaktionen von Verbänden auf ein Eckpunktepapier des Wissenschaftlichen Beirats Waldpolitik beim BMEL (2020) für die Entwicklung der Waldstrategie 2050). Zum Beispiel steht die Forstwissenschaft der Integration standortgerechter, nicht heimischer Bäume in die Waldbestände relativ aufgeschlossen gegenüber (DVFFA 2019), wogegen das Bundesamt für Naturschutz dies kritisch diskutiert und auch zukünftig stark auf einheimische Baumarten fokussiert (BfN 2020). Das in der Nationalen Strategie zur Biologischen Vielfalt (BMU 2007) und der „Naturschutz-Offensive 2020 (BMUB 2015) dargestellte und noch nicht erreichte Ziel, auf fünf Prozent der Waldfläche Deutschlands natürliche

Waldentwicklung zuzulassen, stößt innerhalb der Forst- und Holzwirtschaft teilweise auf Kritik, weil nach ihrer Ansicht dadurch die Senkenleistung der Wälder und der Holzprodukte für Kohlenstoff gefährdet würde. Während die Forstwirtschaft eine höhere Gesundheit und Stabilität der Wälder durch kürzere Umtriebszeiten erwartet, legen andere Vertreter hohen Wert auf alte Wälder, denen sie eine besondere Bedeutung für die Biodiversität und die Abpufferung von Klimaextremen zuschreiben (BfN 2020, Offener Brief zur Waldkrise 2019).

Eine nachhaltige Waldwirtschaft sollte auf der gesamten genutzten Waldfläche Deutschlands und darüber hinaus weltweit umgesetzt werden. Ein Schlüssel dazu ist, in jedem Fall mit der Ressource Holz sparsam umzugehen. Das hilft, die wichtigen Funktionen von Wäldern zu erhalten. Doch eine nachhaltige Holznutzung geht über den Schutz von Wäldern weit hinaus. Wo Holz als Material oder Energiequelle genutzt wird, sind die Kriterien des Gesundheits- und Umweltschutzes zu beachten. Beispielsweise dürfen Holzheizungen nicht zu viel Feinstaub ausstoßen oder Möbel aus Holz nicht zu viele flüchtige organische Verbindungen wie Formaldehyd freisetzen. Weitere Anstrengungen sind hier erforderlich. Besonders die ständige Neu- und Weiterentwicklung von Verfahren und Produkten im Holzverarbeitenden Sektor stellen den Umweltschutz immer wieder vor neue Herausforderungen.

Dieses Hintergrundpapier zeigt die vielfältigen Anknüpfungspunkte zu Umweltschutzthemen und welche Anforderungen aus dieser Perspektive an die Wald- und Holzwirtschaft zu stellen sind.

2 Wald, Naturhaushalt und Mensch – eine sensible Dreierbeziehung

2.1 Waldfunktionen

Wälder erfüllen vielfältige Funktionen im Naturhaushalt. Sie beherbergen einen Großteil unserer biologischen Vielfalt und nutzen mit ihren Ökosystemleistungen dem Menschen in sehr unterschiedlicher Weise, als Rohstofflieferant, als Erholungsraum oder Schadstofffilter. Eine zentrale Rolle kommt ihnen bei der Speicherung von Kohlenstoff in ihrer Biomasse und den Böden und zu und damit ihrem potenziellen Beitrag zur Eindämmung des Klimawandels. Ihr Vermögen, die verschiedenen in der Box 1 aufgeführten Funktionen und Leistungen für Menschen und Natur zu erbringen, hängt im Wesentlichen von der natürlichen Standortausstattung, von der Lage und Anordnung der Wälder in der Landschaft, aktuellen und historischen Umweltbelastungen sowie von der forstlichen Bewirtschaftung ab. Einige Waldfunktionen erfordern besondere Strukturen und Waldeigenschaften. Deshalb kann es kein einheitli-

ches Idealbild vom Wald und seiner Bewirtschaftung geben. Ein Wald mit standortheimischen Baum- und sonstigen Pflanzenarten ist am besten an den jeweiligen Standort angepasst und deshalb besonders stresstolerant gegenüber natürlichen Schwankungen von Umweltfaktoren. Wälder verändern sich aber fortlaufend. Sie sind nicht statisch in ihren Strukturen und Funktionen. Verändert der Mensch durch sein Handeln das Klima, den Wasser- oder Nährstoffhaushalt der Böden, reagieren die Wälder oft schneller und mit abweichendem Ergebnis als im Rahmen natürlicher Schwankungen.

In den meisten Bundesländern existieren Waldfunktionskartierungen. Diese weisen Gebiete aus, in denen bestimmte Leistungen der Wälder, insbesondere zum Nutzen für den Menschen, vorrangig geschützt und gefördert werden sollen (z. B. Wirtschafts-, Schutz-, oder Erholungswald, Naturschutz).

Box 1: Was leistet der Wald für den Menschen?

- ▶ Im Wald wächst der vielfältig einsetzbare, wertvolle Rohstoff Holz.
- ▶ Der Wald beeinflusst das Klima klein- und großräumig, vor allem durch seine Wirkung auf den Wasserkreislauf, die Strahlung (Albedo), das Windregime und den Kohlenstoffkreislauf. Für den Klimaschutz ist es von enormer Bedeutung, den im Wald gespeicherten Kohlenstoffvorrat zu erhalten und möglichst zu erhöhen.
- ▶ Bäume und Waldboden halten Niederschlagswasser zurück und filtern es. Sie gleichen Extreme im Landschaftswasserhaushalt aus und tragen zum Hochwasserschutz sowie zur Bildung sauberen Grundwassers bei.
- ▶ Die Waldvegetation schützt vor Bodenerosion, Steinschlag und Lawinen.
- ▶ Wälder filtern Staub und Schadstoffe aus der Luft. Sie halten Lärm von Siedlungen fern und wirken ausgleichend auf das lokale Klima.
- ▶ Wälder sind Orte für Erholung, Bildung, Naturerlebnis und Inspiration.
- ▶ Grundlage für diese Ökosystemleistungen sind intakte Nährstoff-, Wasser- und Energiekreisläufe sowie eine Ausstattung mit Lebensräumen, Arten und ihren genetischen Ausprägungen, die dem natürlichen Standortpotenzial entsprechen und Anpassungsreaktionen auf äußere Störungen oder langfristige Veränderungen von Umweltfaktoren ermöglichen¹.

¹ Das Umweltbundesamt zieht die Ausprägung dieser Fähigkeiten zur Bewertung der Ökosystemintegrität heran, siehe Jenssen et al. (2013, 2019), mit Ausnahme der physikalischen Lebensraumstrukturen und der genetischen Ausstattung.

2.2 Wald als relativ naturnaher Lebensraum

Eine besondere Funktion haben die Wälder als Lebensraum. Obwohl es große Unterschiede im Natürlichkeitsgrad der Wälder und Forsten gibt², sind Beeinträchtigungen durch bewirtschaftungsbedingte Stoffeinträge wie Dünger oder Pflanzenschutzmittel, Lärm und mechanische Störungen in der Regel deutlich geringer als auf intensiv genutzten Agrarflächen. Zahlreiche Pflanzen und Tiere sind an die besonderen Lebensraumstrukturen, klimatischen Gegebenheiten, Nährstoff- und Lichtverhältnisse im Wald angepasst und können nur dort existieren (z. B. Schattenblume, Sauerklee, Waldanemone, Hirschkäfer, Schwarzschorch). Viele von Ihnen benötigen relativ ungestörte Rückzugsorte. Die Biotopqualität der Wälder wird vor allem durch die vorhandenen Baum- und Straucharten, ihre Altersstruktur und ihren Gesundheitszustand bestimmt und hängt deshalb stark von der Bewirtschaftung ab. Zahlreiche Arten des Waldes sind auf absterbendes und totes Holz angewiesen, weshalb ein hoher Anteil von Altbäumen und Totholz die Lebensraumqualität beträchtlich erhöht. Da Zielwerte für Totholzanteile auch abhängig von Standort, Bewirtschaftungsform und Waldtyp sind, sollten diese eher regional als pauschal bestimmt werden (Milad et al. 2012).³ Der physikalische und chemische Zustand des Waldbodens ist ausschlaggebend für das (unterirdische) Bodenleben sowie die Bodenvegetation. Von ihr sind wiederum zahlreiche Tiere abhängig, weil sie die Pflanzen als Nahrungsquelle, als Nistmaterial oder zur Deckung nutzen. Es bestehen zahlreiche Wechselwirkungen zwischen den abiotischen und biotischen Bestandteilen der genannten Schichten (Baum- und Strauchschicht, Bodenvegetation, Ober- und Unterboden) hinsichtlich Nährstoff- und Schadstofftransporten, der Verfügbarkeit von Wasser und Sauerstoff. Um die biologische Vielfalt der Wälder im Ganzen zu schützen, müssen ihre Strukturen und Funktionen einschließlich ihrer Fähigkeit auf Umweltveränderungen zu reagieren im Ganzen bewahrt bleiben (Ökosystemintegrität).

2.3 Waldzustand und Umwelteinflüsse

Wie die Waldzustandserhebungen der letzten Jahre zeigen, gelang es nicht, die Gesundheit des Baumbestandes nachhaltig zu verbessern. Der Anteil von Bäumen ohne Schadmerkmale ist seit dem Jahr 2000 sogar regelmäßig kleiner als noch in den 1980er Jahren. Im Jahr 2019 wiesen 36 % der untersuchten Bäume deutliche Kronenverlichtungen auf (Schadstufe 2–4, alle Baumarten, BMEL 2020). Bei Buchen und Eichen sind die Anteile deutlich geschädigter Bäume höher als bei Nadelbaumarten. Das ist besonders besorgniserregend, weil aus verschiedenen Gründen, unter anderem zur Anpassung an den Klimawandel, ein höherer Laubholzanteil angestrebt wird.

Eine Schwäche der jährlichen Waldzustandserhebung besteht darin, dass die Indikatoren Kronenverlichtung und -vergilbung zwar die aktuelle Vitalität der Bäume wiedergeben. Sie ermöglichen jedoch nicht die Ursachen von Störungen zu erkennen und keine Prognose, wie sich die Gesundheit der Bäume und der Waldlebensgemeinschaften sowie die Ökosystemfunktionen weiter entwickeln werden. So kann zwar der hohe Anteil an Bäumen mit deutlichen Kronenverlichtungen in 2019 unter anderem auch mit den Dürrejahre 2018 und 2019 erklärt werden. Aber der Waldzustand wird von vielen verschiedenen Faktoren bestimmt, die sich in ihrer Wirkung gegenseitig verstärken oder abschwächen können. So spielt das Baumalter ebenso eine Rolle wie die gegenwärtige und frühere Bewirtschaftung. Auch Standortfaktoren, der Eintrag von Luftschadstoffen, das Auftreten von Schadorganismen oder die Witterung sind relevant. Es ist davon auszugehen, dass sowohl Klimaänderungen als auch zu hohe Stoffeinträge aus der Atmosphäre in den kommenden Jahrzehnten die Rahmenbedingungen für die Lebewesen der Wälder weiterhin verändern werden. Zu wünschen wäre deshalb eine Fortentwicklung der Indikatoren der Waldzustandserhebung, um Ursache-Wirkungsbeziehungen zukünftig besser abbilden zu können.

Bereits seit mehr als hundert Jahren ist der Zusammenhang zwischen Industrieabgasen und Waldschäden bekannt (z. B. Stöckhardt 1850). Seitdem in den 1980er Jahren die Diskussion um die Ursachen neuartiger Waldschäden hohe Wellen schlug, werden Zusammenhänge zwischen Umweltschutz und Waldzustand kontinuierlich und systematisch untersucht. Als eine der Hauptursachen wurde

² Vgl. <https://www.umweltbundesamt.de/daten/land-forstwirtschaft/nachhaltige-waldwirtschaft#naturnahe-der-waelder>

³ Z. B. für Natura2000 Gebiete vgl. http://www.bfn.de/0316_forstwirtschaft-natura2000.html



damals die Versauerung von Waldböden durch Einträge von Schwefel- und Stickstoffverbindungen aus der Atmosphäre erkannt, die unter anderem zur verstärkten Auswaschung lebenswichtiger basischer Pflanzennährstoffe wie Magnesium, Kalium, Kalzium und zur Freisetzung giftiger Aluminiumionen im Wurzelraum führt. Elling et al. (2007) beschreiben aber am Beispiel des Erzgebirges, wo zweifelsfrei die sehr hohe und nach 1900 stark zunehmende Belastung mit Schwefeldioxid eine Hauptursache für das großflächige Absterben von Fichtenbeständen war, dass stets auch andere Faktoren – weitere Luftschadstoffe wie Stickstoffoxide oder bodennahes Ozon, die natürlichen Standortverhältnisse, die Nutzung, Witterungsextreme und der Befall mit Krankheiten und Schädlingen – zu berücksichtigen sind. Die Vielzahl der Faktoren ist ein Grund, warum Ursachen für Waldschäden häufig nicht eindeutig zuzuordnen sind, obwohl physiologische Zusammenhänge zwischen einzelnen Belastungen und Schädigungen wissenschaftlich belegt sind. Auch die langen Reaktionszeiten von Waldökosystemen erschweren die Ursachenzuordnung. So traten in den oben erwähnten Regionen des Erzgebirges die großflächigen schweren Schäden erst mehr als fünf Jahrzehnte nach der deutlichen Erhöhung der Luftbelastung auf. Es gibt zahlreiche Hinweise dafür, dass die Kombination mehrerer Stressfaktoren die Wirkungen einzelner Belastungen verstärkt. Hinsichtlich

solcher Interaktionen bestehen jedoch weiterhin viele Wissenslücken. Daher müssen die bekannten, eindeutig dem Menschen zuzuordnenden Ursachen von Waldschäden kontinuierlich bekämpft werden. Die Ergebnisse der Waldzustandserhebungen zeigen, dass Handeln dringend geboten ist. Insbesondere Luftschadstoffbelastungen und Klimaänderungen erhöhen großflächig den Stress auf die Wälder und müssen deshalb soweit als möglich minimiert werden⁴.

Das forstliche Umweltmonitoring und die Bundeswaldinventuren⁵ liefern unentbehrliche Datengrundlagen für die Waldbewirtschaftung, die Umweltwissenschaften und die Politik. Das Thünen-Institut für Waldökosysteme im brandenburgischen Eberswalde koordiniert diese Aktivitäten für Deutschland im Auftrag des BMEL für nationale und seit 2014 auch für internationale Verpflichtungen, z. B. die Arbeiten des International Cooperative Programme on Assessment and Monitoring of Air Pollution Effects on Forests (ICP Forests) der Genfer Luftreinhaltekonvention⁶. Es arbeitet an der ständigen Qualitätssicherung

⁴ Weil eine annähernd vollständige Darlegung der Ursachen für Waldschäden und ihrer Interaktionen im Rahmen dieses Hintergrundpapiers nicht möglich ist, verweisen wir auf Elling et al. (2007), die in ihrem Buch den Wissensstand zur Schädigung von Waldökosystemen zusammengefasst und anschaulich erläutert haben.

⁵ gesetzlich verankert in § 41a BWaldG

⁶ <http://icp-forests.net/>

und -verbesserung der Datengrundlagen. Die Verordnung über Erhebungen zum forstlichen Umweltmonitoring vom 20.12.2013 (ForUmV) verpflichtet die Bundesländer, die Kronenzustandserhebung im Stichprobenverfahren mit systematischer Stichprobenverteilung über das ganze Bundesgebiet (Level I) sowie eine Reihe von Untersuchungen im Intensivmonitoring (Level II) durchzuführen. Sie sichert die Fortführung eines Mindestmaßes an Untersuchungen durch die Bundesländer auch in der Zukunft. Eine Einbeziehung der Bodenzustandserhebung in diese Verordnung wird noch diskutiert. In Zusammenarbeit mit dem Thünen Institut für Waldökosysteme berichtet das UBA in Umsetzung der Richtlinie (EU) 2016/2284⁷ seit 2018 auch Daten des forstlichen Umweltmonitoring an die Europäische Kommission. Diese strebt im Zusammenhang mit der Entwicklung einer neuen Forststrategie der EU an, ihr Waldinformationssystem für Europa weiter zu entwickeln und damit alle Plattformen für Walddaten miteinander zu verknüpfen (Europäische Kommission 2020).

Das UBA beteiligte sich an der zweiten bundesweiten Bodenzustandserhebung im Wald (BZE 2) durch Koordination der Untersuchungen zu persistenten organischen Schadstoffen (siehe 3.1.5). Es nutzt Daten aus der forstlichen Umweltbeobachtung (Level I und Level II) in Forschungsprojekten, z. B. für die nationale Berechnung von Überschreitungen ökologischer Belastungsgrenzwerte (siehe 3.1.5). An zwei Standorten in Reinluftgebieten (Forellenbach im Bayerischen Wald und Neuglobsow am Stechlinsee in Brandenburg) untersucht das UBA mittels intensivem, medienübergreifendem Monitoring Stoffflüsse, Ökosystemprozesse und Wirkungen von Stoffeinträgen und Klimawandel auf die bewaldeten Gewässereinzugsgebiete⁸. Das UBA fördert Forschungsprojekte zur Entwicklung einer integrierten Bewertungsmethode für den Zustand bzw. die Entwicklung von Waldökosystemen (Ökosystemintegrität). Es untersucht Zustandsänderungen der Wälder unter Szenarien für Stoffeinträge und Klimaänderungen, um anthropogene Ursachen

von Störungen zu erkennen und Möglichkeiten des Gegensteuerns zu identifizieren (Jenssen et al. 2013, Schröder et al. 2019).

2.4 Bewirtschaftungseinflüsse

Eine nachhaltige Forstwirtschaft bewirkt, verglichen mit anderen Landnutzungsformen wie Landwirtschaft, Siedlung und Verkehr, in der Regel nur moderate Eingriffe in den Naturhaushalt, denn es erfolgen kaum Versiegelungen oder unumkehrbare Biotopzerstörungen, es werden kaum Fremdstoffe wie Pestizide oder synthetische Dünger eingesetzt usw. Andererseits ist die Kompensierung negativer Wirkungen der Bewirtschaftung und anderer anthropogenen Einflüsse und damit die Wiederherstellung intakter und stabiler Waldökosysteme nur über einen relativ langen Zeitraum möglich.

Eine grundlegende Entscheidung für die Waldentwicklung und die damit verbundenen Ökosystemleistungen treffen WaldbesitzerInnen bzw. WaldbewirtschafterInnen mit der Auswahl der Baumarten. Diese haben sowohl unterschiedliche Ansprüche an den Standort als auch Rückwirkungen auf ihn und die dort lebenden Tier- und Pflanzenarten. Nur eine naturnahe Forstwirtschaft, die auf standortheimische Arten und einen möglichst hohen Anteil Naturverjüngung setzt, kann die Kriterien einer nachhaltigen und umweltgerechten Waldwirtschaft erfüllen (mehr dazu in Kapitel 3.1.1 und 3.1.2). Obwohl nur rund ein Drittel des Waldes als naturnah oder sehr naturnah zu betrachten ist, nimmt derzeit im Zuge des ökologischen Waldumbaus, unter anderem zur Anpassung an den Klimawandel (siehe Kapitel 3.1.4), der Anteil von tendenziell naturnäheren Laub- und Mischwäldern zu. Lag der Laubwaldanteil im Jahr 1990 noch unter 34 %, betrug er im Jahr 2017 schon 45 % (Purkus et al. 2019). Dadurch muss die Holzwirtschaft ihre Verarbeitungs- und Produktlinien aber auf höhere Laubholzanteile umstellen. Nur dann ist es möglich, die einheimischen Ressourcen optimal zu nutzen und so auch zukünftig einen Beitrag zur Ressourcenschonung durch Materialsubstitution zu leisten (mehr dazu in Kap. 3.2).

Forstwirtschaft umfasst die gezielte Bewirtschaftung der Waldbestände insbesondere im Hinblick auf die nachhaltige Holzernte. Diese ist in der Regel gerichtet auf einen hohen Holz- bzw. Biomasseertrag und gesundes, bei Wertholz auf mehreren Metern möglichst astfreies Stammholz. Dabei ist der Holzvor-

⁷ Richtlinie (EU) 2016/2284 des europäischen Parlaments und des Rates vom 14. Dezember 2016 über die Reduktion der nationalen Emissionen bestimmter Luftschadstoffe, zur Änderung der Richtlinie 2003/35/EG und zur Aufhebung der Richtlinie 2001/81/EG

⁸ Standorte des ICP Integrated Monitoring, im Rahmen der Wirkungsforschung der Genfer Luftreinhaltekonvention, CLRTAP, <http://www.umweltbundesamt.de/themen/luft/messenbeobachtenueberwachen/medienuebergreifendes-monitoring-in-luftreinhaltung>

rat im Wald im regionalen Maßstab und über längere Zeiträume zu erhalten und möglichst zu vermehren. Die Auswahl, Intensität und zeitliche Frequenz der Pflegeeingriffe bestimmen den physischen Aufbau der Waldbestände und damit die Beschaffenheit von Habitaten für die Flora und Fauna. Entscheidend für die Biotopstruktur ist auch die grundsätzliche Bewirtschaftungsform, also ob es sich um einen Altersklassenwald oder einen Wald mit unterschiedlich alten Bäumen handelt. Letztere sind aufgrund ihrer horizontalen und vertikalen Strukturvielfalt reicher an unterschiedlichen Lebensräumen.

Bestandspflege und Holzernte können durch diverse Verfahren mit unterschiedlichem Mechanisierungsgrad erfolgen. Je nach Verfahren können unterschiedliche direkte und indirekte Umweltwirkungen wie Bodenverdichtung, Emissionen in Wasser, Boden, Luft oder Schäden am verbleibenden Bestand auftreten. Um die Pflegearbeiten und die Entnahme der Bäume ohne flächendeckende Befahrung durchführen zu können, werden sogenannte Rückegassen angelegt. Diese sowie ein System aus mehr oder weniger ausgebauten Forstwegen und Forststraßen dienen dem Abtransport des genutzten Holzes. Die Dichte dieser Wege ist ein Kompromiss zwischen dem Schutz des Bodens bzw. möglichst geringem Flächenverbrauch, möglichst geringer Zerschneidungswirkung und wirtschaftlichen Erfordernissen.

Zur forstlichen Bewirtschaftung gehören auch die Überwachung, Regulierung und in Ausnahmefällen Bekämpfung von Forstschädlingen sowie Waldkalkungen, um durch Versauerung degradierte Standorte wieder aufzuwerten. Der Eintrag von Fremdstoffen (Kalke, Aschen, Pflanzenschutzmittel) hat neben den gewünschten Wirkungen immer auch unerwünschte Nebenwirkungen auf den chemischen Zustand der Waldböden. Eine Bewertung der potenziellen Nutzen und Risiken dieser Bewirtschaftungsmaßnahmen findet sich im Kapitel 3.1.5.

Nicht zuletzt sind das Belassen von Totholz im Bestand, der Erhalt von Sonderbiotopen (z. B. Moore, naturnahe Bäche) der Schutz von Habitatbäumen

(z. B. Bäumen mit Bruthöhlen, Nestern und Horsten) und eine naturnahe Waldrandgestaltung Bewirtschaftungsmaßnahmen, die eine reiche biologische Ausstattung fördern und damit auch Puffer gegen diverse Störungen schaffen. Darüber hinaus sind weitere gezielte forstliche Bewirtschaftungsmaßnahmen in Abhängigkeit von der vorrangigen Waldfunktion erforderlich.

Eine mittelbare Maßnahme der forstlichen Bewirtschaftung und des Forstschutzes ist das Wildmanagement. Die oft zu hohen Schalenwildbestände in den Wäldern führen aufgrund des häufigen und gebündelten Wildverbisses zur Unterdrückung der Naturverjüngung. Weil bestimmte Baumarten bevorzugt werden, kann teilweise auch eine Entmischung des Bestandes erfolgen. Ein zu hoher Schalenwildbesatz gefährdet somit auch den gewünschten Umbau der Wälder in mehrstufige Mischwälder. Die Einzäunung, der Einsatz von Verbisschutzkappen für junge Triebe oder chemischer Mittel gegen Wildverbiss können arbeits- und kostenintensiv sein und sind zudem nicht immer für den Schutz spontaner Naturverjüngung geeignet. Eine waldgerechte Wilddichte, die die Etablierung standortheimischer Mischwälder ohne gesonderten Schutz ermöglicht, ist somit für einen nachhaltigen und umweltgerechten Waldbau notwendig. Ein anderer Aspekt ist die Berücksichtigung von Biotopanforderungen von Wildtieren einschließlich Insekten, bei der Bewirtschaftung der Wälder. Dazu zählt neben der bewussten Schonung von Alt- und Habitatbäumen Totholz, zum Beispiel auch die Erhaltung spezifischer Biotope wie Waldmoore und der strukturreiche und diverse Waldaufbau.

Bewirtschaftungsbedingte Risiken, die die Ökosystemintegrität der Wälder gefährden, entstehen durch Monokulturen, nicht standortgerechte Bestockungen, Übernutzung bzw. zu starke Auslichtung (siehe Kapitel 3.1.2), Zerschneidung (Kapitel 3.1.1), Bodenverdichtung durch die Forstmaschinen oder unangemessene Stoffeinträge (Dünge- und Pflanzenschutzmittel, siehe Kapitel 3.1.5), aber auch durch einen zu hohen Schalenwildbesatz.

3 Schutz der Wälder und nachhaltige Holznutzung – Anforderungen des Umweltbundesamtes

3.1 Ökosystemfunktionen und -leistungen der Wälder erhalten

Die Anforderungen des UBA zum Schutz und zur nachhaltigen Bewirtschaftung der Wälder beruhen auf international und national vereinbarten Grundsätzen und Rechtsgrundlagen. Dazu gehören unter anderem (die Reihenfolge stellt keine Gewichtung dar):

- ▶ der Strategische Plan der Vereinten Nationen für Wälder 2017–2030⁹ sowie das UN Forest Instrument¹⁰;
- ▶ die Grundsätze der nachhaltigen Forstwirtschaft entsprechend der Helsinki-Deklaration der Ministerkonferenz zum Schutz der Wälder in Europa (MCPFE¹¹, heute: FOREST EUROPE);
- ▶ das UN Übereinkommen zur Biologischen Vielfalt (CBD¹² mit ihrem Waldarbeitsprogramm), das für Deutschland in der Nationalen Strategie zur Biologischen Vielfalt (NBS) umgesetzt ist sowie die Biodiversitätsstrategie der EU (Europäische Kommission 2020);
- ▶ die Genfer Luftreinhaltekonvention (CLRTAP)¹³;
- ▶ Klimarahmenabkommen, das Übereinkommen von Paris (UNFCCC COP24);
- ▶ das Bundeswaldgesetz und die Waldstrategie 2020;
- ▶ das Bundesnaturschutzgesetz und die Nationale Strategie zur biologischen Vielfalt (NBS);
- ▶ die Waldgesetze der Länder;
- ▶ Klimaschutzprogramm 2030 und Klimaschutzplan 2050 der Bundesregierung.

Die EU- Strategie zur biologischen Vielfalt bis 2030 (Europäische Kommission 2020) setzt neben dem strengen Schutz in der EU noch verbliebener Urwälder den Schwerpunkt auf die Verbesserung der „Quantität, Qualität und Widerstandsfähigkeit ihrer Wälder“, insbesondere im Hinblick auf Bedrohungen durch den Klimawandel. Für das Jahr 2021 kündigt die Europäische Kommission eine Überarbeitung der EU-Forststrategie an.

In diesem Zusammenhang sind weiterhin die rechtlich unverbindliche Waldübereinkunft der Vereinten Nationen¹⁴, die 2030-Agenda für nachhaltige Entwicklung¹⁵ und die darauf aufbauende Deutsche Nachhaltigkeitsstrategie¹⁶, die bisher gültige EU Waldstrategie¹⁷, die New York Declaration on Forests¹⁸ und die Beschlüsse der 7. Forstministerkonferenz im Oktober 2015 in Madrid¹⁹ zu nennen. Einige der Dokumente enthalten Konzeptionen einer nachhaltigen Waldwirtschaft. Sie bilden neben den oben dargestellten Grundsätzen und Rechtsgrundlagen den weiteren Orientierungsrahmen, den es für Deutschland zu konkretisieren gilt. Die nachfolgend formulierten Anforderungen berücksichtigen über die Waldbewirtschaftung hinaus auch umweltpolitische Aspekte, die auf den Wald einwirken wie die effiziente und ressourcenschonende Nutzung von Holz als Rohstoff und Energiequelle.

3.1.1 Nutzungsansprüche sind vielfältig – und es gibt Flächenkonkurrenzen

Multifunktionalität der Wälder und Nutzungskonflikte

Der Wald erfüllt zahlreiche wichtige Funktionen in unserer Kulturlandschaft, die über die reine Holzproduktion weit hinausgehen (vgl. Box 1). Sie sind von großer Bedeutung für den Erhalt unserer natürlichen

9 https://www.un.org/esa/forests/wp-content/uploads/2017/09/UNSPF-Briefing_Note.pdf

10 https://www.un.org/esa/forests/wp-content/uploads/2018/08/UN_Forest_Instrument.pdf

11 Ministerial Conference for Protection of Forests in Europe

12 UN Convention on Biological Diversity

13 UNECE Convention on Long-range Transboundary Air Pollution

14 UN Forest Instrument

15 UN Resolution A/RES/70/1 „Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development“

16 <https://www.bundesregierung.de/resource/blob/975274/318676/3d30c6c2875a9a08d364620ab7916af6/2017-01-11-nachhaltigkeitsstrategie-data.pdf?download=1>

17 COM(2013) 659 final/2

18 <https://forestdeclaration.org/>

19 <http://www.foresteuropemadrid2015.org/documents-7th-conference/>

Lebensgrundlagen. Die Aufgabe, diese Multifunktionalität der Wälder bestmöglich zu wahren, ist in der Forstwirtschaft grundsätzlich akzeptiert.

Eine rechtsverbindliche Definition der nachhaltigen Waldbewirtschaftung existiert bisher nicht. Die NBS strebt eine naturnahe Bewirtschaftung der Wälder im Einklang mit ihren ökologischen und sozialen Funktionen an. Die Waldübereinkunft der Vereinten Nationen von 2007 enthält erstmals eine weltweit gültige, aber rechtlich unverbindliche, Definition nachhaltiger Waldbewirtschaftung:

„Die nachhaltige Waldbewirtschaftung als dynamisches und sich entwickelndes Konzept verfolgt das Ziel, die wirtschaftlichen, sozialen und ökologischen Werte aller Arten von Wäldern zum Wohle gegenwärtiger und künftiger Generationen zu erhalten und zu verbessern.“

Auch die Definition nachhaltiger Waldbewirtschaftung der Helsinki-Deklaration von FOREST EUROPE bezieht sich auf das Prinzip der Multifunktionalität. Demnach ist nachhaltige Forstwirtschaft

„...die Betreuung und Nutzung von Wäldern und Waldflächen auf eine Weise und in einem Ausmaß, welche deren biologische Vielfalt, Produktivität, Verjüngungsfähigkeit und Vitalität erhält sowie deren Potenzial, jetzt und in der Zukunft die entsprechenden ökologischen, wirtschaftlichen und sozialen Funktionen auf lokaler, nationaler und globaler Ebene zu erfüllen, ohne anderen Ökosystemen Schaden zuzufügen.“

siehe auch die sechs übergreifenden Kriterien der nachhaltigen Forstwirtschaft in Box 2.

Box 2: Sechs übergreifende Kriterien einer nachhaltigen Waldbewirtschaftung, erarbeitet durch FOREST EUROPE auf seiner Konferenz in Wien (2003)¹:

- ▶ Erhaltung und angemessene Verbesserung der forstlichen Ressourcen sowie Erhalt und Ausbau des Kohlenstoffspeichers Wald
- ▶ Erhaltung der Gesundheit und Vitalität von Waldökosystemen
- ▶ Erhaltung und Förderung der Produktionsfunktion der Wälder, sowohl für Holz als auch Nicht-Holzprodukte²
- ▶ Erhaltung, Schutz und adäquate Verbesserung der biologischen Vielfalt in Waldökosystemen
- ▶ Erhaltung, Schutz und angemessene Verbesserung der Schutzfunktion bei der Waldbewirtschaftung, vor allem von Boden und Wasser
- ▶ Erhaltung sonstiger sozio-ökonomischer Funktionen

¹ Offizielle Übersetzung MCPFE, siehe http://www.foresteurope.org/docs/viena/vienna_german.pdf
² z. B. Wild, Früchte, Schmuckreisig, Kräuter

Das Modell der nachhaltigen Waldbewirtschaftung zielt also auch darauf ab, die vielfältigen Waldfunktionen inklusive der Holzproduktion miteinander in Einklang zu bringen. Im internationalen Vergleich setzt die deutsche Forstwirtschaft dieses Leitbild bereits in weiten Teilen vorbildlich um. Lokal und regional gibt es aber Abweichungen. Es besteht daher auch in Deutschland die Notwendigkeit, die Waldbewirtschaftung umwelt- und naturverträglicher zu machen. Denn die gegenwärtig erhöhte Nachfrage nach Holz, veränderte Produktionsbedingungen durch den Klimawandel und Stoffeinträge, ein wirksamerer Biodiversitätsschutz und weitere

Ansprüche der Gesellschaft (z. B. Erholung und Freizeitgestaltung) an den Wald erfordern eine ständige Überprüfung und Anpassung des Managements. Wichtigstes Ziel ist dabei „vielfältige, resiliente Wälder zu entwickeln, die mit den Veränderungen des Klimawandels zurechtkommen, sich anpassen oder neu organisieren können und dabei ihre grundlegenden Funktionen und ökologischen Leistungen beibehalten. [...] Wälder sind dabei wieder stärker als Ökosysteme zu betrachten, die neben der Holzerzeugung vielfältige und wichtige ökologische Leistungen für Natur und Gesellschaft erbringen“ (BfN 2020).

