

Wälder im Klimawandel: Steigerung von Anpassungsfähigkeit und Resilienz durch mehr Vielfalt und Heterogenität



Ein Positionspapier des



Herausgeber: Bundesamt für Naturschutz
Konstantinstr. 110
53179 Bonn

Redaktion: A. Höltermann, B. Jessel

Mit Beiträgen von Irene Aßmuth, Sandra Balzer, Henrike v.d. Decken, Götz Ellwanger, Peter Finck, Oliver Hendrichke, Alfred Herberg, Matthias Herbert, Manfred Klein, Andreas Krug, Melanie Neukirchen, Jakob Pöllath, Markus Röhling, Christiane Schell, Volker Scherfose, Sandra Skowronek, Karin Ullrich, Daniel Wolf.

Titelbild: links: Buchenwald im Hainich (Foto: B. Engels)
rechts: Fortschreitende Räumung eines Fichtenbestands im Siebengebirge
(Foto: M. Vischer-Leopold)

Weitere Fotos: A. Höltermann, bis auf S. 14: Friedrich-Schiller-Universität Jena

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Herausgebers unzulässig und strafbar.

2. korrigierte Version
Bonn - Bad Godesberg April 2020

Inhaltsverzeichnis

0	Kernforderungen	2
1	Einleitung.....	4
2	Forderungen für die Anpassung von Wäldern an den Klimawandel.....	5
2.1	Natürliche Wiederbewaldung und Waldentwicklung stärker als Anpassungsmechanismen nutzen.....	7
2.2	Umbau von Nadelreinbeständen zu mehrschichtigen Laubmischwäldern forcieren.....	8
2.3	Waldbewirtschaftung an ökosystemaren Gesichtspunkten ausrichten	11
2.3.1	Wasserhaushalt und Wasserrückhalt verbessern	12
2.3.2	Waldböden schützen.....	12
2.3.3	Wälder und Bäume älter werden lassen	13
2.3.4	Totholzanteile erhöhen	14
2.4	Anteil forstlich nicht-bewirtschafteter Wälder erhöhen.....	15
2.5	Sonderstandorte erhalten und fördern.....	17
2.6	Vernetzung von Waldlebensräumen fördern.....	17
3	Umsetzung.....	18
3.1	Unterstützung für eine gemeinwohlorientierte Waldbewirtschaftung ausbauen	18
3.2	Verantwortung des Bundes wahrnehmen und rechtliche Anpassungen vornehmen.....	20
3.2.1	Vom Forstrecht zum Waldrecht: Umwelt- und Naturschutzziele im Bundeswaldgesetz stärken.....	20
3.2.2	Vorbildfunktion des Staates	21
3.2.3	Gute fachliche Praxis der Forstwirtschaft verbindlich konkretisieren	21
3.2.4	Beitrag der Jagd zum Waldumbau: „Wald vor Wild“ im Jagdrecht.....	22
3.3	Monitoring von Waldökosystemen erweitern und angewandte Forschung intensivieren ..	22
3.4	Planerische Instrumente und Konzepte nutzen	23
4	Fazit	24
5	Literaturverzeichnis.....	25

0 Kernforderungen

Angeichts der sichtbaren Auswirkungen der Witterungsextreme der letzten beiden Jahre auf die Wälder in Deutschland muss die Waldbewirtschaftung, stärker als dies in der Vergangenheit der Fall war, an dem Ziel ausgerichtet werden, die Vielfalt und Heterogenität von Wäldern zu fördern. Vielfalt meint dabei sowohl ökologische Vielfalt als auch Vielfalt im Handeln. Es gilt, die grundlegenden Funktionen von Waldökosystemen wiederherzustellen, zu erhalten und zu fördern - als Grundvoraussetzung für deren Anpassungs- und Selbstregulationsfähigkeit und die Erbringung vielfältiger ökologischer Leistungen, heute und in Zukunft.

Oberstes Ziel und Leitbild muss es dabei sein, auch angesichts der Unsicherheit künftig eintretender Entwicklungen, die Anpassungsfähigkeit und Widerstandsfähigkeit (Resilienz) von Wäldern zu fördern. Es geht darum, 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. Einen Schlüsselbegriff stellt die Diversität und Diversifizierung von Wäldern dar, die aus verschiedener Perspektive in den Blick zu nehmen ist (Artenzusammensetzung, Struktureichtum, Standortausprägungen, Funktionsvielfalt, aber auch Vielfalt der Bewirtschaftungsverfahren). Wälder sind dabei wieder stärker als Ökosysteme zu betrachten, die neben der Holzerzeugung vielfältige und wichtige ökologische Leistungen für Natur und Gesellschaft erbringen.

Verantwortliche Entscheidungen, die diesem Leitbild gerecht werden, sind insbesondere:

Die aktuelle Situation der Wälder ist aktiv zu nutzen, um stärker als in der Vergangenheit auch natürliche, un gelenkte Sukzessionsprozesse in die Strategien zur Wiederbewaldung zu integrieren. Grundsätzlich ist bei der Wiederbewaldung das Ziel zu verfolgen, naturnahe Laubmischwälder unter dem Vorrang natürlicher Entwicklungs- und zugleich Anpassungsprozesse zu begründen.

Die Anstrengungen zum ökologischen Waldumbau müssen erheblich intensiviert werden. Vorrangig ist das Ziel zu verfolgen, mehrstufige Mischwälder aufzubauen, die sich an der Baumartenzusammensetzung, Dynamik und Struktur natürlicher Waldgesellschaften orientieren. Dabei ist zu berücksichtigen, dass das Konzept der „natürlichen Waldgesellschaften“ als Referenz insb. für die Baumartenwahl aufgrund der sich verändernden Standortbedingungen immer wieder angepasst werden muss. Gebietsfremde Baumarten sollten nur im Ausnahmefall und sehr restriktiv nach einer vorab durchgeführten umfassenden ökologischen Risikobewertung eingesetzt werden. In Schutzgebieten (Naturschutz- und FFH-Gebieten) sollte auf die Einbringung gebietsfremder Baumarten generell verzichtet werden.

Eine schonende und am Wald als Ökosystem ausgerichtete Bewirtschaftung, die dem Erhalt und der Förderung der Biodiversität einen hohen Stellenwert einräumt, ist zu gewährleisten, um die Anpassungsfähigkeit und Resilienz von Wäldern gegenüber Auswirkungen des Klimawandels zu verbessern. Zu beachtende Bewirtschaftungsgrundsätze sind insbesondere

- die Verbesserung von Wasserhaushalt und Wasserrückhalt
- der Schutz der Waldböden
- die Erhöhung des Anteils alter Wälder und der Totholzanteile.

**Der Anteil von Wäldern mit natürlicher, un gelenkter Waldentwicklung sollte schnell und signifi-
kant erhöht und ihre Bedeutung auch für Klimaschutz und Klimaanpassung stärker anerkannt
werden. Wäldern mit natürlicher, un gelenkter Waldentwicklung unterstützen natürliche Anpas-
sungsprozesse in Reaktion auf den Klimawandel und sind notwendig, um das gesamte Spektrum
von an den Wald gebundener Biodiversität zu erhalten.**

**Sonderstandorte (z.B. südexponierte, sehr trockene oder dauerhaft staunasse Standorte) sollten in
Strategien zur Anpassung an den Klimawandel stärker berücksichtigt werden.**

Für die **Umsetzung** muss die bislang einseitig nutzorientierte Perspektive der Forstwirtschaft um das
ökologische Wissensfundament des Naturschutzes und der Ökologie ergänzt werden. Dies erfordert
einen umfassenden Wandel der Mentalitäten und Denkweisen in der forstlichen Praxis, der Ausbil-
dung und Beratung. Konkret und kurzfristig sind zur Umsetzung der genannten Grundsätze insbeson-
dere folgende Maßnahmen erforderlich:

Unterstützung für eine gemeinwohlorientierte Waldbewirtschaftung ausbauen:
Um die vielfältigen Funktionen von Wäldern zu sichern und zu entwickeln, müssen Fördermaß-
nahmen an Aspekte der Daseinsvorsorge („Öffentliches Geld für öffentliche Leistungen“) geknüpft
werden. Waldbesitzer, Waldbesitzerinnen und Kommunen, die durch einen ökologischen
Waldumbau bzw. eine naturnahe Waldbewirtschaftung ihrer Verantwortung für die Zukunft
unserer Wälder in besonderer Weise gerecht werden, sind hierin von der Gesellschaft und Politik
stärker zu unterstützen und angemessen zu honorieren. Beratung und Weiterbildung sind im Sinne
der o.g. Zielstellungen weiter auszubauen. Ein besonderer Fokus sollte dabei auf der Unterstützung
von Kleinprivatwaldbesitzerinnen und -besitzern liegen.

**Verantwortung des Bundes wahrnehmen und rechtliche Anpassungen vornehmen, insbesondere
durch**

- Stärkung der Umwelt- und Naturschutzziele im Bundeswaldgesetz,
- Umsetzung der Vorbildfunktion des Staates vor allem bei der Bewirtschaftung von Staatswäl-
dern,
- verbindliche Konkretisierung der guten fachlichen Praxis in der Forstwirtschaft,
- Verankerung der Verpflichtung zu angepassten Wildbeständen im Bundesjagdgesetz.

Monitoring von Waldökosystemen erweitern und angewandte Forschung intensivieren:
Die bestehenden Monitoringprogramme für Wälder sind zu überprüfen, inwieweit sie geeignet
sind, die Wirksamkeit von Anpassungsmaßnahmen zu bewerten, Aussagen zu den Potenzialen von
Arten und Waldökosystemen unter Klimawandelbedingungen abzuleiten und adäquat mit ange-
wandten Forschungsprogrammen verknüpft sind. Sie sollten qualifiziert erweitert und um neue,
spezifisch aussagefähige Module ergänzt werden.

**Verstärkte Ausnutzung von planerischen Instrumenten und Konzepten (etwa der Raum- und Land-
schaftsplanung).**

1 Einleitung

Die extreme Trockenheit und Hitze der Sommer 2018 und 2019 hat in den deutschen Wäldern in Kombination mit Sturmereignissen und Borkenkäfermassenvermehrungen zu schweren forstwirtschaftlichen Schäden geführt, deren Gesamtumfang sich erst in den kommenden Jahren abschließend beziffern lassen wird.

Im September 2019 stellt sich die Situation wie folgt dar:

- Auf bundesweit schätzungsweise 110.000 Hektar Waldflächen, meist ehemalige Reinbestände aus Fichten und Kiefern, sind die Bäume abgestorben. Durch in der Folge vorgenommene Einschläge sind vielfach große Freiflächen entstanden (BT-Drucks. 19/11093), **Abb. 1**. Hinzu kommen der Ausfall forstlicher Kulturen und zusätzliche Verluste durch Waldbrände auf mehr als 3.000 Hektar. Letzteres vornehmlich auf munitionsbelasteten Flächen, auf denen keine frühzeitige Brandbekämpfung möglich war.
- Besonders stark geschädigt ist die Fichte. Sie ist, vor allem in der planaren und kollinen Höhenstufe, also im Flach- und Hügelland zusätzlich von durch die Trockenheit und Hitze begünstigten Borkenkäfermassenvermehrungen betroffen (Bt-Drucks. 19/9580). Daneben fallen in regional unterschiedlicher Intensität auch Baumarten wie Ahorne, Birken, Buchen, Eichen, Lärchen, Kiefern und Tannen teilweise flächig aus.
- Im Trockenjahr 2018 wurden bereits 33 Millionen Kubikmeter Holz vorzeitig geschlagen. 2019 wird mit einer ähnlichen „Schadholzmenge“ gerechnet. Zusammengenommen handelt es sich um das viertgrößte Schadereignis in der deutschen Forstwirtschaft der vergangenen dreißig Jahre (Bauhus 2019). Das Überangebot an Holz sorgt für einen starken Preisverfall auf dem Holzmarkt.

Der vom Menschen verursachte Klimawandel stellt eine wesentliche Ursache dieser Störungsereignisse dar. Die Auswirkungen werden im Fall von Wäldern durch weitere externe Störfaktoren, wie beispielsweise Stickstoffeinträge, Grundwasserabsenkungen oder Lebensraumfragmentierungen, in einem nicht bekannten Ausmaß verstärkt.

Das Ausmaß der aktuellen Schadsituation konfrontiert alle für den Wald Verantwortlichen mit **grundlegenden Fragen zur Vorhersagbarkeit ökosystemarer Entwicklungsprozesse**. Für die Forstwirtschaft werden **prinzipielle Fragen zur Planbarkeit waldbaulicher Handlungskonzepte, Wachstums- und Ertragsberechnungen aufgeworfen**. Neben die Herausforderung der Forstwirtschaft, durch eine nachhaltige Waldbewirtschaftung vielfältige und heute zum Teil noch unbekannte Bedürfnisse aktueller und künftiger Generationen zu erfüllen (vgl. auch IPCC 2019), treten damit weitere, und nun für eine breite Öffentlichkeit sichtbare, klimawandelinduzierte fundamentale Unsicherheiten bezüglich der Prognose waldbaulicher Entwicklungen, die bisheriges forstliches Erfahrungswissen in Frage stellen.



Abb. 1: Vom Borkenkäfer befallener und geräumter Fichtenbestand mit einzelnen stehenden, ebenfalls geschädigten Douglasien im Vordergrund bei Eitorf (Siegtal).

2 Forderungen für die Anpassung von Wäldern an den Klimawandel

Wie können Wälder an diese durch große Unsicherheit gekennzeichnete Situation angepasst werden?

Zweifelsohne bleibt die Reduzierung von THG-Emissionen und die Verminderung der sonstigen schädigenden externen Stressoren auf Wälder eine vorrangige gesamtgesellschaftliche Aufgabe, ohne die die Anpassung von Wäldern nur bedingt gelingen kann.

Die aktuelle Situation muss jedoch unabhängig davon auch zum Anlass genommen werden, erkannte spezifisch forstwirtschaftliche Fehlentwicklungen zu korrigieren und die waldbaulichen Managementkonzepte, Steuerungsinstrumente und Planungsansätze so weiterzuentwickeln bzw. konsequent umzusetzen, dass unsere Wälder langfristig in die Lage versetzt werden, sich an die Bedingungen des Klimawandels anzupassen. Unbestritten dürften auch waldbauliche Entwicklungen der Vergangenheit, wie beispielsweise der Anbau von Fichte weit über ihr natürliches Verbreitungsgebiet hinaus, zur Verschärfung der beschriebenen aus forstwirtschaftlicher Sicht katastrophalen Situation beigetragen haben und beitragen. Es ist daher unbedingt notwendig, die bisherigen waldbaulichen Bewirtschaftungskonzepte, die noch weitestgehend auf Ideen der Plan- und Berechenbarkeit waldökosystemarer Prozesse beruhen und homogene Planungs- und Bewirtschaftungseinheiten sowie eine eher ökonomische Ausrichtung der Forstwirtschaft begünstigen, einer **grundsätzlichen Neuorientierung** zu unterziehen, **welche den Aspekten der Unvorhersehbarkeit und der Vielfalt heute und zukünftig von Wäldern bereitzustellender Ökosystemleistungen, z. B. über mehr Partizipation, stärker Rechnung trägt.**

Oberstes Ziel und Leitbild muss dabei es sein, auch angesichts der Unsicherheit künftig eintreten-der Entwicklungen, die Anpassungsfähigkeit und Widerstandsfähigkeit (Resilienz) von Wäldern zu fördern. Es geht darum, 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. Einen Schlüsselbegriff stellt dabei die Diversität und Diversifizierung von Wäldern dar, die aus verschiedener Perspektive in den Blick zu nehmen ist (Artenzusammensetzung, Struktureichtum, Standortausprägungen, Funktionsvielfalt, aber auch Vielfalt der Bewirtschaftungsverfahren). Wälder sind dabei wieder stärker als Ökosysteme zu betrachten, die neben der Holzerzeugung vielfältige und wichtige ökologische Leistungen für Natur und Gesellschaft erbringen.

Wie sehen verantwortliche Entscheidungen aus, die diesem Leitbild gerecht werden?

Die mit dem Klimawandel verbundenen Unsicherheiten und die Zunahme an Dynamik erfordern **unterschiedliche Handlungsoptionen und flexible Maßnahmen** (s. etwa Milad et al. 2012), die einerseits **unabhängig von einem bestimmtem Klimaszenario sinnvoll sind („no-regret-Maßnahmen“)** und zum anderen **zukünftige Handlungsoptionen und Entwicklungsmöglichkeiten offen lassen** (s.a. Jenssen 2007; Lawler et al. 2010; Ogden und Innes 2009; Puettmann et al. 2008).

Um die Resilienz und Anpassungsfähigkeit des Mensch-Umwelt-Systems zu stärken, **muss die Vielfalt und Heterogenität von Strukturen und Prozessen auf verschiedenen Ebenen verbessert werden.** Die Verbesserung und der Erhalt der Biodiversität als Grundvoraussetzung für die Selbstregulation von Waldökosystemen und zur Bereitstellung von Ökosystemleistungen nimmt dabei eine zentrale Rolle ein (Chapin et al. 2000, Folke et al. 2004, Hooper et al. 2004, IPBES 2019, Isbell et al. 2011). Zusätzlich liegt **in der Förderung unterschiedlicher zeitlich und kleinräumlich variierender Bewirtschaftungsweisen bzw. der Vielfalt im Handeln der verantwortlichen Akteure** die Chance, Lern- und Anpassungsprozesse zu ermöglichen, die langfristig die Resilienz von Ökosystemen stärken (Milad et al. 2012). Zu nennen wären hier beispielsweise unterschiedliche Teilziele und Maßnahmen in Waldbau und Waldnaturschutz, eine differenzierte Umsetzung von Maßnahmen, die Kombination integrativer und segregativer Schutzansätze, die Berücksichtigung lokaler und regionaler Besonderheiten und die Beteiligung/Kooperation unterschiedlicher Akteure und Disziplinen.

Die Ziele und Maßnahmen des Waldmanagements müssen dabei im Rahmen wiederkehrender Zustands- und Zielanalysen und unterstützt durch modell- oder szenarienbasierte Planungsprozesse (Bolte et al. 2009; Filotas et al. 2014; Lawler et al. 2010; Wintle und Lindenmayer 2008) im Sinne eines adaptiven Managements immer wieder evaluiert und ggf. angeglichen werden.

Die erforderliche Anpassung forstlicher Managementstrategien geht somit weit über die bloße Baumartenwahl hinaus, auch wenn diese nach wie vor eine der wichtigsten Stellschrauben bleibt. Sie nimmt vielmehr den Wald als Ökosystem in den Blick, einschließlich der damit verbundenen Akteure.

Die folgenden Handlungsoptionen zeigen auf, wie sich Anpassungspotenziale und Resilienz von Wäldern erhöhen lassen. Sie sollen Impulse setzen für die aktuelle walddpolitische Diskussion zur Art und Weise der Waldbewirtschaftung unter den Bedingungen des Klimawandels.

2.1 Natürliche Wiederbewaldung und Waldentwicklung stärker als Anpassungsmechanismen nutzen

Die aktuelle Situation der Wälder ist aktiv zu nutzen, um stärker als in der Vergangenheit natürliche, ungelenkte Sukzessionsprozesse in die Strategien zur Wiederbewaldung zu integrieren. Grundsätzlich ist bei der Wiederbewaldung das Ziel zu verfolgen, naturnahe Laubmischwälder unter dem Vorrang natürlicher Entwicklungs- und zugleich Anpassungsprozesse zu begründen.

Signifikante Flächenanteile der aktuell entstandenen Freiflächen sollten nicht oder nur eingeschränkt geräumt werden, sofern dies aufgrund der Forstschutzsituation vertretbar ist. Im Schutz der abgestorbenen, liegenden oder noch stehenden Altbäume kann sich im Zuge der **natürlichen Sukzession** eine diverse und vielfach besser angepasste Folgegeneration etablieren (Lässig 2000, Thom et al. 2017). Aufgrund ihrer hohen genetischen Diversität kann in der Regel davon ausgegangen werden, dass die Naturverjüngung gegenüber künstlichen Verjüngungsverfahren die besseren Voraussetzungen für die Etablierung angepasster Baumindividuen mitbringt (Cavers und Cottrell 2015; Hussendörfer 1996; Roloff und Grundmann 2008). Damit wäre bereits eine standortbezogene Selektion vollzogen, die bei künstlichen Verjüngungsverfahren nicht gegeben ist. Durch das verbleibende Totholz in seinen unterschiedlichen Ausprägungen entstehen vielfältige Strukturen, Licht-, Temperatur- und Feuchtigkeitsgradienten, die die Lebensraumvielfalt im Folgebestand erhöhen (Beudert et al. 2014; Kulakowski et al. 2017; Lachat et al. 2013; Thorn et al. 2017). Außerdem können im Totholz erhebliche Mengen Kohlenstoff langfristig festgelegt werden (Magnússon et al. 2016). Eine flächige Räumung und Befahrung mit schwerem Gerät führt hingegen in der Regel zu weiteren Schäden an der Bodenstruktur (Hildebrand et al. 2000; Schäffer 2002) mit langfristig negativen Konsequenzen für den Bodenwasserhaushalt (WBW 2018) und kann insbesondere auf erosionsgefährdeten Standorten die Chancen einer erfolgreichen Wiederaufforstung reduzieren und im Extremfall zu einem Verlust von Waldstandorten führen.

Naturverjüngungsverfahren ist, wo immer möglich, der Vorzug gegenüber Verfahren zur künstlichen Bestandesbegründung zu geben. Allerdings kann es in Fällen, in denen sich Fichte nach Fichte zu verjüngen droht, oder Baumarten oder Provenienzen sich aufgrund von Risikoprojektionen als ungeeignet herausstellen, erforderlich sein, **künstliche Verjüngungsverfahren** mit Baumarten anzuwenden, die eine bessere Klimaanpassung erwarten lassen. Auch im Falle einer aktiven Wiederaufforstung sollte aber auf **Teilflächen** immer auch eine natürliche, ungelenkte Sukzession und Waldentwicklung zugelassen werden, um natürliche Anpassungsprozesse zu ermöglichen und zu beobachten.

Durch Extremereignisse wie Windwürfe oder Brände entstandene Freiflächen können weiterhin auch zur **Förderung von Lichtbaumarten** genutzt werden (v.a. Eiche, Kiefer und deren Begleitbaumarten).

Die Zunahme offener, lichtreicher Lebensräume in Wäldern bietet die Chance, an diese Lebensräume angepasste Lebensgemeinschaften, die durch die Aufgabe historischer Nutzungsformen (z. B. Niederwaldnutzung, Waldweide) und die Verbreitung naturnaher Bewirtschaftungsverfahren häufig verloren gegangen sind, gezielt zu fördern.

Die aktuellen Borkenkäfermassenvermehrungen rücken ferner die Diskussionen zum Einsatz von Pestiziden/ Pflanzenschutzmitteln im Wald wieder in den Fokus. **Der Grundsatz, den Einsatz von Pestiziden/ Pflanzenschutzmitteln im Wald auf ein Minimum zu beschränken** und nur als „Ultima Ratio“ zur akuten Gefahrenabwehr zuzulassen, darf jedoch auch im Kontext von Klimaanpassungsmaßnahmen **nicht aufgeweicht oder gar in Frage gestellt werden**. Aufgrund der großflächigen Auswirkungen von PSM auf Nichtzielorganismen und somit ganze Lebensgemeinschaften sind im Zulassungsverfahren und bei der Anwendung im Wald die Regelungen des Arten- und Gebietsschutzes (u.a. FFH-Richtlinie) unbedingt zu beachten.

2.2 Umbau von Nadelreinbeständen zu mehrschichtigen Laubmischwäldern forcieren

Die Anstrengungen zum ökologischen Waldumbau müssen erheblich intensiviert werden. Vorrangig ist das Ziel zu verfolgen, mehrstufige Mischwälder aufzubauen, die sich an der Baumartenzusammensetzung, Dynamik und Struktur natürlicher Waldgesellschaften orientieren. Dabei ist zu berücksichtigen, dass das Konzept der „natürlichen Waldgesellschaften“ als Referenz insb. für die Baumartenwahl aufgrund der sich verändernden Standortbedingungen immer wieder angepasst werden muss. Gebietsfremde Baumarten sollten nur im Ausnahmefall und sehr restriktiv nach einer vorab durchgeführten umfassenden ökologischen Risikobewertung eingesetzt werden. In Schutzgebieten (Naturschutz- und FFH-Gebieten) sollte auf die Einbringung gebietsfremder Baumarten generell verzichtet werden.

Strukturreichen Mischwäldern aus miteinander unter bestimmten ökologischen Bedingungen vergesellschafteten Baumarten, die möglichst eine breite ökologische Amplitude aufweisen, wird in der Regel aufgrund der unterschiedlichen ökologischen und physiologischen Potenziale der Baumarten eine höhere Resilienz und Anpassungsfähigkeit gegenüber klimawandelinduzierten Störungen zugeschrieben als Nadelholzreinbeständen (Jenssen 2007; Pretzsch et al. 2012; Schelhaas et al. 2003). **Laubwälder** gelten darüber hinaus auf den allermeisten Standorten als weniger anfällig gegenüber Windwürfen als Nadelwälder (Albrecht et al. 2009; Schelhaas et al. 2003). Sie leisten einen höheren Beitrag zur Grundwasserneubildung (Ellison et al. 2017; Lasch et al. 2012) und reduzieren aufgrund ihres feuchteren Waldinnenklimas die Gefahr von Waldbränden, während bei Nadelbäumen (insbesondere bei Kiefern) mit der Trockenheit die Feuergefahr steigt (Schelhaas et al. 2003) und langfristig aufgrund reduzierter Nährstoffkreisläufe eine Standortverschlechterung eintritt (Emmer et al. 1998).