Die Mehrheit der Deutschen (80 %) befürwortet die nachhaltige forstliche Nutzung des Waldes (UFZ 2009). Rund 70 % der Deutschen nutzen den Wald regelmäßig zur Erholung und zwar auch außerhalb ausgewiesener Erholungsgebiete. Nach Zahlen des Thünen-Instituts (TI) besuchen mehr als 55 Mio. Menschen in Deutschland mindestens einmal im Jahr den Wald (Elsasser & Weller 2013). Das Bundeswaldgesetz gestattet allen Bürgern (mit bestimmten Einschränkungen) das Betreten des Waldes zu Erholungszwecken auf eigene Gefahr. Das Konfliktpotenzial zwischen Holznutzung und naturnaher Erholungsnutzung ist relativ gering. Vielfältige, abwechslungsreiche Wälder mit sehr guter Lebensraumfunktion für Pflanzen und Tiere unterstützen die Erholungs- und Bildungsfunktion des Waldes. Allerdings haben nicht alle Erholungssuchenden diesbezüglich hohe Erwartungen. Konflikte zwischen dem Schutz der Lebensraumfunktion und Erholung ergeben sich insbesondere bei intensiveren Formen der Erholung, die mit Lärm, Schadstoffemissionen oder einem stärkeren Ausbau von Infrastrukturen, z. B. für Unterkunft oder Sport verbunden sind. Auch das stetige Beunruhigen des Wildes oder Störungen durch Erholungssuchende während der Brutzeit von Vögeln oder Trittbelastungen auf empfindlicher Vegetation sind Beispiele für Konflikte. Um diese Konflikte zu adressieren und zu lösen, hat das BMEL im Jahr 2017 die Bundesplattform „Wald – Sport, Erholung, Gesundheit“ (WaSEG)²⁰ gegründet.

Die sogenannten Schutzfunktionen des Waldes, wie der Schutz und die Reinhaltung von Luft, Wasser, Boden, die Regulierung des Wasserhaushalts und des lokalen Klimas oder der Schutz vor Lawinen und Erosion sind im Wesentlichen von der Vitalität und Widerstandsfähigkeit der Waldökosysteme abhängig (vgl. die Kapitel 3.1.3 ff., zum Schutz der Biodiversität siehe nächster Abschnitt). Daher können diese Funktionen häufig zeitgleich und konfliktarm mit anderen Nutzungsansprüchen in Einklang gebracht werden, sofern die Waldgesundheit nicht nachteilig beeinflusst wird. Monokulturen und einschichtige Waldbestände sind eher gefährdet ihre Schutzfunktion zu verlieren. Mehrschichtige, naturnahe Bestände, insbesondere Mischwälder, sind weniger störungsanfällig, so dass sie die Schutzfunktion

sicherer erfüllen können. Daher ist es auch Ziel der Bundesregierung, eine naturnahe Waldbewirtschaftung auf möglichst der gesamten forstwirtschaftlichen Fläche zu erreichen. Dieses Ziel hat sie sich bereits in der ersten Strategie für eine nachhaltige Entwicklung gesetzt (Bundesregierung 2002, S. 235) und mehrfach bekräftigt, zuletzt im Klimaschutzprogramm 2030 (Bundesregierung 2019). Auch das UN Forest Instrument²¹ wie auch FOREST EUROPE bezieht die Vitalität der Waldökosysteme und den Erhalt der Schutzfunktionen in ihr Verständnis für eine nachhaltige Waldwirtschaft mit ein.

Viele der vom Wald bereitgestellten Dienstleistungen und Funktionen sind für die Gesellschaft von großer Bedeutung, können allerdings je nach Art und Umfang der Bewirtschaftung und die dadurch möglicherweise entstehende Fokussierung auf die Holzproduktion nicht in vollem Maße durch die Waldbesitzer zur Verfügung gestellt werden bzw. sind mit höheren Kosten verbunden (vgl. z. B. Dög et al. 2016). Nach einem Urteil des Bundesverfassungsgerichts soll der öffentliche Wald, das ist Staats- und Körperschaftswald, in erster Linie der Erhaltung der Umwelt- und Erholungsfunktionen des Waldes dienen²². Demgegenüber werden an Privatwälder diese hohen Anforderungen nicht gestellt. Denn grundsätzlich hat der Gesetzgeber bei privatem Besitz deutlich weniger Befugnisse, Vorgaben bezüglich des Schutzes der ökologischen Leistungen zu machen. Wenngleich auch private Waldbesitzer grundsätzlich der Sozialbindung des Eigentums unterliegen, sind finanzielle oder marktwirtschaftliche Anreize das naheliegendste Instrument, um auch im Privatwald den Einklang der multiplen Funktionen zu erhalten. Hierzu ist die Vergütung ökologischer und sozialer Leistungen des Waldes nach dem Vorbild des Vertragsnaturschutzes in der Landwirtschaft ein häufig diskutierter Ansatz. Die Einführung von klar definierten und gesetzlich verankerten ökologischen Mindeststandards (Prinzipien der guten fachlichen Praxis) bietet hierfür eine wichtige Grundlage (Winkel und Volz 2003, SRU 2012, BfN 2020). Ihre Einhaltung sollte von jedem Bewirtschafter eingefordert werden können. Sie sollten so definiert werden, dass die eigenständige ökonomische Tragfähigkeit der Forstbetriebe grundsätzlich gewährleistet ist. Bereits die

20 <https://www.bmel.de/DE/themen/wald/wald-sport-erholung-gesundheit-waseg.html>

21 https://www.un.org/esa/forests/wp-content/uploads/2018/08/UN_Forest_Instrument.pdf

22 Vgl. BVerfG, Urteil vom 31.05.1990, NVwZ 1991, S. 53

Nationale Biodiversitätsstrategie (NBS) forderte, diese Grundsätze im Bundeswaldgesetz und den Waldgesetzen der Bundesländer zu verankern. Das Umweltbundesamt unterstützt nachdrücklich das Bestreben des BMU in der Naturschutz-Offensive 2020, „dass Bund und Länder gemeinsam mit allen Akteuren klare und vergleichbare Kriterien für eine gute fachliche Praxis in der Waldbewirtschaftung festlegen“, zumal sich auch aus aktuellen Grundsatzurteilen eine Notwendigkeit ergeben kann (vgl. BfN 2020, S. 21). Inzwischen kündigt die EU-Kommission in ihrer Biodiversitätsstrategie (Europäische Kommission 2020) an, parallel zur Erarbeitung der neuen Forststrategie ihre Leitlinien für die biodiversitätsfreundliche Aufforstung, Wiederaufforstung sowie naturbasierte forstwirtschaftliche Verfahren zu überarbeiten. Diese Leitlinien können, wenn sie konkret und ambitioniert genug gestaltet sind, helfen Mindeststandards zu definieren. Darüber hinaus gehende Maßnahmen können dann bewertet und entsprechend honoriert werden. Bisher gibt es im Bundeswaldgesetz, § 11 (bis § 13) nur sehr allgemeine Festlegungen zur nachhaltigen Bewirtschaftung. Sie zielen im Wesentlichen darauf ab, die Waldfläche und ausgewählte Waldfunktionen zu erhalten. Die Länder konkretisierten die Anforderungen an die „ordnungsgemäße Forstwirtschaft“ in ihren Landeswaldgesetzen mit unterschiedlichem Detailgrad und Anspruchsniveau.

Die Biodiversitätsstrategie der EU sieht weiterhin vor, dass für alle öffentlich bewirtschafteten Waldflächen Bewirtschaftungspläne erstellt werden und der Anteil privater Flächen mit Bewirtschaftungsplänen erhöht wird, wobei naturbasierte forstwirtschaftliche Verfahren weiterentwickelt werden sollen.

Als privatwirtschaftliches Instrument bieten zudem ökologisch anspruchsvolle Zertifizierungen wie das „Forest Stewardship Council“ oder „Naturland“ Anreize, Erfordernisse des Umwelt-, Natur- und Artenschutzes über die gesetzlichen Anforderungen hinaus zu erfüllen (siehe auch folgenden Abschnitt).

Die Herausforderung: Genug Holz und mehr Biodiversität

Wälder sind Lebensräume für viele Arten, darunter solche, die nur im Wald existieren können. Der Schutz der Lebensraumfunktion der Wälder ist deshalb und wegen des hohen Flächenanteils von Wäldern in Deutschland unabdingbar, um eine

weitere Verschlechterung des Erhaltungszustands von Arten mit ihrer genetischen Variabilität sowie von Lebensräumen zu vermeiden.

Die konsequente Umsetzung einer nachhaltigen Waldbewirtschaftung unter gleichberechtigter Berücksichtigung sozialer, ökologischer und ökonomischer Aspekte ist eine wichtige Voraussetzung für integrativen Biodiversitätsschutz in der Waldwirtschaft. Dabei ist das langfristig verfügbare Holzangebot auf ein ökologisch vertretbares Maß begrenzt. Die politisch angeregte Erhöhung der Holznachfrage und die daraus ableitbaren Intensivierungsbemühungen in der Holzproduktion führen jedoch zu einem Interessenskonflikt, den es aufzulösen gilt (vgl. Kapitel 3.1.2).

Die Bundesregierung verabschiedete 2007 die NBS zur Umsetzung der CBD. Sie enthält Qualitäts- und Handlungsziele sowie Maßnahmen zum Schutz der Biodiversität der Wälder. Um bewerten zu können, wie weit die Ziele der NBS erreicht sind, gibt es für den Wald bisher zwei Indikatoren. Der „Nachhaltigkeitsindikator für den Artenschutz“ bilanziert die Bestände von 59 Vogelarten und weist für den Teilindikator „Wälder“ mit 90 % (2019) bereits einen Erfüllungsgrad im Bereich des Nachhaltigkeitsziels auf²³, bis 2030 100 % zu erreichen²⁴. Der Indikator „Flächenanteil zertifizierter Waldflächen“ soll den Anteil der Waldfläche, die nachhaltig forstwirtschaftlich genutzt wird, verdeutlichen. Er weist einen positiven Trend und einen guten Erfüllungsgrad auf, wenn man alle Zertifizierungssysteme (Programme for the Endorsement of Forest Certification Schemes (PEFC), Forest Stewardship Council (FSC) und Naturland) zusammennimmt. Insgesamt waren im Jahr 2019 zwischen 75 und 83 % der Waldfläche in Deutschland zertifiziert²⁵. Das Ziel für 2010 waren 80 %. Auf Unterschiede der Zertifikate geht das Kapitel 3.1.2 ein.

Neben diesen direkt auf den Wald bezogenen NBS-Indikatoren gibt es weitere, die für den Schutz der Waldökosysteme eine große Bedeutung haben, z. B. zur Flächeninanspruchnahme und Zerschneidung, zum Erhaltungszustand von FFH-Lebensraumtypen

²³ Nachhaltige Entwicklung in Deutschland, Indikatorenbericht 2018, Statistisches Bundesamt

²⁴ Indikatorenbericht 2014 zur Nationalen Strategie zur Biologischen Vielfalt

²⁵ Es kann nicht exakt bestimmt werden, wie hoch der tatsächliche Anteil der zertifizierten Fläche ist, da ein Teil der Waldflächen, insbesondere der Landesforsten, nach PEFC und FSC zertifiziert ist

(Wälder haben einen großen Anteil) und zum landwirtschaftlichen Stickstoffüberschuss in der Gesamtbilanz (wegen Eutrophierungswirkungen, siehe Kapitel 3.1.5).

Eines der am meisten diskutierten Themen der nachhaltigen Waldnutzung ist das Ziel der NBS, 5 % der Waldfläche insgesamt (im Staatswald 10 %) einer natürlichen Entwicklung zu überlassen, also aus der Nutzung zu nehmen. Die Waldbesitzerinnen und -besitzer lehnen eine solche Ausweitung überwiegend ab bzw. sehen diese als bereits erfüllt an. Sie argumentieren unter anderem mit dadurch angeblich geminderter Kohlenstoffbindung, geringerer Eigenversorgung mit Holz aus Deutschland und potenziellen Auswirkungen auf die einheimische Holzwirtschaft, ggf. dadurch erhöhte Importe aus möglicherweise weniger nachhaltig produzierenden Ländern. Aus Sicht des UBA gefährdet das NBS-Ziel weder den Klimaschutz noch die nachhaltige Deckung des Holzbedarfs in Deutschland (siehe nachfolgende Kapitel): Als Vorteile sieht das UBA unter anderem einen besseren Erhalt der Biodiversität und die Möglichkeiten, hinsichtlich der Erfüllung von Ökosystemfunktionen und des Ausgleichs von Störungen (z. B. durch Klimaänderungen) von der Natur zu lernen. Ein Problem in der Akzeptanz und Umsetzung dieses NBS-Ziels bestand darin, dass es 2007 keinen genauen Überblick gab, welche nutzungsfreien Flächen bereits heute auf die 5 % anzurechnen sind und wie viel weitere nutzungsfreie Wälder erforderlich sind. Laut einer durch das Bundesamt für Naturschutz (BfN) geförderten Studie können 2,8 % der Waldfläche in Deutschland als dauerhaft gesicherte Flächen mit natürlicher Entwicklung bilanziert werden (Engel et al. 2019)²⁶. Um das angestrebte Ziel zu erreichen, wären also lediglich 2,2 % der Waldfläche zusätzlich erforderlich (das Thema wird im Abschnitt 4.2 erneut aufgegriffen).

Aus Sicht des UBA greift die Waldstrategie 2020 der Bundesregierung waldbezogene Handlungsziele der NBS nur ungenügend auf. Zum Beispiel geht sie nicht auf die „Entwicklung einer Strategie von Bund und Ländern zur vorbildlichen Berücksichtigung der Biodiversitätsbelange für Wälder in öffentlich-rechtlicher Hand“ oder die „klarere Fassung der

Grundsätze einer nachhaltigen Waldbewirtschaftung im Gesetz“ ein. Daher unterstützt das UBA die Forderung des BMU, verbindliche Forderungen der guten fachlichen Praxis der Waldbewirtschaftung im Bundeswaldgesetz zu verankern, um Umwelt- und Naturschutzaspekte entsprechend zu stärken.

Wald bedeckt rund ein Drittel der Fläche Deutschlands

Die Ausweitung der Landwirtschaft, von Siedlungen, Verkehr, Bergbau und Industrie drängten den Wald im Laufe der Jahrhunderte auf etwa ein Drittel der ursprünglichen Fläche zurück. Heute sind noch 11,4 Mio. Hektar, also rund ein Drittel der Landesfläche Deutschlands mit Wald bedeckt.

In den vergangenen vier Jahrzehnten nahm die Waldfläche Deutschlands um ca. 1 Mio. Hektar zu. Ihr Anteil an der Gesamtfläche Deutschlands blieb damit relativ konstant im Unterschied zur Landwirtschaftsfläche, die seit Jahren zugunsten von Siedlungs- und Verkehrsflächen, des Rohstoffabbaus und auch des Waldes schrumpft. Die Zunahme der Waldfläche erfolgte vor allem durch Aufforstungen auf dem Gelände ehemaliger Truppenübungsplätze, in Bergbaufolgelandschaften sowie von ehemals landwirtschaftlich genutzten Flächen.

Dass Waldfläche kaum in andere Nutzungen umgewandelt wird, liegt daran, dass jede Umwandlung von Waldfläche durch die Länder zu genehmigen ist. Die Genehmigung soll nach Bundeswaldgesetz § 9 Abs. 1 Satz 3 versagt werden, wenn die Erhaltung des Waldes überwiegend im öffentlichen Interesse liegt, insbesondere wenn der Wald für die Leistungsfähigkeit des Naturhaushalts, die forstwirtschaftliche Erzeugung oder die Erholung der Bevölkerung von wesentlicher Bedeutung ist. Die starke Stellung der für Wald zuständigen Behörden in den Ländern manifestiert sich darin, dass sie in vielen Fällen die Genehmigung zur Umwandlung versagen oder an die Auflage koppeln, ersatzweise an anderer Stelle – meist zulasten landwirtschaftlicher Flächen – mindestens die gleiche Fläche (häufig sogar ein Mehrfaches) aufzuforsten. Die häufig angeordnete Aufforstung einer größeren als durch Waldumwandlung verlorenen gegangenen Fläche ist darin begründet, dass die Neuanlage von Wäldern als Ersatz für die Rodung alter Waldbestände nur sehr langfristig (zum Teil über viele Generationen) zum annähernden Ausgleich der verlorenen Funktionen führt.

²⁶ Siehe auch https://www.bfn.de/presse/pressemitteilung.html?tx_ttnews%5Btt_news%5D=6608,

Zur Nutzung der begrenzten Ressource Fläche ist die Entwicklung von integrierten nachhaltigen Landnutzungskonzepten auf regionaler Ebene von großer Bedeutung. Mit 32 % der Landesfläche ist der Wald hierbei ein wesentlicher Bestandteil. Die Landes- und Regionalplanung sollte gestärkt und das vorhandene Instrumentarium der Raumordnung zur Begrenzung der Außenentwicklung zielführend angewendet werden. Neben den Möglichkeiten des Raumordnungsgesetzes zählen hierzu auch ämterübergreifende Organisationsstrukturen, die ein effektives Flächenmanagement ermöglichen oder die gezielte Aktivierung von Potenzialen zur Innenentwicklung. Die notwendigen Rahmenbedingungen zugunsten regionaler Kooperationen, wie dem Flächenzertifikatehandel²⁷, sind weiter zu verbessern, um die kontraproduktiven Auswirkungen des interkommunalen Wettbewerbs um Einwohner und Steuerzahler zu mildern.

Neben Verkehrsinfrastruktur und Siedlungs- und Gewerbefläche können auch der Ausbau der Energieinfrastruktur oder die Intensivierung von Erholungsnutzung und Tourismus zu einer Zerschneidung von Waldflächen führen oder zulasten des mit Bäumen bewachsenen Teils²⁸ der Waldfläche gehen, z. B.:

- ▶ Windenergieanlagen im Wald mit ihren Zuwegen und Anschlüssen an das Stromnetz. Das UBA sieht es trotz möglicher, lokal oder regional flächenrelevanter Eingriffe in Wälder grundsätzlich als notwendig an, auch diese als potenzielle Standorte für Windenergieanlagen bzw. Flächen für den Ausbau von Stromleitungstrassen in Betracht zu ziehen;
- ▶ Leitungstrassen, die dem überregionalen Stromtransport dienen und von Baumbestand freizuhalten sind bzw. nur niedrigen Bewuchs erlauben;
- ▶ Ausbau des Netzes der Forststraßen,²⁹ um geerntetes Holz besser erreichen und abtransportieren zu können;
- ▶ Anlage und Ausweitung von Schutzhütten, Anlagen für Ski- oder Wassersport.

Hier liegen multiple Zielkonflikte vor, unter anderem zwischen einem umfassenden Schutz der Waldökologie, der angestrebten Minderung der Flächeninanspruchnahme, der Nutzung erneuerbarer Energien und der damit verbundenen Notwendigkeit des Ausbaus der Infrastrukturen, der Effizienz der Forstwirtschaft oder dem Ausbau des Tourismus. Hinsichtlich des Naturhaushalts (Waldökologie) ist zu beachten, dass sich Baumaßnahmen innerhalb von Waldökosystemen auf Stoff-, Energie und Wasserflüsse im System, auf das lokale Klima sowie die Lebensraumfunktion des Waldes auswirken. Damit sind in der Regel, zusätzlich zu Zerschneidungswirkungen, weitere negative Wirkungen auf die Vitalität der Waldökosysteme verbunden und wichtige Waldfunktionen eingeschränkt. Weitere Forschung zu den Wirkungen bestimmter Eingriffe ist erforderlich.

Um die ökologischen Auswirkungen von Eingriffen zu minimieren, sollten folgende Bedingungen berücksichtigt werden:

- ▶ unvermeidbare Eingriffe räumlich bündeln, statt sie breit zu streuen;
- ▶ Altbestände und alte Waldstandorte besonders schonen;
- ▶ Windenergieanlagen nur an Standorten in räumlicher Nähe zu bestehenden Forststraßen, Leitungstrassen, Waldeinteilungs- und Sicherungstreifen errichten;
- ▶ Unvermeidliche negative Wirkungen möglichst vor Ort ausgleichen;
- ▶ Ausweitung der Siedlungs- und Verkehrsflächen bis 2020 auf 30 Hektar pro Tag reduzieren und bis 2050 beenden;
- ▶ Siedlungsbrachen oder nicht mehr benötigte Straßen und Wegen entsiegeln, um Neuversiegelungen auszugleichen.

Im Übrigen ist zu prüfen, ob eine Einbindung der Flächenansprüche neuer Infrastrukturen im Wald, die die Nutzung von Waldflächen so stark überformen, dass kein Baumbewuchs mehr möglich ist, in ein Konzept zum Handel mit Flächenzertifikaten eingebunden werden sollte. Der Handel mit Flächen-

²⁷ <https://www.umweltbundesamt.de/themen/boden-landwirtschaft/flaechensparen-boeden-landschaften-erhalten/handel-flaechenzertifikaten#modellprojekt-handel-mit-flaechenzertifikaten>

²⁸ Zur Waldfläche gehören auch kahlgeschlagene und verlichtete Grundflächen, Waldwege, Waldeinteilungs- und Sicherheitsstreifen, Waldblößen und Lichtungen, Waldwiesen, Wildäsnungsplätze, Holzlagerplätze sowie weitere mit dem Wald verbundene und ihm dienende Flächen

²⁹ Selbst wenn Forststraßen noch zur Waldfläche zählen, gehen sie zulasten der baumbestandenen Flächen

zertifikaten wurde im Rahmen eines Modellversuchs, in dem Kommunen bundesweit mit Zertifikaten handeln, erprobt (Henger et. al 2019).

Eine theoretische Möglichkeit, Nutzungskonflikte auf der Waldfläche zu entschärfen, stellt die weitere Ausdehnung der Waldfläche dar. Obwohl diese Option wegen der vielfältigen positiven Ökosystemwirkungen von Wald durchaus wünschenswert wäre, verfolgt das UBA dies wegen der Konkurrenz mit anderen Landnutzungsarten nicht als vorrangiges Ziel. Anbausysteme wie Kurzumtriebsplantagen oder Agroforstsysteme können einen begrenzten Beitrag zur zusätzlichen Holzproduktion leisten, sofern sie bestimmte Anforderungen der Natur- und Umweltverträglichkeit und Nachhaltigkeit insgesamt erfüllen.³⁰ Sie gehören jedoch nicht zur Waldfläche.

3.1.2 Waldwirtschaft als Pfeiler einer integrierten nachhaltigen Biomassestrategie

Die Grenzen der Holzproduktion – Nährstoffnachhaltigkeit

Die von der Bundesregierung in verschiedenen Strategien und Aktionsplänen vorgegebenen Ziele zur steigenden stofflichen und der klimapolitisch bedingten verstärkten energetischen Nutzung von Holz (z. B. Waldstrategie 2020, Charta für Holz 2.0, Klimaschutzprogramm 2030) können dazu führen, dass die Nachfrage nach Holz in Deutschland weiter wächst und eventuell langfristig das Dargebot übersteigt. Auch die Waldstrategie 2020 weist eine gewünschte Nutzungssteigerung auf rund 100 Mio. m³/Jahr aus. Hierbei ist zu bedenken, dass im Jahr 2015 der Holzeinschlag mit rund 83 Mio. m³ oder 95 % des nutzbaren Nettozuwachses³¹ seinen bisherigen Höchststand erreichte und aktuell mit rund 80 Mio. m³ bei knapp 90 % des Nettozuwachses liegt (Statistisches Bundesamt 2019a). Die Zielvorgabe der Waldstrategie 2020 fordert somit aus Sicht des Umweltbundesamtes die maximale Nutzung des Zuwachses oder gar eine Absenkung des Holzvorrates.

Der steigende Nutzungsdruck auf die Wälder birgt jedoch zunehmend die Gefahr, die bereits erreichten Veränderungen und Fortschritte einer umweltver-

träglichen und nachhaltigen Waldnutzung zu konterkarieren und die Ziel- und Nutzungskonflikte weiter zu verschärfen. Die meisten der Landeswaldgesetze der deutschen Bundesländer enthalten das Gebot, nachhaltige Waldwirtschaft im Sinne der Helsinki-Deklaration zu betreiben. Leider wird das Konzept Nachhaltigkeit jedoch teilweise noch immer auf die Produktionsfunktion des Waldes reduziert, indem schlicht nicht mehr Holz geschlagen werden soll, als nachwächst. Dieses eindimensionale Verständnis deckt jedoch nur einen Teilaspekt nachhaltiger Forstwirtschaft ab. Bereits innerhalb des Aspekts der Erntemengen muss die Nährstoffbilanz beachtet werden. So kann trotz positiver Mengenbilanz je nach Standort eine Übernutzung der Nährstoffvorräte erfolgen (insbesondere bzgl. Phosphor und basischer Kationen). Besonders bei Vollbaumernte³² oder der Nutzung von Reisholz kann auf empfindlicheren Standorten eine Übernutzung hinsichtlich des Nährstoffnachlieferungsvermögens eintreten, die bei einer reinen Mengenbetrachtung (Zuwachs zu Nutzung) nicht ersichtlich ist (vgl. z. B. Weis & Göttlein 2012; Kolb & Göttlein 2012; Meiwes et al. 2008; Kölling et al. 2007). Bei Ganzbaumernte³³ ist dieses Risiko noch höher. Von Wilpert et al. (2018) konnten zeigen, dass auf rund 42 % der Waldfläche die aktuelle Nährelementbilanz ausreichend ist, um die aktuelle Nutzungsintensität aufrecht zu erhalten. Hingegen wird sich auf rund 58 % der Waldfläche bei aktueller Nutzungsintensität für mindestens ein Nährelement ein Defizit ergeben. Daher ist aus Sicht des UBA die Betrachtung der Nährstoffkreisläufe in die Hiebplanung zu integrieren. Vielversprechend ist, das Nährstoffnachlieferungsvermögen des Bodens in den forstlichen Standortskarten einzutragen und in der forstlichen Planung bzw. der Forsteinrichtung zu berücksichtigen. Mögliche Ansätze werden bereits intensiv wissenschaftlich diskutiert (vgl. z. B. Meiwes et al. 2008 oder Kolb & Göttlein 2012). Im Forschungsprojekt „Energieholzernte und stoffliche Nachhaltigkeit in Deutschland (EnNa)“ wurde ein deutschlandweites Indikatorenset zur Bewertung der Nährstoffnachhaltigkeit der Holzernte auf Basis der Bundeswaldinventur entwickelt (von Wilpert et al. 2018), welches eine wichtige Grundlage für die Aufnahme des Nährstoffentzugs in die Standortskartierung darstellt.

³⁰ Vgl. z. B. UBA (2008), BfN (2010)

³¹ Der nutzbare Zuwachs ist der Teil des Nettozuwachses, biologische Produktion minus Mortalität, der für die Holzproduktion verfügbaren Flächen, der nach Abzug von nicht verwertbarem Holz und des Zuwachses auf Flächen, welche aus der Nutzung herausgenommen wurden, verbleibt.

³² Nutzung der gesamten oberirdischen Biomasse der Waldbäume

³³ Nutzung des gesamten Baumes einschließlich Wurzel

Die Ausbringung von Holzasche als Beimischung zu Waldkalkungen mit dem Ziel, erntebedingte Nährstoffdefizite auszugleichen, entspricht aus Sicht des UBA nicht der naturnahen Waldwirtschaft. Die ökologisch vertretbare Erntemenge muss sich vielmehr am natürlichen Nährstoffnachlieferungsvermögen des Bodens orientieren. Genau wie die Waldkalkung selbst ist eine Beimischung von Holzasche nur akzeptabel, wenn das Ziel verfolgt wird, versauerungsbedingte Schäden zu kompensieren und dabei ein pflanzenphysiologisch gesundes Nährstoffverhältnis wieder herzustellen. Zusätzliche Schadstoffeinträge, zum Beispiel Schwermetalle, sind zu vermeiden. Das Thema wird in Kapitel 3.1.5 vertieft.

Auch hinsichtlich nichtstofflicher Belange können durch die Intensivierung der Forstwirtschaft langfristig wirksame Schäden verursacht werden. So führt z. B. die Rodung von Wurzelstöcken oder die Ernte ganzer Bäume einschließlich der dafür notwendigen ganzflächigen Befahrung zu einer erheblichen Beeinträchtigung des Bodens. Aber auch die verstärkte Befahrung der Rückegassen mit Holzerntemaschinen verdichtet Böden und schädigt damit Bodenleben und Wasserhaushalt.

Möglichkeiten Erträge nachhaltig zu steigern

Wie von Wilpert et al. (2018) zeigen, ist unter dem Aspekt der Nährstoffnachhaltigkeit eine Steigerung der Nutzungsintensität nur auf rund 12 % der Waldfläche vertretbar. Das heißt, durch die Nutzung von Kronenmaterial und Rinde könnte dort ein rund 20 % höherer Biomasseertrag erzielt werden. Dabei ist zu beachten, dass dieses Material ökonomisch genutzt werden kann, d. h. im Wesentlichen in innovativen stofflichen Wertschöpfungsketten (vgl. auch Kapitel 3.2.3).

Zur Rekultivierung, beispielsweise von Tagebaugebieten und bei der Wiederbewaldung von Brachflächen oder großen Kalamitätsflächen, können sogenannte Vorwälder eine Maßnahme zur Ertragsteigerung insbesondere für Nutzungen geringdimensionierter Holzsortimente sein. Hierbei werden die unbewaldeten Flächen oder Flächen mit nicht ausreichender Naturverjüngung als Vorwald mit schnellwachsenden, einheimischen Baumarten bepflanzt. Diese können nach einem Zeitraum von zehn bis dreißig Jahren genutzt werden. Hierbei ist die Nährstoffnachhaltigkeit zwingend zu berücksichtigen. Vorwälder können durchaus auch positive

Effekte auf die Nährstoffverfügbarkeit im Oberboden aufweisen (vgl. Stark et.al 2011). So können Laubbäume wie Pappeln oder Ebereschen Nährstoffe aus tieferen Bodenschichten erschließen und über ihr im Herbst fallendes Laub den Oberboden mit Nährstoffen und Humus anreichern. Im Schutz des Vorwaldes können sich die eigentlichen Hauptbaumarten zur Wertholzproduktion auf der Fläche etablieren, wobei die Lichtverhältnisse in solchen Beständen dazu beitragen, die angestrebte astfreie Stammlänge der Wertholzbäume zu erreichen. Darüber hinaus verbessern Vorwälder den Erosionsschutz und mindern Nährstoffauswaschungen.

Auch die Weiterentwicklung historischer Waldbau- und Waldnutzungssysteme kann ein Weg zur nachhaltigen Ertragssteigerung sein: So waren die durch wiederholtes Fällen relativ junger und regenerationsfähiger Bäume (Stockausschlag) entstanden Niederwälder lange Zeit für die Versorgung mit Holz, insbesondere zur energetischen Nutzung, von großer Bedeutung. Ebenso die Mischform aus Nieder- und Hochwald, der Mittelwald. Diese Waldbausysteme könnten eine Lösung vor allem für Standorte sein, die nur bedingt zur Stammholzproduktion geeignet sind. Aufgrund der kleinstandörtlichen Bedingungen können solche historischen Waldbausysteme an wärmere Bedingungen angepasste Genotypen (Varianten einer Art) aufweisen. Somit bieten sie auch ein gewisses Anpassungspotential hinsichtlich des Klimawandels (vgl. Milad et. al 2012). Durch ihren Strukturreichtum sind sie für die Biodiversität von besonderem Wert (BfN 2020).

Auch durch die Auswahl der Baumarten können BewirtschafterInnen den Ertrag steigern. So stehen sie oft vor der Entscheidung, Douglasie statt Fichte oder Roteiche statt einheimischer Eichenarten anzubauen. Hier ist aus Sicht des UBA der Verwendung von Sorten von als heimisch geltenden und standortgerechten Baumarten der Vorrang zu geben, da die ökologischen Risiken des Anbaus nicht heimischer Baumarten nicht abschätzbar sind. Das Wuchspotenzial einheimischer Baumarten kann eventuell durch klassische Forstpflanzenzüchtung noch gesteigert werden. Der kleinflächige und begrenzte Anbau (hauptsächlich als Mischbaumart) nicht einheimischer aber standortgerechter Baumarten ist vertretbar, sofern ihre ökologische Verträglichkeit durch langjährige Anbauversuche nachgewiesen ist (mehr dazu unter 3.1.4).

Zertifizierung in der Forstwirtschaft

Die Zertifizierung ist ein privatwirtschaftliches Instrument. Sie kann eine zentrale Rolle bei der umweltgerechten, sozialverträglichen und wirtschaftlich ertragreichen Waldbewirtschaftung spielen. In Deutschland soll 80 % der Waldfläche nach hochwertigen ökologischen Standards bis 2010 zertifiziert sein – so hat es die Bundesregierung in der Nationalen Strategie zur biologischen Vielfalt festgelegt.

In Deutschland sind derzeit drei forstliche Zertifizierungssysteme etabliert. Das **Programme for the Endorsement of Forest Certification Schemes (PEFC)**³⁴ ist mit einer Fläche von rund 7,6 Mio. Hektar bei insgesamt 11,4 Mio. Hektar Waldfläche in Deutschland das System mit der größten zertifizierten Fläche. Nach dem System des **Forest Stewardship Council (FSC)**³⁵ sind aktuell rund 1,43 Mio. Hektar, nach den Kriterien zur ökologischen Waldnutzung von **Naturland**³⁶ 54.000 Hektar zertifiziert. Letztere sind zugleich auch FSC-zertifiziert. Auch nach FSC zertifizierte Flächen überschneiden sich teilweise mit Flächen zertifiziert nach PEFC³⁷, so dass der Anteil der zertifizierten Fläche in Deutschland nicht genau ermittelt werden kann.

Die Zertifizierungssysteme unterscheiden sich hinsichtlich ihrer Kriterien sowie der Vorschriften zur Vergabe und Vor-Ort Prüfungen³⁸. Während der FSC Einzelbetriebe oder Gruppen kleinerer Forstbetriebe zertifiziert und diese jährlich vor Ort prüft, erfolgt nach den PEFC-Richtlinien eine Zertifizierung vorwiegend ganzer Regionen mit stichprobenartigen Vor-Ort-Prüfungen. Auch hinsichtlich der Kriterien zur Waldbewirtschaftung sind Unterschiede erkennbar. Die Kriterien des FSC sind in der Regel strikter und ökologisch hochwertiger: So soll auf Vollbaumnutzung im Rahmen des PEFC Zertifikats nur auf nährstoffarmen Böden verzichtet werden, bei FSC dagegen ist diese nicht zugelassen. Pestizide dürfen laut FSC nur mit behördlicher Anordnung eingesetzt werden, PEFC erlaubt die flächige Anwendung von Pflanzenschutzmitteln als letztes Mittel auch ohne Anordnung und verlangt lediglich eine fachkundige

Begutachtung. Während FSC ein Totholzmanagement und Referenzflächen vorschreibt, die aus der forstlichen Nutzung zu nehmen sind³⁹, verzichtet PEFC hierauf. Auch hinsichtlich der Baumartenwahl legt die FSC-Zertifizierung mit der Orientierung an der standorthheimischen Bestockung strengere Maßstäbe an als PEFC. Wenngleich der Zertifizierungsstandard des PEFC explizit auch nicht gesetzlich geregelte Aspekte der Waldbewirtschaftung adressiert, gehen seine Kriterien nach Einschätzung des UBA nur unwesentlich über die Mindestanforderungen entsprechend der Helsinki- und Wien-Kriterien von FOREST EUROPE sowie der in Deutschland geltenden gesetzlichen Regelungen hinaus. Mit der Zertifizierung nach besonders anspruchsvollen Zertifizierungssystemen wie FSC oder Naturland dokumentieren die Waldbesitzer ihre Bereitschaft, bei der Bewirtschaftung ihrer Flächen Erfordernisse der Nachhaltigkeit sowie des Natur- und Artenschutzes deutlich über den gesetzlich vorgegebenen Standard hinaus zu berücksichtigen.

Biomasse – was ist nachhaltig nutzbar?

Die zweite Bundeswaldinventur (BWI-2002) hat gezeigt, dass insbesondere im Klein- und Kleinstprivatwald⁴⁰ ungenutzte Holzpotenziale vorhanden sind. Häufig rechnet sich die Bewirtschaftung für die Waldbesitzer nicht, zum Teil sind Besitzverhältnisse unklar oder andere Voraussetzungen, wie technische Ausstattung und Waldbauwissen, nicht vorhanden. Durch die Förderung forstlicher Zusammenschlüsse versucht die Bundesregierung die ungenutzten Holzpotenziale verfügbar zu machen. So wurden forstwirtschaftliche Vereinigungen im neuen Bundeswaldgesetz bessergestellt. Die Wirkung dieser Maßnahme ist nach Auskunft der Bundesregierung als positiv zu betrachten (Deutscher Bundestag 2012⁴¹), was durch die Ergebnisse der BWI-2012 anscheinend bestätigt wird. Die Daten der BWI-2012 zeigen, dass die Nutzung im Klein- und Kleinstprivatwald um die Hälfte gesteigert wurde, insbesondere bei Fichte. Im gleichen Zeitraum jedoch sind nach Hennig (2016) die Vorräte im Klein- und Kleinstprivatwald angewachsen und liegen nun mehr rund 15 % über dem Durchschnitt aller Eigen-

34 www.pefc.de, Stand Dezember 2014

35 www.fsc-deutschland.de, Stand Oktober 2015

36 <http://www.naturland.de/de/naturland/was-wir-tun/wald/%C3%B6kologische-waldnutzung.html>

37 Z.B. ist der Staatswald mehrerer Bundesländer sowohl PEFC als auch FSC zertifiziert

38 Vgl. <http://www.fsc-deutschland.de/download.10-gute-gruende.57.pdf> und https://pefc.de/tl_files/dokumente/fuer_waldbesitzer/sonstige_dokumente/Synopse_PEFC_FSC_2011.pdf

39 Die Ausweisung von Referenzflächen im Rahmen der FSC-Zertifizierung ist für den Staats- und Kommunalwald ab einer Größe von 1000 Hektar vorgeschrieben

40 Laut BWI II beträgt die Fläche von Privatwald der Eigentumsgrößenklasse kleiner 20 Hektar in Deutschland 2,76 Mio. Hektar, das entspricht etwa 25 % der Waldfläche

41 Quelle: BT Drucksache 17/11498, die Aussage wird nicht mit konkreten Fakten untermauert.

tumsarten. Während der Zuwachs der Nadelbäume zu rund 81 % genutzt wird (im Bundesdurchschnitt 87 %), werden nur rund 49 % des Zuwachses der Laubbäume geerntet (im Bundesdurchschnitt 67 %) (Hennig 2016). Die Daten der BWI-2012 zeigen, dass der Klein- und Kleinstprivatwald derzeit noch stärker kulturbestimmt und somit weniger naturnah als der durchschnittliche Waldbestand in Deutschland ist. Auch der Totholzvorrat im Klein- und Kleinstprivatwald liegt mit knapp unter 16 m³/ha noch deutlich unter den durchschnittlichen 20 m³/ha (Dunger & Hennig 2018). Durch den Vorratsaufbau insbesondere im Laubholz und dem nach Hennig (2016) überdurchschnittlichen Verbleib von ungenutztem Holz im Wald (13 % im Kleinprivatwald gegenüber 10 % im Durchschnitt) werden dennoch wichtige Beiträge für den Natur- und Klimaschutz geleistet, die einer stärkeren Mobilisierung des Holzes gegenüber zustellen sind.

3.1.3 Wald als Klimaschützer

Speicher für Milliarden Tonnen CO₂

Das im Dezember 2015 verabschiedete internationale Abkommen von Paris zum Klimaschutz betont die Wichtigkeit der Kohlenstoffsinken und damit die Rolle des Waldes, insbesondere für die Erreichbarkeit des Langfristziels der internationalen Gemeinschaft. Das Ziel besteht darin, im Lauf des Jahrhunderts die Treibhausgas (THG)-Emissionen so weit als irgend möglich zu senken und die unvermeidbaren Emissionen durch Kohlenstoffspeicherung vollständig auszugleichen, z. B. durch den Waldspeicher.

Der Wald speichert enorme Mengen Kohlenstoff im Boden, in der oberirdischen und unterirdischen Biomasse, im Totholz und in der Streu, den die Bäume zuvor der Atmosphäre zur Photosynthese entziehen. So speichern die deutschen Wälder gegenwärtig 1,264 Mrd. Tonnen Kohlenstoff in der ober- und unterirdischen Biomasse (Riedel et al. 2019), das entspricht 4,63 Mrd. Tonnen CO₂⁴² und ungefähr der fünffachen Menge der jährlichen deutschen Treibhausgasemissionen (ca. 858–909 Mio. Tonnen CO₂-Äquivalente pro Jahr von 2015 bis 2018). Kohlenstoff, der in den Boden überführt wird und dort als Humus oder unter bestimmten Bedingungen als Torf festliegt, kann über einen Zeitraum von mehreren hundert bis tausend Jahren gespeichert

bleiben. In Deutschland sind zusätzlich zur Biomasse rund 822 Mio. Tonnen Kohlenstoff im Waldboden⁴³ gespeichert (Wellbrock et al. 2017). Atmung, Zersetzung und Feuer führen zur Freisetzung des in der Biomasse und im Humus gespeicherten Kohlenstoffs. Auch die Holzernte muss als CO₂-Quelle betrachtet werden, wobei hier die Verwendung entscheidend ist: Wird Holz zeitnah verbrannt, gelangt der Kohlenstoff direkt wieder in die Atmosphäre. Eine Nutzung in Form langlebiger Holzprodukte („Produktspeicher“), hält den Kohlenstoff über die Nutzungsdauer zurück, was aus Gründen des Klimaschutzes günstig ist. Auch der Treibstoffverbrauch bei Ernte, Transport und sonstigen Arbeiten im Rahmen der Holznutzung führt zu Emissionen, die in Kohlenstoffbilanzen zu berücksichtigen sind.

Absorbiert eine Waldfläche durch Zuwachs mehr CO₂ als sie durch Nutzung, Zersetzung im Boden, Brände etc. „verliert“, ist sie eine Netto-CO₂-Senke, und umgekehrt. Jeder Speicher kann folglich zur Emissionsquelle werden. Der Schutz ist daher sehr wichtig.

Die Forderung, der Wald bzw. die Forst- und Holzwirtschaft sollen zum Klimaschutz beitragen, bedeutet deshalb allgemein

- ▶ vorhandene Speicher schützen,
- ▶ die Festlegung von Kohlenstoff erhöhen, also die Speicher vergrößern,
- ▶ Holz möglichst für stoffliche Nutzung und möglichst gut substituierende Produkte verwenden (die Produkte ersetzen, die mit hohem fossilen Energieaufwand erzeugt werden), Kaskadennutzung stärken (siehe Kapitel 3.2.5)
- ▶ Emissionen durch Entwässerung von Böden und Waldbrände vermeiden

Speicher schützen: Dies muss oberste Priorität haben. Hierfür ist es aus Sicht des UBA notwendig auf eine Intensivierung der Waldwirtschaft im Sinne der Verkürzung von Umtriebszeiten oder der verstärkten Voll- oder Ganzbaumnutzung zu verzichten. Der Schutz von Altbeständen und Waldmooren ist weiter auszubauen. Durch einen konsequenten

42 1,264 Mrd. Tonnen C * 44/12 = 4,63 Mrd. Tonnen CO₂.

43 Streuauflage und Mineralboden bis 90 cm Tiefe



naturverträglichen Waldumbau hin zu mehrschichtigen Mischbeständen ist die Widerstandsfähigkeit der Waldbestände zu erhöhen. Bodenschonende Waldbaumaßnahmen sind dabei Voraussetzungen um auch den Kohlenstoffbestand des Waldbodens zu schützen.

Mehr Kohlenstoff binden: Im Zeitraum 2012–2017 wurden in deutschen Wäldern, in Biomasse und Boden, netto ca. 57.000 Kilotonnen CO₂eq jährlich festgelegt. Zur weiteren Steigerung der Kohlenstofffestlegung sind ebenfalls stabile, mehrschichtige Mischbestände mit standortgerechten Baumarten eine wesentliche Voraussetzung. Nutzungssysteme wie Femelhieb⁴⁴, Plenterwaldbewirtschaftung⁴⁵ und Einzelstammnutzung orientieren sich an der Struktur natürlicher Waldbestände. Sie fördern die Festlegung von Kohlenstoff in der Kraut- und Strauchvegetation. Auch die Wiederbewaldung von Brachflächen sowie eine Holznutzung unterhalb des jährlichen Zuwachses erhöhen die Festlegung von Kohlenstoff im Wald.

Neben den bereits genannten Maßnahmen zum Schutz des Kohlenstoffspeichers sollten großflächige Brachflächen minimiert werden. Denn durch die auf solchen Flächen herrschenden Bedingungen, wie hohe Temperatur und Sonneneinstrahlung, wird Biomasse wie Laub und Pflanzenreste, aufgrund der hohen mikrobiellen Aktivität schnell zersetzt. Dies ist mit entsprechenden Emissionen verbunden.

Die Treibhausgasberichterstattung im UBA hat eine wichtige Kontrollfunktion zur Überprüfung der Klimaschutzziele insgesamt und unterstützt Klimaschutzpolitik in Deutschland. Im Rahmen des internationalen Klimaschutzes engagiert sich das UBA in den Klimaverhandlungen dafür, transparente und anspruchsvolle Anrechnungsregeln für natürliche Senken und Quellen zu erarbeiten, die für alle Staaten verpflichtend sein sollten, um Verlagerungen von Emissionen – z. B. durch Entwaldung für landwirtschaftliche Flächen in Drittländern – zu vermeiden. Das entspricht dem Bestreben der EU-Kommission, dafür zu sorgen, dass Maßnahmen in der EU nicht zur Entwaldung in anderen Regionen der Welt führen (Europäische Kommission 2020).

⁴⁴ Gruppenweise Entnahme von Bäumen zur Einleitung der natürlichen Verjüngung mit dem Ziel eines mehrschichtigen, ungleichaltrigen Bestandes

⁴⁵ In einem Plenterwald kommen Bäume unterschiedlichen Alters, Größe und Dimension auf kleinster Fläche vor. Er ist somit immer mehrschichtig und ein sich selbst verjüngender Dauerwald.

Klimaschutz durch Kaskadennutzung:

Holz, Holzpellets, Holz hackschnitzel oder Altholz sind attraktive alternative Brennstoffe geworden. Die energetische Nutzung von Holz gilt als „CO₂-neutral“, da vereinfacht angenommen wird, dass die gleiche Menge Kohlenstoff bei der Verbrennung freigesetzt wird, die zuvor während des Wachstums in der Holzbiomasse gebunden wurde. Diese Betrachtung greift häufig aber zu kurz. Für eine vollständige Betrachtung müssen z. B. auch Emissionen berücksichtigt werden, die bei Holzernte, Transport und Herstellung der Holzbrennstoffe (z. B. Hackschnitzel oder Pellets) entstehen. Auch sollte bei der energetischen Nutzung von Frischholz der nicht mehr zur Verfügung stehende Kohlenstoffspeicher im Wald in die Betrachtung mit einbezogen werden (Hennenberg et al. 2019). Auch sind für die Treibhausgasbilanz energetischer Holznutzung lange Zeitreihen zu beachten, was die Berechnung äußerst komplex macht. Die Spannweite der Betrachtung kann somit von „sehr positiv in Bezug auf den Klimaschutz“ bis „deutlich schlechter als fossile Energieträger“ reichen. Faktoren, die das Ergebnis maßgeblich beeinflussen können, sind unter anderem:

- ▶ der gewählte Startzeitpunkt der Berechnung bzw. bereits vorhandener C-Vorrat (hiebreifer Wald oder Neupflanzung),
- ▶ Referenzszenario (natürliches Wachstum oder anderweitige Nutzung),
- ▶ die betrachtete Fläche (Landschaftsebene oder nur Schlagfläche),
- ▶ Adaptives Management (Intensivierung) und Erntekonzept (Kahlschlag oder selektive Ernte),
- ▶ Effizienz der Bioenergienutzung,
- ▶ beim Einsparpotenzial im Vergleich zu fossiler Referenz: welcher Energiemix wird referenziert? Wie wird dessen zeitliche Dynamik einbezogen (Bilanzzeitraum erstreckt sich oft über Jahrhunderte)?
- ▶ Berücksichtigung von Substitutions- und Verdrängungseffekten,
- ▶ Allokation der Emissionen auf Durchforstungsholz und Erntereste,

- ▶ Zeitabhängige Wirkung von Emissionen (*Einfluss auf die Strahlungsbilanz der Erde, Beitrag zum Treibhauseffekt usw.*).

Grundsätzlich verbessert sich die Treibhausgasbilanz deutlich, wenn das Holz zuvor stofflich, etwa als Möbel oder Baustoff, genutzt wurde (Bais-Moleman et al. 2018; Höglmeier et al. 2014). Auch hinsichtlich der Inanspruchnahme natürlicher Ressourcen zeigt die Kaskadennutzung Vorteile (Risse et al. 2017). Wird statt der direkten Verbrennung das geerntete Holz für langlebige Holzprodukte wie Möbel oder Bauholz verwendet, wird der Kohlenstoff zunächst für weitere Jahrzehnte festgelegt. Zudem ersetzen Holzprodukte häufig Produkte aus fossilen Rohstoffen, wodurch weitere Emissionen vermieden werden können⁴⁶. Erst am Ende einer möglichst langen Nutzungskette, z. B. als Dachbalken, Spanplatte oder auch Papier, sollte die energetische Verwendung stehen.

Andererseits kann erwartet werden, dass eine Zunahme der Kohlenstoffspeicherung in Holzprodukten nur über eine bestimmte Zeitspanne erfolgt, bis ein neuer Sättigungsgrad des Marktes erreicht ist. Die Mengen an verrottenden oder schlussendlich energetisch verwerteten Holzprodukten müssen in die Bilanzierung einbezogen werden (Körner 2009). Insofern tragen die langlebigen Holzprodukte nur vorübergehend zur erhöhten Kohlenstofffestlegung aus der Atmosphäre bei. Bedeutender ist ihr Substitutionseffekt.

Der völlige Nutzungsverzicht ist nach Rock und Bolte (2011) zwar deutlich günstiger als die ausschließliche energetische Nutzung. Die Berücksichtigung von Holzproduktspeicher durch stoffliche Nutzung und vor allem der Substitutionseffekte von Holzprodukten gegenüber Produkten aus fossilen und oder abiotischen Rohstoffen kann diesen Vorteil aber in Richtung der realen Waldbewirtschaftung verschieben (vgl. Beudert & Leibl 2020). In jedem Fall gilt es aber die verminderte Speicherleistung des Waldes durch die Holzentnahme in die Betrachtung mit einzubeziehen (Henneberg et al. 2019). Mund et al. (2015) nennen folgende Faktoren bei der Bewertung von Nutzungsverzichten im Wald als besonders wichtig: Erstens die Höhe des Biomasse- und Kohlenstoffvorrats zu Beginn des angenommenen Nutzungsverzichts und zweitens

⁴⁶ Weiterführend: Rüter S. (2011)

den Anteil produzierter langlebiger Holzprodukte und ihrer kaskadenartigen Nutzung. Ein weiterer ganz wesentlicher Aspekt ist, dass bei Nichtnutzung der weiterhin bestehende Holzbedarf für Energie und Holzprodukte durch Importe möglicherweise aus nicht nachhaltiger Waldbewirtschaftung gedeckt würde und somit nur eine Verschiebung der nationalen Emissionen in andere Länder erfolgt. Somit ist auch aus dieser Betrachtung heraus eine effiziente und mehrfache Nutzung des Rohstoff Holz erforderlich.

Es ist festzuhalten, dass weiterer Forschungsbedarf zur Bewertung der Kaskadennutzung wie auch der Waldbewirtschaftung und der Holznutzung aus Klimaschutzsicht besteht. Klar ist: Auf die direkte energetische Nutzung von Holz sollte weitestgehend verzichtet und die kaskadenartige Holznutzung verstärkt gefördert werden. Das UBA befasst sich in diversen Forschungsprojekten mit der Entwicklung von Instrumenten zur Förderung der kaskadenartigen Biomassenutzung, unter anderem von Holzbiomasse (Fehrenbach et al. 2017). Unter dem Aspekt Klimaschutz ist die stoffliche Substitution durch Holzprodukte der energetischen Substitution von fossilen Brennstoffen vorzuziehen. Bei der Entwicklung neuer Verfahren und Produkte der stofflichen Holznutzung sollte bereits frühzeitig geklärt werden, ob diese aus gesamtökologischer Sicht zu Vorteilen für die Umwelt gegenüber den herkömmlichen Verfahren und Produkten führen. Auch hierzu leisten die Forschungsprojekte des UBA beispielsweise durch die Definition von Nachhaltigkeitskriterien einen Beitrag (z. B. Carus et al. 2014).

3.1.4 Wälder an den Klimawandel anpassen

Wälder schützen nicht nur das Klima, sie sind auch vom Klimawandel direkt betroffen. In Deutschland besteht einerseits die Chance auf höhere Holzzuwächse, da sich die Vegetationsperiode verlängert. Andererseits erhöhen steigende Temperaturen und eine veränderte Niederschlagsverteilung über die Jahreszeiten die Gefahr von Dürre- und Hitzeperioden. Aktuelle Beispiele dafür sind der extrem heiße und trockene Sommer 2018 und regional auch 2019. In solchen Jahren steigt die Waldbrandgefahr und das Risiko des Schädlingsbefalls erhöht sich enorm, wie die aktuellen Schäden durch rindenbrütende Insekten wie den Borkenkäfer zeigen (BMEL 2020 a). Allein in Brandenburg sind 2018 bei 491 Waldbränden rund 1.664 Hektar Wald verbrannt, bundesweit ging eine Fläche von 2.349 Hektar verloren (UBA 2019).

Damit lag die Waldbrandfläche 2018 bundesweit erstmals nach 2003 (1.315 Hektar) wieder deutlich über 550 Hektar. Aber auch Starkregen, Stürme und Schäden durch Spätfröste sind im Zuge des Klimawandels häufiger zu erwarten, damit verbundene Risiken für empfindliche Waldökosysteme nehmen zu (Sanders et al. 2019).

Da Wälder langsam wachsen, passen sie sich nur allmählich an. Experten befürchten, dass das nicht schnell genug geschieht, um den Risiken durch die beschleunigten Klimaänderungen zu begegnen. Wo gravierende Waldschäden auftreten, kann neben der Holzproduktion auch der Schutz gegen Hochwasser oder Bodenerosion oder die Eignung des Waldes als Ort der Erholung leiden. Es kann vorübergehend zu großen Nährstoffverlusten durch Auswaschung kommen (Ergebnisse des ICP Integrated Monitoring am Standort Forellenbach, Bayerischer Wald, siehe UBA 2013). Die Bundesregierung kommt in der Waldstrategie 2020 zu dem Schluss, dass insgesamt die negativen Wirkungen des Klimawandels eindeutig die positiven überwiegen. Nötig seien eine verstärkte Forschung zu den Auswirkungen der Klimaänderungen sowie zur Anpassung; auch die Klimaanpassungspotenziale nutzungsfreier Wälder müssten besser untersucht werden. Auch in dem Eckpunktepapier zur Waldstrategie 2050 (Wissenschaftlicher Beirat Waldpolitik beim BMEL 2020) ist die Anpassung an den Klimawandel ein zentrales Thema, das Bezüge zu fast allen aufgezeigten Handlungsfeldern aufweist.

Die Anfälligkeit der Wälder lässt sich aber gezielt verringern. Weil die zukünftigen Auswirkungen des Klimawandels für einzelne Regionen nicht mit Sicherheit vorhersagbar sind, sollten die Wälder von morgen vor allem tolerant gegenüber Änderungen von Klimafaktoren in unterschiedliche Richtungen sein. Der zügige Umbau von Monokulturen, insbesondere von Nadelbaumarten, zu Mischwäldern mit dem Ziel vielfältiger und resilienter Wälder ist dafür eine der wirksamsten Vorsorgemaßnahmen. Eine Mischung von Baumarten mit unterschiedlichen Eigenschaften (Alter, Kronenhöhe und -form, Licht- und Schattentoleranz) und Standortansprüchen, bevorzugt aus Naturverjüngung, und die damit gewonnene breitere strukturelle und genetische Vielfalt erhöhen die natürliche Anpassungskapazität. Positive Nebeneffekte eines höheren Laubholzanteils sind zum einen die verringerte Interzeption und damit verbesserte Wasserversorgung im Wurzel-

raum sowie erhöhte Grundwasserneubildung als Ökosystemfunktion. Zum anderen können in der Regel Stickstoffeinträge aus der Atmosphäre durch Laubbäume besser verwertet werden und der Nitrataustrag ins Grundwasser nimmt ab. Im Interesse der Erhaltung der einheimischen Flora und Fauna sollten vorrangig standortheimische Baumarten gefördert oder gepflanzt werden. Voraussetzung ist, dass diese auch unter den zukünftigen, ggf. veränderten Standortbedingungen existieren können.

Nachhaltige Forstwirtschaft beinhaltet auch, dass Forstwirte auf ihren Flächen einen ausreichenden Ertrag erwirtschaften können. Unter diesem Aspekt erscheint für Forstbetriebe der Anbau fremdländischer Baumarten attraktiv, mit denen es in Deutschland bereits langjährige Erfahrungen gibt, wie zum Beispiel die Douglasie. Im Zusammenhang mit den erheblichen Waldschäden in den heißen und trockenen Sommern der Jahre 2018 und 2019 kommen verstärkt weitere Baumarten ins Gespräch, die bisher in Deutschland noch nicht forstlich genutzt wurden. Zum Beispiel werden im Projekt CorCed Herkünfte von Atlaszeder, Libanonzeder und anderer Baumarten hinsichtlich ihrer Anbaueignung in Deutschland untersucht (Seho 2020). Es setzt sich allerdings zunehmend die Erkenntnis durch, dass keine dieser Baumarten alle Probleme der Klimaanpassung lösen wird.

In Feldversuchen wird auch geprüft, ob wärme- und trockenheitstolerante Populationen heimischer Waldbäume sowie „potenzielle Einwanderer“ aus Süd- und Südosteuropa als zukünftige Waldbäume für Regionen in Deutschland tauglich sind. Die Aussagekraft der bisherigen wenigen Feldversuche ist aktuell aber noch sehr begrenzt und uneindeutig. Festzuhalten ist jedoch, dass die vereinfachte Annahme gebietsfremde Herkünfte heimischer Baumarten aus wärmeren und/oder trockeneren Gebieten würden unter den sich ändernden klimatischen Bedingungen für einen Anbau generell geeigneter sein, nicht belastbar ist (BfN 2020).

Das UBA befürwortet, vor allem das genetische Potenzial heimischer Baumarten auszuschöpfen. Es hält die behutsame Verwendung (kleinflächig, begrenzter Flächenanteil) nicht einheimischer, aber standortgerechter Baumarten für vertretbar, sofern ihre ökologische Verträglichkeit (Wasser- und Nährstoffhaushalt) und naturschutzfachliche Unbedenklichkeit insbesondere mit Blick auf eine eventuelle Invasivität

durch langjährige Anbauversuche nachgewiesen ist. Auch im vom SRU (2012) empfohlenen und auch im UBA favorisierten Zertifizierungssystem FSC (siehe Kapitel 3.1.2) sind geringe Beimischungen sogenannter Gastbaumarten zulässig. Moderne satelliten- und computergestützte Verfahren der Standortkartierung ermöglichen es, die Auswahl standortgerechter Baumarten kleinräumig zu diversifizieren. Allerdings sind Naturschutzaspekte zu berücksichtigen. So wird z. B. ein Unterbau standortheimischer alter Buchenwälder mit Douglasien nicht befürwortet, weil er ihre Natürlichkeit und Ursprünglichkeit beeinträchtigt. Die „Alten Buchenwälder Deutschlands“ zählen zum Welterbe der UNESCO und stehen deshalb unter besonderem Schutz. Die Rotbuche, die nur in Europa vorkommt, hat in Deutschland einen Verbreitungsschwerpunkt, weshalb Deutschland für den Erhalt der Buchenwälder eine hohe Verantwortung trägt.

Vielerorts hat die Forstwirtschaft den ökologischen Umbau der Wälder bereits in Angriff genommen und arbeitet nach den Prinzipien des naturnahen Waldbaus. Für den Waldumbau stehen Fördermittel der EU aus der Gemeinschaftsaufgabe „Verbesserung der Agrarstruktur und des Küstenschutzes (GAK) zur Verfügung. Hemmnisse auf diesem Weg liegen u. a. darin, dass die Holzwirtschaft nach wie vor Nadelholz deutlich stärker nachfragt als Laubholz (siehe auch Einleitung zu Kapitel 3.2), und dass der Waldumbau aufgrund der langen Lebenszyklen der Bäume nur nach und nach möglich ist. Verbreitet verhindern zu hohe Wildbestände die Entwicklung junger Laubhölzer.

Ebenso wichtig wie der aktive Waldumbau sind Vorsorgemaßnahmen gegen Waldbrände, Sturmschäden und Schädlinge, ein konsistentes Risikomanagement (Friederich und Dännart 2018) sowie die Entwicklung und Implementierung abgestimmter Wasserbewirtschaftungskonzepte einschließlich Rückbau von Entwässerungsanlagen. Die Umsetzung einzelner Maßnahmen ist jedoch zeitaufwändig und teuer. Oft entfalten sie ihre positive ökonomische Wirkung nur langfristig. Darüber hinaus sind alle Maßnahmen, die zusätzliche Stressfaktoren mindern (z. B. zur Verringerung von Stoffeinträgen, Bodenverdichtung oder häufiger Befahrung), geeignet, die Anpassungskapazität der Wälder zu stärken⁴⁷.

⁴⁷ Weitere Informationen siehe www.anpassung.net, Klimafolgen und Anpassung, Forstwirtschaft.

Die Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel (DAS), Handlungsfeld „Wald- und Forstwirtschaft“, weist über die hier bereits genannten Handlungsoptionen hinaus auf die Notwendigkeit hin, wissenschaftliche Entscheidungsgrundlagen zu erarbeiten und den Wissenstransfer zwischen Experten der Forstwirtschaft zu intensivieren. Sie benennt in diesem Zusammenhang Umweltbeobachtung („Monitoring“) und Forschung („Versuchsflächen, Standortkartierungen, Forstpflanzenzüchtung, Provenienzforschung und regionale Anbauempfehlungen, ...“) als notwendige Aktionen. Langfristige Umweltbeobachtungsprogramme, wie sie für die Beobachtung der Wirkungen des Klimawandels erforderlich sind, benötigen eine dauerhaft stabile Finanzierung. Sowohl der Bund als auch die Länder sollten dafür sorgen, dass diese gesichert ist und die Monitoringprogramme eher ausgebaut werden, statt sie weiter zu reduzieren.

Das Bundeskabinett veröffentlichte am 16. Dezember 2015 den Fortschrittsbericht zur DAS mit dem Aktionsplan Anpassung II (APA II). Der nächste Fortschrittsbericht einschließlich aktualisiertem Aktionsplan (APA III) soll bis Ende 2020 beschlossen werden. Die Anpassung an den Klimawandel soll auch in der Forstwirtschaft integraler Bestandteil in Planungs- und Entscheidungsprozessen sein. Das UBA wirkt in der Interministeriellen Arbeitsgruppe (IMA) mit, die auf geeignete Rahmenbedingungen für die Stärkung der Anpassungskapazitäten hinarbeitet. Die DAS sieht unter anderem auch eine regelmäßige Berichterstattung zu Veränderungen, die durch den Klimawandel bereits feststellbar sind, und Anpassung vor. Dazu erschienen 2015 und 2019 Monitoringberichte, die zum Thema Wald insgesamt 13 Indikatoren abbilden (UBA 2015, 2019). Allerdings lassen sich Trends dieser Indikatoren noch nicht bewerten, weil oft nur Daten aus ein oder zwei Erhebungen, zum Beispiel aus der Bundeswaldinventur, vorliegen. Da die Bundeswaldinventur (BWI) in Abständen von 10 Jahren durchgeführt wird, sind in die Darstellung im Monitoringbericht 2019 (UBA 2019) die Ergebnisse der Inventur aus dem Jahr 2012 eingeflossen. Aktuellere Entwicklungen wie gravierende Schäden durch Waldbrände, Borkenkäferbefall und Stürme können erst im Monitoringbericht 2023 dargestellt werden.

Der rechtliche Handlungsbedarf für die Anpassung an die Folgen des Klimawandels wurde in einem Forschungsvorhaben analysiert und Vorschläge für die Weiter- und Neuentwicklung rechtlicher Instrumente erarbeitet (Reese et al. 2010). In der Forstwirtschaft sehen die Autoren besonderen Handlungsbedarf zum Schutz der Böden vor Erosion, Verdichtung und Humusverlust sowie für verstärkten Wasserrückhalt. Sie bezeichnen die ordnungsrechtlichen Möglichkeiten zum Schutz der Böden als defizitär und regen an, in vorhandenen Planungsinstrumenten verbindliche Festsetzungsmöglichkeiten für Anforderungen an die Bewirtschaftung zu schaffen.

Es ist zu begrüßen, dass die Bundesregierung bereits 2011 übereinstimmend mit ihrem Aktionsplan Anpassung (APA I) den Waldklimafonds eingerichtet hat. Es werden Maßnahmen und Projekte gefördert, die nicht bereits durch andere Förderprogramme (ELER, GAK) gedeckt sind. Der Fonds wird aus dem Sondervermögen Energie- und Klimafonds⁴⁸ gespeist.