Wärmeliebenden, trockenheitsresistenteren und störungstoleranten Baumarten (z.B. Pionierbaumarten oder stockausschlagfähige Arten) oder **bisherigen Begleit- und Nebenbaumarten** sowie **selte-**

nen Baumarten (z.B. Vogelkirsche, Sorbus-Arten, Walnussbaum) ist vor dem Hintergrund der erwarteten Klimaänderungen künftig auch waldbaulich **eine größere Bedeutung zuzumessen**. Sie sollten daher verstärkt auf ihre Anbaueignung unter sich ändernden Klimabedingungen geprüft werden (Hemery 2008; Milad et al. 2012; Roloff und Grundmann 2008; Walentowski et al. 2017). Immer sind dabei auch Aspekte des Erhalts der genetischen Diversität im Blick zu behalten.

Nadelhölzer wie Kiefer, Fichte oder andere Nadelbaumarten sollten, abgesehen von den wenigen Standorten, auf denen sie auch unter natürlichen Bedingungen Reinbestände bilden (z. B. hochmontane bis subalpine Lagen (Fichte/ Tanne) bzw. subkontinentale Standorte auf Sand bzw. Silikatgestein (Kiefer)), zukünftig grundsätzlich **nicht mehr in Monokultur angebaut werden**, sondern nur noch gruppenweise und in Mischung mit Laubholz eingebracht werden.

Zu betonen ist, dass die Risiken und Auswirkungen einer raschen bzw. flächigen Einführung von **gebietsfremden Baumarten**, d.h. Arten, die unter direkter oder indirekter Mitwirkung des Menschen in ein Gebiet außerhalb ihres natürlichen Verbreitungsgebiets gelangt sind und dort wild leben, wie sie jetzt vielfach im Rahmen der Wiederaufforstung von Freiflächen gefordert wird, bislang nicht ausreichend erforscht sind (Höltermann et al. 2016; Reif 2000; Roloff und Grundmann 2008). Analog zur Bewertung der waldbaulichen Anbauwürdigkeit, welche zukünftig auch Aspekte der Trockenheits-, Hitze- und Waldbrandtoleranzen von Baumarten stärker einbeziehen muss, hat dem Anbau gebietsfremder Baumarten daher eine **umfassende ökologische Risikobewertung** vorauszu-gehen (Ennos et al. 2018).

Die pauschale Annahme, gebietsfremde Baumarten aus wärmeren und/oder trockeneren Gebieten würden unter anderen klimatischen Bedingungen für einen Anbau generell geeigneter sein, ist zudem wissenschaftlich nicht ausreichend belegt. Sie basiert größtenteils auf Modellierungsergebnissen. Die Anzahl an Feldversuchen ist bislang noch sehr gering und die Ergebnisse nicht eindeutig (Breed et al. 2018). Neben dem Klima sind zudem weitere Faktoren entscheidend für die regionalen und lokalen Verbreitungsmuster von Pflanzen. Dazu zählen zum Beispiel Topographie, Landnutzung, Bodenart, Wasserverfügbarkeit und Konkurrenzverhältnisse (Metzing 2016). Wie bedeutsam der Einfluss des Klimas im Verhältnis zu den anderen Faktoren ist, und wie sich hier die jeweiligen Wechselwirkungen gestalten, ist außerdem bislang noch kaum bekannt. Klimatoleranz besteht zudem selbst aus verschiedenen Eigenschaften. So ist zwischen Hitzetoleranz und Trockenheitstoleranz zu unterscheiden, die beide nicht zwangsläufig miteinander gekoppelt sind. Aufgrund dieser Komplexität und Wechselwirkungen ist eine einfache Übertragbarkeit von Arten oder Herkünften trockener oder wärmerer Gebiete nicht gegeben. **Die Ausbringung neuer gebietsfremder Arten ist daher in der Regel mit einem kaum kalkulierbaren ökologischen Risiko verbunden.**

Gemäß dem **Vorsorgeansatz** muss ein Anbau gebietsfremder Baumarten aus den genannten Gründen daher sehr kritisch geprüft werden und darf nur erfolgen, wenn

- die Beurteilung der Anbauwürdigkeit auf einer sorgfältigen ökologischen Risikoabwägung über einen ausreichend langen Zeitraum beruht (langfristiges ökologisches Monitoring),

- eine umfangreiche Kontrolle und Überwachung der angepflanzten Bestände gebietsfremder Arten gewährleistet ist,
- für den Fall der Invasivität durch die Forstwirtschaft Verhaltensregeln („Code of Conduct“) in Bezug auf Prävention, Früherkennung und Soforthilfe entwickelt und implementiert wurden (z. B. Anbauvorschriften, Ausbringungsverzichte, Beseitigung etc.),
- Ziele des Arten- und Biotopschutzes an einem konkreten Standort nicht entgegenstehen bzw. Vorrang haben,
- direkte und indirekte negative Auswirkungen auf Schutzgebiete (insb. Naturschutz- und FFH-Gebiete) bei der Risikobewertung bzw. Verträglichkeitsprüfung ausgeschlossen werden können und
- zentrale ökologische Leistungen ansonsten nicht mehr aufrechterhalten werden können.

Das BfN spricht sich somit nicht prinzipiell gegen die Verwendung gebietsfremder Baumarten aus. Statt aber vorrangig und vorschnell auf gebietsfremde Baumarten und nicht-heimische Herkünfte einheimischer Baumarten zu setzen, müssen zunächst immer erst angepasste, möglichst regionale Herkünfte (Provenienzen) der einheimischen Baumarten, s.o., in Erwägung gezogen werden. Auf die Einbringung gebietsfremder Baumarten in Schutzgebiete, insbesondere in Naturschutzgebiete und FFH-Gebiete, sollte generell verzichtet werden.

Beim Umbau von Wäldern sollten möglichst **kleinflächige Verfahren und lange Verjüngungszeiträume** favorisiert werden, die zum **Erhalt der genetischen Vielfalt** beitragen und über natürliche Selektionsprozesse eine bessere Anpassung an die Klimaänderungen erwarten lassen (Bonfils und Bollinger 2003; Geburek 2006; Kätzel 2009; Milad et al. 2012). Gleichzeitig können lokal variierende Verjüngungsverfahren die Vielfalt an Strukturen und Lebensräumen in der Waldlandschaft erhöhen. Bei sehr schnellen Standortsveränderungen, d.h. innerhalb einer Baumgeneration, oder der Verjüngung nicht standortgerechter, risikoreicher Baumarten sind auf der Grundlage von Risikoprojektionen und den konkreten Zielsetzungen einzelfallweise Entscheidungen zu treffen (Bolte und Ibisch 2007). Handlungsoptionen können dann auch eine aktive Entfernung der vorhandenen Verjüngung und Pflanzung anderer Baumarten, die Überführung in der nächsten Waldgeneration durch Voranbau mit geeigneteren Baumarten oder aber das Zulassen natürlicher Entwicklungen umfassen (Milad et al. 2012).

Grundvoraussetzung für das Gelingen des Waldumbaus ebenso wie für eine an ökosystemaren Gesichtspunkten ausgerichtete Waldbewirtschaftung, s. Kap. 2.3, ist ein **ausgeglichenes Verhältnis zwischen Waldverjüngung und Schalenwildichte**. Das BfN begrüßt daher alle Maßnahmen, die auf eine Entschärfung des Wald-Wild-Konfliktes und artenreiche sich natürlich verjüngende Wälder abzielen, beispielsweise durch die Anpassung von Jagdregimen und Bejagungszeiten oder die Einrichtung von Weisergattern zur Vegetationsbewertung. Im Rahmen des vom BfN geförderten Vorhabens „Biodiversität und Schalenwildmanagement in Wirtschaftswäldern“ (Schneider et al. 2017) werden

zurzeit unterschiedliche Jagdintensitäten getestet mit dem Ziel, eine erfolgreiche natürliche Verjüngung und einen Waldumbau mit Laubbäumen und Tanne ohne Zaun zu ermöglichen.

2.3 Waldbewirtschaftung an ökosystemaren Gesichtspunkten ausrichten

Eine schonende und am Wald als Ökosystem ausgerichtete Bewirtschaftung, die dem Erhalt und der Förderung der Biodiversität einen hohen Stellenwert einräumt, ist zu gewährleisten, um die Anpassungsfähigkeit und Resilienz von Wäldern gegenüber Auswirkungen des Klimawandels zu verbessern.

Seit Mitte der 1980er Jahre dokumentieren die Waldzustandsberichte eine signifikante Verschlechterung des Gesundheitszustands bei den Laubbäumen sowie deutliche Nadel- und Blattverluste bei allen Hauptbaumarten, mit Ausnahme der Kiefer, als Reaktion auf Trockenheit und Hitze (BMEL 2017, UBA 2015). Dass diese Phänomene auch im Kontext des Klimawandels zu interpretieren sind, ist spätestens seit 2018 weitgehend unumstritten. Neben dem Klimawandel wirken aber **zahlreiche weitere externe Stressoren** auf Wälder ein und verstärken dessen negative Effekte (Bolte et al. 2009). Zu nennen sind beispielsweise Belastungen durch Luftverunreinigungen (insb. atmosphärische Stickstoffeinträge), Lebensraumveränderungen/ -degradierungen (z. B. durch Bodenverdichtungen oder Grundwasserabsenkungen), die Fragmentierung von Lebensräumen, zu hohe Schalenwildbestände oder die Verbreitung von invasiven Arten (BMEL 2017). Es kann daher davon ausgegangen werden, dass auch die in Folge der Trockenheit und Hitze der Sommer 2018 und 2019 entstandenen forstwirtschaftlichen Schäden über den Klimawandel hinausgehend als Reaktion auf eine komplexe, multikausale Gemengelage zahlreicher negativer Umweltveränderungen anzusehen sind. Die Reduzierung dieser Einflussfaktoren muss daher oberste Priorität haben, liegt aber vielfach nicht im Einflussbereich der Forstwirtschaft.

Umso mehr sollte forstwirtschaftlich und waldbaulich alles daran gesetzt werden, die Anfälligkeit der Wälder gegenüber den Auswirkungen des Klimawandels auch im Rahmen der „normalen“ forstlichen Bewirtschaftung, jenseits der Reaktionen auf aktuelle Störereignisse, mittels geeigneter Maßnahmen zu reduzieren. Da der Schutz und die Förderung der Biodiversität, die in einem Waldökosystem typischerweise anzutreffen ist, für dessen Funktionsfähigkeit von besonderer Bedeutung ist und seine Resilienz gegenüber externen Stressoren erhöht (Folke et al. 2004; Hooper et al. 2004; Isbell et al. 2011, Müller und Burkhard 2012; Thompson et al. 2009), ist diesem Aspekt bei allen forstlichen Maßnahmen besondere Aufmerksamkeit zu widmen. Biodiversität muss gleichsam bei allen Entscheidungen „mitgedacht“ werden.

Vor diesem Hintergrund kann von der Beachtung der folgenden **Bewirtschaftungsgrundsätze** ein Beitrag zur Verbesserung der Anpassungsfähigkeit von Wäldern an den Klimawandel erwartet werden.

2.3.1 Wasserhaushalt und Wasserrückhalt verbessern

Dem Wasserhaushalt kommt eine **Schlüsselfunktion** bei der Anpassung von Wäldern an zunehmende Trocken- und Hitzeereignisse zu. **Bei allen waldbaulichen Eingriffen ist daher besonderes Augenmerk auf die Bewahrung bzw. Verbesserung des Waldinnenklimas und des Bodenwasserangebots zu legen**, um Temperaturextreme abzupuffern und die Konkurrenz um Wasser abzumildern (Bolte und Ibisch 2007; Ellison et al. 2017; Vose et al. 2016).

Während es insbesondere bei trockenheitsanfälligen Fichtenbeständen unter bestimmten Umständen geboten sein kann, durch stärkere **Durchforstungseingriffe** kurzfristig eine Entlastung des Wasserhaushalts für die verbliebenen Bäume herbeizuführen (Gebhardt et al. 2014; Kohler et al. 2010; Kunert 2017), müssen in allen anderen Beständen Eingriffe wie Durchforstung, Holzernte und Walderschließung so schonend und ökosystemverträglich wie möglich gestaltet werden, um das Waldinnenklima soweit wie möglich zu erhalten (Vose et al. 2016).