Die erheblichen Waldschäden in den Jahren 2018 und 2019 bewirkten ein stark erhöhtes Arbeitsaufkommen für die Schadensbewältigung, Forstschutz und Vorsorge vor weiteren Schäden. Gleichzeitig brachen die Holzpreise wegen des Überangebots von Schadholz zusammen. Um die wirtschaftlichen Einbußen auszugleichen, forderten Waldbesitzer und Forstwirte finanzielle Unterstützung seitens des Bundes und der Länder, um Wiederaufforstungen zu ermöglichen. Ohne die Notwendigkeit kurzfristiger Dürrehilfen zu negieren, empfiehlt das Umweltbundesamt

- ▶ bei der aktiven Wiederaufforstung, Flächen zu bevorzugen, auf denen der Wald in besonderem Maße ökologische Schutzfunktionen erfüllt (zum Beispiel Erosions- und Hochwasserschutz),
- ▶ die Förderung immer an Auflagen zu koppeln wie Standortgerechtigkeit, standortangepasste Baumartenmischung,
- ▶ wo immer möglich, die Natur selbst regulieren zu lassen, welche Baumarten aufwachsen und sich durchsetzen,

⁴⁸ Gesetz zur Errichtung eines Sondervermögens „Energie- und Klimafonds“ (EKFG) vom 8. Dezember 2010 (BGBl. I S. 1807), geändert durch Artikel 1 des Gesetzes vom 29. Juli 2011 (BGBl. I S. 1702) EKFG.

- ▶ zur Stabilisierung weniger geschädigter Wälder beigemischte Baumarten auch dann zu fördern, wenn sie fortwirtschaftlich nicht relevant sind, auf Struktureichtum durch unterschiedliche Baum- und Straucharten, Altersklassen sowie Wuchsbedingungen (Licht/Schatten) hinzuwirken und schon im Jugendstadium ausreichenden Wuchsraum für die Bestandesglieder zu schaffen,
- ▶ den Wildbestand so zu regulieren, dass sich alle heimischen Baumarten selbst verjüngen können,
- ▶ die für diese komplexen Aufgaben notwendigen Personalressourcen so schnell wie möglich wieder aufzubauen einschließlich entsprechender Aus- und Weiterbildung sowie Beratung der Waldbesitzer,
- ▶ das Monitoring von Klimawirkung und -anpassungsmaßnahmen zu stärken und diesbezügliche Forschung weiter zu fördern.

3.1.5 Fremdstoffeinträge vermeiden oder minimieren

Luftschadstoffe

Für die Luftqualität sind Wälder bedeutsam, denn sie reinigen die Luft und gleichen Witterungsextreme aus. Die Luftqualität beeinflusst jedoch die Gesundheit der Wälder maßgeblich. Ablagerungen aus der Atmosphäre (Depositionen) sind in Wäldern meist die einzige Quelle für großflächige, vom Menschen verursachte Stoffeinträge. Hauptverantwortlich für Schädigungen auf Wälder sind heute reaktive Stickstoffverbindungen (Ammoniak, Stickstoffoxide) und bodennahes Ozon. Aber auch das Erbe jahrzehntelanger starker Säureeinträge – die großflächige Basenverarmung und „Nivellierung des chemischen Oberbodenzustandes auf niedrigem Niveau“ (BML 1996) – ist nur sehr langfristig, zum Teil gar nicht rückgängig zu machen.

Maßnahmen zur Luftreinhaltung reduzierten in den letzten Jahrzehnten eine der Hauptursachen für Waldschäden drastisch – die Deposition von Schwefelverbindungen. Die SO_2 -Emissionen Deutschlands verringerten sich im Zeitraum 1990 bis 2018 um fast 95 % (aktualisierter Basiswert der SO_2 -Emissionen 5473 Kilotonnen im Jahr 1990). Dagegen konnte die Freisetzung von Stickstoffoxiden und Ammoniak im gleichen Zeitraum nur um etwa 59 % (Basiswert NO_x -Emissionen 2887 Kilotonnen) bzw. 16 % (Basiswert NH_3 -Emissionen 760 Kilotonnen) gemindert werden, NMVOC⁴⁹ um rund 72 % (Basiswert NMVOC-Emissionen 4033 Kilotonnen) (Nationales Emissionsinventar 2020).

Ökologische Risiken entstehen dort, wo Schadstoffeinträge die ökologischen Belastungsgrenzen (Critical Loads oder Critical Levels) überschreiten. Aktuelle Bewertungen im Auftrag des UBA belegen, dass im Jahr 2015 auf fast 70 % der Waldfläche Deutschlands die Stickstoffeinträge zu hoch sind (Schaap et al. 2018). Die einseitige Stickstoffübersorgung führt zu Nährstoffungleichgewichten und mindert die Stresstoleranz von Waldbäumen. Sie vertragen dann Dürre, Frost und andere Witterungsextreme schlechter und sind anfälliger für Krankheiten und Schädlinge. Ergebnisse des ICP Forests⁵⁰ (2012) untermauern diese Hypothese. Sie zeigen, dass ungünstige Nährstoffverhältnisse in Blättern oder Nadeln und gleichzeitig Vergilbungsercheinungen häufiger an Standorten mit hohen Stickstoffeinträgen und Anzeichen von Stickstoffsättigung auftraten als an anderen Standorten des Europäischen Beobachtungsnetzwerks des ICP Forests. Allerdings wird nicht ausgeschlossen, dass auch andere Faktoren die Ergebnisse beeinflussten. So zeigt eine aktuelle Studie (Etzold et al. 2020, ebenfalls auf Grundlage der europäischen ICP Forests-Daten), dass Bestandesdichte und -alter die bedeutendsten Faktoren für den jährlichen Volumenzuwachs von Waldbäumen sind und dass der Zuwachs baumartenspezifisch auf hohe Stickstoffdepositionsraten reagiert. Bei Buche nahm der Zuwachs oberhalb einer jährlichen Stickstoffdeposition von $30 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ ab, bei Fichte reagierte der Zuwachs bei hohen Depositionsraten schwächer, wenn die Nadeln bereits einen hohen Stickstoffgehalt aufwiesen. Andere Untersuchungen zeigen, dass die Bodenvegetation bei hoher Stickstoffdeposition an Vielfalt verliert, weil die weniger stickstofftoleranten Arten verdrängt werden (ICP Forests 2006). Das hat auch Auswirkungen auf eine Reihe von Tierarten und auf das ökologische Gleichgewicht. Fördert Stickstoff eine zu üppige Bodenvegetation, kann das dazu führen, dass sie mehr Wasser verdunstet (Müller 2018). Das verschärft den Trockenstress der Waldbäume in niederschlagsarmen Perioden und vermindert so die Anpassungsfähigkeit an den Klimawandel.

49 Flüchtige organische Verbindungen (Volatile Organic Compounds) ohne Methan – neben Stickstoffdioxid ein Vorläuferstoff für bodennahes Ozon

50 Das „International Cooperative Programme on Assessment and Monitoring of air Pollution Effects on Forests“ ist eines von sieben Programmen der Arbeitsgruppe „Wirkungen“ (Working Group on Effects, WGE) unter der Genfer Luftreinhaltekonvention (UNECE Convention on Long-range Transboundary Air Pollution, CLRTAP, <http://www.unece.org/env/lrtap/welcome.html>)

Die Ergebnisse der 2. Bodenzustandserhebung im Wald (BZE2, Wellbrock et al. 2016) belegen im Vergleich zur BZE1 (BML 1996) erste Erholungstendenzen der Waldböden in Deutschland. Die Basenverarmung ging in den obersten Bodenschichten zurück wie auch die Stickstoffvorräte dieser Schichten. Unterhalb von 10 cm nahm aber die Basensättigung, die ein wichtiger Indikator für den Versauerungszustand ist, weiter ab.

Die Konzentration von gasförmigem Ammoniak in der Luft überschreitet die Belastungsgrenzwerte (langfristige Einwirkung) für Flechten als besonders empfindliche Pflanzen ($1 \mu\text{g m}^{-3}$)⁵¹ fast überall in Europa, die für höhere Pflanzen (2 bis $4 \mu\text{g m}^{-3}$) vor allem in Regionen mit hohen Nutztierbeständen (Cape et al. 2009, WGE 2012). Dort ist damit zu rechnen, dass sich die Zusammensetzung natürlicher Pflanzengesellschaften ändert. Das ICP Forests (2012) belegte durch Auswertung von Daten des europäischen Beobachtungsnetzwerks ebenfalls Zusammenhänge zwischen hoher Stickstoffdeposition und geringerer Diversität von Flechten, vor allem durch Rückgang solcher Arten, die mit sehr wenig Nährstoff auskommen. Linde et al. (2018) empfehlen, ebenfalls basierend auf ICP Forests-Daten, einen sehr niedrigen Critical Load für eutrophierenden Stickstoff (5 bis 6 kg/ha a^{-1}) als Wirkungsschwelle für die Veränderung der Ectomycorrhiza-Gemeinschaften von Waldböden, die äußerst bedeutsam für Nährstoffumsetzungen im Waldökosystem sind.

Die Belastung von Waldökosysteme durch bodennahes Ozon kann nach heutigem Stand des Wissens besonders bei Laubbäumen zu vermindertem Holzzuwachs und geringerer Bindung von Kohlenstoff aus der Atmosphäre führen (Braun et al. 2014). Das gilt als erwiesen, auch wenn ein statistischer Zusammenhang zwischen der Überschreitung von ökologischen Belastungsgrenzen mit Zuwachsminderungen bei Waldbäumen nur eingeschränkt nachweisbar ist (Etzold et al. 2020, basierend auf Auswertungen der europäischen Daten des ICP Forests). Grund dafür sind die vielfältigen Faktoren, die den Zuwachs beeinflussen können. Bisher zeichnet sich keine Verbes-

serung der Ozonbelastung ab. Zwar kommen früher gemessene Spitzenkonzentrationen kaum noch vor, die globale Hintergrundbelastung, die auch Deutschland beeinflusst, zeigt aber einen leicht steigenden Trend. In Deutschland überschreiten in den meisten Jahren die Mittelwerte der Ozonkonzentrationen über alle ländlichen Messstationen die Wirkungsschwelle für Zuwachsminderungen bei Waldbäumen ($\text{AOT}_{40} = 10\,000 \mu\text{g/m}^3 \text{ h}$), d. h. an vielen dieser Stationen treten erhebliche Überschreitungen auf. Auch Studien, die nicht mehr nur die Exposition der Pflanzen gegenüber der bestimmten Ozonkonzentration während der Vegetationsperiode bewerten (AOT_{40} -Ansatz), sondern den Ozonfluss durch die Spaltöffnungen in die Pflanze (Phytotoxische Ozondosis, POD_y , Details siehe Kapitel 3, Modelling and Mapping Manual, ICP Vegetation 2017) kommen zu dem Schluss, dass vielerorts Risiken für die Gesundheit von Waldbäumen durch bodennahes Ozon bestehen. Alle 19 Luftmessstationen der Bundesländer plus zwei des UBA, bei denen Wald im Umkreis von zehn Kilometern vorkommt, wiesen im Jahr 2017 Überschreitungen der ozonflussbasierten kritischen Belastungsgrenzen (Critical Levels) für Ozon auf (Bericht Deutschlands zum Wirkungsmonitoring in Umsetzung der EU-Richtlinie 2016/2284, Artikel 9 und 10).

Neben den bisher beschriebenen Wirkungen von Luftschadstoffen ist auch eine Anreicherung persistenter Schadstoffe in den humusreichen Waldböden festzustellen. Welche Wirkungen davon auf Lebewesen ausgehen, ist derzeit erst für wenige Arten oder mikrobiologische Prozesse erforscht. Eine europäische Studie (Slootweg et al. 2007) zeigt, dass die atmosphärischen Einträge von Blei und Quecksilber kritische Belastungsgrenzen in erheblichen Teilen Deutschlands überschreiten. Das bestätigen auch Ergebnisse eines Forschungsprojektes des UBA (Schröder et al. 2018). Nach heutigem Stand des Wissens entwickelt sich dort bei gleichbleibenden Einträgen ein Risiko für das Bodenleben und verbundene Gewässer. Die BZE2 (Wellbrock et al. 2016) zeigt, dass die Schwermetallvorräte in den Humusaufgaben deutscher Wälder abnehmen und bei den meisten untersuchten Metallen in den Mineralböden zunehmen. Je nach Metall (hier ohne Quecksilber) traten bei 2–22 % der untersuchten Standorte Überschreitungen der Vorsorgewerte der Bundesbodenschutzverordnung (BodSchV 2015, Entwurf) auf.

⁵¹ Die ökologische Bedeutung von Flechten besteht in der Zwischenspeicherung von Nährstoffen, vor allem von Stickstoff und der Umwandlung von atmosphärischem CO_2 unter Sauerstoffproduktion durch Photosynthese (grüne Flechten). Sie dienen vielen Tieren als Nahrung, Unterschlupf oder Nistmaterial. Der Mensch nutzt bestimmte Arten für Medikamente, Kosmetika, künstlerische oder dekorative Zwecke. Quellen: US Forest Service, Goerig and Chatfield (2004)

Im Rahmen der BZE2 untersuchte das UBA in Zusammenarbeit mit den Forst- und Umweltverwaltungen der Länder die Belastung von Waldböden mit mehr als 10 persistenten organischen Schadstoffen bzw. Schadstoffgruppen. Diesen Stoffen werden toxische, zum Teil krebserregende oder erbgutverändernde Eigenschaften zugeschrieben. Sie können sich in Nahrungsketten anreichern. Es zeigte sich, dass die Böden solche Schadstoffeinträge sehr lange „in ihrem Gedächtnis“ speichern. Das heißt, Gebiete mit historischer Belastung lassen sich heute noch lokalisieren: Vor allem an alten Industriestandorten wie dem Saarland, dem Ruhrgebiet und dem Bitterfeld-Wolfener Chemiedreieck gibt es erhöhte Konzentrationen zum Teil längst verbotener Stoffe (Details in Marx et al. 2019). Die gute Nachricht: An den meisten Standorten liegen die Werte unter den Vorsorgewerten der Bundesbodenschutzverordnung. Persistente organische Schadstoffe können aber auch aus den Böden wieder freigesetzt und mit Luftströmungen in die Umgebung, zum Teil über weite Entfernungen transportiert werden. Bis die Stoffe endgültig nicht mehr in Umweltmedien nachweisbar sind, können noch viele Jahrzehnte vergehen.

Das Ziel der NBS (unter „Konkrete Vision“, B 3.1), bis 2020 die kritischen Belastungswerte in Deutschland für versauernde und eutrophierende Schadstoffe sowie Schwermetalle und bodennahes Ozon einzuhalten, wurde nicht erreicht. Die Waldstrategie 2020 fordert die Umsetzung bestehender Vorschriften zur Emissionsminderung und ihre Weiterentwicklung im Bedarfsfall. Die Nichteinhaltung der ökologischen Belastungsgrenzen zeigt, dass weiterführende Emissionsminderungsmaßnahmen erforderlich sind.

Weil Luftschadstoffe weite Distanzen und auch Ländergrenzen überwinden können, müssen effektive Minderungsmaßnahmen auch international vereinbart werden, z. B. in der Genfer Luftreinhaltekonvention oder in der Europäischen Union. So würde z. B. eine Verringerung des Ausstoßes von Ozonvorläuferstoffen allein in Deutschland nicht zu einer deutlichen Verbesserung der Ozonbelastung beitragen, weil grenzüberschreitende Luftschadstofftransporte einen relativ hohen Anteil an der Gesamtbelastung haben. Ebenso beeinflussen deutsche Emissionen den Umweltzustand in anderen Ländern.

Internationale Vereinbarungen zur Luftreinhaltung werden nach ihrem Inkrafttreten auf ihre Wirksamkeit überprüft und bei Bedarf aktualisiert. Die Genfer Luftreinhaltekonvention überarbeitete ihre 1998 abgeschlossenen Protokolle zu Schwermetallen und persistenten organischen Verbindungen sowie das 1999 abgeschlossene Göteborg-Protokoll, das auf die Minderung der Versauerung, Eutrophierung sowie bodennahes Ozon abzielt und deshalb auch Multikomponenten-Protokoll genannt wird. Die EU setzte im Rahmen ihrer Thematische Strategie zur Luftreinhaltung im Jahr 2016 die Richtlinie (EU) 2016/2284 über die Reduktion der nationalen Emissionen bestimmter Luftschadstoffe in Kraft, die die Richtlinie 2001/81/EC über nationale Emissionshöchstmenge (NEC-Richtlinie) ersetzt. Die neue Richtlinie wurde über die 43. Bundes-Immissionsschutzverordnung (43. BImSchV) in nationales Recht umgesetzt. Sowohl das überarbeitete Göteborg-Protokoll (seit 2019 völkerrechtlich in Kraft) als auch die EU-Richtlinie 2016/2284 regeln zusätzlich die Minderung von Feinstaub. Eine Übersicht über die für Deutschland festgelegten Minderungsziele zeigt die Tabelle 1. Die Einhaltung dieser, gegenüber den früheren Regelungen anspruchsvolleren Ziele wird die Ökosysteme und den Menschen noch besser vor schädlichen Wirkungen der Luftschadstoffe schützen. In Umsetzung der EU-Richtlinie 2016/2284 und der 43. BImSchV erarbeitete Deutschland ein Nationales Luftreinhalteprogramm (BMU 2020), in dem weiterführende Maßnahmenoptionen zu SO_x , NO_x , NH_3 , Ozonvorläuferstoffen und Feinstaub mit ihren Minderungspotenzialen dargestellt sind. Die Wirksamkeit der gesetzlichen Regelungen soll anhand von möglichst repräsentativen Monitoringdaten für naturnahe und natürliche Ökosysteme überwacht werden, die im Turnus von vier Jahren an die Europäische Umweltagentur zu berichten sind.

Das UBA setzt sich dafür ein, den Ökosystemschutz auch in der Europäischen Luftqualitätsrichtlinie 2008/50/EG auszubauen. Dabei sollte über geeignete Schritte nachgedacht werden, ergänzend zu nationalen Emissionsminderungszielen (Richtlinie EU 2016/2284) für bestimmte Luftschadstoffe, wie NH_3 , die unterschiedliche räumliche Verteilung der Belastung mit Luftschadstoffen zu berücksichtigen und geeignete Minderungsmaßnahmen auch regionsbezogen oder auf der lokalen Ebene festzulegen.

Tabelle 1

Minderungsverpflichtungen für Deutschland aus dem revidierten Göteborg-Protokoll der Genfer Luftreinhaltekonvention sowie der EU-Richtlinie über die Reduktion von Emissionen 2016/2284

	Revision des Göteborgprotokolls sowie EU-Richtlinie 2016/2284 (Minderungsverpflichtung 2005–2020 in %)	Neue EU-Richtlinie 2016/2284 (Minderungsverpflichtung 2005–2030 in %)
Schwefeldioxid (SO ₂)	21	58
Stickstoffoxide (NO _x)	39	65
Ammoniak (NH ₃)	5	29
Flüchtige organische Kohlenwasserstoffe ohne Methan (NMVOC)	13	28
Feinstaub bis 2,5 µm (PM _{2,5})	26	43

NO_x und NMVOC sind Ozon-Vorläuferstoffe

Beim Stickstoff müssen sowohl technische als auch nichttechnische Maßnahmen umgesetzt werden, um die vollständige Einhaltung der Critical Loads zum Schutz vor Eutrophierung zu erreichen. Das UBA empfiehlt zur Lösung der Stickstoffproblematik einen integrierten Ansatz. Dabei werden alle Verursacher und das Minderungspotential von Maßnahmen verschiedener Sektoren übergreifend bewertet. Weitergehende besonders effektive und effiziente Maßnahmen in der Landwirtschaft zur Minderung der Ammoniakemissionen sind z. B. die Umsetzung und Förderung von emissionsmindernden Stallabluftsystemen, verfahrenstechnische Maßnahmen im Stall zur Verkleinerung der emittierenden Oberfläche, zum Absenken von Temperatur und pH-Wert der Gülle, eine nährstoffangepasste Multiphasenfütterung der Tiere sowie dem Stand der Technik entsprechende Düngeeinarbeitungstechniken. Weiterhin können folgende nicht technische Maßnahmen dazu beitragen, Spielräume für eine extensivere Landwirtschaft zu eröffnen:

- ▶ Einführung einer Flächenbindung in der Nutztierhaltung,
- ▶ produzierte Lebensmittel effizienter verwenden sowie
- ▶ über die gesundheitlichen und Umweltrisiken übermäßigen Fleischkonsums aufklären mit dem Ziel diesen zu reduzieren.

Im Verkehrsbereich zählen z. B. die Einführung einer Geschwindigkeitsbeschränkung auf Bundesautobahnen, die Angleichung des Steuersatzes von Diesel an den von Benzin oder die Ausweitung der Lkw-Maut zu den denkbaren nicht technischen Maßnahmen.

Waldkalkung und Verwendung von Holzaschen zum Ausgleich von Nährstoffdefiziten

Seit Beginn der 1980er Jahre und bis heute werden in vielen Regionen Deutschlands Kalkungsmaßnahmen im Wald durchgeführt, um die überwiegend durch atmosphärische Stoffeinträge bedingte Versauerung der Waldböden auszugleichen und dadurch säurebedingten Waldschäden entgegenzuwirken (von Wilpert et al. 2013; Reif et al. 2014; Wellbrock et al. 2016). Die von den Bundesländern entwickelten Konzepte und Zielstellungen dieser Bodenschutzkalkungen unterscheiden sich deutlich voneinander. So strebt zum Beispiel Baden-Württemberg mit seiner Strategie der „Regenerationsorientierten Bodenschutzkalkung“ das Ziel an, über die reine Kompensation der aktuellen Säureeinträge aus der Luft hinaus durch ein kleinflächiges und standortorientiertes Kalkungsprogramm die natürliche (quasi vorindustrielle) Vielfalt der Standortsqualitäten wieder herzustellen. Dabei wird die Kalkung auf versauerungsempfindliche Standorte beschränkt, natürlich saure Ökosystemtypen werden ausgenommen. Ebenso erfolgt keine Kalkung in Natur- und sonstigen Schutzgebieten bzw. nur nach Abstimmung mit den zuständigen Stellen

(von Wilpert et al. 2013). Dagegen findet in manchen anderen Bundesländern keine systematische Waldkalkung statt.

Das UBA verfügt nicht über eigene Untersuchungen zur Wirkung der Waldkalkung, weshalb die nachfolgenden, stark zusammenfassenden Einschätzungen vor allem auf Ergebnissen der BZE2 (Wellbrock et al. 2016) basieren. Darin dienen Vergleiche der Bodenzustände auf gekalkten und ungekalkten versauerungssensitiven Untersuchungsflächen und ihre Veränderung zwischen den Aufnahmen (BZE1 und BZE2) als Grundlage, um die Wirksamkeit der Kalkung zu bewerten. Es zeigte sich, dass die Kalkung zu einer deutlichen Zunahme des pH-Wertes, der Basensättigung und des Vorrates an Kalzium und Magnesium im Oberboden (bis 30 cm Tiefe) führte, zum Teil sogar zu einem leichten Anstieg im Unterboden (bis 60 cm). Dagegen verbesserte sich der Versauerungsstatus auf ungekalkten Standorten nur im Oberboden leicht als Folge natürlicher Erholungsprozesse, während in tieferen Schichten die Versauerung zum Teil noch zunahm. Hinsichtlich der Ernährung der Bäume waren Verbesserungen der Magnesiumgehalte in Blättern und Nadeln durch Kalkung zu verzeichnen, bei einigen Baumarten aber auch Verschlechterungen der Phosphor und Kaliumversorgung durch veränderte Elementbindung bzw. Verfügbarkeit im Boden.

Als Kritikpunkte an der Waldkalkung werden häufig die erhöhte Freisetzung von Stickstoff aus der Humusaufgabe mit anschließender Nitratauswaschung sowie Kohlenstoffverluste durch erhöhte Umsetzungsraten des Humus angeführt. Die Auswertungen der BZE II (Wellbrock et al. 2016) belegen jedoch, dass durch Kalkung zwar sowohl Stickstoff als auch Kohlenstoff aus der Humusaufgabe freigesetzt werden. Sie werden aber zumindest teilweise in darunter liegende Mineralbodenschichten verlagert und dort angereichert. Zwar waren Stickstoffverluste über das gesamte Profil auch bei gekalkten Standorten zu verzeichnen, sie fielen aber bei den ungekalkten Standorten insgesamt deutlich höher aus. Die Kohlenstoffspeicherung über das gesamte Profil nahm auf gekalkten Standorten gegenüber ungekalkten sogar zu. Eine detaillierte multivariat statistische Analyse zeigte allerdings, dass neben der Kalkung auch der Tongehalt, die Temperatur und die Stickstoffdeposition die Kohlenstoffspeicherung beeinflussen, so dass es unter bestimmten Bedingungen durch Kalkung auch

zu Kohlenstoffverlusten kommen kann. Zu beachten ist auch, dass die hier dargestellten Ergebnisse der BZE zwar einen Überblick über die Situation an den zahlreichen untersuchten Standorten geben, was aber nicht ausschließt, dass sich einzelne BZE-Standorte aber auch Standorte außerhalb der untersuchten Flächen anders verhalten und dass es zeitliche Variationen der Wirkungen, insbesondere in Abhängigkeit von den Witterungsbedingungen geben kann.

Die Wirkungen der Kalkung auf die Biodiversität sind unterschiedlich. Durch die Förderung der Stoffumsetzungen in der Humusaufgabe wird unter anderem mehr Stickstoff verfügbar. So treten auf gekalkten Flächen oft mehr Arten (höhere Diversität) in der Bodenvegetation auf, die aber häufig als unerwünschte Stickstoff- und Störungsanzeiger einzuordnen sind (Reif et al. 2014, Wellbrock et al. 2016). Die Bodenatmung als ein Indikator für die Aktivität des Bodenlebens, insbesondere der Mikroorganismen, nahm laut Evers et al. (2008) und Melvin et al. (2013) nach der Kalkung kurzfristig zu, längerfristig dagegen ab. Wellbrock et al. (2016), die auf diese Quellen verweisen, interpretieren dies als eine mögliche Ursache für die Nettoanreicherung von Kohlenstoff im Mineralboden. Sie schließen daraus aber auch, dass sowohl die kurzfristigen als auch die langfristigen Folgen einer Kalkung auf Bodenlebewesen und -prozesse sowie die Entwicklung der Kohlenstoffvorräte erst unzureichend verstanden sind.

Von Wilpert et al. (2013) belegen anhand von Untersuchungsergebnissen, dass die verringerte Säurebelastung in Humusaufgaben und Mineralböden die Lebensbedingungen auch anspruchsvoller Zersetzer organischer Substanz und tiefgrabender Regenwürmer verbessert. Die dadurch geförderte Anreicherung von Humus im Mineralboden trägt zu einer besseren Bodenstruktur und damit Wasser- und Nährstoffversorgung bei und unterstützt eine tiefere Durchwurzelung. Das schafft günstige Bedingungen für den Waldumbau zu Laub- Laubmischwäldern und kann Stressbelastungen durch den Klimawandel abmildern.

Diverse Studien (Kölling et al. 2007; Stahl und Doetsch 2008; Meiwes 2010; Flückinger und Braun 2009; Leitgeb und Mutsch 2012) befassen sich mit der Frage, ob bei intensiver Forstnutzung entste-

hende Nährstoffdefizite durch die Beimengung von Holzaschen (und ggf. anderen Reststoffen) bei der Kalkung ausgeglichen werden können. Während Flückinger und Braun (2009) das Recycling der dem Waldboden entzogenen Nährstoffe durch Ausbringung von Holzaschen als Alternative zur Beschränkung der Holznutzung auf die Derbholzfraktion befürworten, warnen Kölling et al. 2007 vor negativen Folgen wie Nährstoffauswaschung und Humuschwund – Aussagen, die allerdings aufgrund der Ergebnisse der BZE II zur Wirkung der Waldkalkung zu prüfen sind, denn durch die Beimengung von Aschen ist keine grundsätzlich andere Reaktion der Bodenprozesse zu erwarten als bei reiner Kalkung. Leitgeb und Mutsch (2012) weisen allerdings darauf hin, dass für den Einsatz im Wald zugelassene Aschen in der Regel sehr hohe pH-Werte aufweisen und eine solche Düngung daher einen deutlichen Eingriff in natürliche Abläufe darstellt. Auch sie befürchten eine erhöhte Nitrifikation, Verluste von Kohlenstoff und Stickstoff aus dem Boden und eine deutliche Veränderung von Bodenprozessen und die Artenzusammensetzung der Bodenflora und -fauna. Sie weisen darauf hin, dass gute Standortkenntnisse und eine sachgerechte Ausbringung erforderlich sind, um Aschen ökologisch vertretbar einzusetzen. Standortliche Beschränkungen bei der Biomassenutzung sind ihrer Meinung nach zu akzeptieren und können nicht in jedem Falle durch den Einsatz von Holzaschen überwunden werden. So scheiden eine Reihe von Standorttypen aus, z. B. flachgründige, nitratreiche oder grundwassernahe Böden, Steilhänge oder Kuppen.

Stoffliche Anforderungen an Holzaschen, die auf forstlichen Flächen ausgebracht werden sollen, regelt die Düngemittelverordnung (DüMV). Diese Vorgaben sind einzuhalten. Zum Beispiel dürfen nur Aschen aus naturbelassenem Holz verwendet und bestimmte Schadstoffgehalte nicht überschritten werden.

Bisher wird die Düngung mit Aschen in Deutschland erst wenig praktiziert. In Skandinavien ist sie aber bereits verbreitet und ihre Bedeutung in Deutschland könnte zukünftig im Zusammenhang mit intensiver Biomassenutzung im Wald steigen. Die Landeswaldgesetze beinhalten kaum eindeutige Regelungen zur künstlichen Nährstoffzufuhr in Wäldern. Einige Länder, z. B. Bayern, haben Merkblätter erarbeitet, in denen rechtliche Rahmenbedingungen erläutert werden (Bayerisches Landesamt für Umwelt 2009).

Zusammenfassend ist festzustellen, dass die Kalkung hinsichtlich der Wirkungen auf die Waldökosysteme sowohl Vor- als auch Nachteile hat, die sehr gründlich gegeneinander abzuwägen sind. Über den Nachweis des Kalkungsbedarfs der Waldstandorte hinaus sind die dort anzutreffenden spezifischen Bodeneigenschaften und Schutzerfordernisse sehr genau zu berücksichtigen, bevor Kalkungsentscheidungen getroffen werden. Eine besonders kritische Bewertung des Kalkungsbedarfs ist bei Standorten erforderlich, die sich natürlicherweise zu stark sauren Böden entwickeln, z. B. auf Graniten oder Quarzsanden. Unterbleiben sollte die Kalkung auf stark bodensauren Standorten mit Lebensgemeinschaften, die an nährstoff- und humusarme Standorte angepasst sind.

Nach der Waldstrategie 2020 und NBS soll auch weiterhin keine Düngung zur Ertragssteigerung in Wäldern erlaubt sein. Laut Waldstrategie 2020 sollen Waldkalkungen zum Ausgleich versauernder Einträge aber aufrechterhalten werden, wobei Beimischungen von Holzaschen nicht zu Schadstoffakkumulationen in Böden führen dürfen. Das UBA unterstützt diese Zielstellungen. Der Einsatz von Kalk und Aschen soll die Ziele der naturnahen Waldwirtschaft und den Anbau möglichst standortheimischer Baumarten unterstützen. Gleichzeitig sind weitere Maßnahmen zur Luftreinhaltung erforderlich (siehe voriger Abschnitt), so dass die Notwendigkeit der Waldkalkung zukünftig entfällt.

Pflanzenschutzmittel

Die Bekämpfung von Forstschädlingen durch die Anwendung von Pflanzenschutzmitteln in Wäldern führt zu Stoffeinträgen, die mit einem erheblichen Potenzial an direkten und indirekten negativen Auswirkungen auf andere Pflanzen- und Tierarten des Waldes verbunden sind. Für den Einsatz in Deutschland sind unter anderem Herbizide und Insektizide zugelassen. Insbesondere der Einsatz von Breitbandinsektiziden z. B. gegen Kiefernspinnernkalamitäten schädigt in der Regel auch andere vorkommende Insektenarten – darunter auch die natürlichen Gegenspieler der bekämpften Forstschädlinge und hat zusätzlich Auswirkungen auf das gesamte Nahrungsnetz. Als besonders kritisch müssen hierbei die Anwendungen von Insektiziden mit dem Hubschrauber aus der Luft beurteilt werden. So ergibt sich wegen der höheren Abdrift bei der Ausbringung aus dem Hubschrauber ein erhöhtes

Eintragsrisiko für alle benachbarten Habitate; zudem sind wegen der weniger zielgerichteten Ausbringung auch schützenswerte Biotope innerhalb des Waldes, wie z. B. Kleingewässer, höheren Risiken ausgesetzt. Aufgrund der hohen Risiken für Mensch und Umwelt wurde die Luftausbringung mit der EU-Rahmenrichtlinie zur nachhaltigen Verwendung von Pestiziden (RL 2009/128/EG) generell verboten. Allerdings besteht für das Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit (BVL) als Zulassungsbehörde für Pflanzenschutzmittel in besonderen Ausnahmefällen, wie z. B. der Gefahr erheblicher Waldschäden, die Möglichkeit, gesonderte Genehmigungen für Anwendung mit dem Hubschrauber zu erteilen. Solche Ausnahmen sind auf Anwendungen im Wald und im Weinbau beschränkt. Über die jährlich behandelten Waldflächen liegen dem UBA vereinzelt Informationen vor.

Naturnahe, standortgerechte Waldbestände verfügen über stärker ausgeprägte Mechanismen der natürlichen Schädlingsregulation und sind widerstandsfähiger gegenüber Schädlingsbefall als naturferne Bestände. Der ökologische Waldumbau ist daher neben anderen nicht-chemischen Maßnahmen des Waldschutzes (z. B. Monitoring oder Entfernung von für Forstschädlinge besiedlungsfähigem und befallenem Holz im Befallsgebiet) der wichtigste Baustein, um den Pflanzenschutzmitteleinsatz in Wäldern langfristig zu reduzieren. Insbesondere für nicht standortgerechte Wälder ist daher eine immer wiederkehrende Symptombehandlung gegen Schadinsekten mit Pflanzenschutzmitteln (Insektiziden) nicht akzeptabel.

Wo Insektizide eingesetzt werden müssen, weil keine anderen Mittel zur Verfügung stehen, um ein großflächiges Absterben von Bäumen und somit den Verlust wichtiger Waldfunktionen abzuwenden, sollten die Auswirkungen auf Nicht-Zielorganismen und den Stoffhaushalt des Waldes auf ein Minimum begrenzt werden. Ein ausreichender Anteil von unbehandelten Refugialräume stellt sicher, dass sich die durch die

Insektizidanwendung geschädigten Populationen an Nichtzielorganismen wieder erholen und somit auch die ökologischen Funktionen des Waldes wiederhergestellt werden können. Naturschutzfachlich besonders wertvolle Flächen sollten nicht mit Insektiziden behandelt werden.

Pflanzenschutzmittel dürfen generell keine „unannehmbaren Auswirkungen“ auf den Naturhaushalt haben. Das UBA hat nach dem Pflanzenschutzgesetz in den Zulassungsverfahren einen sogenannten Einvernehmensstatus: Ohne Zustimmung des UBA ist eine reguläre Zulassung in Deutschland nicht möglich. Die Zustimmung zur Zulassung erteilt das UBA nur, wenn es in seiner Bewertung zu dem Schluss kommt, dass bei sachgemäßer Anwendung sichergestellt ist, dass keine unannehmbaren Auswirkungen auf den Naturhaushalt auftreten können. Mögliche Auswirkungen auf Gewässer (Oberflächengewässer, Grundwasser), Boden und Luft sowie das Ökosystem und die biologische Vielfalt sind zu berücksichtigen. Im Zulassungsverfahren für Pflanzenschutzmittel, die mit dem Hubschrauber aus der Luft in Wäldern ausgebracht werden sollen, hat das UBA allerdings nur einen Benennungsstatus. Vollständig umgangen wird eine Umweltprüfung von Pflanzenschutzmitteln mit dem Hubschrauber im Forst jedoch in Fällen, in denen die Mittel über den Weg der Erweiterungen der Zulassung auf geringfügige Verwendungen (Art. 51 VO (EG) 1107/2009) genehmigt werden. In diese Verfahren ist das UBA nicht direkt eingebunden. Solche ungeprüften Anwendungen mit Luftfahrzeugen widersprechen dem grundsätzlichen Ansatz, die Ausbringung von Pflanzenschutzmittel mit dem Hubschrauber auch aus Umweltschutzgründen so weit wie möglich einzuschränken und nur als allerletztes Mittel anzuwenden.

Die Anwendung von Bioziden zum Schutz der menschlichen Gesundheit in angrenzenden Wohngebieten wird in diesem HGP nicht behandelt.

3.2 Nachhaltige Holznutzung

Holz ist ein nachwachsender Rohstoff, der multifunktional eingesetzt werden kann:

- a) als Bau- und Werkstoff,
- b) als Zellstoff, Papier und Pappe,
- c) als Chemierohstoff und
- d) als Energieträger.

Im Jahr 2017 wurden in Deutschland pro Person im Durchschnitt 1,49 m³ Holz pro Jahr genutzt in Form von Bauholz, Möbeln, Papier, Pappe oder anderen Holzprodukten. Insgesamt betrug 2017 der (rechnerische) inländische Verbrauch an Holz und Produkten auf Basis von Holz rund 123 Mio. m³(r)⁵² bei einem Gesamtaufkommen an Holz, inklusive der Verwendung von Altpapier und Altholz, von 259,5 Mio. m³(r) (Weimar 2018). Circa 134,8 Mio. m³(r) Holz und Produkte auf Basis von Holz wurden im selben Jahr exportiert, und somit deutlich mehr als im Inland verbraucht wurde (ebenda).

Während rund 53 % des Gesamtaufkommens an Holz und Produkten aus Holz importiert werden, machen die Exporte etwa 52 % des Gesamtverbrauchs an Holz und Produkten aus Holz aus. Deutschland ist somit seit 2011 mengenmäßig ein Nettoimporteur von Holz und Produkten aus Holz mit aktuell abnehmender Tendenz⁵³. Beim Rohholz (ohne Produkte aus Holz und Papier) kommt es seit 2009 hauptsächlich beim Nadelrohholz und Brennholz zu Nettoimporten, insgesamt lag die Nettoeinfuhr von Rohholz im Jahr 2017 bei 5,5 Mio. m³ (Weimar 2018).

Der Cluster Forst-Holz-Papier stellte im Jahr 2017 mit rund 121.900 Unternehmen, ca. 1,081 Mio. Beschäftigten und einem Umsatz von knapp 184 Mrd. Euro einen wichtigen Wirtschaftszweig in Deutschland dar (Thünen-Institut 2019).

Wenngleich die stoffliche Nutzung von Derbholz in Deutschland aktuell noch deutlich überwiegt⁵⁴, ist die energetische Nutzung des Gesamtaufkommens an Holz (Waldholz, Restholz, Altholz/Recycling) seit 1990 um fast 240 % gestiegen und beträgt 2016 rund 50 % (Mantau et al. 2018). Insgesamt hat sich der Holzbedarf seit 1990 nahezu verdoppelt (ebenda) und es ist davon auszugehen, dass sowohl der Bedarf an Holz zur stofflichen als auch energetischen Nutzung voraussichtlich weiter steigen wird (vgl. Mantau et al. 2017); die Bundesregierung hat hierfür Ziele in verschiedenen Strategien und Aktionsplänen vorgegeben (z. B. Waldstrategie 2020, Charta für Holz 2.0, Nationale Bioökonomiestrategie, Klimaschutzprogramm 2030) und auch durch Zielvorgaben auf europäischer Ebene (z. B. des Anteils erneuerbarer Energien in der Wärmenutzung in der europäischen Erneuerbaren Energien Richtlinie (RED II)) sind zusätzliche Anreize für die energetische Holznutzung zu erwarten.

Zusätzlich ist zu bedenken, dass derzeit die deutschen Rohholznutzer wie Sägewerke oder Zellstoffindustrie hauptsächlich Nadelholz verarbeiten (vgl. Seintsch 2011) und hier auch in den letzten Jahren ein erheblicher Aufbau von Kapazitäten erfolgt ist (vgl. Waldstrategie 2020). Vor dem Hintergrund des notwendigen Waldumbaus, der das Angebot an Laubholz erhöhen und an Nadelholz verringern wird, und vor allem des Vorratsabbaus im Nadelholzbereich, werden Angebot und Nachfrage an Holzrohstoffen weiter auseinander gehen (vgl. Schier & Weimar 2017). Zudem sind viele Sägewerke durch den Ausbau der Kapazitäten, z. B. Profilerspanner, nicht auf die Verarbeitung von Laubholz, vor allem in höheren Durchmesserklassen, ausgerichtet. Somit könnte es zu einem verstärkten Versorgungsengpass an Nadelholz und einem Überangebot an Laubholz kommen. Das aktuelle Überangebot vor allem an Nadelholz aufgrund der Sturm- und Käferschäden der letzten Jahre verstärkt diese „Schiefelage“ mittelfristig noch weiter. Sowohl Politik als auch die Holzverarbeitende Industrie sind sich des Problems bewusst. So ist die Wertschöpfungskette Laubholz ein Schwerpunktthema im Handlungsfeld „Potenziale von Holz in der Bioökonomie“ der Charta für Holz 2.0. Auch im Rahmen des Förderschwerpunkt „Nachhaltige Wald-

52 m³(r) = Rohholzäquivalente „Beim Rohholzäquivalent handelt es sich um eine theoretische Größe, welche – unter Berücksichtigung von Ausbeuteverlusten – ausdrückt, wie viel Einheiten Rohholz für die Herstellung einer Einheit der jeweiligen holzbasierten Roh-, Halb- oder Fertigware erforderlich wären.“ (Weimar, 2018)

53 gemessen am Warenwert bleibt Deutschland mit rund 6,5 Mrd. EUR Exportüberschuss Nettoexporteur

54 Thünen Institut 2020: Inlandsverwendung von Rohholz in Deutschland im Jahr 2017, https://www.thuenen.de/media/institute/wf/HM_div_Statistik_Dateien/Dateien_-_Bilanzen_-_Tabellen/Wald/Einschlagrueckrechnung/Rohholz_Inlandsverwendung.pdf

wirtschaft“ des BMEL werden diverse Projekte zur Nutzung der Laubholzpotenziale gefördert⁵⁵. Wenn gleich der Laubholzanteil in der Rohholzverwendung der Holzwerkstoffindustrie steigt (33 % im Jahr 2018), so überwiegt aktuell die energetische Nutzung des Laubholzes mit 64 % des Laubholzaufkommens bei weitem (FNR 2019, vergleiche auch Thünen Institut 2020, siehe Fußnote 51).

3.2.1 Holz als Rohstoff für Bau- und Werkstoffe

Umweltverträgliche Herstellung von Holzprodukten

Die holzbearbeitende und holzverarbeitende Industrie ist ein bedeutender Wirtschaftszweig in Deutschland. Die beiden größten Teilbereiche stellen dabei die Sägeindustrie und die Holzwerkstoffindustrie dar.

Die Sägeindustrie produziert durch den Einschnitt von Rundholz Bauschichtholz (Bretter, Kantholz, Latten, Balken), Schnittholz für Verpackungszwecke sowie Schnittware für Möbel, Treppen und Parkett. Das eingeschnittene Holz wird häufig durch Hobeln, Fräsen und Imprägnieren weiterverarbeitet. In den 2774 Betrieben in Deutschland (Thünen-Institut 2019) wurden 2017 ca. 22 Mio. m³ Nadel schnittholz und ca. 1,1 Mio. m³ Laubschnittholz produziert (DESH 2020). Die Exportquote liegt bei rund 40 %, wobei Laubschnittholz zu mehr als 70 % exportiert wird (ebenda). Die Größe der einzelnen Betriebe variiert sehr stark mit Einschnittmengen von wenigen tausend Festmetern in familiären Kleinbetrieben bis hin zu 300.000 Festmetern pro Jahr in industriellen Großsägewerken. Beim Einschnitt fallen Holzhackschnitzel, Holzspäne und andere Sägeresthölzer an, die der Holzwerkstoff- und Pelletindustrie als Rohstoff dienen.

Zur Produktpalette der Holzwerkstoffindustrie gehören unter anderem Spanplatten, Grobspanplatten (OSB), Faserplatten, Sperrholz, Wärmedämmplatten, Formteile sowie auch relativ neue Werkstoffe, wie Holz-Kunststoff-Verbundwerkstoffe. Als Rohmaterialien dienen hauptsächlich Holzspäne, Holzfasern und Furniere. Diese werden i. d. R mit einem Bindemittel unter hohen Temperaturen und Druck verpresst. Deutschland ist der bedeutendste Produzent von Holzwerkstoffen in Europa. Allein im Jahr 2017 wurden in Deutschland rund 12,8 Mio. Tonnen

Holzwerkstoffe hergestellt. Darunter ist vor allem die Spanplattenindustrie mit einer Produktionsmenge von rund 8,5 Mio. m³ als wichtigste Branche zu nennen (FNR 2019a). Die für die Spanplattenproduktion genutzten Holzspäne werden zum größten Teil von Sägewerken bezogen. Die deutsche Spanplattenindustrie setzt aber auch durchschnittlich 25 % Holzspäne aus recyceltem Altholz ein (FNR 2019). Manche Spanplatten werden komplett aus recyceltem Altholz hergestellt. Die Einsatzgebiete der Spanplatten sind vor allem der Baubereich und die Möbelindustrie.

Während der Herstellung von Holzprodukten können unterschiedliche Emissionen, vor allem aber Holzstäube, entstehen. Zur Verminderung dieser Emissionen nutzen die Anlagen der Holzbearbeitung und -verarbeitung in den Produktionsprozess integrierte oder nachgeschaltete Minderungstechniken. Das UBA trägt sowohl national als auch international dazu bei, die aus der industriellen Holzbearbeitung und -verarbeitung resultierenden Umweltbelastungen zu vermeiden und zu vermindern.

Gemäß der Richtlinie über Industrieemissionen (IED 2010/75/EU) ist 2015 ein Merkblatt über die Besten Verfügbaren Techniken im Bereich der Herstellung von Platten auf Holzbasis veröffentlicht worden. Das UBA nahm als deutsche Vertretung an diesem Erarbeitungsprozess teil und hat somit bei der Harmonisierung der europäischen Umweltschutzstandards auf einem hohen Niveau geholfen (siehe Box 3).

Einen weiteren Teilbereich der Holzindustrie stellen die Anlagen zur Holzimprägnierung dar. In erster Linie werden Hölzer und Holzwerkstoffe, die eine tragende oder aussteifende Funktion erfüllen sollen, mit Holzschutzmitteln behandelt, um einem Insekten- und Pilzbefall vorzubeugen. Hierbei kommen eine breite Palette von organischen und anorganischen Bioziden zum Einsatz⁵⁶. Vielfach handelt es sich um Kombinationsprodukte mit zwei und auch mehr Wirkstoffen, die eine entsprechend lange Gebrauchsdauer des Holzes sicherstellen sollen. Darüber hinaus werden in gewerblichen Anlagen auch sogenannte Bläueschutzmittel in Oberflächenverfahren aufgebracht, um die Besiedelung des Holzes mit Bläuepilzen und Schimmel zu verhindern.

55 Vgl. Potrykus und Milunov (2013); https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Pool/Forschungsdatenbank/fkz_3711_43_330_2_holz konservierung_en_bf.pdf

56 https://www.baua.de/DE/Themen/Anwendungssichere-Chemikalien-und-Produkte/Chemikalienrecht/Biozide/Datenbank-Biozide/Biozide_form.html

Box 3: Die Richtlinie über Industrieemissionen (IED 2010/75/EU) und die Besten Verfügbaren Techniken

Die Richtlinie 2010/75/EU (IED = Industrial Emissions Directive) bildet europaweit die Grundlage für die Genehmigung besonders umweltrelevanter Industrieanlagen. Zentrales Konzept für Genehmigung und Betrieb von Industrieanlagen sind die „Besten Verfügbaren Techniken“ (BVT). Ziel der Richtlinie ist eine Harmonisierung des Umweltschutzniveaus für Industrieanlagen in Europa auf hohem Umweltschutzniveau.

Gemäß Art. 13 der IED findet ein europaweiter Informationsaustausch zwischen Mitgliedstaaten und der Industrie (Sevilla-Prozess) über die Besten Verfügbaren Techniken statt, dessen Ergebnisse als BVT-Merkblätter veröffentlicht werden. Die sog. BVT-Schlussfolgerungen, als Teil dieser Merkblätter, dienen bei der Festlegung von Genehmigungsauflagen EU-weit als Referenz.

Holzschutzmittel sind

Biozide. Als Mittel zur Bekämpfung unterschiedlicher Organismen sind Biozidprodukte potenziell auch gefährlich für Menschen, Tiere und die Umwelt und müssen dementsprechend mit der gebotenen Vorsicht gehandhabt werden. Um die notwendige Sicherheit für Verbraucher, Beschäftigte und die Umwelt zu erreichen und gleichermaßen die erforderliche Wirksamkeit der entsprechenden Produkte gewährleisten zu können, dürfen grundsätzlich nur nach behördlicher Prüfung zugelassene Biozidprodukte oder Biozidprodukte, die sich noch im Prüfungsverfahren nach der Biozid-Verordnung (BiozidVO EU Nr. 528/2012) befinden, verwendet werden. Seit 2013 regelt die Biozid-Verordnung das Inverkehrbringen und Verwenden von Biozidprodukten auf dem europäischen Markt. Das UBA ist in Deutschland als Einvernehmensstelle für die Umweltrisikobewertung im Biozidvollzug zuständig.

Im Bereich der vorbeugend wirksamen Holzschutzmittel für den industriellen Einsatz kommen in Deutschland üblicherweise wasserlösliche Holzschutzmittel zur Anwendung, wie z. B. Zubereitungen auf Basis von Borsalzen, Kupferverbindungen, Triazolen, Carbamaten und quartären Ammoniumverbindungen. Insbesondere durch Auswaschprozesse durch Bewitterung während der Nutzungsphase des Holzes gelangen die eingesetzten Biozide in die verschiedenen Umweltmedien und können Nichtzielorganismen nachweislich schädigen (UBA 2000). Darüber hinaus sind viele der eingesetzten Wirkstoffe nicht nur hoch toxisch, sondern auch persistent und verbleiben über lange Zeiträume in Böden und Gewässern (OECD 2013). Zudem besteht für einige der eingesetzten Biozide der Verdacht, dass sie das

Hormonsystem von Nichtzielorganismen negativ beeinflussen könnten. Der Einsatz von Holzschutzmitteln verdient daher eine besonders kritische Betrachtung im Hinblick auf mögliche Umweltwirkungen und es sind Maßnahmen zu treffen, um den Austrag von Bioziden in die Umwelt zu vermeiden.

Während der Anwendung von Holzschutzmitteln sollten Einträge in Boden und Gewässer unbedingt verhindert werden. Dies gilt für industrielle Anlagen ebenso wie für die händische Anwendung von Holzschutzmitteln am Verwendungsort des Holzes. Bei behandeltem Holz sollte auf ausreichende Fixierzeiten oder Trocknungszeiten geachtet werden bevor dieses verbaut wird, da gerade aus frisch behandeltem Holz viele Biozide ausgewaschen werden können. Die Lagerung von frisch behandeltem Holz sollte unter Dach und auf versiegeltem Untergrund erfolgen. Je nach Verwendung des Holzes kann ein Deckanstrich die Haltbarkeit des behandelten Holzes erhöhen und den Austrag von Bioziden reduzieren. Nach Ende der Nutzungsdauer ist bei behandeltem Holz besonders darauf zu achten, dass dies sachgerecht als Altholz entsorgt wird und keinesfalls vor Ort verrottet oder gar verbrannt wird.

Für eine nachhaltige Nutzung von Holzschutzmitteln ist es wichtig, deren Verwendung möglichst sicher zu gestalten und auf ein Minimum zu begrenzen. Es gilt das Prinzip: „So viel wie nötig und so wenig wie möglich.“ Auf ihren Einsatz in Wohn- oder Aufenthaltsräumen sollte zum Schutz der Bewohner soweit irgend möglich verzichtet werden. In bestimmten Fällen kann der Einsatz natürlich dauerhafter Holzarten eine Alternative darstellen. So wird nach den

Vorgaben der Holzschutznorm DIN 68800-2:2012 gefordert, dass der chemische Holzschutz erst zum Tragen kommt, wenn im Vorfeld die baulich-konstruktiven Maßnahmen zum Schutz des Holzes und die Verwendung natürlich dauerhafter Holzarten Berücksichtigung gefunden haben. Je nach Einsatzbereich stehen mittlerweile auch biozidfreie Verfahren zur Erhöhung der Dauerhaftigkeit von Holz zur Verfügung.

Die Anwendung von Kreosot (Destillat aus Steinkohleteer) ist in Deutschland auf Grund des hohen Gefährdungspotentials (sehr besorgniserre-

gender Stoff nach REACH-VO (EG) Nr. 1907/2006; Anhang XVII Nr. 31) nur noch für die industrielle Imprägnierung von Holzschwellen für das Gleisbett zulässig. Eine Abgabe an den privaten Endverbraucher oder die zweckfremde Nutzung von mit Kreosot behandelten Hölzern ist untersagt. Mittlerweile gibt es eine Reihe von Alternativen, um mit Kreosot imprägnierte Holzschwellen zu ersetzen (UBA 2015a). Daher wird die Verwendung von Kreosot vermutlich auch in diesem Bereich in naher Zukunft beendet werden können (siehe Box 4).

Box 4: Zulassung von Kreosot nach Biozidrecht

Kreosot wurde 2013 befristet auf 5 Jahre bis April 2018 als Biozidwirkstoff genehmigt, da einige Mitgliedstaaten trotz der Risiken keine Ersatzmöglichkeiten für seine Verwendung, insbesondere zur Behandlung von Bahnschwellen und Masten, sahen. In den Folgejahren wurde die Genehmigung bis Ende Oktober 2021 verlängert. Derzeit wird eine zeitlich begrenzte Wiedergenehmigung von Kreosot geprüft.

Eine Zulassung für kreosothaltige Produkte kann nur dann ausgesprochen werden, wenn keine geeigneten Alternativen verfügbar sind. Anders als bei Wirkstoffen, die die EU-Genehmigungsvoraussetzungen erfüllen, bleibt die letztliche Entscheidung, ob kreosothaltige Holzschutzmittel zugelassen werden, dem jeweiligen Mitgliedstaat überlassen. Lässt ein Mitgliedstaat kreosothaltige Holzschutzmittel zu, so muss er der Europäischen Kommission begründet darlegen, dass es keine Alternativen gibt und einen veröffentlichten Aktionsplan zur Förderung von Alternativen vorlegen.

Kreosot ist eine Mischung einer Vielzahl chemischer Verbindungen und besteht hauptsächlich aus polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK)⁵⁷. Da einige dieser PAK krebserzeugend sind, wurde auch Kreosot als karzinogener Stoff der Kategorie 1B eingestuft. Zudem sind viele Verbindungen in Kreosot persistent, bioakkumulierend und toxisch (PBT), andere Verbindungen sind sehr persistent und sehr bioakkumulierend (vPvB). Diese Verbindungen werden in der Umwelt nur sehr langsam abgebaut, reichern sich in Organismen an und können diese schädigen. Folglich ist jede Freisetzung in die Umwelt zu vermeiden.

Die Imprägnierung von Hölzern mit lösemittelhaltigen Schutzmitteln spielt in Deutschland im industriellen Maßstab inzwischen keine Rolle mehr,

sie werden jedoch noch häufig im handwerklichen und privaten Bereich genutzt, wenn es z. B. um die Bekämpfung eines akuten Insektenbefalls geht.

In den letzten Jahren wurden auf europäischer Ebene die Besten Verfügbaren Techniken (BVT) für Industrieanlagen zur Konservierung von Holz und Holzzeugnissen mit Chemikalien mit einer Produktionskapazität von über 75 m³ pro Tag ermittelt, sofern sie nicht ausschließlich dem Bläueschutz dienen (siehe Box 3). Das UBA beteiligte sich an den Arbeiten und wirkte auf die Festlegung von anspruchsvollen Anforderungen hin. Als Beitrag für die BVT Arbeiten ließ das UBA ein Forschungsvorhaben zur Ermittlung der Besten Verfügbaren Techniken für Anlagen zur Konservierung von Holz in Deutschland durchführen⁵⁸.

⁵⁷ Richtlinie 2011/71/EU der Kommission vom 26. Juli 2011

⁵⁸ Vgl. Potrykus and Milunov (2013); https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Pool/Forschungsdatenbank/fkz_3711_43_330_2_holzkonservierung_en_bf.pdf



Umweltfreundliche, emissionsarme Holzprodukte

Damit möglichst umweltfreundliche Produkte entstehen, müssen verschiedene Aspekte beachtet werden, darunter die nachhaltige und legale Herkunft der Rohstoffe, die Ressourceneffizienz sowie geringe Schadstoffemissionen aus den Produkten. Hier sollen diese Aspekte beispielhaft für ausgewählte Produktgruppen betrachtet werden.

Die Bedeutung von Holz im Bauwesen nimmt ständig zu. Das betrifft den traditionellen Baustoff Holz bis hin zu modernen naturfaserverstärkten Verbundwerkstoffen. Die Holzbauquote 2018 beträgt bei den Ein- und Zweifamilienhäusern 20,3 % (Vorjahr: 20,0), bei den Mehrfamilienhäusern 3,2 % (Vorjahr: 3,7) und bei den Nichtwohngebäuden 17,8 % (Vorjahr: 17,1). Insgesamt beträgt die Holzbauquote bezogen auf alle Gebäude 17,8 % (Vorjahr 17,6) und ist damit gegenüber dem Vorjahr nur leicht gestiegen. Die Quoten beziehen sich auf die Anzahl der überwiegend mit Holz genehmigten Gebäude⁵⁹. Auch bei Bauelementen hat Holz eine erhebliche Bedeutung. So geht beispielsweise der Verband Fenster und Fassade e. V. in den letzten Jahren von einem Anteil von ca. 15 % Holzfenstern in Deutschland aus, Kombifenster aus Metall und Holz werden voraussichtlich einen

Marktanteil von rund 8 % erreichen. Weitere Einsatzbereiche können Fassadendämmung, Böden und Decken sein.

Unter Ressourcenschonungsaspekten ist die zunehmende Verwertung von Holz im Bauwesen dann zu begrüßen, wenn dem eine nachhaltige Waldbewirtschaftung zugrunde liegt. Als Indikator für eine nachhaltige Waldbewirtschaftung dienen verschiedene Labels, die wichtigsten sind das FSC- und das PEFC-Label (siehe auch Kapitel 3.1.2). Zur Problematik von Zertifizierungen verweisen wir auf das UBA Positionspapier „Globale Landflächen und Biomasse nachhaltig und ressourcenschonend nutzen“ (UBA 2012). Für die Produkte im Baubereich, bei denen der Einsatz bereits gebrauchten Holzes in Frage kommt, sollten diese Einsparungspotenziale bestmöglich genutzt werden.

Holz gibt je nach Holzart in unterschiedlichem Maße flüchtige organische Verbindungen ab (VOC – „Volatile Organic Compounds“). Zur Beurteilung der Emissionen von VOC aus Bauprodukten in die Innenraumluft steht das AgBB-Bewertungsschema (AgBB – Ausschuss zur gesundheitlichen Bewertung von Bauprodukten⁶⁰) zur Verfügung. Der AgBB sieht

⁵⁹ https://www.holzbau-deutschland.de/aktuelles/presseinformation/ansicht/detail/holzbauquote_2018_liegt_bei_178_prozent/, abgerufen am 11.02.2020)

⁶⁰ <http://www.umweltbundesamt.de/themen/gesundheit/kommissionen-arbeitsgruppen/ausschuss-zur-gesundheitlichen-bewertung-von>

es als eine seiner wichtigsten Aufgaben an, die Grundlagen für eine einheitliche Bewertung von Bauprodukten in Deutschland bereitzustellen, damit einerseits die Anforderungen erfüllt werden, die sich aus den Landesbauordnungen und der europäischen Bauproduktenverordnung ergeben, und andererseits eine nachvollziehbare und objektivierbare Produktbewertung möglich ist. Das Bewertungsschema ist in den technischen Baubestimmungen der Länder beispielsweise für Parkett und andere Bodenbeläge umgesetzt. Eine Umsetzung für Spanplatte und OSB wird angestrebt. Das UBA ist, wie schon bei der Erarbeitung, auch bei der Weiterentwicklung des AgBB-Schemas maßgeblich beteiligt und empfiehlt dessen Anwendung als Mindeststandard bei der Bewertung von VOC-Emissionen aus allen Bauprodukten für Innenräume. Bei der Vergabe des Blauen Engels an Bauprodukte kommen je nach Produktgruppe verschärfte AgBB-Kriterien zur Anwendung, um besonders emissionsarme Produkte kenntlich zu machen.

Holzwerkstoffe (Spanplatten, Faserplatten) auf Basis von formaldehydhaltigen Leimen emittieren Formaldehyd, der über den natürlichen Gehalt des Holzes hinaus insbesondere aus den eingesetzten Klebern und Leimen entweicht. Formaldehyd ist ein Stoff, der zu Reizungen der Schleimhäute führen kann und darüber hinaus oberhalb eines Schwellenwertes kanzerogen wirkt.

Auf nationaler Ebene erarbeitet der von den Bundesländern und dem Umweltbundesamt eingesetzte Ausschuss für Innenraumrichtwerte (AIR) Empfehlungen für Höchstwerte von Stoffen in Innenräumen. Für Formaldehyd gibt es seit 2016 einen Richtwert von $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Das entspricht der Empfehlung der Weltgesundheitsorganisation (WHO). Wenn sich in einem Raum viele emittierende Holzwerkstoffprodukte (Wände, Fußboden, Decken, Möbel) befinden, sind Überschreitungen dieses Wertes möglich, selbst wenn alle einzelnen Produkte die in der Chemikalien-Verbotsverordnung geforderten 0,1 ppm unter den bis Ende 2019 im Referenzprüfverfahren zur Chemikalien-Verbotsverordnung definierten Prüfbedingungen erfüllten. Das bis Ende 2019 herangezogene Prüfverfahren entsprach nicht mehr dem Stand der Technik. Es spiegelte die realen Gegebenheiten (teilweise

hohe Beladungsfaktoren⁶¹ in Innenräumen, oft sehr niedriger Luftwechsel in modernen und sanierten Gebäuden, hohe Temperatur im Sommer) nur unzureichend wider. Die Überschreitungen können bei der Vielzahl und Diversität der vorhandenen Wohnungen mit vertretbaren Mitteln nicht quantifiziert werden. In den letzten Jahren gab es immer wieder Fälle, bei denen z. B. Kindergärten und Schulen wegen einer zu hohen Formaldehydbelastung geschlossen und saniert werden mussten.

Seit dem 01. Januar 2020 gibt es in Deutschland ein neues nationales Referenzprüfverfahren, welches seitens UBA und BAM in einem Forschungsvorhaben entwickelt und mit BMU und weiteren Akteuren abgestimmt wurde. Die zuständige Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Chemikaliensicherheit (BLAC) hat diesem Prüfverfahren zugestimmt. Es wurde vom BMU veröffentlicht. Dabei wird mit der EN 16516⁶² eine neue europäische Prüfnorm als Referenznorm in Bezug genommen, die stärker als die frühere Referenznorm die realen Gegebenheiten abbildet. Die alte Referenznorm darf weiterhin als zusätzliches Verfahren angewandt werden, Messwerte nach dieser Norm sind aber mit einem Faktor von 2,0 zu multiplizieren, um vergleichbar zu sein.

Auf europäischer Ebene findet gegenwärtig im Zusammenhang mit der Umsetzung der CLP-Verordnung (EG-Verordnung über die Einstufung, Kennzeichnung und Verpackung von Stoffen und Gemischen; Regulation on Classification, Labelling and Packaging of Substances and Mixtures) und der REACH-Verordnung eine umfassende wissenschaftliche Neubewertung der genotoxischen und krebserzeugenden Wirkungen von Formaldehyd statt. Im Ergebnis können weitergehende Anforderungen an die Produktinformation und die Risikominderung entstehen. Die Entscheidungen zur Risikominderung auf der Ebene des Stoffes (hier Formaldehyd) können in diesem Kontext nur auf europäischer Ebene gefasst werden, jedoch bleibt das Schutzniveau für die Gesundheit der Bewohner in Bezug auf die Innenraumluft unter der Bauproduktenverordnung weiterhin in der Kompetenz der Mitgliedstaaten.

61 Fläche eingebrachter Holzprodukte [m^2] pro Raumvolumen [m^3]

62 DIN EN 16516:2018-01 Bauprodukte – Bewertung der Freisetzung von gefährlichen Stoffen – Bestimmung von Emissionen in die Innenraumluft; Deutsche Fassung EN 16516:2017

Auch in anderen Ländern gibt es nationale Formaldehyd-Regelungen, so sind in den letzten Jahren in den USA stufenweise die CARB-Regularien (California Air Resources Board) eingeführt worden. Verschiedene Label wie in Deutschland im Rahmen des Blauen Engels das DE-UZ (Umweltzeichen) 76 „Emissionsarme Holzwerkstoffplatten“ oder das österreichische Umweltzeichen UZ 07 haben normalerweise schärfere Anforderungen als die staatlichen Regelsetzungen. Die Gütegemeinschaft Deutscher Fertigbau (2003) schreibt ihren Mitgliedsfirmen vor, nur solche Holzwerkstoffe einzusetzen, die maximal 30 % des gesetzlich erlaubten Emissionswertes (bezogen auf die bis Ende 2019 gültige Prüfvorschrift) erreichen.

Mit dem DE-UZ 38 „Emissionsarme Möbel und Lattenroste aus Holz und Holzwerkstoffen“ sind verschiedene Möbel ausgezeichnet, das DE-UZ 176 gilt für „Emissionsarme Bodenbeläge, Paneele und Türen aus Holz und Holzwerkstoffen für Innenräume“. Im Zusammenhang mit dem neuen deutschen Referenzprüfverfahren muss in den nächsten Jahren geprüft werden, inwieweit die Formaldehydanforderungen beim Blauen Engel angepasst werden sollten.