Günstig auf das Waldinnenklima wirkt sich vor allem der Anbau von **Laubwäldern** aus, die in der Regel eine höhere Tiefensickerung und Grundwasserneubildung aufweisen als Nadelwälder (Ellison et al. 2017; Lasch et al. 2012). Positive Effekte auf den Wasserhaushalt von Waldbeständen haben außerdem z. B. die Erhöhung des Totholzanteils, der Erhalt alter Wälder, die Erhöhung bzw. der Erhalt des Wasserrückhaltepotenzials der Waldböden durch den Einsatz bodenschonender Forsttechnik, die Schließung von Drainagegräben, eine Wegeentwässerung in den Waldbestand und die Reaktivierung des Wasserspeicherpotenzials von Waldmooren durch deren Wiedervernässung.

2.3.2 Waldböden schützen

In der organischen Substanz von Waldböden sind große Mengen Kohlenstoff und Stickstoff gespeichert, die durch Landnutzungsänderungen, z. B. die Umwandlung von Wald in Ackerland, und nicht nachhaltige, intensive Bewirtschaftungsformen (z. B. Bodenbearbeitung wie Pflügen, Düngen, Abziehen der Humusschicht, Drainage, großflächiger Kahlschlag) freigesetzt werden (Nave et al. 2010; Mund et al. 2015). Mit dem Verlust der organischen Substanz geht eine Verringerung der Bodenfruchtbarkeit, des Wasserspeichervermögens und der biologischen Vielfalt einher (UBA 2015). Es ist damit zu rechnen, dass Klimaänderungen diese Funktionen zunehmend negativ beeinflussen. Auch wenn bei einer moderaten, nachhaltigen Waldbewirtschaftung ohne Bodenbearbeitung bislang keine messbaren oder anhaltenden Effekte auf die Gesamtkohlenstoffvorräte im Boden (organische Auflage plus Mineralboden) nachgewiesen werden konnten (Mund et al. 2015; Schrumpf et al. 2014), **muss daher künftig dem Erhalt und der Förderung der natürlichen Bodenfunktionen bei allen waldbezogenen Maßnahmen besondere Aufmerksamkeit gewidmet werden.**

Dabei sind insbesondere der **Einsatz von Maschinen** und der **Schutz von Waldböden vor Befahrungsschäden** von zentraler Bedeutung. Schon heute stehen technische Verfahren zur Verfügung, die den Bedingungen an eine zunehmend anspruchsvollere Waldnutzung gerecht werden, ökonomisch effizient im Sinne der Wertschöpfungskette sind und Aspekte des Arbeitsschutzes und der -ergonomie berücksichtigen (z. B. Vorfällen, Seilzugeinsatz, Einsatz von hydraulischen Fällkeilen etc.).

Diese Techniken müssen konstant weiterentwickelt und an die veränderten klimatischen Ausgangsbedingungen (z. B. weniger Frosttage oder häufigere Störungsereignisse) und den Anspruch einer geringstmöglichen Beeinträchtigung der ökologischen Integrität/ Funktionsfähigkeit von Wäldern angepasst werden. Ziel ist eine technisch und ergonomisch optimierte, sichere und ökosystemverträgliche Holznutzung.

So hat sich beispielsweise die Feinerschließung im Rahmen einer an ökosystemaren Gesichtspunkten ausgerichteten Waldbewirtschaftung auf dauerhaft markierte Rückegassen zu beschränken mit dem **Ziel, die befahrene Fläche insgesamt zu minimieren**. Eine flächige Befahrung von Waldböden ist grundsätzlich auszuschließen, da schon einmaliges Befahren zu einer Verdichtung oberflächennaher Bodenschichten führen kann - mit weitreichenden negativen und teilweise irreversiblen Auswirkungen auf die Stabilität von Waldbeständen und die natürlichen Bodenfunktionen (Hildebrand et al. 2000; Schäffer 2002). Insbesondere auf hydromorphen Böden sowie Hoch- und Niedermooren sind bodenschonende Forsttechniken und angepasste Ernteverfahren (z. B. Einsatz von Seilkränen auf Seiltrassen) konsequent anzuwenden und weiterzuentwickeln. Bislang weitgehend intakte Böden sollten auch zukünftig so ungestört wie möglich bleiben.

2.3.3 Wälder und Bäume älter werden lassen

Es kann derzeit nicht abschließend abgeschätzt werden, ob die Wälder in Deutschland weiterhin als Kohlenstoffsенке fungieren oder, zumindest auf lokaler und regionaler Ebene, bereits mehr Kohlenstoff freisetzen als sie aufnehmen (Hüttl 2019). Um die akuten Biomasseverluste zu kompensieren, die Kohlenstoffvorräte in Wäldern langfristig zu erhöhen und zugleich einen Beitrag zur Verbesserung der Anpassungsfähigkeit von Wäldern an den Klimawandel zu leisten, sollten die **Produktionszeiträume von forstlichen Betriebszieltypen**, die, soweit dies heute absehbar ist, ein geringeres Störungsrisiko aufweisen, daher **verlängert werden**.

Der Anteil von Wäldern in Deutschland, die älter als 160 Jahre sind, liegt trotz leichter Anstiege im Zeitraum 2002 bis 2012 bei lediglich 3,2 % der Waldfläche (Reise et al. 2017). Viele Studien kommen zu dem Ergebnis, **dass alten, naturnahen Wäldern mit einer großen Flächen- und Habitatkontinuität eine besondere Bedeutung für die Abpufferung von Klimaextremen zukommt**. Ihnen wird nicht nur eine wichtige Kohlenstoffspeicher und -senkenfunktion (Körner 2017; Luyssaert et al. 2008; Mund et al. 2015; Schrumpf et al. 2014; Stephenson et al. 2014), sondern aufgrund ihrer hohen Komplexität und Funktionsvielfalt auch eine höhere Widerstandsfähigkeit (Resilienz) gegen Hitze- und Trockenheitsperioden zugesprochen und somit eine bessere Abpufferung der Auswirkungen des Klimawandels (Mausolf et al. 2018; Norris et al. 2012; Noss 2001; von Oheimb et al. 2014; Thom et al. 2019). Ältere Wälder verfügen in der Regel über mehr Biomasse, die mehr Wasser speichert, und ihr deutlich stärker ausgebildetes Wurzelgeflecht im Boden erlaubt einen besseren Zugriff auf die vorhandenen Wasserressourcen. Das Zulassen von Alters- und Zerfallsstadien wirkt sich außerdem positiv auf die Vielfalt der Lebensräume und der an diese gebundenen Tier-, Pflanzen- und Pilzarten aus. Die aktuellen, z. T. flächigen Absterbeprozesse von Buchen z. B. im Nationalpark Hainich, Abb. 2., zeigen gleichwohl, dass auch solche Wälder nicht vollständig vor Beeinträchtigungen durch den Klimawandel

del geschützt sind. Hier besteht dringender weiterer Forschungsbedarf, um die zugrundeliegenden Prozesse besser zu verstehen und das bestehende Wissen im Lichte der aktuellen Beobachtungen neu zu bewerten.



Abb. 2: Blick auf die Südwesthänge am Westrand des Nationalparks Hainich mit absterbenden Buchen (Quelle: FSU Jena).

2.3.4 Totholzanteile erhöhen

Totholz trägt in erheblichem Maße zur biologischen Vielfalt und Naturnähe unserer Wälder bei (Schmidt 2006, Schuck et al. 2004) und **wirkt sich durch viele weitere Eigenschaften positiv auf die Resilienz von Wäldern aus**: Beispielsweise reguliert es aufgrund seiner großen Wasserspeicherkapazität (Duncker et al. 2012) das Waldmikroklima, wirkt sich positiv auf die Humusanreicherung aus, verbessert den Energie- und Nährstoffkreislauf und fördert die Verjüngung der Gehölze (Hauschild et al. 2007). Außerdem werden besonders in alten Wäldern erhebliche Mengen an Kohlenstoff im Totholz festgelegt (Luyssaert et al. 2008; Körner 2017), Abb. 3. Je nach Waldentwicklungsphase sollte daher im Rahmen der Bewirtschaftung ein typischer Anteil an Totholz gesichert werden.

2012 lag der Totholzvorrat in Deutschland gemäß BWI III ab einem Durchmesser von 10 cm bei 20,6 Festmeter pro Hektar. Er bestand zu zwei Dritteln aus Nadeltotholz und entfiel zu mehr als einem Viertel auf Wurzelstöcke. Im Vergleich zu dem sehr umfassend untersuchten Buchenprimärwaldgebiet Uholka -Shyrokyi Luh in der Ukraine, das mittlere Totholzvorräte um die 180 Festmeter pro Hektar aufweist (Mund et al. 2015) und Wäldern, die seit mindestens 50 Jahren ohne Bewirtschaftung sind (Bütler and Schlaepfer 2004) ist der Totholzvorrat in Deutschland damit als sehr niedrig einzustufen. Die aktuellen Absterbeprozesse im Laubholz sollten daher in Abwägung mit Verkehrssicherungs- und Arbeitssicherheitsaspekten auch dazu genutzt werden, vermehrt stehendes Totholz anzureichern und den Totholzanteil insgesamt deutlich zu erhöhen.



Abb. 3: Starkes liegendes und stehendes Buchentholz im Naturwaldreservat Eichhall (Spessart).

2.4 Anteil forstlich nicht-bewirtschafteter Wälder erhöhen

Der Anteil von Wäldern mit natürlicher, un gelenkter Waldentwicklung sollte schnell und signifikant erhöht und ihre Bedeutung auch für Klimaschutz und Klimaanpassung stärker anerkannt werden. Sie unterstützen natürliche Anpassungsprozesse in Reaktion auf den Klimawandel und sind notwendig, um das gesamte Spektrum von an den Wald gebundener Biodiversität zu erhalten.

Der Schutz von natürlichen Prozessen und die Integration von Dynamik in Schutz- und Nutzungskonzepte wird zukünftig an Bedeutung zunehmen (Milad et al. 2012), denn **der Prozessschutz unterstützt das Zulassen natürlicher Anpassungsprozesse** in Reaktion auf den Klimawandel (Cavers und Cottrell 2015; Kulakowski et al. 2017; Puettmann et al. 2008; Thom et al. 2017). Mit fortdauernder natürlicher Entwicklungsdauer unter anthropogen weitgehend ungestörten Bedingungen (abnehmende Hemerobie) nehmen sowohl die Biodiversität als auch die ökologische Integrität des Gesamtsystems zu, die Funktions- und Anpassungsfähigkeit (Resilienz) von Wäldern steigt (Müller und Burkhard 2012; Norris et al. 2012). Bei entsprechender Flächengröße und Durchlässigkeit der Waldlandschaft für Tiere und Pflanzen können so langfristig angepasste Ökosysteme entstehen. Gebiete, in denen der Prozessschutz dauerhaft Vorrang hat, stellen darüber hinaus eine **wichtige Grundlage für die wissenschaftliche Erforschung von Ökosystemreaktionen auf den Klimawandel** dar (Freilandlabor) und sind möglichst in ein langfristiges Monitoringprogramm einzubinden, s. Kap. 3.3.

Selbstverständlich sind in den Naturdynamikzonen der **Nationalparke und Kernzonen von Biosphärenreservaten** steuernde Eingriffe auch nach großflächigen Ereignissen wie Sturmwurf, Insektenmassenvermehrungen und Feuer unbedingt zu unterlassen. Diese sind vielmehr als Chance zu begreifen, Wälder, die durch vormalige Bewirtschaftung auf großen Flächen homogenisiert wurden, zu renatu-

rieren (Beudert et al. 2014; Lindenmayer et al. 2014). Im Falle einer Insektenkatastrophe ist die Fällung befallener Bäume und die Räumung von befallenem Schadholz auf die Pflege- und Entwicklungszone zu beschränken und nur dann zuzulassen, wenn ansonsten gravierende Forstschutzprobleme für den angrenzenden Wirtschaftswald zu befürchten sind.

Die Nationale Strategie der Bundesregierung zur biologischen Vielfalt hat deshalb bereits 2007 das Ziel formuliert, dass bis 2020 fünf Prozent der Waldfläche einer freien Entwicklung überlassen werden (BMU 2007). Entsprechend der Vorbildfunktion des Staates sollen es im öffentlichen Wald zehn Prozent sein. Ergebnisse aus dem vom BfN geförderten Forschungsvorhaben „NWePP-Natürliche Waldentwicklung in Deutschland: Perspektiven und Potenziale für die Entwicklung eines kohärenten NWE-Systems“ belegen, dass **Wälder mit natürlicher Waldentwicklung** 2019 lediglich 2,8 % der Waldfläche Deutschlands einnehmen (NW-FVA 2019).

Durch weitere Flächen (z.B. des Nationalen Naturerbes) könnte der Anteil von Flächen mit freier Waldentwicklung zwar in Zukunft auf ca. drei und danach auf vier Prozent ansteigen. Die große Bedeutung von Flächen mit natürlicher, ungelenkter Waldentwicklung für Klima und Biodiversität sollte Anlass sein, das 5%-Ziel nun auch möglichst zügig umzusetzen. 2013 befanden sich drei Viertel der Waldflächen mit natürlicher Waldentwicklung (NWE) in Nationalparks, Kernzonen von Biosphärenreservaten und Naturschutzgebieten und wurden in der Regel schon seit vielen Jahren nicht mehr forstwirtschaftlich genutzt (Engel et al. 2016).

Für die weitere Ausgestaltung der 5%-NWE-Kulisse werden systematische Planungsansätze empfohlen, die unter Berücksichtigung von anerkannten Kriterien wie der Repräsentativität und der Komplementarität gewährleisten, dass mit der NWE-Kulisse die Waldbiodiversität in Deutschland möglichst effizient und vollständig geschützt wird (Engel 2019 in Vorb.).

Dazu muss die Umsetzung der Wildnisziele der Nationalen Strategie der Bundesregierung zur biologischen Vielfalt (NBS) konsequent und zeitnah weiter vorangetrieben werden. Dabei sollte erwogen werden, vor dem Hintergrund der aktuellen Situation und zum Schutz der Kohlenstoffspeicherfunktion von Wäldern bevorzugt **naturnahe alte Wälder aus der forstlichen Nutzung zu nehmen**, insbesondere dann, wenn sich diese bislang als weitgehend resilient gegenüber anthropogenen Störungen erwiesen haben. Auch Vernetzungsaspekte sollten im Sinne von Kap. 2.6. bei der Auswahl künftig eine wichtigere Rolle spielen.

2.5 Sonderstandorte erhalten und fördern

Sonderstandorte (z.B. südexponierte, sehr trockene oder dauerhaft staunasse Standorte) sollten in Strategien zur Anpassung an den Klimawandel stärker berücksichtigt werden.

Sonderstandorte **erhöhen die Vielfalt und Heterogenität an Arten, Strukturen, Habitaten und Genen in der Waldlandschaft** und **können im Klimawandel Quellen für die Ausbreitung besser angepasster Genotypen** oder Ausweichräume und Verbundelemente für wandernde Arten **darstellen** (Konold 2014; Milad et al. 2012). Einerseits können Sonderstandorte auch in Zukunft von den regional vorherrschenden Standortbedingungen abweichende Bedingungen aufweisen und somit als Refugien für Arten dienen, deren Lebensräume von Klimawandelauswirkungen betroffen sind, z. B. Waldmoore. Zugleich können Populationen am geographischen Rand ihrer Verbreitung als Quellpopulationen Optionen für die Ausbreitung der Art in Bereiche mit zukünftig zunehmender klimatischer Eignung bieten (Milad et al. 2012).

Sonderstandorte sollten **in ein Netz von Referenz- oder Monitoringflächen integriert werden**, um Rückschlüsse auf die Angepasstheit und Anpassungsfähigkeit von Baumarten im Klimawandel zu ermöglichen.

2.6 Vernetzung von Waldlebensräumen fördern

Der Förderung der Habitatkonnektivität sowie der funktionellen Vernetzung von Waldlebensräumen entlang ökologischer Gradienten muss künftig vor dem Hintergrund von Standortveränderungen, Störungszunahmen und der Sicherung von Migrationsmöglichkeiten von Arten eine stärkere Beachtung zukommen.

Der Verbund von Waldlebensräumen **stellt eine wichtige Voraussetzung für Waldarten dar, sich an den Klimawandel anzupassen**. Sie können so bisherige, nicht mehr geeignete Verbreitungsgebiete verlassen und neue, geeignetere Lebensräume erreichen (Hannah 2008; Mawdsley et al. 2009; Welch 2008; Milad et al. 2012; Millar et al. 2007; Noss 2001; Smulders et al. 2009; Vos et al. 2008). Dazu tragen die Verbesserung der Lebensraumqualität und die Schaffung einer hohen, kleinräumig wechselnden Vielfalt an Lebensräumen bei. Auch fließende, arten- und strukturreiche Übergänge zwischen Wald- und Offenland können kleinräumig Ausweichmöglichkeiten schaffen (Milad et al. 2012). Ein Gesamtkonzept für einen länderübergreifenden Waldbiotopverbund wurde bereits 2010 vom BfN vorgelegt (Fuchs et al. 2010). Die Bedeutung des Natura-2000-Netzwerks als dynamisches und deshalb zukunftsfähiges System wurde z. B. von Altmöös und Burkhardt (2016) belegt.

Vielfach wird es jedoch nicht ausreichen, Korridore und Trittsteinbiotope anzulegen, um die Durchlässigkeit der Waldlandschaft zu erhöhen, sondern die gesamte Landschaft ist in ein Konzept abgestimmter integrativer und segregativer Nutz-/ Schutzstrategien einzubeziehen (Haber 1971; Ott und Egan-Krieger 2007; Plachter et al. 2000; Scherzinger 1996). Fachkonzepte des Naturschutzes sowie regionale und kommunale Landschaftspläne können hier entsprechende Vorschläge erarbeiten, auf

die bspw. im Rahmen der Forsteinrichtung zurückgegriffen werden kann. Zusätzlich sind ressortübergreifende, aufeinander abgestimmte Strategien und Maßnahmen von Land-, Forst-, Wasserwirtschaft, Naturschutz und Raumordnung zu verwirklichen (Milad et al. 2012), die auch unterschiedliche Besitzverhältnisse und Nutzungsansprüche berücksichtigen.

In Deutschland gelten aktuell lediglich ca. 1,3 Mio. Hektar Wald als unzerschnitten (ca. 160 Flächen > 5.000 Hektar) (BMEL 2017). Dem **Erhalt der Unzerschnittenheit** dieser Flächen sowie der **Verringerung der Fragmentierung** der sonstigen Flächen sollte daher ein besonderes Augenmerk gelten.

3 Umsetzung

Der Kern der genannten Forderungen und Grundsätze zielt darauf ab, durch mehr Vielfalt und Heterogenität die Anpassungsfähigkeit und Resilienz unserer Wälder als ganzheitliche komplexe Ökosysteme unter wechselnden Umweltbedingungen zu stärken. Die bislang einseitig nutzorientierte Perspektive der Forstwirtschaft muss um das ökologische Wissensfundament des Naturschutzes und der Ökologie ergänzt werden. Dies erfordert einen umfassenden Wandel der Mentalitäten und Denkweisen in der forstlichen Praxis, der Ausbildung und Beratung. Konkret und kurzfristig sind zur Umsetzung der genannten Grundsätze insbesondere folgende Maßnahmen erforderlich:

3.1 Unterstützung für eine gemeinwohlorientierte Waldbewirtschaftung ausbauen

Um die vielfältigen Funktionen von Wäldern zu sichern und zu entwickeln, müssen Fördermaßnahmen an Aspekte der Daseinsvorsorge („Öffentliches Geld für öffentliche Leistungen“) geknüpft werden. Waldbesitzer, Waldbesitzerinnen und Kommunen, die durch einen ökologischen Waldumbau bzw. eine naturnahe Waldbewirtschaftung ihrer Verantwortung für die Zukunft unserer Wälder in besonderer Weise gerecht werden, sind hierin von der Gesellschaft und Politik stärker zu unterstützen und angemessen zu honorieren. Beratung und Weiterbildung sind im Sinne der o.g. Zielstellungen weiter auszubauen. Ein besonderer Fokus sollte dabei auf der Unterstützung von Kleinprivatwaldbesitzerinnen und -besitzern liegen.

Bisherige Förderprogramme zum Waldnaturschutz sind oft nicht praxistauglich, da wichtige Rahmenbedingungen für eine erfolgreiche Umsetzung nicht gegeben sind. Franz et al. (2018) halten daher eine grundsätzliche Neuausrichtung von Naturschutz im Wald gegen Entgelt für erforderlich. Die Autoren plädieren für einfachere und flexiblere Verfahren, die zum einen einen artenschutzrechtlichen Risikoausgleich nach Vertragsablauf beinhalten und zum anderen Naturschutz und andere ökologische Leistungen als tatsächliche Leistung der Forstbetriebe anerkennen und honorieren. Bislang wurden derartige Verfahren aber nicht getestet, so dass ihre Erfolgsaussichten kaum eingeschätzt werden können (Franz et al. 2018). Hier besteht dringender weiterer Forschungsbedarf.

Bereits heute können private Waldbesitzerinnen und Waldbesitzer im Rahmen der **Gemeinschaftsaufgabe zur Verbesserung der Agrarstruktur und des Küstenschutzes (GAK)** Mittel für die Neuanlage von Wald, zur Wiederaufforstung, für Maßnahmen zur bestandes- und bodenschonenden Räumung von Kalamitätsflächen sowie zum Waldumbau in Anspruch nehmen (BMEL 2019). Dabei ist die GAK-Förderung für den Förderbereich 5 „Forsten“ zwar auf standortgerechte Baumarten beschränkt, schließt aber leider gebietsfremde Baumarten nicht grundsätzlich aus (z. B. bis zu 70 % zulässiger Anteil gebietsfremder Baumarten bei Erstaufforstungen). Künftig sollten die Mittel für diese Maßnahmengruppen an definierte Kriterien gebunden werden, die sich an den oben genannten Forderungen orientieren. So sollten beispielsweise Wiederaufforstungs- und Waldumbaumaßnahmen unter Berücksichtigung standortheimischer Baumarten oder die zeitweise Zulassung natürlicher Wiederbewaldungsprozesse (z. B. für 30 Jahre) auch unter vollständigem oder teilweise Verzicht auf Räumung der Flächen zukünftig angemessen gefördert werden können, soweit die Waldschutzsituation dies zulässt. Diese Maßnahme wäre zudem geeignet, vor allem Waldeigentümer und Waldeigentümerinnen von Kleinprivatwald zu entlasten, die nicht über ausreichende personelle oder technische Kapazitäten verfügen, geschädigte Bestände zeitnah zu räumen und wieder in Bestockung zu bringen. Hier können sich somit echte win-win-Lösungen ergeben.

Der Förderung natürlicher, un gelenkter Sukzessionsprozesse steht allerdings heute noch entgegen, dass nach § 11 Abs. 1 Satz 2 Bundeswaldgesetz sowie den entsprechenden Waldgesetzen der Länder sicherzustellen ist, dass verlichtete Waldflächen innerhalb einer angemessenen Frist wieder aufgeforstet werden. Waldbesitzer und Waldbesitzerinnen sind daher verpflichtet, nach Störungsereignissen entstandene Freiflächen im Wald, soweit keine Verjüngung vorhanden ist nach gängiger Auslegung innerhalb in der Regel drei bis fünf Jahren wieder in Bestockung zu bringen. Da natürliche Sukzessionsprozesse auch längere Zeiträume in Anspruch nehmen können, sollten hier künftig die rechtlichen Regelungen bzw. Fachstandards angepasst werden.

Die Maßnahmengruppe „**Vertragsnaturschutz im Wald**“ ist 2019 neu in die Förderung der GAK aufgenommen worden. Sie bietet die Chance, im Privatwald die Bewirtschaftung, die Pflege oder den Nutzungsverzicht auf forstwirtschaftlich genutzten sowie nutzbaren Flächen **nach naturschutzfachlichen Vorgaben** künftig stärker zu unterstützen. Hier könnte künftig auch das Zulassen längerfristiger und dauerhafter natürlicher Sukzessionsprozesse in Wäldern, soweit mit der Waldschutzsituation vereinbar, und ein Ausgleich für den Verzicht auf die Räumung von Kalamitätsflächen gefördert werden, ebenso wie das Belassen von Totholz im Wald, die Anlage vielfältiger Waldränder aus heimischen Baum- und Straucharten und andere gemeinwohlorientierte Maßnahmen.

Auch die Möglichkeit, ökologische Maßnahmen im Wald mit Mitteln aus der **zweiten Säule der Gemeinsamen Agrarpolitik (GAP)** zu fördern, sollte stärker genutzt werden. Dies erfordert einerseits von den Ländern ein attraktiveres Maßnahmenangebot und andererseits eine bessere Finanzausstattung z.B. durch Umschichtung zusätzlicher Finanzmittel von der ersten in die zweite Säule, um die Konkurrenz um Fördergelder zwischen Offenland- und Waldmaßnahmen zu reduzieren und die Länder (aufgrund der dann entfallenden Kofinanzierungsverpflichtung bei Umschichtungen) zu ent-

lasten. Der GAP-Strategieplan für die neue Förderperiode nach 2020 sollte genutzt werden, auch hier an den o.g. Grundsätzen ausgerichtete naturschutzgerechte Formen der Waldbewirtschaftung zu unterstützen und praxisgerechte Maßnahmen in die Förderung aufzunehmen.