Neben der Beschränkung der Emissionen muss das verwendete Holz gemäß den Vergabekriterien aus nachweislich legalen Quellen stammen und bestimmte Nachhaltigkeitskriterien erfüllen (siehe Box 5).

In Innenräumen sind vorbeugende Holzschutzmittel gegen Pilze und Insekten für Holzprodukte grundsätzlich nicht mehr notwendig. Balken oder Holzteile können allein durch die Baukonstruktion vor Schädlingen ausreichend geschützt werden. Sie lassen sich so einbauen, dass Insekten sie nicht erreichen können oder ein möglicher Befall leicht optisch festgestellt werden kann. Die Holzschutznorm DIN 68800 hält am Prinzip „baulicher Holzschutz geht vor chemischem Holzschutz“ fest und verbietet Fungizide und Insektizide aus Häusern und Wohnungen. Das UBA rät von Holzschutzmitteln in Wohnungen generell ab, da sie die Gesundheit schädigen können. Alternativ können befallenes Holz oder Möbelstücke mit Heißluft behandelt werden.

Auf die Klimaschutzwirkungen langlebiger Holzprodukte geht Kapitel 3.1.3 ein.

Box 5: Instrumente zur Kennzeichnung und Förderung nachhaltiger Holzprodukte

Die nachhaltige Forstwirtschaft ist auch bei der umweltfreundlichen Beschaffung sowie bei der Umweltkennzeichnung eine wichtige Anforderung. Holzprodukte, die durch die Bundesverwaltung beschafft werden, müssen nachweislich aus legaler und nachhaltiger Waldbewirtschaftung stammen. Der Nachweis ist vom Bieter durch Vorlage eines Zertifikats von FSC, PEFC, eines vergleichbaren Zertifikats oder durch Einzelnachweise zu erbringen.

Bei der Umweltkennzeichnung Blauer Engel werden bei allen einschlägigen Vergabegrundlagen zu Holz- und Papierprodukten ebenfalls Anforderungen an die nachhaltige Forstwirtschaft gestellt. Als Nachweise werden von beiden Instrumenten sowohl die Zertifizierungssysteme FSC als auch PEFC genutzt und anerkannt.

3.2.2 Holz als Rohstoff für Zellstoff- und Papierprodukte

Bei der Papierproduktion nimmt Deutschland eine Spitzenstellung in Europa ein. Jährlich werden ca. 9,3 Mio. m³ Holz in der deutschen Zellstoff- und Papierindustrie eingesetzt. Davon fallen als Rundholz 5,4 Mio. m³ und als Sägenebenprodukte 3,9 Mio. m³ an. Die rund 22,3 Mio. Tonnen Faserstoffverbrauch der deutschen Papierindustrie im Jahr 2019 teilen sich in 4,1 Mio. Tonnen Primärzellstofffasern, 1 Mio. Tonnen Holzstofffasern und 17,1 Mio. Tonnen Sekun-

därfasern⁶³ auf. Aus diesen Faserstoffen wurden im Jahr 2019 22,1 Mio. Tonnen Papier hergestellt. Mit 210 Kilogramm Papier pro Person und Jahr verbrauchen wir rechnerisch viermal mehr Papier als der weltweite Durchschnittsbürger mit 55 Kilogramm pro Jahr. Beim rechnerischen gesamtwirtschaftlichen Pro-Kopf-Verbrauch werden auch Verbräuche

⁶³ Primärzellstofffasern sind ein durch chemischen Aufschluss aus pflanzlichen Rohstoffen (überwiegend aus Holz) gewonnenes Fasermaterial (Halbstoff). Holzstofffasern sind ein mit überwiegend mechanischen Mitteln aus Holz gewonnenes Fasermaterial. Sekundärfasern werden aus gebrauchten und ungebrauchten Papieren, Kartonagen und Pappen gewonnen.

außerhalb der Haushalte, die z. B. in Gewerbe, Medien und Verwaltung anfallen, mit einkalkuliert. Nach einer Untersuchung der INTECUS GmbH⁶⁴ werden in deutschen Haushalten jährlich zwischen 95 und 105 Kilogramm Papier pro Person verbraucht. Insgesamt beträgt der weltweite Verbrauch jährlich 423 Mio. Tonnen Papier, in der EU belief sich der pro Kopf-Verbrauch im Jahr 2018 auf 133 Kilogramm pro Jahr.

Der boomende Versandhandel über das Internet führte dazu, dass der größte Teil des in Deutschland verwendeten Papiers (rund 50 %) inzwischen für Verpackungen genutzt wird, wobei allerdings überwiegend mehrfach recycelte Papierfasern zum Einsatz kommen. Nur noch ca. 30 % allen Papiers in Deutschland wird als Druckerzeugnis oder Büropapier verbraucht. Der Rest sind Hygienepapiere, deren Verbrauch einen leicht steigenden Trend aufweist mit hohem Anteil an Primärzellstofffasern.

In Deutschland wachsen jährlich pro Hektar Wald 11,6 m³ Holz nach. Würde der gesamte jährliche Zuwachs der 11 Mio. Hektar Waldfläche für die Zellstoffproduktion verwendet (eine rein theoretische Annahme), ließen sich daraus bis zu 25 Mio. Tonnen Zellstoff produzieren. Diese Menge wäre zwar ausreichend⁶⁵, um den Papierverbrauch in Deutschland zu decken, allerdings würde darüber hinaus kein Holz für sonstige Nutzungen zur Verfügung stehen. Altpapier ist deshalb unser hauptsächlicher und inländisch vorhandener Papierrohstoff mit steigendem Wert. Durch die Steigerung des Altpapieranteils in der deutschen Papierproduktion auf derzeit 76 % werden die Wälder maßgeblich entlastet. Das Papierrecycling ist eine wichtige Stütze der Kreislaufwirtschaft in Deutschland und zunehmend auch in Europa sowie weltweit.

Für einen gut funktionierenden Recyclingkreislauf und hohe Festigkeit des produzierten Papiers werden auch frische Fasern (Primärzellstofffasern) benötigt. Ca. 20 % der eingesetzten Fasern sollten dem Kreislauf als Frischfasern zugeführt werden. Frischfaserpapiere für den europäischen Markt werden überwiegend in Skandinavien und zunehmend

in Südamerika produziert und nach Deutschland importiert, diese gewährleisten dann auch zum Teil den Frischfasernachschub, der für die Herstellung von Recyclingpapieren mit hoher Festigkeit in Deutschland notwendig ist. Beide Papiersegmente haben ihre Berechtigung.

Im Bereich der Büropapiere und auch der Hygienepapiere sind noch erhebliche Steigerungspotentiale für den Altpapiereinsatz vorhanden. Der Recyclingpapieranteil im Bereich der in Deutschland verbrauchten Büropapiere liegt bei gerade einmal 16 %. Papiere mit dem Blauen Engel beweisen seit langem, dass sich auch aus überwiegend unteren und mittleren Altpapiersorten mit umweltverträglichen Verfahren hochwertige Recyclingpapiere produzieren und damit Primärfasern substituieren lassen⁶⁶. Verpackungspapiere werden in Deutschland fast ausschließlich aus Altpapier hergestellt. Wichtig ist der verantwortungsbewusste Umgang mit Papier, vor allem vor dem Hintergrund der weltweiten Ungleichverteilung des Papierkonsums und dem hohen Anteil an Importen von Zellstoff und Fertigerzeugnissen aus Zellstoff z. B. Bücher aus China (siehe Box 6).

Alle modernen, integrierten Zellstoff- und Papierwerke beziehen ihre Energie aus dem Rohstoff Holz und speisen darüber hinaus überschüssigen Strom in die Stromnetze ein. Die Energie wird überwiegend durch die thermische Verwertung von nicht stofflich verwertbarem Holz sowie von Produktions- und Faserrückständen erzeugt. Über 95 % der von den Unternehmen im eigenen Betrieb erzeugten Elektrizität stammt aus Kraft-Wärme-Kopplung. Primärzellstoffpapiere aus diesen Werken können weniger CO₂-Emissionen verursachen, als manches mit dem deutschen Energiemix hergestellte Recyclingpapier. Für Papiere aus Brasilien oder Indonesien sieht die Bilanz anders aus, denn hier spielen der Transport, die zum Teil nicht nachhaltige Waldbewirtschaftung und geringere Umweltauflagen eine maßgebliche Rolle. Das Ergebnis des Vergleiches der CO₂-Bilanz zwischen Primärfaserpapier und Recyclingpapier ist somit vom jeweiligen Fall abhängig. Obwohl

64 Gutachten 18-11-60 zum Pro-Kopf-Papierverbrauch in der Bundesrepublik Deutschland, INTECUS GmbH Dresden, Jörg Wagner, im Auftrag des Verbandes Deutscher Papierfabriken, Mai 2019

65 Vergleich mit dem Faserstoffverbrauch von 21,9 Mio. t

66 Mit der Broschüre „Papier. Wald und Klima schützen“, herausgegeben vom Forum Ökologie & Papier (FÖP), Hamburg, in Kooperation mit dem UBA und vielen anderen Partnern liegt ein Beispiel vor, dass unterschiedliche Papiere aus 100 % Altpapier, die die Kriterien des Blauen Engels erfüllen, eine ausgezeichnete Druckqualität gewährleisten. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/papier_-_wald_und_klima_schuetzen-reichart_1.pdf

die CO₂-Bilanz nicht immer genau bestimmbar ist, ergeben sich dennoch eindeutige Umweltvorteile für das Recyclingpapier:

- ▶ Der Prozesswasserbedarf ist zwei- bis siebenmal niedriger.
- ▶ Der Gesamtenergiebedarf ist drei bis viermal niedriger.
- ▶ Sekundärfaserverwendung bedeutet „Papier der kurzen Wege“.
- ▶ Die Ressource Holz wird geschont und steht für andere Nutzungen zur Verfügung. Die Flächenkonkurrenz wird vermindert.
- ▶ Die Entlastung der globalen Waldressource bedeutet:
 - ▶ Schutz von Primärwäldern,
 - ▶ Erhalt der Biodiversität,
 - ▶ Schutz des Lebensraums der lokalen Bevölkerung.

Box 6: EU- Holzhandelsverordnung sowie das Holzhandels-Sicherungs-Gesetz

Laut EU-Holzhandelsverordnung¹ müssen seit März 2013 alle Händler, die Holz oder Holzprodukte innerhalb der EU erstmals auf den Markt bringen, nachweisen, dass ihre Produkte legal geschlagen und gehandelt wurden. Druckerzeugnisse wie Zeitschriften und Bücher sind vom Gesetz ausgenommen, darüber hinaus gibt es weitere Ausnahmen. Es gilt als legal eingeschlagen, was in den jeweiligen Partnerländern national als legale Forstwirtschaft eingestuft wird.

Im Mai 2013 wurde dazu die Umsetzung der Verordnung durch eine Änderung des Holz-Handels-Sicherungs-gesetz² beschlossen. Geregelt werden insbesondere Aufgaben und Eingriffsbefugnisse der zuständigen Behörden sowie Kontrollmaßnahmen und Beschlagnahmung von Holz bei dem der begründete Verdacht auf einen Verstoß gegen geltendes EU-Recht besteht. Das Gesetz sieht auch eine Meldepflicht für alle Marktteilnehmer vor, die Holz aus Drittstaaten erstmalig nach Deutschland importieren und in Verkehr bringen.

Für Holz, das für die Herstellung von Zellstoff- und Papierprodukten für den deutschen Markt außerhalb der EU geschlagen wird, werden hier kaum Konsequenzen zu spüren sein, da zum einen importierte Fertigerzeugnisse ausgenommen sind und zum anderen die Definition von legaler Forstwirtschaft in Einzelstaaten sehr unterschiedlich ausfällt. Umweltverbände und auch Industrieverbände³ kritisieren die Regelungen als zu schwach und zu durchlässig. Da zwar Zellstoff und Papier, nicht aber Druckerzeugnisse unter das Gesetz fallen, müssen z. B. Verlage, die Bücher in China produzieren, nicht nachweisen, woher das Papier stammt.

¹ <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:32010R0995:DE:NOT>

² <http://www.gesetze-im-internet.de/holzsig/BJNR134500011.html>

³ Stellungnahme und Forderung des Verbandes Deutscher Papierfabriken e. V. (VDP) in Bezug auf die EU-Holzhandels-verordnung anlässlich deren Überarbeitung, 21.01.2016

Neben der Umsetzung im Umweltzeichen Blauer Engel und nationalen Beschaffungsempfehlungen⁶⁷ setzt sich das UBA auch in internationale Gremien für die Verwendung von Recyclingpapier ein, vor allem im Rahmen der Erarbeitung internationaler Umweltzeichen für Papierprodukte (z. B. Europäisches Umweltzeichen) und damit zusammenhän-

gende Empfehlungen für eine umweltfreundliche Beschaffung⁶⁸. Es wirbt für einen verantwortungsbewussten Umgang mit dem Papierprodukt als solchem, das heißt Papier sparsam einzusetzen und Altpapier höchstmöglich zu verwerten. Darüber hinaus beteiligt sich das UBA an dem europäischen Informationsaustausch zur Weiterentwicklung der Besten Verfügbaren Techniken für die Zellstoff- und

⁶⁷ <http://www.umweltbundesamt.de/themen/wirtschaft-konsum/umweltfreundliche-beschaffung/empfehlungen-fuer-ihre-ausschreibung>

⁶⁸ http://ec.europa.eu/environment/gpp/eu_gpp_criteria_en.htm

Papierbranche gemäß der Richtlinie über Industrieemissionen (IED 2010/75/EU). Ziel ist es dabei ein harmonisiertes anspruchsvolles Umweltschutzniveau für alle industriellen Anlagen der Branche in Europa zu erreichen.

3.2.3 Holz als Chemierohstoff

Die speziellen Anforderungen der Sägeindustrie sowie der Zellstoff- und Papierindustrie an Holzart und Holzeigenschaften führen dazu, dass nicht die gesamte Holzbiomasse genutzt wird. Seit mehreren Jahren bemühen sich Forschung und Entwicklung daher um neue Verfahren, die eine vollständige Nutzung des Holzes erlauben.

So lässt sich aus Holz und verholzter Biomasse grundsätzlich die gesamte Palette an chemischen Produkten, die heute durch die Petrochemie geliefert wird, herstellen. Das geschieht in sogenannten Bioraffinieren. Prinzipiell sind hierbei zwei Wege denkbar:

1. Die Nutzung der Vorleistung der Natur durch Aufschluss des Holzes in seine Hauptbestandteile Zellulose, Hemizellulose und Lignin;

2. Auftrennung der Holzbestandteile in kurzkettinge Kohlenstoffmoleküle.

Beim ersten Weg werden durch chemisch-physikalische Verfahren die Hauptbestandteile gewonnen. Diese können dann mittels biotechnischer Verfahren (z. B. enzymatische Umsetzung) in fermentierbare Zucker umgewandelt werden. Diese wiederum erlauben durch weitere biotechnische Verfahren die Produktion von höherwertigen Produkten wie Alkohole (z. B. Ethanol), oder Biopolymere („Bio-Kunststoffe“). Das gewonnene Lignin kann direkt als Werkstoff eingesetzt oder aber zu Phenolen umgewandelt werden.

Beim zweiten Weg werden mittels thermochemischer Verfahrenstechniken (Pyrolyse, Wirbelschichtvergasung) Holzrohstoffe in kurzkettinge Kohlenstoffmoleküle (Synthesegas, Syngas) umgewandelt. Damit können bestehende Prozesse der Petrochemie für biobasierte Materialien genutzt werden.

Die Bundesregierung greift diese neuartigen Verfahren vor allem im Kontext der Bioökonomie auf (BMBF & BMEL 2020, BMEL 2018). In der Roadmap Bioraffinieren (Bundesregierung 2014) werden zudem



Stärken und Schwächen der Verfahren analysiert und erheblicher Forschungsbedarf identifiziert. Beide Verfahrenswege sind aktuell noch in der Entwicklungsphase und bisher nur im Demonstrationsmaßstab umgesetzt worden. Dennoch sollte bereits frühzeitig sichergestellt werden, dass die neuen Verfahren und Produkte insgesamt zu Vorteilen für die Umwelt gegenüber den herkömmlichen Verfahren und Produkten führen. Das UBA begleitet diese Entwicklungen kritisch mit großem Interesse, um mögliche ökologische Fehlentwicklungen frühzeitig zu erkennen. Ein wesentlicher Aspekt bei der Umsetzung solcher Konzepte ist die nachhaltig verfügbare Rohstoffmenge. So geht beispielsweise eine Schätzung innerhalb der Roadmap Bioraffinerien für eine Synthesegas-Bioraffinerie (s. o. zweiter Weg) von einem Bedarf von rund 450.000 Tonnen Buchenhackschnitzeln aus.

3.2.4 Holz als Energieträger

Holz ist ein nachwachsender Energieträger. Ein positiver Beitrag zur Eindämmung der Klimaerwärmung durch Substitution fossiler Brennstoffe kann jedoch nur bei einer an Klimaschutzerfordernisse angepassten Waldbewirtschaftung und Holznutzung erwartet werden (siehe 3.1.3).

Die energetische Nutzung von Holz wird über verschiedene Instrumente gefördert, z. B. die Erzeugung von Strom durch das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) oder die Erzeugung von Wärme durch Zuschüsse aus dem Marktanreizprogramm für erneuerbare Energien. Deshalb wird Holz seit einigen Jahren verstärkt als Brennstoff in Heizungsanlagen, Biomasseheizkraftwerken und Holzvergaser eingesetzt. Die energetische Verwertung von Holz nahm von ca. 20 Mio. m³ in 1990 auf ca. 65 Mio. m³ in 2009 zu und erreichte damit den Umfang der stofflichen Nutzung. Seitdem liegen die energetische Verwertung von Holz und die stoffliche Nutzung auf einem vergleichbaren Niveau (Mantau et al. 2018). Die weitere Entwicklung der energetischen Holznutzung wird maßgeblich durch die Förderinstrumente bestimmt werden. So bleibt abzuwarten in wieweit die erneuerbaren Energien-Ziele, z. B. die Zielvorgaben der europäischen Union für den Einsatz erneuerbarer Energien zur Wärmenutzung in der erneuerbaren Energien Richtlinie (RED II), eine Steigerung der Holzenergienutzung zur Folge haben wird und ob diese dem Umwelt- und Klimaschutz dient.

Folgender Vergleich deutet darauf hin, dass keine zusätzlichen Energieholzpotenziale verfügbar sind: Die Studie „BioRest: Verfügbarkeit und Nutzungsoptionen biogener Abfall- und Reststoffe im Energiesystem“ (Fehrenbach et al. 2019) beziffert das für die energetische Nutzung verfügbare Holz auf rund 17 Mio. t. Darin enthalten sind rund 6–11 Mio. Tonnen Waldholz (hier wurden Dendromasse-Potenziale betrachtet), ca. 4 Mio. Tonnen Industrierestholz und ca. 6–7 Mio. Tonnen Altholz. Laut Mantau (2018) wurden 2016 jedoch bereits rund 27 Mio. Tonnen Holz energetisch genutzt.

Bei der Verbrennung von Holz sind die dabei emittierten Luftschadstoffe ein unerwünschter Nebeneffekt. In größeren Anlagen – Kraftwerken oder Heizkraftwerken – können effiziente Abgasreinigungsanlagen den Schadstoffausstoß geringhalten. Viele dieser Anlagen sind mit Minderungstechniken ausgestattet, die auch den Einsatz von gebrauchten und behandelten Hölzern erlauben.

Den größten Anteil an der energetischen Nutzung von Holz aber machen Kleinanlagen in Haushalten und in Gewerbebetrieben aus. In diesen Anlagen darf nur trockenes und naturbelassenes Holz zum Einsatz kommen, weil die Installation leistungsfähiger Abgasreinigungstechnik gemäß dem Stand der Technik zu aufwändig wäre. In Haushalten sind derzeit noch zahlreiche kleine Öfen und Heizkessel installiert, die eine relativ geringe Effizienz haben und einen erheblichen Ausstoß an Luftschadstoffen verursachen. Aus diesem Grund wurde im Jahr 2010 die Verordnung über kleine und mittlere Feuerungsanlagen (1.BImSchV) novelliert, die die Installation und den Betrieb kleiner Anlagen regelt. Mit der Umsetzung dieser Vorschriften werden die Emissionen aus Anlagen dieser Art in den nächsten Jahren deutlich sinken. Das UBA stellt der Öffentlichkeit Informationen über den richtigen Betrieb von Holzfeuerungen zur Verfügung, beispielsweise mit der Broschüre „Heizen mit Holz“⁶⁹. Das UBA setzt sich für anspruchsvolle Kriterien bei der Vergabe des Blauen Engels für Pelletkessel und -öfen sowie beim EU-Umweltzeichen für Heizungsanlagen ein. Auch für Brennstoffe bestehen Umweltzeichen: die Vergabegrundlagen des Blauen Engel für Holzpellets und

69 <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/heizen-holz>

Holzhackschnitzel enthalten neben Anforderungen an die Brennstoffqualität vor allem Vorgaben für die nachhaltige Erzeugung des Brennstoffs.

3.2.5 Nutzungskaskaden und nachhaltige Altholzverwertung

Um eine dauerhaft nachhaltige Versorgung mit dem Rohstoff Holz zu sichern, muss die verfügbare Holzbiomasse nachhaltig und effizient genutzt werden. Ein wichtiger Weg zu diesem Ziel sind Nutzungskaskaden (vgl. 3.1.3 Wald als Klimaschützer).

Holz und Holzwerkstoffe werden nach dem Ende ihrer Nutzung als sogenanntes Altholz bzw. Gebrauchtholz unter anderem in Form von Sperrmüll oder auf Werkstoffhöfen gesammelt. Das Altholz kann stofflich oder energetisch verwertet werden. Das UBA setzt sich dafür ein, Holz wo immer möglich, vor der energetischen Nutzung mehrfach und möglichst hochwertig stofflich zu nutzen (Kaskadennutzung). Dieses Ziel greift die Bundesregierung im Deutschen Ressourceneffizienzprogramm (ProgRess) auf und unterstützt ausdrücklich weitere Nutzungskaskaden zu entwickeln. Den rechtlichen Rahmen für die Kaskadennutzung von Holz und damit für das Recycling von Altholz bildet das Kreislaufwirtschaftsgesetz (KrWG). Verwertungsmöglichkeiten und Anforderungen an eine schadlose Verwertung sind durch die Altholzverordnung (AltholzV) geregelt. In der AltholzV können entsprechend Kreislaufwirtschaftsgesetz Anforderungen an die Kaskadennutzung festgelegt werden. Die energetische Verwertung des Altholzes hat entsprechend den Regelungen des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (BImSchG) in geeigneten Feuerungsanlagen zu erfolgen. Eine Deponierung von Altholz ist nicht mehr zulässig. Auch diese Rechtsgrundlagen unterstützen den Aufbau von Nutzungskaskaden.

Welchen Verwertungsweg die Althölzer gehen, hängt von den Verunreinigungen des Holzes ab. Je nach Art der vorherigen Nutzung kann Altholz mit Lacken, Holzschutzmitteln oder Beschichtungen behandelt sein. Um eine möglichst hochwertige Verwertung zu ermöglichen, wird das gesammelte Altholz deshalb

vor der Verwertung sortiert und aufbereitet, indem z. B. die Störstoffe oder Lackierungen entfernt werden. In Deutschland wurden 2016 rund. 6,6 Mio. Tonnen Altholz durch die Sammlung erfasst, wovon ca. 25 % (ca. 1,6 Mio. t) stofflich verwertet werden (FNR 2019a). Jedoch darf aufgrund von Schadstoffbelastungen oder einer Holzschutzmittelbehandlung nicht jedes Altholz einer stofflichen Verwertung zugeführt werden. Für diese Altholzsortimente ist eine energetische Verwertung in entsprechend genehmigten Feuerungsanlagen möglich. Durch die energetische Nutzung von Altholz können fossile Brennstoffe substituiert werden.

Vor allem Möbel und Verpackungshölzer werden wieder aufbereitet und einer erneuten stofflichen Nutzung zugeführt. Hauptabnehmer für das recycelte Altholz in Form von Hackschnitzeln ist die Spanplattenindustrie. Im Mittel werden in Deutschland 20–25 % Altholz in der Spanplattenproduktion eingesetzt (FNR 2019a).

Das Recycling von Holzprodukten, Papier und Pappe entlastet nicht nur die Wälder, sondern mindert gleichzeitig auch die Energie- und Wasserverbräuche in der Produktion sowie die Inanspruchnahme von Landflächen (Risse et al. 2017). Die Herstellung von Recyclingkopierpapier verbraucht im Vergleich zu Frischfaserkopierpapier nur ca. 30–50 % des Wassers und ca. 35–60 % der Energie. Weitere Informationen zum Papierrecycling finden sich im Abschnitt „Holz als Rohstoff für die Zellstoff- und Papierherstellung“.

Auch wenn die nachhaltig verfügbaren Holzpotenziale hoch effizient und mehrfach genutzt werden, kann eine nachhaltige Versorgung in Zukunft nur gesichert werden, wenn gleichzeitig auch eine Verringerung des Ressourcen- und Energiebedarfs insgesamt erfolgt. Neben der Förderung ressourceneffizienter Produkte und Produktion, gesetzlichen Regelungen und klimapolitischen Maßnahmen (z. B. der energetischen Gebäudesanierung), trägt auch das persönliche Verhalten zu einer Verringerung des Ressourcenbedarfs bei.

4 Schlussfolgerungen und Empfehlungen

4.1 Was bedeutet „nachhaltige und umweltfreundliche Forst- und Holzwirtschaft“?

Wirtschaftliche Interessen, soziale Verbesserungen und Ziele des Umweltschutzes scheinen oft auf den ersten Blick schwer vereinbar. Strategien zur Nachhaltigkeit versuchen genau diese Interessen zusammenzuführen. Für die Nutzung des Waldes ergibt sich daraus, dass die zahlreichen, sehr unterschiedlichen gesellschaftlichen Ansprüche (Stichwort Multifunktionalität), vertreten durch unterschiedliche Behörden, durch die Forstwirtschaft, die WaldeigentümerInnen, Verbände usw. fortwährend ausbalanciert werden müssen. Soweit Wirtschaft und Soziales aber unabdingbar auf Ökosystemleistungen beruhen, muss der langfristigen Umweltverträglichkeit ein Vorrang vor kurzfristigen ökonomischen oder sozialen Vorteilen eingeräumt werden.

Aus dieser Sicht ist zu begrüßen, dass vier der sechs von Forest Europe formulierten Kriterien der nachhaltigen Forstwirtschaft (Wien 2003, siehe Box 2) einen klaren Bezug zum Umweltschutz haben. Die wichtigsten Anliegen des Umwelt- und Naturschutzes in Bezug auf die Waldbewirtschaftung sind damit in den Kriterien verankert. Die Kriterien sind allerdings sehr allgemein formuliert. Um die Zielerfüllung nachvollziehbar zu machen, sind in Deutschland wie auch in anderen europäischen Ländern inhaltliche Konkretisierungen erforderlich. Deshalb unterstützt das UBA das Ziel der Naturschutz-Offensive 2020 des BMU sehr, die Diskussion mit den Bundesländern und allen relevanten Akteuren zur Festlegung von Kriterien der guten fachlichen Praxis der Waldbewirtschaftung wieder aufzunehmen.

Auch die stoffliche oder energetische Nutzung der Ressource Holz kann nur dann nachhaltig sein, wenn Umweltschutzziele mindestens gleichwertig neben wirtschaftlichen und sozialen Zielen berücksichtigt werden. Eine Grundanforderung ist, dass das Holz aus nachhaltiger Landnutzung stammt. Deshalb ist es wichtig, dass sich Deutschland weltweit für nachhaltige Produktionsmethoden engagiert. Die natürlichen Potenziale dafür sind in Anbetracht vorhandener Flächenkonkurrenzen begrenzt. Umso wichtiger ist es, den Rohstoff Holz so effizient wie möglich zu nutzen.

Darüber hinaus ist Umweltverträglichkeit nur dann gegeben, wenn die Herstellung von Produkten aus Holz, die Produkte selbst sowie die Verbrennung von Holz nicht zu schädlichen Wirkungen auf die menschliche Gesundheit oder auf Umweltmedien führen. Der Stand der Technik sollte stets dahingehend weiterentwickelt werden, dass bisher unvermeidbare schädliche Wirkungen minimiert und zukünftig möglichst vermieden werden.

4.2 Kann Deutschland seine Holzproduktion nachhaltig und umweltgerecht steigern?

Der inländische Bedarf an Holzrohstoffen nahm in den letzten Jahren kontinuierlich zu. Gleichzeitig wird davon ausgegangen, dass das verfügbare Potenzial der derzeit als „Brotbaum“ der Forstwirtschaft bezeichneten Fichte in Deutschland kontinuierlich abnimmt, dafür aber ein deutlich steigendes Potenzial an Laubholz verfügbar ist (Schier & Weimar 2017). Deutschland sollte seinen Bedarf an Holz und Holzprodukten soweit als möglich aus einheimischer Produktion decken. Das spart nicht nur Transporte, sondern garantiert auch, dass das Holz und daraus hergestellte Erzeugnisse im Vergleich zu vielen anderen Herkunftsländern nachhaltiger produziert werden. Allerdings wird auch das in Deutschland erzeugte Holz weltweit gehandelt, so dass ein vermehrter Einschlag heimischer Hölzer nicht zwangsläufig zu geringeren Holzimporten führt. Auch sind der nachhaltigen Steigerung des Holzaufkommens aus eigener Produktion enge Grenzen gesetzt⁷⁰.

Grenze Klimaschutz: Die Ziele der Waldstrategie 2020 und der Charta für Holz 2.0, zum einen das CO₂-Minderungspotenzial der Wälder zu erschließen und zu erhalten und zum anderen die Holzernte zu steigern, sind nur in engen Grenzen gleichzeitig erfüllbar. Eine Kohlenstoffsenske sind Wälder nur, wenn sie durch ihr Wachstum langfristig mehr CO₂ binden, als durch Zersetzung, Waldbrände sowie die Bewirtschaftung freigesetzt wird.

⁷⁰ Zu den aus den dargestellten Grenzen aus Sicht des Naturschutzes abweichende Meinungen bestehen.

Der bereits angelegte oberirdische und unterirdische Kohlenstoffspeicher ist um ein Vielfaches (rund 85fach) höher als die derzeitige jährliche Festlegung. Weil dieser Speicher zugleich eine potenzielle CO₂-Quelle ist, muss sein Schutz oberste Priorität haben. So zeigen auch die modellierten Treibhausgasbilanzen der WEHAM-Szenarien, dass eine Vorratsabsenkung auf die Holzvorräte der ersten Bundeswaldinventur sowie verkürzte Produktionszeiträume (Holzpräferenzszenario der WEHAM-Szenarien) den Wald zumindest zeitweise zu einer Treibhausgasquelle werden lassen (Rüter et al. 2017). Dies ist vor dem Hintergrund des Übereinkommens von Paris und der daraus abzuleitenden notwendigen Minimierung der kumulierten Treibhausgasemissionen und dem politischen Ziel der Treibhausgasneutralität bis 2050 kritisch zu sehen. Deshalb unterstützt das UBA grundsätzlich den Ansatz des SRU (2012) kontrollierbare Nutzungsgrenzen einzuführen. Die bisher in Deutschland üblichen relativ langen Umtriebszeiten sollten beibehalten oder sogar noch ausgebaut werden, auch wenn sich dadurch die jährliche Zunahme des Kohlenstoffspeichers allmählich verlangsamt.

Grenze Nährstoffnachhaltigkeit: Eine Möglichkeit die Biomassenutzung aus Wäldern zu steigern besteht in der intensiveren Nutzung von Kronenholz, Rinde und anderen bisher kaum genutzten Holzfraktionen. Damit ist aber gegenüber der Nutzung von Stammholz ein überproportional erhöhter Austrag von Nährstoffen pro Flächeneinheit verbunden. Nicht alle Standorte sind in der Lage, Nährstoffe so nachzuliefern, dass für zukünftig aufwachsende Bäume eine ausgewogene Versorgung garantiert ist. Entsprechend ist die Biomassenutzung zu beschränken. Geeignete Ansatzpunkte wären hier, entsprechende Informationen zur Nährstoffnachhaltigkeit in den forstlichen Standortskarten einzuarbeiten und in der Forstplanung bzw. der Forsteinrichtung zu berücksichtigen. Düngungsmaßnahmen verändern die Bodenchemie abrupt und sind deshalb nur ausnahmsweise, zum Zwecke der Sanierung bereits vorhandener Degradationen mit der naturnahen Waldbewirtschaftung vereinbar.

Grenze Biodiversitäts- bzw. Prozessschutz: Laut NBS sollen Flächen mit natürlicher Waldentwicklung auf 5 % zunehmen. Damit steigt der Anteil forstwirtschaftlich nicht nutzbarer Waldfläche gegenüber der bereits heute verbindlich geschützten Fläche um 2 %.