Eine **stärkere Verknüpfung der Förderung an Aspekte der Daseinsvorsorge** („Öffentliches Geld für öffentliche Leistungen“) ist unbedingt erforderlich. **Eine staatliche Unterstützung von Waldbesitzern und Waldbesitzerinnen, die unter Inkaufnahme eines hohen Ausfallrisikos und in der Hoffnung auf hohe Erträge auch zukünftig vor allem nicht standortgerechte Nadelwaldbestände (v.a. Fichtenreinbestände) anpflanzen, darf nicht (weiter) aus Steuergeldern erfolgen.**

Zentrale Bedeutung für den Privat- und Kommunalwald kommt nicht zuletzt der forstlichen **Beratung und Weiterbildung** zu, die verstärkt an den o.g. Zielen auszurichten ist. Entsprechend qualifiziertes Personal ist in den zuständigen Verwaltungen bereitzustellen.

3.2 Verantwortung des Bundes wahrnehmen und rechtliche Anpassungen vornehmen

Das nationale Wald-, Naturschutz- und Jagdrecht sollte an die vorgenannten Zielsetzungen angepasst werden, um die Resilienz und Anpassungsfähigkeit der Wälder im Klimawandel durch mehr Heterogenität und Vielfalt verbessern zu können.

3.2.1 Vom Forstrecht zum Waldrecht: Umwelt- und Naturschutzziele im Bundeswaldgesetz stärken

Obwohl bereits seit der Föderalismusreform im Jahr 2006 mit der konkurrierenden Gesetzgebungskompetenz auch im Bereich des Naturschutzes und der Landschaftspflege sowie des Wasserhaushaltsrechts umfassende Befugnisse für eine unmittelbar geltende Vollregelung auf Bundesebene bestehen, übt der Bundesgesetzgeber bislang zu starke Zurückhaltung bei der Ausgestaltung des Bundeswaldgesetzes (BWaldG), zumindest wenn es um die umweltrelevanten Schutzfunktionen geht. So sind die Vorschriften des zweiten Kapitels zur Walderhaltung nach wie vor nur Rahmenvorschriften für die Landesgesetzgebung (§ 5 BWaldG), obwohl die Rahmengesetzgebung im Rahmen der o.g. Reform als untaugliches Steuerungsinstrument aufgegeben wurde. Lediglich in § 9 Abs. 1 S. 3 BWaldG wird die Leistungsfähigkeit des Naturhaushalts erwähnt, ohne diese Anforderung im Gesetz näher zu konkretisieren oder klare Steuerungs- und Gewichtungsvorgaben für den Vollzug zu machen. Während forstwirtschaftliche Zusammenschlüsse und die Förderung der Forstwirtschaft in den §§ 15 bis 41 BWaldG detailliert geregelt sind, beschränken sich die Vorschriften zur sog. Schutzfunktion des Waldes auf sehr allgemeine Vorgaben. Der Bundesgesetzgeber muss hier seine Verantwortung stärker wahrnehmen und in ähnlicher Weise regulieren, wie dies im sonstigen Umweltrecht im Hinblick auf andere Wirtschaftssektoren bereits der Fall ist. **Die Bedeutung des Waldes für Natur und Umwelt muss im Bundesrecht mit Blick auf eine naturverträgliche Anpassung an den Klimawandel zukünftig gegenüber dem betriebswirtschaftlichen Nutzen der Holzproduktion stärker betont werden.**

3.2.2 Vorbildfunktion des Staates

Ausgehend von der Staatszielbestimmung des Art. 20a GG, wonach der Staat die natürlichen Lebensgrundlagen in Verantwortung für die künftigen Generationen schützt, **muss die Bewirtschaftung von Staatswäldern eine besondere Vorbildfunktion auch für Privatwälder erfüllen**. Nach § 2 Abs. 4 BNatSchG sollen dementsprechend bei der Bewirtschaftung von Grundflächen im Eigentum oder Besitz der öffentlichen Hand die Ziele des Naturschutzes und der Landschaftspflege in besonderer Weise berücksichtigt werden. Diese Vorgaben werden jedoch im Bundeswaldrecht nicht hinreichend beachtet. So definiert § 3 BWaldG zwar verschiedene Waldeigentumsarten „im Sinne dieses Gesetzes“, knüpft an diese Unterscheidung aber in keiner einzigen Vorschrift Rechtsfolgen. Für den Staatswald, der im Alleineigentum des Bundes oder eines Landes oder einer Anstalt oder Stiftung des öffentlichen Rechts steht, bedarf es daher konkreter, ambitionierter und bundesweit geltender Zielsetzungen im Bereich der Klima- und Biodiversitätspolitik, z. B. Verzicht auf die Einbringung gebietsfremder Baumarten in FFH-Lebensraumtypen auch außerhalb von FFH-Gebieten, Verbot der aktiven Begründung von Nadelholzreinbeständen auf Laubwaldstandorten, vorbildliches Jagdmanagement.

3.2.3 Gute fachliche Praxis der Forstwirtschaft verbindlich konkretisieren

Die umwelt- und naturschutzrechtliche Steuerung der Forstwirtschaft muss insbesondere durch konkretere Bewirtschaftungsvorgaben verbessert werden. Die forstliche Urproduktion hat wesentlichen Einfluss auf den Zustand von Natur und Landschaft. Sie wird daher vom Anwendungsbereich sowohl des europäischen wie auch nationalen Umweltrechts erfasst, dabei jedoch durch zahlreiche Spezialnormen in besonderer Weise behandelt. Um die Klima- und Naturverträglichkeit der Waldbewirtschaftung zu erhöhen, sollten nicht nur Instrumente wie der Vertragsnaturschutz, die Eingriffsregelung und Umwelthaftung sowie der Arten-, Biotop- und Gebietsschutz in den Blick genommen, sondern **insbesondere auch die Instrumente der guten fachlichen Praxis und der Fachplanung fortentwickelt** werden.

Um Wälder gegenüber dem Klimawandel widerstandsfähiger zu machen, muss zum einen der Vollzug des geltenden Umwelt- und Waldrechtes optimiert und zum anderen die Rechtsetzung vorangetrieben werden. Eine besondere Rolle nimmt hierbei die **Konkretisierung der Anforderungen der guten fachlichen Praxis** der Forstwirtschaft ein. Anlass zur Neujustierung geben auch aktuelle Grundsatzurteile. So mahnt das Bundesverfassungsgericht eine stärkere Konkretisierung naturschutzrechtlicher Anforderungen an (Beschl. v. 23.10.2018, 1 BvR 2523/13), dies dürfte auch für die Waldbewirtschaftung gelten. Das Bundesverwaltungsgericht hat die sehr allgemein formulierte gute fachliche Praxis nach § 5 BNatSchG einerseits als unverbindlich eingeordnet (vgl. Urt. v. 1.9.2016, 4 C 4.15), der Europäische Gerichtshof andererseits stets auch von der Urproduktion die Einhaltung der materiellen Umweltstandards eingefordert (vgl. etwa Urt. v. 7.11.2018, C-293/17).

§ 5 Abs. 2 BNatSchG regelt bislang lediglich, dass bei der forstlichen Nutzung des Waldes das Ziel zu verfolgen ist, naturnahe Wälder aufzubauen und diese ohne Kahlschläge nachhaltig zu bewirtschaften.

ten. Zudem ist ein hinreichender Anteil standortheimischer Forstpflanzen einzuhalten. Diese Anforderungen können und müssen rechtsverbindlich durch weitere gesetzliche oder untergesetzliche Anforderungen präzisiert und ergänzt werden. Gleiches gilt für den im Bundeswaldgesetz nicht näher bestimmten Begriff „ordnungsgemäße Bewirtschaftung“. **Naturverträgliche Bewirtschaftungsstandards durch gute fachliche Praxis auch im Wald sind dringend erforderlich**, z. B. in Bezug auf den Anteil gebietsfremder Baumarten auf Bestandesebene, dem Ausbau des Anteils alter Waldbestände oder einer bestandesschonenden Holzernte (vgl. Winkel und Volz 2003).

3.2.4 Beitrag der Jagd zum Waldumbau: „Wald vor Wild“ im Jagdrecht

Der Grundsatz „Wald vor Wild“ sollte durch eine Verpflichtung zu angepassten Wildbeständen im Bundesjagdgesetz aufgenommen werden. Die in vielen Jagdbezirken hohen Schalenwildichten verhindern die Entwicklung und Sicherung klimastabiler Wälder. Um dies zu erreichen ist es unverzichtbar, die Bestände auf ein verträgliches Maß zu reduzieren. Nach dem Vorbild des bayerischen Jagdgesetzes **muss in § 1 BJagdG dringend die Vorgabe ergänzt werden, dass die Bejagung die Sicherung oder Entwicklung naturnaher Wälder ermöglichen soll.** Diese Aufgabe sollte auch als Ausbildungsinhalt für die Jägerprüfung (§ 15 BJagdG) vermittelt werden. Zur Gewährleistung der Naturverjüngung ist es notwendig, alle drei Jahre ein Verbissgutachten zu erstellen. Ergibt dieses eine zu hohe Belastung, sollte die untere Jagdbehörde gesetzlich verpflichtet sein, einen Plan zu erstellen, der den für eine naturnahe Waldwirtschaft notwendigen Mindestabschuss verbindlich vorgibt. § 21 BJagdG ist entsprechend zu ergänzen. Gleichmaßen sollte klargestellt werden, dass die zuständige Behörde nach § 27 BJagdG anordnen kann, dass der/die Jagdausübungsberechtigte innerhalb einer bestimmten Frist den Wildbestand zu verringern hat, wenn dies mit Rücksicht auf das öffentliche Interesse an einer naturnahen Waldwirtschaft notwendig ist.

3.3 Monitoring von Waldökosystemen erweitern und angewandte Forschung intensivieren

Die bestehenden Monitoringprogramme für Wälder sind zu überprüfen, inwieweit sie geeignet sind, die Wirksamkeit von Anpassungsmaßnahmen zu bewerten, Aussagen zu den Potenzialen von Arten und Waldökosystemen unter Klimawandelbedingungen abzuleiten und adäquat mit angewandten Forschungsprogrammen verknüpft sind. Sie sollten qualifiziert erweitert und um neue, spezifisch aussagefähige Module ergänzt werden.

Durch das forstliche Umweltmonitoring und weitere Monitoringprogramme mit Waldbezug, (u.a. Bundeswaldinventur, Waldmonitoring auf den Flächen des Nationalen Naturerbes, FFH-Waldmonitoring) werden bereits heute umfassende Daten zu Waldökosystemen erhoben. Diese müssen künftig so **ergänzt** werden, dass sie

- die Änderungen durch den Klimawandel auf Wälder als Ökosysteme und die forstliche Nutzung zusätzlich zur nationalen Ebene auch auf der lokalen und regionalen Ebene ausreichend dokumentieren,

- den Erfolg von Anpassungsmaßnahmen in Bezug auf den Erhalt der Funktionen von Ökosystemen langfristig messen und bewerten, so dass ggf. ein Gegensteuern möglich ist. Dazu sind messbare Vorgaben für die Maßnahmenumsetzung erforderlich, die zeigen, ob und wie die gesetzten Ziele erreicht werden und wie Zielkonflikte mit anderen betrieblichen Zielen gelöst werden. Besondere Aufmerksamkeit sollte der Auswahl und Erfassung referenzierter Biodiversitätsindikatoren gewidmet werden (Geburek 2018).
- langfristig Aussagen zu den Potenzialen von Waldbäumen und Waldökosystemen unter Klimawandelbedingungen ermöglichen.

Abhängig von den zu beantwortenden klimarelevanten Fragestellungen kann es notwendig werden, die **bestehenden Programme messtechnisch und thematisch zu erweitern, das Stichprobennetz zu verdichten und gezielt weitere Referenz- bzw. Monitoringflächen einzurichten**, die unterschiedliche Standorte und Waldgesellschaften einschließen und sich innerhalb eines breiten Spektrums abgestufter Schutz- und Nutzungsintensitäten bewegen. Auch eine systematische Erfassung der Beobachtungen und Erfahrungen von Förstern (und Naturschützern) im Sinne der Citizen Science (Bürgerwissenschaft) könnte interessante neue Erkenntnisse liefern.

Die **Einbettung des Monitorings in angewandte Forschungsprogramme**, die zeitnah ihre Ergebnisse in die Praxis zurückspiegeln, unterstützt deren Wahrnehmung und Umsetzung in der Praxis und fördert die Kommunikation zwischen Wissenschaft und Forstpraxis. Derartige Feedbackschleifen sind unbedingt erforderlich, um eine stetige Anpassung von Maßnahmen zu ermöglichen. Unterstützt werden sollten diese eher kurzfristig orientierten angewandten Forschungsansätze durch eine langfristig ausgerichtete intensivierte Waldökosystemforschung, welche sich mit grundlegenden Fragen der Resilienz von Waldökosystemen unter Klimawandelbedingungen auseinandersetzt.

Es wird Aufgabe des neu aufzubauenden nationalen Monitoringzentrums für die Biodiversität sein, entsprechende Fehlstellen der bestehenden Monitoringsysteme zu identifizieren, ergänzende Monitoringmodule zu erarbeiten bzw. diese mit anderen Akteuren abzustimmen.

3.4 Planerische Instrumente und Konzepte nutzen

Die in Deutschland **etablierten Instrumente der Raumplanung und der Landschaftsplanung** haben Ebenen-spezifische Potenziale (überregional, regional, lokal), die die genannten Forderungen konzeptionell untersetzen und die Umsetzung instrumentell erleichtern können. Sie sind einschließlich der Möglichkeiten informeller Prozesse und Planungen verstärkt auszunutzen, etwa um

- Biotopverbundkonzepte im Wald zu entwickeln und umzusetzen,
- Repräsentativität und Funktionalität von größeren Flächen zur natürlichen Waldentwicklung zu gewährleisten,
- Flächeninanspruchnahme von Wald für Siedlung, Gewerbe, Strom- und Verkehrsinfrastruktur zu reduzieren und
- unzerschnittene Waldgebiete in ausreichender Größe zu sichern.

4 Fazit

Der Erhalt und die Entwicklung widerstandsfähiger Wälder und Waldlandschaften, die unter den Bedingungen des Klimawandels ihre grundlegenden Funktionen und ökologischen Leistungen beibehalten und auch künftigen Generationen vielfältige Entwicklungsoptionen und Möglichkeiten zur Befriedigung ihrer Bedürfnisse eröffnen, ist eine komplexe gesellschaftliche Aufgabe. Sie erfordert Anstrengungen auf verschiedenen räumlichen Ebenen (Habitat, Bestand, Landschaft, Wassereinzugsgebiet etc.) und in verschiedenen Bereichen (forstliche Praxis, Aus- und Weiterbildung, Beratung) sowie die Berücksichtigung unterschiedlicher Zeitskalen und die Einbeziehung diverser Fachdisziplinen. Im Kontext unterschiedlicher Maßnahmen und Managementstrategien, die schon heute ergriffen werden können, um negative Auswirkungen des Klimawandels zu vermeiden oder zu mindern („no-regret“-Strategien) und die einen Beitrag zur Erreichung dieses Ziels leisten, **kommt dem Erhalt und der Förderung von Diversität als Grundvoraussetzung für die Selbstregulation von Waldökosystemen und zur Bereitstellung von Ökosystemleistungen eine herausragende Bedeutung zu** (Chapin et al. 2000; Folke et al. 2004; Hooper et al. 2004; IPBES 2019; Naeem et al. 2016).

Forstliche Anpassungsmaßnahmen, die den Wert der Vielfalt des Handelns und den Beitrag der Biodiversität für den Erhalt der funktionalen Integrität von Ökosystemen und als Voraussetzung für die Erbringung zahlreicher ökologischer Leistungen von Wäldern nicht beachten, werden langfristig weder einen Beitrag zur Minderung des Klimawandels noch zur Anpassung an den Klimawandel leisten können.

Dagegen kann eine nachhaltige Waldbewirtschaftung, wie vom IPCC in seinem jüngsten Sonderbericht „Klimawandel und Landsysteme“ betont (IPCC 2019), die Anpassung an den Klimawandel unterstützen und gleichzeitig einen Beitrag zur Senkung von Treibhausgasemissionen leisten.

Diese Chance darf nicht ungenutzt bleiben!

5 Literaturverzeichnis

- Albrecht A., Schindler D. et al. (2009): Sturmaktivität über der nordatlantisch-europäischen Region vor dem Hintergrund des Klimawandels - eine Literaturübersicht. Allgemeine Forst- und Jagdzeitung (180): 109-118.
- Altmoos M., Burkhardt R. (2016): Netzwerk Natura 2000 - Plädoyer für eine dynamische Sichtweise. Natur und Landschaft 91 (6): 272-279.
- Bauhus J. (2019): Wir verlieren die heimischen Baumarten, zitiert in Frankfurter Sonntagszeitung vom 28.07.2019: S. 53.
- Bellassen V., Luyssaert S. (2014): Managing forests in uncertain times. Nature (506): 153-155.
- Bernier P., Schoene D. (2009): Adapting forests and their management to climate change: an overview. Unasylva (60): 231/232.
- Beudert B., Bässler C. et al. (2014): Bark beetles increase biodiversity while maintaining drinking water quality. Conservation letters (8): 272-281.
- BMEL/ Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (2017): Waldbericht der Bundesregierung 2017. Bonn: 288 S.
- BMEL/ Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (2019): Rahmenplan der Gemeinschaftsaufgabe „Verbesserung der Agrarstruktur und des Küstenschutzes“ 2019-2022. Bonn: 160 S.
- BMUB /Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (2016): Klimaschutzplan 2050 – Klimaschutzpolitische Grundsätze und Ziele der Bundesregierung. Druck- und Verlagshaus Zarbock GmbH & Co. KG. Berlin: 92 S.
- Bolte A., Ibisch P. (2007): Neun Thesen zu Klimawandel, Waldbau und Waldnaturschutz. AFZ-der Wald 61 (11): 572-576.
- Bolte A., Ammer C. et al. (2009): Adaptive forest management in central Europe: climate change impacts, strategies and integrative concept, Scandinavian Journal of Forest Research (24): 473-482.
- Bonfils P., Bolliger M. (Red.) (2003): Wälder von besonderem genetischem Interesse (BGI-Wälder). Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, BUWAL. Bern: 60 S.
- BWI (2012): Thünen-Institut, Dritte Bundeswaldinventur - Ergebnisdatenbank, <https://bwi.info> (aufgerufen am: 14.08.2019).
- Breed M., Harrison P., Bischoff, A. et al. (2018): Priority Actions to Improve Provenance Decision-Making. BioScience 68 (7): 510-516.
- Bütler R., Schlaepfer R. (2004): Wie viel Totholz braucht der Wald? Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen 155 (2): 31-37.
- Bundesregierung/ Bundesregierung der Bundesrepublik Deutschland (2017): Projektionsbericht 2017 für Deutschland, <https://www.bmu.de/download/projektionsbericht-der-bundesregierung-2017/> (aufgerufen am 28.8.2019).
- Burgess P., Moffat A., Matthews R. (2010): Assessing climate change causes, risks and opportunities in forestry. Outlook on Agriculture (39): 263-268.
- Cavers S., Cottrell J.E. (2015): The basis of resilience in forest tree species and its use in adaptive forest management in Britain. Special issue: Evolution, ecology and tree health. Forestry, 88 (1). 13-26.

- Chapin F. S., III E. S. et al. (2000): Consequences of changing biodiversity. *Nature* 405 (6783): 234-242.
- Crooks J. A. (2005): Lag times and exotic species: the ecology and management of biological invasions in slow-motion. *Ecoscience* 12, 316-329.
- Detten R. von (2003): Abschied vom Nachhaltigkeitsprinzip? Forstliches Handeln im Angesicht von Unsicherheit und Sinnkrise - Ein Essay, Arbeitsbericht 37- 2003. Institut für Forstökonomie, Universität Freiburg. Freiburg im Breisgau: 34 S.
- Duncker P. S., Raulund-Rasmussen K. et al. (2012): How forest management affects ecosystem services, including timber production and economic return: synergies and trade-offs. *Ecology and Society* 17 (4): 50.
- Emmer I., Fanta J., Kobus A. et al. (1998): Reversing borealization as a means to restore biodiversity in Central-European mountain forests - an example from the Krkonoše Mountains, Czech Republic. *Biodiversity and Conservation*, 229–247.
- Engel F., Wildmann S. et al. (2016): Bilanzierung der nutzungsfreien Wälder in Deutschland, In: Engel F., Bauhus J. et al. (2016): Wälder mit natürlicher Entwicklung in Deutschland: Bilanzierung und Bewertung. Landwirtschaftsverlag Münster. Münster: (145): 37-74.
- Ennos R.A., Cottrell S., Hall J., O'Brien D. (2018): Is the introduction of novel exotic forest tree species a rational response to rapid environmental change? – A British perspective. *Forest Ecology and Management*. 432, 718-728.
- Folke C., Carpenter S. et al. (2004): Regime shifts, resilience, and biodiversity in ecosystem management. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* (35): 557–581.
- Franz K., Blomberg M. von et al. (2018) Perspektiven für den Vertragsnaturschutz. *AFZ Wald* 73 (21): 30-33.
- Fuchs D., Hänel K., Lipski A. et al. U. (2010): Länderübergreifender Biotopverbund in Deutschland - Grundlagen und Fachkonzept. - *Naturschutz und Biologische Vielfalt* 96, 191 S. + Kartenband.
- Gebhardt T., Häberle K. H. et al. (2014): The more, the better? Water relations of Norway spruce stands after progressive thinning. *Agricultural and Forest Meteorology*, 197, 235-243.
- Geburek T. (2006): Klimawandel - forstliche Maßnahmen aus genetischer Sicht, BFW-Praxisinformation (10): 12-14.
- Geburek T. (2018): Biodiversität – viel mehr als nur Artenvielfalt, In: Rosenberger M., Weigl N. (Hrsg.): Forstwirtschaft und Biodiversität: Interdisziplinäre Zugänge zu einem Brennpunkt nachhaltiger Entwicklung. oekom Verlag. München: 272 S.
- Gillson L., Willis K. (2004): 'As Earth's testimonies tell': wilderness conservation in a changing world. *Ecology Letters* (7): 990-998.
- Haber W. (1971): Landschaftspflege durch differenzierte Bodennutzung. *Bayerisches landwirtschaftliches Jahrbuch (Sonderheft 1)*: 19-35.
- Hannah L. (2008): Protected areas and climate change. *Annals of the New York Academy of Sciences* (1134): 201-212.
- Hauschild R., Mahnkopf P., Konold W. (2007): Naturschutzfachliche Bewertung des Arten- und Strukturreichtums der Rheinauwälder. *Archiv für Forstwesen und Landschaftsökologie* (41): 177-185.
- Hemery G. (2008): Forest management and silvicultural responses to projected climate change impacts on European broadleaved trees and forests, *International Forest Review* (10): 591-607.

- Hildebrand E., Puls C. et al. (2000): Flächige Bodenverformung durch Befahren: Ein unterschätzter ökosystemarer Eingriff. *Allgemeine Forst-Zeitschrift* (55): 683-686.
- Hodge S., Peterken G. (1998): Deadwood in British forests: priorities and a strategy. *Forestry* (71): 99-112.
- Höltermann A., Nehring S., Herberg A., Krug A. (2016): Die Douglasie aus Sicht des Bundesamtes für Naturschutz, *AFZ - Der Wald*, Heft 12, 34-37.
- Hooper D.U., Chapin F.S. et al. (2005): Effects of biodiversity on ecosystem functioning: a consensus of current knowledge. *Ecological Monographs* 75: 3 - 35.
- Hussendörfer E. (1996): Wird Biodiversität durch eine künstliche Bestandesbegründung beeinflusst?, In: Müller-Starck, G. (Hrsg.): *Biodiversität und Nachhaltige Forstwirtschaft*. ecomed-Storck GmbH. Landsberg am Lech: 160-176.
- Hüttl R. (2019): Der Wald muss wachsen, die Waldforschung schneller. *FAZ* vom 22.08.2019. <https://www.faz.net/aktuell/wissen/der-wald-muss-wachsen-die-waldforschung-schneller-16330461.html>.
- IPBES (2019): Summary for policy makers of the global assessment report on biodiversity and ecosystem services, advance version, Internetversion vom 03.09.2019, https://www.ipbes.net/system/tdf/ipbes_7_10_add-1-_advance_0.pdf?file=1&type=node&id=35245
- IPCC (2019): IPCC Special Report on Climate Change, Desertification, Land Degradation, Sustainable Land Management, Food Security, and Greenhouse gas fluxes in Terrestrial Ecosystems Summary for Policymakers Approved Draft: 43, <https://www.ipcc.ch/srccl-report-download-page/> (aufgerufen am 22.8.2019).
- Isbell F., Calcagno V. et al. (2011): High plant diversity is needed to maintain ecosystem services. *Nature*, 477(7363), 199-202.
- Jenssen M., Hofmann G., Pommer U. (2007): Die natürlichen Vegetationspotentiale Brandenburgs als Grundlage klimaplastischer Zukunftswälder. In: *Beiträge zur Gehölkunde 2007*, Hrsg.: Gesellschaft Deutsches Arboretum e. V. Hansmann-Verlag. Hemmingen: 17-29.
- Jessel B. (2013): Was ist neu an der Situation des Naturschutzes im Klimawandel? In: Essl. F. und Rabitsch W. (Hrsg.): *Biodiversität und Klimawandel. Auswirkungen und Handlungsoptionen für den Naturschutz in Mitteleuropa*. Springer, Berlin/Heidelberg, S. 304-308.
- Kätzel R. (2009): Möglichkeiten und Grenzen der Anpassung an Klimaextreme - eine Betrachtung zu baumartenspezifischen Risiken aus Sicht der Ökophysiologie. In: *Landeskompetenzzentrum Forst Eberswalde* (Hrsg.): *Wald im Klimawandel - Risiken und Anpassungsstrategien*: 22-34.
- Körner C. (2017): A matter of tree longevity. *Science* 355:130-131.
- Kohler M., Sohn J. et al. (2010): Can drought tolerance of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) be increased through thinning? *European Journal of Forest Research* (129): 1109-1118.
- Konold W. (2014): Forstliche Nutzungsvielfalt als Beitrag zur biotischen Vielfalt in Zeiten des Klimawandels: Von historischen Waldnutzungen bis zu modernen Agroforstsystemen, Dokumentation zu den Dresdner Planergesprächen am 27. Juni 2014, 11-21.
- Kowarik I. (1995): Time lags in biological invasions with regard to the success and failure of alien species. In: Pysek, P., Prach, K., Rejmánek, M., Wade, P.M. (Hrsg.): *Plant invasions - general aspects and special problems*, SPB Academic Publishing, Amsterdam. S. 15-38.