Die wissenschaftliche Diskussion um Gewinne oder Einbußen bei den unterschiedlichen Funktionen des Waldes durch die Nutzungsaufgabe ist nicht abgeschlossen und weitere Forschung ist erforderlich. Neben unterschiedlichen fachlichen Ansichten werden in den Diskussionen oft auch die gegensätzlichen Interessen der beteiligten Gruppen deutlich (vgl. z. B. Meier-Landsberg & Schweinle 2017). Unbestritten dürfte dagegen sein, dass bestimmte Arten und Biotop nur unter ungestörten Bedingungen dauerhaft existieren können und dass diese Bestandteile der Biodiversität zu schützen sind. Weiterhin ist auf den ungenutzten Flächen gut zu beobachten (Erkenntnisgewinn), welche Waldökosystemtypen sich unter den Bedingungen des Klimawandels und unter konkreten sonstigen Standortbedingungen (Relief, Boden, Ausgangsbestockung, Wilddichte) spontan entwickeln und an diese Bedingungen optimal angepasst sind. Die angestrebte Erweiterung der ungenutzten Fläche wird bei einer nationalen Betrachtung aus Sicht des UBA nicht zu relevanten Änderungen der Produktions- oder Klimaschutzfunktion der Wälder führen.

Brauchen wir mehr Flächen für die Holzproduktion in Deutschland?

Auch wenn die Waldfläche in Deutschland in den letzten Jahren zunahm, kann es wegen der vielfältigen Nutzungskonkurrenzen nicht das Ziel sein, ihren Anteil an der Gesamtfläche Deutschlands deutlich zu erhöhen. Ein wichtiger und richtiger Schritt um das eigene Holzaufkommen zu erhöhen, ist nachhaltig nutzbare Holzpotenziale von bisher ungenutzten Waldflächen mit geringem naturschutzfachlichem Wert zu mobilisieren. Dadurch kann sowohl die Bereitstellung von Holzbiomasse gesteigert als auch der naturnahe Waldumbau auf diesen Flächen forciert werden. Langfristig wirkt sich das positiv auf die Kohlenstoffspeicherleistung und die Biodiversität aus. Naturschutzanforderungen, insbesondere die Ziele der NBS, sind zu beachten.

Im Rahmen integrierter Landnutzungskonzepte können in begrenztem Umfang Holzquellen außerhalb des Waldes erschlossen werden. Dazu gehören

- Kurzumtriebsplantagen oder Agroforstsysteme unter Beachtung von Umwelt- und Naturschutzauflagen⁷¹.

⁷¹ Vgl. BfN (2012)

- Holz, das bei Landschaftspflegemaßnahmen anfällt und mit kurzen Transportwegen verwertet werden kann.

Diese zusätzlichen Quellen können das Holzaufkommen aber nur geringfügig erhöhen. Deshalb sollten, um einen hohen Anteil des deutschen Holzbedarfs selbst zu decken, der Rohstoff Holz sparsam und effizient verwendet und die aufwachsenden Holzpotenziale optimal und umweltgerecht genutzt werden. Das bedeutet, dass der stofflichen Nutzung in Nutzungskaskaden ein absoluter Vorrang einzuräumen ist. In geringem Maße sind aus Sicht des Umweltschutzes auch nachhaltige Ertragssteigerungen ein geeigneter, ergänzender Weg.

Nachhaltige Ertragssteigerungen in der Forstwirtschaft

Holzerträge dürfen, wenn überhaupt, nur innerhalb ökologisch vertretbarer Grenzen gesteigert werden. Das heißt, dass die ökologischen und weiteren Schutzfunktionen der Wälder für das Klima, für Wasser, Boden und Luft sowie für Pflanzen und Tiere ebenso wie das natürliche Ertragspotenzial langfristig erhalten und, soweit möglich, gestärkt werden.

Die Weiterentwicklung der Waldbaukonzepte, eine zielgerichtete Baumartenauswahl und Methoden der herkömmlichen Forstpflanzenzüchtung sind aus Sicht des Umweltschutzes geeignete Wege, um die inländische Holzproduktion nachhaltig und in engen Grenzen zu steigern⁷².

Ergänzend können Ertragssteigerungen durch Vorwälder erreicht werden, z. B. auf Rekultivierungsflächen. Auch historische Waldbau- und Waldnutzungssysteme bieten dafür Möglichkeiten und haben große Synergien mit dem Naturschutz. Allerdings stehen für solche Nutzungen Flächen nur in sehr begrenztem Umfang zur Verfügung.

Das UBA lehnt einen Ausgleich des Nährstoffentzuges der Bäume durch Düngung sowie die Rodung von Wurzelstöcken grundsätzlich ab, weil damit vielfältige Schädigungen des Bodens einhergehen.

Wo wegen Belastungen in der Vergangenheit die ausgewogene Ernährung der Waldbäume und damit die Stabilität der Waldbestände nicht gesichert ist, kann im Sinne einer Sanierung die Waldkalkung, ggf. in Kombination mit dem Einsatz von Aschen aus naturbelassenem Holz, eine praktikable Lösung sein. Um negative Folgen zu vermeiden, sind gründliche Standortuntersuchungen und sehr gezieltes Arbeiten erforderlich. Für den Einsatz von Aschen im Wald sollten weitere fachliche und rechtliche Vorgaben erarbeitet werden⁷³.

4.3 Wege zu gesunden und leistungsfähigen Wäldern der Zukunft

Typische Waldlebensräume können sich nur in größeren zusammenhängenden Waldflächen ausbilden. Einige Arten benötigen besonders große, ungestörte Lebensräume. Deshalb sollten zusammenhängende Waldflächen beim Ausbau der Siedlungs-, Verkehrs- und Energieinfrastrukturen geschont werden. Dort wo eine Umwandlung von Waldflächen in andere Nutzungen nicht vermieden werden kann, sind störende Nutzungen zu bündeln und unsensible Bereiche zu bevorzugen. Altbestände sollten weitestgehend von Umwandlung verschont bleiben.

Das in den 1970er Jahren befürchtete Waldsterben blieb aus. Der Kronenzustand der Waldbäume hat sich jedoch im Vergleich zum Beginn der kontinuierlichen Beobachtung Mitte der 1980er Jahre trotz erheblicher Fortschritte bei der Luftreinhaltung nicht nachhaltig verbessert. Inzwischen ist bekannt, dass es sich bei den Waldschäden um komplexe Reaktionen auf eine Vielzahl abiotischer und biotischer Faktoren handelt, die auf die Waldbäume einwirken. Besonders der Einfluss der langfristigen Klimaänderung nimmt zu, begleitet durch erhöhten Stress aufgrund von Dürre und anderen Witterungsextremen sowie zunehmendem Befall mit Schaderregern. Dies zeigen die großflächigen Kalamitäten der letzten Jahre aufgrund der Dürre und Sturmereignisse eindrucksvoll. Es bestehen weiterhin große Wissenslücken zu den vielfältigen Wirkungen und Wechselwirkungen der unterschiedlichen Stressoren auf Waldökosysteme. Deshalb wären eine Ausweitung und Intensivierung der Umweltbeobachtung im Wald sowie der Ökosystemforschung erforderlich, um

⁷² Eine rein naturschutzfachliche Bewertung kann hierbei zu anderen Schlüssen führen.

⁷³ Eine rein naturschutzfachliche Bewertung kann hierbei zu anderen Schlüssen führen.

vorsorglich handeln zu können. Tatsächlich ist aber eher eine gegensätzliche Tendenz zu verzeichnen. Das UBA fördert Forschung zur Ökosystemintegrität mit dem Ziel Maßnahmeempfehlungen abzuleiten. Es unterstützt Bestrebungen, dem Problem der eher zunehmenden Risiken durch eine Diversifizierung der Bestände im Zuge des ökologischen Waldumbaus zu begegnen. Maßgeblich für den Umbau ist die Baumartenwahl. Es sollten Baumarten gewählt werden, die die natürlichen, heutigen und zukünftigen Standortpotenziale gut nutzen können und der potenziell natürlichen Vegetation unter diesen Bedingungen entsprechen.

Eine naturnahe, multifunktionale und umweltverträgliche Waldbewirtschaftung und ein konsequenter Umbau in stabile, mehrschichtige Waldbestände mit weiter zunehmendem Laubholzanteil schaffen wichtige Voraussetzungen für eine gesunde Entwicklung der Wälder. Sie erzeugen mehrfache Synergien und werden den drei Säulen der Nachhaltigkeit gerecht:

- ▶ gegenüber gleichaltrigen Monokulturen, vor allem Nadelholz, stabilere Holzproduktion im Rahmen der natürlichen Standortpotenziale,
- ▶ Erhaltung und weiterer Aufbau des Kohlenstoffspeicherpotenzials (Klimaschutz),
- ▶ beste strukturelle Voraussetzungen für die Anpassungsfähigkeit an den Klimawandel sowie eine hohe Lebensraumfunktion (Biodiversitätsschutz),
- ▶ verbesserte Resilienz gegenüber auch zukünftig noch erhöhten Stickstoffeinträgen,
- ▶ Stärkung der Regulationsmechanismen zur natürlichen Schädlingsbekämpfung und zur schnellen Wiederherstellung der Waldfunktionen nach Schäden.

Die Forstwirtschaft steht dem ökologischen Waldumbau zwar grundsätzlich positiv gegenüber (bei großer Spannweite der Meinungen einzelner Akteure) und hat den Waldumbau in den Waldbau-Leitlinien der Bundesländer verankert. Es existieren aber noch zahlreiche praktische Hürden für eine zügige Umsetzung, z. B. ist die Nachfrage nach Laubholz deutlich geringer als nach Nadelholz, der Waldumbau ist teuer und kann aus waldbaulicher Sicht nicht überall gleichzeitig in Angriff genommen werden. Die

nach den schweren Waldschäden der letzten Jahre notwendige Wiederbewaldung von Schadflächen bietet die Chance, Waldumbauziele nun schneller und umfassender als bisher umzusetzen. Die für die Wiederbewaldung vorgesehenen Fördermittel müssen entsprechend ausgerichtet werden. Um den Waldumbau praktikabel zu machen und die Kosten dafür in vertretbaren Grenzen zu halten, müssen zudem die Wildbestände überall auf ein solches Maß reduziert werden, dass junge Laubbäume auch ohne den Schutz durch Zäune und andere aufwändige Maßnahmen aufwachsen können.

Je geringer die zukünftigen Schadstoffeinträge in die Wälder in Deutschland sind, umso mehr Chancen bestehen für ihre gesunde Entwicklung, Anpassungsfähigkeit an den Klimawandel, Funktionstüchtigkeit und den Erhalt ihrer biologischen Vielfalt. Besonders beim Stickstoff sind in Deutschland und Europa über bestehende Anforderungen hinausgehende Emissionsminderungsmaßnahmen erforderlich. Ein ausreichender Schutz der Wälder vor Wirkungen von Luftschadstoffen kann nur durch international abgestimmte Maßnahmen und ihre konsequente nationale Umsetzung erreicht werden.

Der Einsatz von Insektiziden im Wald ist wegen seiner Auswirkung auf Nichtziel-Organismen grundsätzlich ökologisch problematisch und sollte auf das absolut unvermeidbare Minimum begrenzt werden.

4.4 Effiziente Nutzung in- und ausländischer Holzvorräte für Produkte und die Energiegewinnung

Holz ist ein vielseitig verwendbarer, aber auch ein knapper Rohstoff. Um einen möglichst großen Anteil des in Deutschland benötigten Holzes selbst zu produzieren und dabei die Wälder nicht zu übernutzen, sind intelligente Lösungen für eine möglichst hohe Mehrfachnutzung zu entwickeln. Zertifizierungssysteme bieten eine gute Orientierung, um nur Holz aus nachhaltigen Quellen im In- und Ausland zur Produktion von Holzprodukten zu verwenden.

Die in Deutschland gewachsenen Holzrohstoffe können derzeit noch nicht im vollen Umfang genutzt werden. Ein wichtiger Hinderungsgrund besteht darin, dass zahlreiche, oft kleine Waldflächen in Privatbesitz gar nicht bewirtschaftet und somit auch nicht geerntet werden. Das UBA unterstützt Bemühungen diese Potenziale nachhaltig zu mobilisieren,

wozu die im Bundeswaldgesetz verankerte Stärkung von Forstbetriebsgemeinschaften und forstlichen Zusammenschlüssen beiträgt. Um breitere Verwendungsmöglichkeiten für Laubholz zu erschließen, ist weitere Forschung und Entwicklung erforderlich. Es ist notwendig, dass sich die Holzwirtschaft langfristig an das ökologische Erfordernis höherer Laubholzanteile anpasst. In diese Richtung gibt es bereits zahlreiche Initiativen, aber auch noch Widerstände der Holzverarbeitenden Industrie sowie Skepsis seitens mancher Waldbesitzer gegenüber dem ökologischen Waldbau.

Nutzungskaskaden: Die direkte energetische Nutzung von Waldholz (Starkholz) bietet unter dem Aspekt Klimaschutz keine Vorteile. Es sollte immer zuerst für hochwertige und dauerhafte Produkte und erst am Ende einer kaskadenartigen Nutzung energetisch verwertet werden. Dies ermöglicht den weiteren Aufbau und die Nutzung eines Holzproduktspeichers für Kohlenstoff in den nächsten Jahrzehnten. Wald-Restholz, das nicht effizient stofflich nutzbar ist und nicht aus Gründen der Nährstoffnachhaltigkeit, zum Erhalt der CO₂-Senkenleistung des Waldes oder der Biodiversität im Wald verbleiben soll, nicht stofflich nutzbares Altholz und Landschaftspflegeholz usw. können als Ersatz (die Substitution) fossiler Brennstoffe einen gewissen Beitrag zum Klimaschutz leisten. Jedoch ist dieser Beitrag aufgrund des bereits ausgeschöpften Energieholzpotenzials (vgl. 3.2.4) sehr begrenzt. Eine besonders hohe Klimaschutzwirkung besitzt dagegen die Substitution energieintensiver Baustoffe und Produkte durch Holzprodukte. Das UBA empfiehlt ökonomische Anreize besonders für die stoffliche Substitution zu setzen. Die Holzverarbeitende Industrie recycelt bereits seit langem anfallende Reststoffe. Der konsequente Aufbau und Ausbau solcher Nutzungskaskaden ist mit einer umwelt- und sozialverträglichen Steigerung der Wertschöpfung von Holz- und Holzprodukten verbunden. Bioraffinerien und weitere innovative Verfahren der Bioökonomie eröffnen die Möglichkeit, auch bisher nicht verwendbare oder energetisch genutzte Holzfraktionen stofflich zu nutzen. Sie sollten aber nicht zu einem weiter steigenden Druck auf die Waldbestände führen, denn im Wald verbleibendes Totholz und Restholz trägt zur Humusbildung und Kohlenstoffbindung sowie zur Nährstoffnachlieferung bei und fördert die Biodiversität. Bisher werden die Verfahren erst erprobt, eine kommerzielle Nutzung steht noch aus.

Sparsame Papierverwendung: Die Wiederverwendung von Papier dient nicht nur der sparsamen Verwendung von Holz, sie bewirkt auch erhebliche Einsparungen an Energie und Wasser und vermeidet Transporte. Dennoch ist ein bestimmter Anteil frischer Zellulosefasern erforderlich, um Papier qualitätsgerecht produzieren zu können. Beim sparsamen Umgang mit Papier sind noch nicht alle Potenziale ausgeschöpft. So ist z. B. noch nicht erreicht, dass alle öffentlichen Einrichtungen ausschließlich Recyclingpapier verwenden. In der Bevölkerung erfreuen sich Hygienepapiere zunehmender Beliebtheit. Weil sie aber höchstens noch zur energetischen Nutzung wiederverwendbar sind, ist es besonders wichtig, in diesen Sortimenten einen noch höheren Anteil an Recyclingpapier zu erreichen. Ein Weg dazu kann die bessere Aufklärung der Verbraucher sein. Das UBA setzt sich auch international für die Verwendung von Recyclingpapier ein und ist an der Weiterentwicklung der Standards der Besten Verfügbaren Techniken für umweltgerechte Zellstoff- und Papierproduktion beteiligt.

Weil die Importmengen an Papierprodukten sehr hoch sind und der globale Papierverbrauch eventuell zukünftig noch steigen wird, sind verstärkter Wissenstransfer und internationale Aktionen erforderlich um den Rohstoff Holz noch effizienter und umweltverträglicher zu nutzen.

4.5 Gesundheits- und umweltverträgliche Herstellung von Holzprodukten

In Deutschland werden bereits hohe Anforderungen an eine umweltschonende Produktion von Holzprodukten gestellt. Durch den Einsatz der besten verfügbaren Technik gelingt es gesundheits- oder umweltschädliche Emissionen zu mindern oder gänzlich zu vermeiden. Das UBA wirkt darauf hin, diese hohen Umweltstandards national weiter zu verbessern und auch europaweit einheitlich einzuführen. Großer Forschungsbedarf besteht unter anderem noch hinsichtlich der ökologischen Bewertung von Bioraffinerien und innovativen Holzprodukten. Angesichts der bereits ohne diesen Zukunftssektor bestehenden Rohstoffknappheit, ist besonders das Potenzial für eine nachhaltige Rohstoffversorgung solcher Anlagen zu hinterfragen.

Holzschutzmittel: Um die Dauerhaftigkeit von Holzprodukten im Außenbereich zu verbessern, können industriell verschiedene Verfahren eingesetzt werden.

Für die industrielle Anwendung von Holzschutzmitteln wurden Beste Verfügbare Techniken abgestimmt. Eine gängige Methode ist die Imprägnierung des Holzes mit Bioziden. Diese sind i. d. R. jedoch auch gefährlich für Menschen, Tiere und die Umwelt. Daher ist der Eintrag von Bioziden in die Umwelt während der Nutzung von behandeltem Holz durch Auswaschung in Folge von Niederschlägen und Verbau in den Boden und Gewässer grundsätzlich auf ein Minimum zu beschränken. Darüber hinaus unterliegen Holzschutzmittel hinsichtlich ihrer Auswirkungen auf Mensch, Tier und Umwelt einer eingehenden Prüfung und Zulassung nach Biozidrecht. Chemische Holzschutzmittel im Wohnbereich sind heute überflüssig.

Flüchtige organische Schadstoffe: Zur Beurteilung der Emissionen flüchtiger organischer Verbindungen (VOC) aus Holzwerkstoffen in Innenräumen hält das UBA eine einheitliche Festlegung der AgBB-Kriterien als Mindestanforderung in den technischen Baubestimmungen der Länder für notwendig. Bauprodukte, die diese nicht einhalten, dürfen nicht in Innenräumen eingesetzt werden.

Emissionen durch Verbrennung: Bei der Verbrennung von Holz werden neben Kohlenstoffoxiden auch Luftschadstoffe wie z. B. Feinstaub und NO_x emittiert. Altholz darf aus Gründen des Gesundheits- und Umweltschutzes nur in bestimmten, dafür zugelassenen Feuerungsanlagen verbrannt werden, die über ausreichende Abgasreinigungsanlagen verfügen. In Kleinanlagen in Haushalten und Gewerbebetrieben, die den größten Anteil an der energetischen Nutzung von Holz ausmachen, darf grundsätzlich nur trockenes und naturbelassenes Holz zum Einsatz kommen. Weiterhin besteht noch ein erhebliches Potenzial für Verbesserungen, vor allem durch den Austausch alter emissionsträchtiger Anlagen gegen moderne, emissionsarme Anlagen, emissionsarmen Betrieb der Anlage durch den Betreiber, regelmäßige Wartung der Anlage und die Verwendung des richtigen Brennstoffs. Um den Zielkonflikt zwischen energetischer Holznutzung und Anforderungen der Luftreinhaltung zu minimieren, ist es erforderlich, kleine Verbrennungsanlagen für Holz effizienter und emissionsärmer zu machen als sie es heute sind.

4.6 Forschungs- und Entwicklungsbedarf

Das UBA sieht hinsichtlich Umweltschutz und Wald unter anderem Forschungsbedarf

- ▶ zu Formen der Wald- und Holznutzung, die langfristig die besten Optionen für die Kohlenstoffspeicherung bei gleichzeitigem Erhalt und Förderung der biologischen Vielfalt bieten,
- ▶ zu Waldbaukonzepten, die nachhaltige Ertragssteigerungen ermöglichen,
- ▶ im Bereich der Provenienzforschung und der herkömmlichen Forstpflanzenzüchtung,
- ▶ zur Anpassung der Wälder an den Klimawandel
- ▶ zur Weiterentwicklung der wissenschaftlichen Basis ökologischer Belastungsgrenzen für Stoffeinträge,
- ▶ zur wissenschaftlichen Unterstützung der Entwicklung von Aktionen der Bundesregierung zur integrierten Stickstoffminderung
- ▶ zur Entwicklung von Referenz- und Zielsystemen für eine integrative Zustandsbewertung von Waldökosystemen, zur Entwicklung integrierter Landnutzungssysteme.

Forschung und Entwicklung sind auch erforderlich, um

- ▶ Verfahren für eine noch effizientere Rohstoffnutzung zu entwickeln und Hindernisse einer besseren Kaskadennutzung zu überwinden,
- ▶ Stoffströme der Holzwirtschaft in Deutschland noch genauer nachvollziehen zu können und
- ▶ die Umweltverträglichkeit von Bioraffinerien sowie von innovativen Holzprodukten gesamtökologisch ermitteln und nachverfolgen zu können.

4.7 Wie können die Empfehlungen umgesetzt werden?

Aus den bisher dargestellten Zusammenhängen und Fakten lassen sich vier wichtige Handlungsfelder ableiten. Diese sind in der nachfolgenden Tabelle 2 jeweils mit den identifizierten Empfehlungen (Handlungs- und Entwicklungspotenziale) kombiniert. Im Anschluss werden ausgewählte, besonders wichtige, erfolgversprechende Umsetzungswege vertieft dargestellt. Das sind gesetzliche Regelungen, ökonomische

Tabelle 2

Handlungsfelder für gesunde Wälder und nachhaltige Holznutzung

Handlungsfelder	prioritäre Handlungs- und Entwicklungspotenziale
Nachweisbar nachhaltige Waldwirtschaft in Deutschland und ausschließliche Nutzung nachhaltig produzierter Hölzer	▶ gesetzliche Verankerung der Grundsätze der guten fachlichen Praxis, um die Einhaltung ökologischer Mindestanforderungen einfordern/einklagen zu können ▶ Ausbau Vertragsnaturschutz, Entwicklung neuer Förderinstrumente und Anreize für Umweltschutz in der Forstwirtschaft, der über die Mindestanforderung hinausgeht ▶ weitere Förderung und politische Unterstützung des ökologischen Waldumbaus ▶ noch mehr öffentlichen Wald nach den strengen deutschen FSC-Kriterien oder anderen besonders hochwertigen Standards zertifizieren ▶ Nachverfolgbarkeit der Stoffströme von Holz verbessern
Rohstoffeffizienz in der Holznutzung	▶ Förderung der stofflichen Nutzung, insbesondere Kaskadennutzung stärken. ▶ internationaler Wissenstransfer ▶ Kommunikation pro Recyclingprodukte verstärken
Minderung von Luftschadstoffemissionen und ihrer Wirkungen auf den Wald und die Biodiversität	▶ anspruchsvolle Ziele und Anforderungen der Genfer Luftreinhaltekonvention und der EU Luftreinhaltepolitik unterstützen und zügig national umsetzen
Holzverarbeitung und -produkte sowie die energetische Holznutzung umwelt- und gesundheitsverträglich gestalten	▶ Weiterentwicklung der Besten Verfügbaren Techniken für holzverarbeitende Produktionsprozesse, für Verbrennungsanlagen sowie die Holzkonservierung, ▶ Weiterentwicklung der Zertifizierung emissionsarmer, nachhaltiger Holzprodukte ▶ internationaler Wissenstransfer sowie Kommunikation für nachhaltigen Konsum

Anreize, Umweltbeobachtung und Monitoring der Umsetzung gesetzlicher Regelungen sowie Kommunikation.

Empfehlungen des UBA um die Ziele zu erreichen:**▶ Gesetzliche Regelungen**

Das UBA befürwortet eine Konkretisierung der in Forest Europe festgelegten Kriterien der nachhaltigen Waldbewirtschaftung für Deutschland als „gute fachliche Praxis“ und ihre Verankerung in den Waldgesetzen des Bundes und der Länder, um die nicht monetarisierbaren ökologischen Funktionen und Leistungen der Wälder überall zu sichern (siehe Empfehlungen in Winkel und Volz (2003), des SRU (2012), BMUB 2015, BfN2020)). Diese Konkretisierung muss die spezifischen Produktionsbedingungen der unterschiedlichen Forststandorte berücksichtigen. Bisher gut funktionierende Instrumente zur Förderung von über diese Mindestanforderungen hinausgehenden Leistungen, wie Vertragsnaturschutz, sollen dadurch auf einheitliche Bewertungsgrundlagen gestellt und gestärkt werden. Sobald die Europäische Kommission die angekündigten Leitlinien

für eine biodiversitätsfördernde und naturbasierte Forstwirtschaft vorlegt, ist zu prüfen, ob diese als Mindestanforderungen für Deutschland ausreichen oder ob konkretere Kriterien zu vereinbaren sind. Deutschland sollte sich aus Sicht des UBA auch für die Verabschiedung eines rechtlich verbindlichen Abkommens zu Wäldern in Europa im Rahmen von Forest Europe stark machen.

Das UBA setzt sich in nationalen und internationalen Gremien für die anspruchsvolle Gestaltung und Weiterentwicklung gesetzlicher Regelungen und untergesetzlicher Regelwerke des Umweltrechts ein. Beispiele sind die konkrete Ausgestaltung des Europäischen Grünen Deals⁷⁴, der Thematischen Strategie der EU zur Luftreinhaltung oder zukünftige Verhandlungen zur Festlegung der Besten Verfügbaren Techniken in Umsetzung der Richtlinie über Industrieemissio-

⁷⁴ Mitteilung der Kommission an das Europäische Parlament, den Europäischen Rat, den Rat, den Europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss und den Ausschuss der Regionen; Der europäische Grüne Deal, Brüssel, den 11.12.2019, COM(2019) 640 final

nen (IED 2010/75/EU). Ziel ist es, Umweltschutzstandards auf einem hohen Niveau zu schaffen bzw. in Deutschland und auch international zu harmonisieren. Ebenso wichtig ist dafür zu sorgen, dass internationale Vereinbarungen eingehalten, Gesetze und Richtlinien vollzogen werden.

► **Ökonomische Anreize**

Das UBA befürwortet die Entwicklung von Vergütungssystemen zur Vermarktung der Schutz- und Erholungsfunktionen durch innovative Waldprodukte, die die nachhaltige Waldbewirtschaftung unterstützen können und so die Umsetzung gesetzlicher Mindestanforderungen ergänzen. Es empfiehlt auch den Ausbau des sogenannten Vertragsnaturschutzes und anderer geeigneter Förderinstrumente (wie z. B. Gemeinschaftsaufgabe „Verbesserung der Agrarstruktur und des Küstenschutzes“ (GAK) oder der Waldklimafonds), die Möglichkeiten für vielfältige Anreize für Natur- und Umweltschutz im Wald über die gesetzlichen Anforderungen hinaus bieten. Einen ersten Schritt ist Baden-Württemberg mit der Umweltzulage Wald im Maßnahmen- und Entwicklungsplan Ländlicher Raum Baden-Württemberg 2014–2020 (MEPL III) gegangen.

Der ökologische Waldumbau und andere Maßnahmen zur Klimaanpassung in der Forstwirtschaft erfordern aus Sicht des UBA weiterhin besondere

politische Unterstützung, noch stärkere finanzielle Förderung und Informationsvermittlung. Die aktuelle Förderkulisse zur schnellen Wiederbewaldung nach den mehrjährigen Kalamitäten sollte dahingehend ausgerichtet werden.

Auch Projekte zur Stärkung der stofflichen Holznutzung und Ressourceneffizienz (Kaskadennutzung) sollten stärker als bisher gefördert, Anreize für eine direkte energetische Nutzung von Waldholz dagegen zurückgefahren werden.

Das UBA begrüßt privatwirtschaftliche Instrumente, für den Wald z. B. besonders anspruchsvolle Zertifizierungssysteme wie FSC oder Naturland, die Anreize bieten die Erfordernisse des Umwelt-, Natur- und Artenschutzes über die gesetzlichen Anforderungen hinaus zu erfüllen. Im Bereich der Produkte auf Holzbasis spielen diese und andere Zertifikate und das Umweltzeichen „Blauer Engel“ eine ähnlich positive Rolle, denn ein gutes Images fördert die Nachfrage.

► **Umweltbeobachtung, Ökosystemforschung und Monitoring der Umsetzung gesetzlicher Vorgaben**

Langfristig gesicherte Umweltbeobachtung im Wald und die Weiterführung der Ökosystemforschung sind unter den Bedingungen des globalen Wandels, der sich auch in Deutschland durch die



Änderung von Umweltbedingungen bemerkbar macht, unverzichtbar. Das UBA begrüßt ausdrücklich, dass durch die Verordnung über Erhebungen zum forstlichen Umweltmonitoring vom 20.12.2013 (ForUmV) ein Mindestmaß an Untersuchungen im Rahmen der forstlichen Umweltbeobachtung für die absehbare Zukunft gesichert ist. Aus der Sicht der Umweltforschung sind jedoch oft umfangreichere, für mehr Ökosystemtypen repräsentative Untersuchungen erforderlich. In Zusammenarbeit mit dem BMEL und den Bundesländern bemüht sich das UBA darum, die Datenanforderungen seitens der Umweltforschung mit den Gegebenheiten im forstlichen Umweltmonitoring in Einklang zu bringen. Durch seine Arbeit in Gremien der Genfer Luftreinhaltekonvention und der EU strebt das UBA in Zusammenarbeit mit anderen beteiligten Institutionen eine möglichst große Harmonisierung der Anforderungen an das Monitoring und die Berichterstattung an, um die in Deutschland erhobenen Daten vielseitig und effizient zu nutzen.

Wenn Standards der guten forstlichen Praxis zukünftig gesetzlich festgelegt werden, folgt daraus die Notwendigkeit Richtlinien abzustimmen, wie die Einhaltung einheitlicher Grundlagen kontrolliert bzw. nachgewiesen werden kann.

► **Aufklärung, Wissenstransfer und Öffentlichkeitsarbeit**

Um Akzeptanz für die Ziele und Maßnahmen des Umweltschutzes im Bereich Wald und Holznutzung zu erreichen sind wissenschaftlicher Austausch und Dialog mit Beteiligten und Betroffenen über politische Lösungsoptionen wichtige Schritte. Das UBA begrüßt deshalb Veranstaltungen, ressortübergreifende Arbeitsgruppen und andere Foren, die diesem Dialog dienen und bringt sich mit seiner Fachkompetenz aktiv ein. Gute Beispiele aus der Vergangenheit sind die Dialogforen zur Umsetzung der NBS, zur Waldstrategie 2020 bzw. aktuell 2050 oder im Rahmen der Charta für Holz 2.0, vor und nach ihrer Verabschiedung. Solche Diskussionsrunden sollten fortgesetzt werden, zum Beispiel

- zur optimalen Vereinbarung der Ziele der Forstwirtschaft, des Klima- sowie des Naturschutzes

- zur verbindlichen Definition einer guten forstwirtschaftlichen Praxis und ihrer gesetzlichen Verankerung
- zu Möglichkeiten der besseren Vermarktung von ökologischen und kulturellen Leistungen des Waldes und Förderung von Maßnahmen, die diese Leistungen stärken und über die gesetzlichen Mindestanforderungen hinausgehen.

Die Information der Öffentlichkeit über nachhaltigen Konsum und umweltgerechtes Verhalten sind besonders dort wirksam, wo Verbraucherentscheidungen das Erreichen von Umweltzielen wesentlich beeinflussen. Das UBA wird die Öffentlichkeit auch zukünftig informieren und unterstützt darüber hinaus entsprechende Initiativen, zum Beispiel über die Verbändeförderung.

Das in Deutschland erreichte Niveau hinsichtlich Umweltschutz, nachhaltiger Wald- und Holzwirtschaft kann Vorbild und Anregung für Länder in anderen Teilen der Erde sein. Der Transfer von Wissen, Verfahren und Technik wirkt letztendlich auch positiv auf die Wirtschaft in Deutschland zurück. Daher sollte sich Deutschland auch weiterhin stark in europäischen und internationalen Gremien und Prozessen zur nachhaltigen Waldwirtschaft und zum Schutz der Wälder aktiv und ambitioniert einbringen. Neben unmittelbar forstpolitischen Prozessen, wie die neue EU Forststrategie für die Zeit nach 2020 und die Verhandlungen zu einem rechtlich verbindlichen Abkommen für die Wälder in Europa, sollten auch weiterhin verstärkt Prozesse zur Vermeidung von Entwaldung genutzt werden (vgl. Deutscher Bundestag 2019). Hierzu zählen insbesondere die Bonn Challenge⁷⁵, die New Yorker Walderklärung⁷⁶ und die sogenannte Amsterdam Erklärung⁷⁷ sowie die darauf aufbauende Amsterdam Partnerschaft. Mit den Leitlinien der Bundesregierung zu entwaldungsfreien Lieferketten⁷⁸ ist ein erster Schritt zu deren Umsetzung erfolgt. Dieser Prozess sollte auch auf europäischer Ebene fortgeführt werden⁷⁹.

⁷⁵ <https://www.bonnchallenge.org/>

⁷⁶ <https://forestdeclaration.org/>

⁷⁷ <https://www.euandgvc.nl/binaries/euandgvc/documents/publications/2015/december/7/declarations/Amsterdam+Declaration+Deforestation+%26+Agro-commodity+chains.pdf>

⁷⁸ https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/_Wald/leitlinien-entwaldungsfreie-lieferketten.pdf?__blob=publicationFile&v=2

⁷⁹ https://ec.europa.eu/info/files/communication-2019-stepping-eu-action-protect-and-restore-worlds-forests_de

Literatur

- Bais-Moleman AL, Sikkema R, Vis M, Reuerman P, Theurl MC, Erb K-H. (2018):** Assessing wood use efficiency and greenhouse gas emissions of wood product cascading in the European Union. *Journal of Cleaner Production* (172), S. 3942–54. doi:10.1016/j.jclepro.2017.04.153
- Baumgarten M, Huber C, Dietrich H P, Matyssek R (2010):** Beurteilung des Ozonrisikos für die Waldregionen Bayerns am Beispiel des Jahres 2002 und des Extremtrockenjahres 2003 auf der Basis der externen Ozonexposition und der internen Ozonaufnahme, UWSF, Volume. 22, issue 5, pp 579–595, Springer Link, online first, 20 April 2010.
- Bayerisches Landesamt für Umwelt (2009):** Merkblatt Verwertung und Beseitigung von Holzaschen, erstellt in Zusammenarbeit: Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) und Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (LWF).
- Beudert B & Leibl F (2020):** Zur Klimarelevanz von Wirtschafts- und Naturschutzwäldern. *AFZ/Der Wald* 4/2020, S. 34–37.
- BfN (2012):** Energieholzanbau auf landwirtschaftlichen Flächen – Auswirkungen von Kurzumtriebsplantagen auf Naturhaushalt, Landschaftsbild und biologische Vielfalt. Bundesamt für Naturschutz, Leipzig.
- BfN (2020):** Wälder im Klimawandel: Steigerung der Anpassungsfähigkeit und Resilienz durch mehr Vielfalt und Heterogenität. Bundesamt für Naturschutz, Bonn.
- BMBF & BMEL (2020):** Nationale Bioökonomiestrategie. Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) & Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL), Berlin.
- BMEL (2014):** Der Wald in Deutschland – ausgewählte Ergebnisse der dritten Bundeswaldinventur. Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft, Berlin.
- BMEL (2018):** Klima schützen. Werte schaffen. Ressourcen effizient nutzen – Charta für Holz 2.0. Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL), Bonn.
- BMEL (2020):** Ergebnisse der Waldzustandserhebung 2019, Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL), Bonn.
- BMEL (2020a):** Waldschäden: Bundesministerium veröffentlicht aktuelle Zahlen. Pressemitteilung des BMEL Nr. 40/2020. <https://www.bmel.de/SharedDocs/Pressemitteilungen/DE/2020/040-waldschaeden.html>. Abruf am 11.05.2020.
- BML (1996):** Deutscher Waldbodenbericht 1996, Ergebnisse der bundesweiten Bodenzustandserhebung im Wald von 1987–1993 (BZE), Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, Bonn.
- BMU (2020):** Nationales Luftreinhalteprogramm der Bundesrepublik Deutschland, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Luft/luftreinhalteprogramm_bericht_bf.pdf.
- BMUB (2015):** Naturschutz-Offensive 2020 Für biologische Vielfalt, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit, Berlin.
- Braun S, Schindler C., Rihm B (2014):** Growth losses in Swiss forests caused by ozone. Epidemiological data analysis of stem increment of *Fagus sylvatica* L. and *Picea abies* Karst. *Environ. Pollut.* 192, 129–138.
- Bundesregierung (2002):** Perspektiven für Deutschland – Unsere Strategie für eine nachhaltige Entwicklung. Berlin.
- Bundesregierung (2007):** Nationale Strategie zur Biologischen Vielfalt, vom Bundeskabinett am 07. November 2007 beschlossen, Berlin.
- Bundesregierung (2008):** Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel, vom Bundeskabinett am 17. Dezember 2008 beschlossen, Berlin, 78 S., [http://www.bmub.bund.de/service/publikationen/downloads/details/artikel/deutsche-anpassungsstrategie-an-den-klimawandel/?tx_ttnews\[backPid\]=289](http://www.bmub.bund.de/service/publikationen/downloads/details/artikel/deutsche-anpassungsstrategie-an-den-klimawandel/?tx_ttnews[backPid]=289).
- Bundesregierung (2011):** Aktionsplan Anpassung der Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel vom Bundeskabinett am 31. August 2011 beschlossen, Berlin, 93 S., <http://www.bmub.bund.de/service/publikationen/downloads/details/artikel/aktionsplan-anpassung-zur-deutschen-anpassungsstrategie-an-den-klimawandel/>.
- Bundesregierung (2011):** Waldstrategie 2020 Nachhaltige Waldbewirtschaftung – eine gesellschaftliche Chance und Herausforderung, Berlin.
- Bundesregierung (2014):** Roadmap Bioraffinerien im Rahmen der Aktionspläne der Bundesregierung zur stofflichen und energetischen Nutzung nachwachsender Rohstoffe. https://www.bmbf.de/upload_filestore/pub/Roadmap_Bioraffinerien.pdf.
- Bundesregierung (2015):** Fortschrittsbericht zur Deutschen Anpassungsstrategie, vom Bundeskabinett am 16. Dezember 2015 beschlossen, 274 S., <http://www.bmub.bund.de/themen/klima-energie/klimaschutz/klima-klimaschutz-download/artikel/fortschrittsbericht-zur-klimaanpassung/>.
- Bundesregierung (2019):** Klimaschutzprogramm 2030 der Bundesregierung zur Umsetzung des Klimaschutzplan 2050. <https://www.bundesregierung.de/resource/blob/975226/1679914/e01d6bd855f09bf05cf7498e06d0a3ff./2019-10-09-klima-massnahmen-data.pdf?download=1>.
- Cape J N, Eerden L van der, Fangmeier A, Ayres J (2009):** Critical Levels for Ammonia, In: Sutton M, Reis S, Bakers S (Eds.): Atmospheric Ammonia: Detecting emission changes and environmental impacts, p. 375–382, Springer.
- Carus M, Raschka A, Fehrenbach H et al. (2014):** Ökologische Innovationspolitik – Mehr Ressourceneffizienz und Klimaschutz durch nachhaltige stoffliche Nutzungen von Biomasse, UBA-Texte 02/2014, im Auftrag des Umweltbundesamtes, FKZ 3710 93 109, UBA-FB 001865, Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau.
- Dehoust G, Schüler D, Vogt R, Giegrich J (2010):** Klimaschutzpotenziale der Abfallwirtschaft am Beispiel von Siedlungsabfällen und Altholz, Öko-Institut e.V. und ifeu, Darmstadt/Heidelberg/Berlin, Januar 2010 <http://www.umweltbundesamt.de/uba-info-medien/dateien/3907.html>.

- DESH (2020):** Marktdaten. Verband der Deutschen Säge- und Holzindustrie. Online im Internet: <https://www.saegeindustrie.de/de/content/saegeindustrie/marktdaten>, Abruf am 04.06.2020.
- Deutscher Bundestag (2012):** Antwort der Bundesregierung – Zwei Jahre nach der Novellierung des Bundeswaldgesetz. BT Drucksache 17/11498.
- Deutscher Bundestag (2019):** Antwort der Bundesregierung – Internationale Waldzerstörung durch Importe nach Deutschland. BT Drucksache 19/15348.
- Deutsche Umweltstiftung (Hrsg.) (2019):** Der Wald Deutschlands im Klimawandel – Bewertung des nationalen Waldgipfels und Forderungen zum Umgang mit der Waldkrise. Epaper. <https://www.deutscheumweltstiftung.de/download/16/e-paper/20367/pierre-l-ibisch-torsten-welle-jeanette-s-blumro%cc%88der-jo%cc%88rg-sommer-holzverbrennung-ist-nicht-klimaneutral.pdf>. Abruf am 26.05.2020.
- Dög M, Seintsch B, Rosenkranz L, Dieter M (2016):** Belastungen der deutschen Forstwirtschaft aus der Schutz- und Erholungsfunktion des Waldes. Landbauforsch Appl Agric Forestry Res 66(2):71–92.
- Dunger K, Hennig P (2018):** Ausgewählte BWI-Ergebnisse für den (Klein-)Privatwald. Präsentation auf der 68. Jahrestagung des Deutschen Forstwirtschaftsrats, Berlin, 25. Juni 2018 https://www.dfwr.de/images/Downloads/2018-06-25_Dunger_BWI-Ergebnisse_DFWR-Jahrestagung.pdf
- DVFFA (2019):** Anpassung der Wälder an den Klimawandel. Positionspapier des Deutschen Verbandes Forstlicher Forschungsanstalten (DVFFA) vom 09.09.2019, http://www.dvffa.de/system/files/files_site/Waldanpassung_Positionspapier%20des%20DVFFA_09_2019.pdf
- Elling W, Heber U, Polle A, Beese F (2007):** Schädigung von Waldökosystemen. Auswirkung anthropogener Umweltveränderungen und Schutzmaßnahmen, Elsevier Spectrum Akademischer Verlag, München Heidelberg.
- Elsasser P & Weller P (2013):** Aktuelle und potentielle Erholungsleistung der Wälder in Deutschland: monetärer Nutzen der Erholung im Wald aus Sicht der Bevölkerung. Allg Forst Jagdzeitg 184(3–4):84–96.
- Engel F, Meyer P, Demant L, Spellmann H (2019):** Wälder mit natürlicher Entwicklung in Deutschland. AFZ/Der Wald 13/2019, S. 30–33.
- Etzold S, Ferretti M, Reinds GJ, Solberg S, Gessler A, Waldner P, Schaub M et al. (2020):** Nitrogen deposition is the most important environmental driver of growth of pure, even-aged and managed European forests, *Forest Ecology and Management*, 458 (2020) 117762, Elsevier.
- Europäische Kommission (2020):** Mitteilung der Kommission an das Europäische Parlament, den Rat, den Europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss und den Ausschuss der Regionen: EU-Biodiversitätsstrategie für 2030. Mehr Raum für die Natur in unserem Leben, COM(2020) 380 final, Brüssel, den 20.05.2020.
- Evers J, Dammann I, Noltensmeier A, Nagel R-V (2008):** Auswirkungen von Bodenschutzkalkungen auf Buchenwälder (*Fagus sylvatica* L.). In: Beiträge aus der Nordwestdeutschen Forstlichen Versuchsanstalt, 03: 21–50 pp. Universitätsverlag Göttingen, zitiert in Wellbrock et al. 2016.
- Fehrenbach H, Köppen S, Kauertz B, Detzel A, Wellenreuther F, Breitmayer E, Essel R, Carus M, Bienge K, von Geibler J (2017):** BIOMASSEKASKADEN Mehr Ressourceneffizienz durch stoffliche Kaskadennutzung von Biomasse – von der Theorie zur Praxis. UBA Texte 53/2017. FKZ 3713 44 100. Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau.
- Fehrenbach H, Giegrich J, Köppen S, Wern B, Pertagnol J, Baur F, Hünecke K, Dehoust G, Bulach W, Wiegmann K (2019):** BioRest: Verfügbarkeit und Nutzungsoptionen biogener Abfall- und Reststoffe im Energiesystem (Strom-, Wärme- und Verkehrssektor). UBA Texte 115/2019. FKZ 3716 43 102. Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau.
- Flückinger W, Braun S (2009):** Nährstoffe im Wald lassen – oder recyceln!, Aspekte einer nachhaltigen Waldnutzung, Wald und Holz 9/09, 30–33, online-Artikel.
- FNR (2019):** Charta für Holz 2.0 – Kennzahlenbericht 2019 Forst & Holz. Fachagentur für Nachwachsende Rohstoffe e.V., Gülzow.
- FNR (2019a):** Produktion von Holzwerkstoffen in Deutschland. Fachagentur für Nachwachsende Rohstoffe e.V.. Online im Internet: https://mediathek.fnr.de/media/catalog/product/cache/1/small_image/500x/4cbc0c59c34dba40a38f91baddb77101/t/a/tab_041_k_2019_30032020.jpg. Abruf am 04.06.2020.
- FÖP (Hrsg.) (2012):** Papier Wald und Klima schützen, Forum Ökologie & Papier, Hamburg, www.umweltbundesamt.de/uba-info-medien/8156.html.
- Friederich T, Dännart K (2018):** Der Risikomanagementzyklus als Daueraufgabe, Kompetenz-Netzwerk Klimawandel, Krisenmanagement und Transformation in Waldökosystemen (KoNeKKTiW), Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg (FVA), https://www.waldwissen.net/waldwirtschaft/schaden/fva_risikomanagementzyklus/index_DE?dossier Rated=1#bew.
- Gesetz zum Schutz der Kulturpflanzen (Pflanzenschutzgesetz-PflSchG):** http://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/pflschg_2012/gesamt.pdf.
- Gütergemeinschaft Deutscher Fertigbau (2003):** Satzung der Qualitätsgemeinschaft Deutscher Fertigbau.
- Henger R, Daniel S, Schier M, Blecken L, Fahrenkrug K, Melzer M, Bizer K, Meub L, Proeger T, Gutsche J-M, Tack A., Ferber U, Schmidt T, Siedentop S, Straub T, Kranz T, Weinhardt C (2019):** Modellversuch Flächenzertifikatehandel – Realitätsnahes Planspiel zur Erprobung eines überregionalen Handelssystems mit Flächenausweisungszertifikaten für eine begrenzte Anzahl ausgewählter Kommunen. UBA Texte 116/2019. Dessau-Roßlau.
- Hennenberg K, Böttcher H, Wiegmann K, Reise J, Fehrenbach H (2019):** Kohlenstoffspeicherung in Wald und Holzprodukten. AFZ/Der Wald 17/2019, S. 36–39.
- Hennig P (2016):** Kleinprivatwald: höhere Vorräte, geringere Nutzung. Holz-Zentralblatt, Nr. 12, S. 330–332.
- Höglmeier K, Weber-Blaschke G, Richter K (2014):** Utilization of recovered wood in cascades versus utilization of primary wood—a comparison with life cycle assessment using system expansion. *The International Journal of Life Cycle Assessment* (19), S. 1755–1766. doi:10.1007/s11367-014-0774-6.

- ICP Forests (2006):** Condition of Forests in Europe, 2006 Executive Report, International Cooperative Programme on Assessment and Monitoring of Air Pollution Effects on Forests, Convention on Long-range Transboundary Air Pollution, Federal Research Centre for Forestry and Forest Products (BFH), Hamburg.
- ICP Forests (2012):** Effects of air pollution on forests. Report by the Programme Coordinating Centre of the International Cooperative Programme on Assessment and Monitoring of Air Pollution Effects on Forests to the 31 Session of the Working Group on Effects, Convention on Long-range Transboundary Air Pollution, Dokument ECE/EB.AIR/WG.1/2012/5.
- ICP Vegetation (2012):** Harmens H, Mills G (eds): Ozone Pollution: Impacts on carbon sequestration in Europe, ICP Vegetation Programme Coordination Centre, Centre for Ecology and Hydrology, Bangor, UK.
- ICP Vegetation 2017:** Mapping Critical Levels for Vegetation, Chapter III of CLRTAP (2004): Manual on Methodologies and Criteria for Modelling and Mapping Critical Loads and Levels and Air Pollution Effects, Risks and Trends. Umweltbundesamt, Berlin. The most recent version of the Modelling and Mapping Manual is available under: <https://www.umweltbundesamt.de/en/manual-for-modelling-mapping-critical-loads-levels?parent=68093>.
- Jenssen M, Hofmann G, Nickel S, Pesch R, Riediger J, Schröder W (2013):** Bewertungskonzept für die Gefährdung der Ökosystemintegrität durch die Wirkungen des Klimawandels in Kombination mit Stoffeinträgen unter Beachtung von Ökosystemfunktionen und -dienstleistungen, UBA-Texte 87/2013, Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau.
- Jochem D, Weimar H, Bösch M, Mantau U, Dieter M (2015):** Der Holzeinschlag – eine Neuberechnung. *Holz-Zentralblatt*, 141(30), 752–753.
- Kölling C, Göttlein A, Rothe A (2007):** Energieholz nachhaltig nutzen. Biomassennutzung und Nährstoffentzug, LWF aktuell 61/2007, Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft, Weihenstephan.
- Körner C (2009):** Biologische Kohlenstoffsinken: Umsatz und Kapital nicht verwechseln!, *GAIA* 18/4 (2009): 288–293.
- Kolb E, Göttlein A (2012):** Regionale Bewertung erntebedingter Nährstoffentzüge. *AFZ-Der Wald* 15/2012. S. 4–7.
- Leitgeb E, Mutsch F (2012):** Möglichkeiten und Grenzen des Einsatzes von Holzasche in Wäldern, BfW-Praxisinformation Nr. 28, 2012, Bundesforschungs- und Ausbildungszentrum für Wald, Naturgefahren und Landschaft, Wien.
- Linde S van der, Suz L M, Orme C et al. (2018):** Environment and host as large-scale controls of ectomycorrhizal fungi, *Nature* 558, pp. 243–248.
- Mantau U, Döring P, Glasenapp S, Blanke Ch (2017):** Szenarien der stofflichen und energetischen Holzverwendung. *AFZ/Der Wald* 13/2017, S. 18–20.
- Mantau U., P. Döring, H. Weimar and S. Glasenapp (2018):** Rohstoffmonitoring Holz – Mengenmäßige Erfassung und Bilanzierung der Holzverwendung in Deutschland. Schriftenreihe Nachwachsende Rohstoffe. Gülzow, Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V.
- Marx M, Ackermann J, Schmidt S, Utermann J, Bussian BM (2019):** Occurrence and Spatial Distribution of Selected Organic Substances in Germany's Forest Soils. In: Wellbrock N., Bolte A. (eds) Status and Dynamics of Forests in Germany. Ecological Studies (Analysis and Synthesis), vol 237. Springer, Cham, Pages 231–259, https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-15734-0_8.
- Meier-Landsberg E & Schweinle J (2017):** Nachhaltigkeitsbewertung der WEHAM-Szenarien. *AFZ/Der Wald* 13/2017, S. 27–29.
- Meiwes K J, Asche N, Block J, Kallweit R, Kölling C, Raben G, von Wilpert K (2008):** Potenziale und Restriktionen der Biomassenutzung im Wald. *AFZ-Der Wald* 10–11/2008. S. 598–603.
- Meiwes (2010):** Nährstoffe: Schieflage im Waldboden?, *Forstwirtschaft, Land & Forst* Nr. 30, 29. Juli 2010, 48–49.
- Melvin AM, Lichstein JW, Goodale CL (2013):** Forest liming increases forest floor carbon and nitrogen stocks in a mixed hardwood forest. *Ecological Applications*, 23 (8): 1962–1975, zitiert in Wellbrock et al. 2016.
- Milad M, Storch S, Schaich H, Konold W, Winkel G (2012):** Wälder und Klimawandel: Künftige Strategien für Schutz und nachhaltige Nutzung. *Naturschutz und biologische Vielfalt* Band 125. Bundesamt für Naturschutz (Hrsg.).
- Müller J (2018):** Die forsthydrologische Forschung im Nordost-deutschen Tiefland: Veranlassung Methoden, Ergebnisse und Perspektiven, Habilitation, Agrar- und Umweltwissenschaftliche Fakultät der Universität Rostok, Rostok.
- Mund M., Frischbier N. et al. (2015):** Klimaschutzwirkung des Wald- und Holzsektors: Schutz und Nutzungsszenarien für drei Modellregionen in Thüringen. Bundesamt für Naturschutz. Bonn. BfNSkripten (396): 168 S.
- OECD, 2013:** OECD Series On Emission Scenario Documents Number 2, Revised Emission Scenario Document for Wood Preservatives; OECD Environmental Health and Safety Publications, ENV/JM/MONO(2013)21.
- Offener Brief zur Waldkrise (2019):** Waldexperten warnen vor Aktionismus in der Waldkrise und fordern Ende von ‚Holzfabriken‘. Offener Brief zur Waldkrise an Bundesministerin Klöckner. Online im Internet: <https://www.deutschemweltstiftung.de/waldkrise-brief/>. Abruf am 19.05.2020.
- Potrykus A, Milunov M (2013):** Determination of the Best available Techniques for preservation of wood and wood products in Germany considering cross-media environmental impacts, on behalf of the Federal Environment Agency (Umweltbundesamt), Grant Number (UFOPLAN) (FKZ 3711 43 43 330 2).
- Purkus A, Lüdtke J, Becher G, Jochem D, Polley H, Rüter S, Weimar H, Maack C (2019):** Charta für Holz 2.0 – Kennzahlenbericht 2019 Forst & Holz. Gülzow-Prüzen: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR). 45 S.
- Rademacher P (2001):** Atmospheric Heavy Metals and Forest Ecosystems. Convention on Long-range Transboundary Air Pollution, International Cooperative Programme on Assessment and Monitoring of Air Pollution Effects on Forests, Federal Research Centre for Forestry and Forest Products (BFH), Geneva, Hamburg.
- Rahmenrichtlinie zur nachhaltigen Verwendung von Pestiziden (2009/128/EG):** <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:309:0071:0086:DE:PDF>.

- Reese M, Möckel S, Bovet J, Köck W (2010):** Rechtlicher Handlungsbedarf für die Anpassung an die Folgen des Klimawandels Analyse, Weiter- und Neuentwicklung, Berichte des Umweltbundesamtes 01/10, Umweltbundesamt Dessau.
- Reif A, Schulze E-D, Ewald J, Rothe A (2014):** Kalk im Wald – muss es sein? FVA-einblick 1/2014, S. 14–16., www.waldwissen.net
- Riedel T, Stürmer W, Hennig P, Dunger K, Bolte A (2019):** Wälder in Deutschland sind eine wichtige Kohlenstoffsene. AFZ/Der Wald 14/2019, S. 14–18.
- Risse M, Weber-Blaschke G, Richter K (2017):** Resource efficiency of multifunctional wood cascade chains using LCA and exergy analysis, exemplified by a case study for Germany. Resource, Conservation & Recycling (126), S. 141–152. doi 10.1016/j.resconrec.2017.07.045.
- Rock J, Bolte A (2011):** Auswirkungen der Waldbewirtschaftung 2002 bis 2008 auf die CO₂-Bilanz, AFZ- Der Wald, Heft 15, München AFZ, der Wald, Band 66, Heft 15, Seiten 22–24.
- Rüter S, Rock J, Köthke M, Dieter M (2011):** Wie viel Holznutzung ist gut fürs Klima?, AFZ- Der Wald, Heft 15, München.
- Rüter S (2011):** Welchen Beitrag leisten Holzprodukte zur CO₂-Bilanz, AFZ- Der Wald, Heft 15, München.
- Rüter S, Stürmer W, Dunger K (2017):** Treibhausgasbilanzen der WEHAM-Szenarien. AFZ/Der Wald 13/2017, S. 30–31.
- Sanders T, Spathelf P, Bolte A (2020):** The response of forest trees to abiotic stress, Chapter taken from: Stanturf J A (Ed.) (2019): Achieving sustainable management of boreal and temperate forests, Burleigh Dodds Science Publishing, Cambridge, UK.
- Schaap M, Hendriks C, Kranenburg R, Kuenen J, Segers A, Schlutow A, Nagel H-D, Ritter A, Banzhaf S (2018):** PINETI-3: Modellierung atmosphärischer Stoffeinträge von 2000 bis 2015 zur Bewertung der ökosystem-spezifischen Gefährdung von Biodiversität durch Luftschadstoffe in Deutschland, Texte 79/2018, Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau.
- Schier F & Weimar H (2017):** Modellierung des Holzmarktes im WEHAM-Projekt. AFZ/Der Wald 13/2017, S. 21–23.
- Schröder W, Nickel S, Schaap M, Hendriks C, Jonkers S, Bultjes P, Schlutow A, Nagel, H-D, Scheuschner T (2018):** Auswirkungen der Schwermetallemissionen auf Luftqualität und Ökosysteme in Deutschland. Quellen, Transport, Eintrag, Gefährdungspotenzial, Texte 107/2018, Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau.
- Schröder W, Jenssen M, Schlutow A, Burkhard B, Dworczyk M A, Elsasser P, Lorenz M, Meyerhoff J, Weller P, Altenbrunn K (2019):** Anwendung des Bewertungskonzepts für die Ökosystemintegrität unter Berücksichtigung des Klimawandels in Kombination mit Stoffeinträgen, Abschlussbericht zum F&E-Vorhaben, FKZ 3713 83 254, Texte 97/2019, Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau.
- Seho M (2020) Ausblick zu möglichen Alternativbaumarten im Klimawandel.** In: Steinfath M (2020), S. 13–14.
- Seintsch B (2011):** Stellung der Holzrohstoffe in der Kostenstruktur des Holz- und Papiergewerbes in Deutschland. vTI, Institut für Ökonomie der Forst- und Holzwirtschaft, Arbeitsbericht 2011/3, Hamburg.
- Slootweg J, Hettelingh J P, Posch M, Schütze G, Spranger T, de Vries W, Reinds G J, van 't Zelfde M, Dutchak S, Ilyin I (2007):** European critical loads of cadmium, lead and mercury and their exceedances, Water Air Soil Pollut: Focus (2007) 7:371–377, Springer.
- SRU (2012):** Sachverständigenrat für Umweltfragen: Umweltgutachten 2012, Verantwortung in einer begrenzten Welt.
- Stahl E, Doetsch P (2008):** Qualität und Verwertungsmöglichkeiten von Holzaschen aus naturbelassenen Hölzern, Umweltwiss Schadst Forsch (2008) 20:290–298, Energie und Umwelt. Beitragsserie, Springer.
- Stark H, Nothdurft A, Bauhus J (2011):** Effekte von Vorwäldern auf den Nährstoff- und Kohlenstoffhaushalt des Waldbodens. AFZ-Der Wald 14/2011. S. 4–6.
- Statistisches Bundesamt (2013):** Produzierendes Gewerbe 2012 Fachserie 4 Reihe 3.1, Statistisches Bundesamt, Wiesbaden 2013.
- Statistisches Bundesamt (2019a):** Umweltökonomische Gesamtrechnung – Waldgesamtrechnung, Berichtszeitraum 2014–2017, Tabelle 2 „Physische Holzvorratsbilanz“ (Zeitreihe 2014–2017).
- Statistisches Bundesamt, Nachhaltige Entwicklung, Daten zum Indikatorenbericht, 2018.**
- Statistisches Bundesamt (2019):** Statistisches Jahrbuch 2019. Wiesbaden.
- Steinfath M (2020):** Wald und Klimawandel – Wie geht es weiter?, AFZ der Wald 1/2020.
- Stöckhardt J A (1850):** Über die Einwirkung des Rauches der Silberhütten auf die benachbarte Vegetation. Polytechn. Centralblatt 1850, S. 256–278.
- Sutton M A, Baker S, Reis S (eds.) (2009):** Atmospheric ammonia: Detecting emission changes and environmental impacts, Springer.
- Thünen-Institut (online im Internet):** Dritte Bundeswaldinventur – Ergebnisdatenbank. Aufruf am 10.02.2016.
- Thünen-Institut (2019):** Clusterstatistik Forst & Holz 2017. Online im Internet: <https://www.thuenen.de/de/wf/zahlen-fakten/produktion-und-verwendung/clusterstatistik-forst-holz/>. Aufruf am 24.05.2020.
- Thünen-Institut (2020):** Inlandsverwendung Rohholz. Thünen-Institut für Internationale Waldwirtschaft und Forstökonomie, Thünen-Einschlagsrückrechnung. Online im Internet: https://www.thuenen.de/media/institute/wf/HM_div._Statistik_Dateien/Dateien_-_Bilanzen_-_Tabellen/Wald/Einschlagsrueckrechnung/Rohholz_Inlandsverwendung.pdf. Abruf am 24.05.2020.
- UBA (2000):** Specification in the application form for environmental assessment of wood preservatives; UBA-Texte Band 32/00, Umweltbundesamt, Berlin.
- UBA (2008):** Bodenschutz beim Anbau nachwachsender Rohstoffe – Empfehlungen der „Kommission Bodenschutz beim Umweltbundesamt“. Dessau-Roßlau..
- UBA (2012):** Globale Landflächen und Biomasse nachhaltig und ressourcenschonend nutzen, UBA-Positionspapier, Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau.

- UBA (Hrsg.) (2013):** Genug getan für Mensch und Umwelt? Wirkungsforschung unter der Genfer Luftreinhaltekonvention, Umweltbundesamt, Dessau-Rosslau.
- UBA (Hrsg.) (2015):** Monitoringbericht 2015 zur Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel. Bericht der Interministeriellen Arbeitsgruppe Anpassungsstrategie der deutschen Bundesregierung, Umweltbundesamt Dessau-Roßlau.
- UBA (Hrsg.) (2015a):** Vorbereitung der Entscheidung über eine mögliche Zulassung kreosothaltiger Holzschutzmittel in Deutschland, Umweltbundesamt Dessau-Roßlau.
- UBA (Hrsg.) (2019):** Monitoringbericht 2019 zur Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel, Bericht der Interministeriellen Arbeitsgruppe Anpassungsstrategie der Bundesregierung, <https://www.klivportal.de/DE/Aktuelles/monitoringbericht2019.html>.
- UFZ (2009):** Nachhaltigkeit statt Romantik: 80 % der Deutschen befürworten die Nutzung des Waldes, Laborgespräch VIII, Informationsdienst Wissenschaft – idw -Pressemitteilung Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung – UFZ, <http://www.ufz.de/index.php?de=18267>.
- US Forest Service:** Lichens, <http://www.fs.fed.us/wildflowers/interesting/lichens/index.shtml>.
- VDS (2010):** Verband der Deutschen Säge- und Holzindustrie e.V., Jahresbericht 2009/2010, Wiesbaden.
- Verband Deutscher Papierfabriken (VDP):** Papier 2012 Ein Leistungsbericht, VDP, Bonn 2012, www.vdp-online.de.
- Von Wilpert K, Hartmann P, Schäffer J (2013):** Regenerationsorientierte Bodenschutzkalkung, Merkblätter der Forstlichen Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg, Heft 54/2013.
- Von Wilpert K, Ahrends B, Weis W, Vonderach C, Puhlmann H, Köhler D, Sucker C, Kändler C, Nagel J (2018):** Standortangepasste Nutzungsintensitäten und forstliche Handlungsoptionen. In: Holznutzung und Nährstoffnachhaltigkeit -Abschlussbericht zum Projekt „Energieholzernte und stoffliche Nachhaltigkeit in Deutschland (EnNa)“. Berichte Freiburger Forstliche Forschung 101, S. 325–373.
- WBW & WBBGR (2020):** Wege zu einem effizienten Waldnaturschutz in Deutschland – Stellungnahme. Wissenschaftlicher Beirat Waldpolitik und Wissenschaftlicher Beirat Biodiversität und Genetische Ressourcen beim BMEL. Berlin.
- Weis W; Göttlein A (2012):** Nährstoffnachhaltige Biomassennutzung. LWF aktuell 90/2012. S. 44–47.
- Weimar H (2018):** Holzbilanzen 2015 bis 2017 für die Bundesrepublik Deutschland und Neuberechnung der Zeitreihe der Gesamtholzbilanz ab 1995. Hamburg: Johann Heinrich von Thünen-Institut, 37p, Thünen Working Paper 101.
- Wellbrock N, Bolte A, Flessa (eds.) (2016):** Dynamik und räumliche Muster forstlicher Standorte in Deutschland. Ergebnisse der Bodenzustandserhebung im Wald 2006 bis 2008, Thünen Report 43, Johann Heinrich von Thünen Institut, Braunschweig
- Wellbrock N, Grüneberg E, Riedel T, Polley H (2017):** Carbon stocks in tree biomass and soils of German forests. Central European Forestry Journal 63, S. 105–112. doi:10.1515/forj-2017-0013.
- WGE 2012:** Impacts of air pollution on ecosystems, human health and materials under different Gothenburg Protocol scenarios, report of the Working Group on Effects, UNECE Convention on Long-range Transboundary Air Pollution, Genf, http://www.unece.org/fileadmin/DAM/env/documents/2012/air/WGE_31th/N_2_WGE-impact-report-2012-sept.pdf.
- Winkel G, Volz K R (2003):** Naturschutz und Forstwirtschaft: Kriterienkatalog zur „Guten fachlichen Praxis“, Ergebnisse aus dem F&E-Vorhaben 800 84 001 des Bundesamtes für Naturschutz, Angewandte Landschaftsökologie, Heft 52, Bundesamt für Naturschutz, Bonn – Bad Godesberg.
- Wissenschaftlicher Beirat Waldpolitik beim BMEL (Hrsg.) (2020):** Eckpunkte der Waldstrategie 2050. Stellungnahme. Berlin, 71 S.



► **Unsere Broschüren als Download**
Kurzlink: bit.ly/2dowYYI

 www.facebook.com/umweltbundesamt.de
 www.twitter.com/umweltbundesamt
 www.youtube.com/user/umweltbundesamt
 www.instagram.com/umweltbundesamt/