- Kulakowski D., Seidl R. et al. (2017): A walk on the wild side: Disturbance dynamics and the conservation and management of European mountain forest ecosystems. *Forest Ecology and Management*, 388: 120-131.
- Kunert N. (2017): Einschlag zur kurzfristigen Reduzierung von Trockenstress? *AFZ/ Der Wald* 22/2017: 24-26.
- Küster H. (1998): *Geschichte des Waldes. Von der Urzeit bis zur Gegenwart*. C.H. Beck. München: 267 S.
- Lachat T., Bouget C., Bütler R., Müller J. (2013): Deadwood: quantitative and qualitative requirements for the conservation of saproxylic biodiversity. Integrative approaches as an opportunity for the conservation of forest biodiversity, In Kraus D.; Krumm F. (Hrsg.): *Integrative approaches as an opportunity for the conservation of forest biodiversity*: 92-102.
- Lässig R. (2000): Windwürfe – Chancen für artenreiche Wälder nutzen. *Wald und Holz*, 81, 56–60.
- Lawler J., Tear T. et al. (2010): Resource management in a changing and uncertain climate. *Frontiers in Ecology and the Environment* (8): 35-43.
- Lindner M. (1999): Waldbaustrategien im Kontext möglicher Klimaänderungen. *Forstwissenschaftliches Centralblatt* (118): 1-13.
- Lindenmayer D.B., Foster D.R., Franklin J.F. et al. (2004): Salvage harvesting policies after natural disturbance. *Science*, 303, 1303.
- Luyssaert S., Schulze E. et al. (2008): Old-growth forests as global carbon sinks. *Nature* (455): 213-215.
- Magnússon R. Í., Tietema A. et al. (2016). Tamm Review: Sequestration of carbon from coarse woody debris in forest soils. *Forest Ecology and Management*, 377, 1-15.
- Mausolf K, Wilm P et al. (2018): Higher drought sensitivity of radial growth of European beech in managed than in unmanaged forests. *Science of the Total Environment* 642: 1201-1208.
- Mawdsley J., O'Malley R., Ojima D. (2009): A review of climate-change adaptation strategies for wildlife management and biodiversity conservation. *Conservation Biology* (23): 1080-1089.
- Metz J., Annighöfer P. et al. (2016): Site-adapted admixed tree species reduce drought susceptibility of mature European beech. *Global Change Biology* Vol 22 Issue 2, February 2016, S. 903-920.
- Metzing D. (2016): Ausbreitung von Pflanzen infolge des Klimawandels. *Warnsignal Klima: Die Biodiversität*. 152-157.
- Milad M., Schaich H. et al. (2011): Climate change and nature conservation in Central European forests: a review of consequences, concepts and challenges. *Forest Ecology and Management* (261): 829-843.
- Milad M., Schaich H., Konold W. (2012): How is adaptation to climate change reflected in current practice of forest management and conservation? A case study from Germany. *Biodiversity and Conservation* (22): 1181-1202.
- Milad M., Storch, S., Schaich H., Konold W.; Winkel G. (2012): Wälder und Klimawandel: Künftige Strategien für Schutz und nachhaltige Nutzung, *Naturschutz und biologische Vielfalt* 125, 132 S.
- Millar C., Stephenson N., Stephens S. (2007): Climate change and forests of the future: managing in the face of uncertainty. *Ecological Applications* (17): 2145-2151.
- Müller F., Burkhard B. (2012) Kategorien, Indikatoren und Datenlage – Einige Diskussionsbeiträge aus landschaftsökologischer Sicht: 36- 50. In: Bürger-Arndt R., Ohse B. et al. (Hrsg.):

Ökosystemdienstleistungen von Wäldern. Workshopbericht, Internationale Naturschutzakademie Insel Vilm 16.-19. November 2011. Bonn. BfN-Skripten (320): 142 S.

Müller-Kroehling S., Schmidt O. (2019): Eschentriebsterben und Naturschutz: 7 Fragen, 7 Antworten. *Anliegen Natur*. 41 (1) 2019: 145 - 156.

Mund M., Kutsch W. et al. (2010): The influence of climate and fructification on the inter-annual variability of stem growth and net primary productivity in an old-growth, mixed beech forest. *Tree Physiology* (30): 689-704.

Mund M., Ammer C. (2013): Können FFH-Waldgebiete im besonderen Maße zur Erforschung der Ökosystemleistung „Kohlenstoffsequestrierung“ beitragen? In: Lehrke S., Ellwanger G., Buschmann A. et al. (Hrsg.): *Natura 2000 im Wald. Lebensraumtypen, Erhaltungszustand, Management*. Bundesamt für Naturschutz. Bonn-Bad Godesberg. *Naturschutz und Biologische Vielfalt* (131): 157-167.

Mund M., Frischbier N. et al. (2015): Klimaschutzwirkung des Wald- und Holzsektors: Schutz und Nutzungsszenarien für drei Modellregionen in Thüringen. Bundesamt für Naturschutz. Bonn. BfN-Skripten (396): 168 S.

Naeem S., Chazdon R. et al. (2016): Biodiversity and human well-being: an essential link for sustainable development. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* 283.

Nave L. E., Vance E., Swanston C., Curtis P. (2010): Harvest impacts on soil carbon storage in temperate forests. *Forest Ecology and Management* 259: 857-866.

Nitschke C., Innes J. (2008): Integrating climate change into forest management in South-Central British Columbia: an assessment of landscape vulnerability and development of a climate-smart framework. *Forest Ecology and Management* (256): 313-327.

Normand S., Svenning J., Skov F. (2007): National and European perspectives on climate change sensitivity of the habitats directive characteristic plant species. *Journal for Nature Conservation* (15): 41-53.

Norris C., Hobson P., Ibisch J. (2012): Microclimate and vegetation function as indicators of forest thermodynamic efficiency. *Journal of Applied Ecology* (49): 562-570.

Noss R. (2001): Beyond Kyoto: forest management in a time of rapid climate change. *Conservation Biology* (15): 578-590.

NW-FVA/ Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt (2019): Internetseite: <https://www.nw-fva.de/index.php?id=628>, (aufgerufen am 26.08.2019).

Ogden A., Innes J. (2009): Application of structured decision making to an assessment of climate change vulnerabilities and adaptation options for sustainable forest management. *Ecology and Society* (14): 1-29.

Ott K., Egan-Krieger T. von (2008): Naturethik, Nachhaltigkeit und die Zukunft der Waldbewirtschaftung. In: *Braunschweigische Landschaft* (Hrsg.): *Bewahrung des europäischen Naturerbes*. Braunschweig : 65-75.

Plachter H., Kill J. et al. (2000): *Waldnutzung in Deutschland: Bestandsaufnahme, Handlungsbedarf und Maßnahmen zur Umsetzung des Leitbildes einer nachhaltigen Entwicklung*. Metzler-Poeschel Verlag. Stuttgart.

Pretzsch H., Schütze G., Uhl E. (2012): Resistance of European tree species to drought stress in mixed versus pure forests: evidence of stress release by interspecific facilitation. *Plant Biology*.

Puetmann K., Coates K.D., Messier C. (2009): *A critique of silviculture: managing for complexity*. Island Press, Washington. 189 S.

- Pyšek P. (2016): What determines the invasiveness of tree species in central Europe? In: Krumm F., Vitkova L. (Hrsg.) (2016): Introduced tree species in European forests: opportunities and challenges. European Forest Institute: 68-77.
- Reif A. (2000): Das naturschutzfachliche Kriterium der Naturnähe und seine Bedeutung für die Waldwirtschaft. Zeitschrift für Ökologie und Naturschutz (8): S. 245.
- Reise J., Hennenberg K. et al. (2017): Analyse und Diskussion naturschutzfachlich bedeutsamer Ergebnisse der dritten Bundeswaldinventur. 2. überarbeitete Auflage. BfN, Bonn - Bad Godesberg. BfN-Skripten (427).
- Rigling A., Brang P. et al (2008): Klimawandel als Prüfstein für die Waldbewirtschaftung (Klimaänderung und Waldbewirtschaftung), Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen (159): 316-325.
- Roloff A., Grundmann B. (2008): Waldbaumarten und ihre Verwendung im Klimawandel. Archiv für Forstwesen und Landschaftsökologie (42): 97-109.
- Schäffer J. (2002): Befahren von Waldböden – ein Kavaliersdelikt?. Der Waldwirt (29): 21-23.
- Schelhaas M., Nabuurs G., Schuck A. (2003): Natural disturbances in the European forests in the 19th and 20th centuries. Global Change Biology (9): 1620-1633.
- Scherzinger W. (1996): Naturschutz im Wald: Qualitätsziele einer dynamischen Waldentwicklung. Verlag Eugen Ulmer. Stuttgart: 447 S.
- Schmidt O. (2006): Totes Holz voller Leben. LWF aktuell 53, 1.
- Schneider S., Golz H. v.d. et al. (2017): Jagdausübung und Jagdregime des BioWild-Projekts. AFZ-Der Wald (6): 27-29.
- Schriewer K. (2001): Waldbewußtsein und Waldnutzung: eine ökologische Wende. In: Der deutsche Wald / Landeszentrale für politische Bildung Baden-Württemberg. Landeszentrale für politische Bildung Baden-Württemberg. Stuttgart : 84 S.
- Schrumpf M., Kaiser K., Schulze E.D. (2014): Soil organic carbon and total nitrogen gains in an old growth deciduous forest in Germany. PLOS ONE (9).
- Schuck A., Meyer P. et al. (2004): Forest biodiversity indicator: Dead wood: a proposed approach towards operationalising the MCPFE indicator. European Forest Institute (51): 49-77.
- Schütz J.P., Götz M. et al. (2006): Vulnerability of spruce (*Picea abies*) and beech (*Fagus sylvatica*) forest stands to storms and consequences for silviculture. European Journal of Forest Research 125, 291-302.
- Seidl R, Albrich K, Thom D, Rammer W. (2018): Harnessing landscape heterogeneity for managing future disturbance risks in forest ecosystems. Journal of Environmental Management. 2018, 209: 46-56.
- Smulders M., Cobben M. et al (2009): Landscape genetics of fragmented forests: anticipating climate change by facilitating migration. iForest—Biogeosciences and Forestry (2): 128-132.
- Statistisches Bundesamt (2016): Nachhaltige Entwicklung in Deutschland. Indikatorenbericht 2016. 132 S. + Anhang.
- Stephenson N., Das A. et al. (2014): Rate of tree carbon accumulation increases continuously with tree size. Nature (507): 90-93.
- Thom D., Rammer W., Seidl R. (2017): Disturbances catalyze the adaptation of forest ecosystems to changing climate conditions. Global Change Biologie (23): 269-282.

Thom D., Golivets M. et al. (2019): The climate sensitivity of carbon, timber, and species richness covaries with forest age in boreal–temperate North America. *Global Change Biology* (25): 2446-2458.

Thompson I., Mackey B. et al. (2009): Forest Resilience, Biodiversity, and Climate Change. A synthesis of the biodiversity/resilience/stability relationship in forest ecosystems. Secretariat of the Convention on Biological Diversity, Technical Series no. 43. Montreal: 67 S.

Thorn S., Bässler C., Svoboda M.; Müller J. (2017): Effects of natural disturbances and salvage logging on biodiversity—Lessons from the Bohemian Forest. *Forest Ecology and Management*, 388, 113-119.

UBA / Umweltbundesamt (Hrsg.) (2015): Monitoringbericht 2015 zur Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel. Bericht der Interministeriellen Arbeitsgruppe Anpassungsstrategie der Bundesregierung. Schönthaler K., von Adrian-Werbung S., van Rühl P., Hempen S. (Hrsg.). UBA. Dessau-Roßlau: 256 S.

Oheimb G. von, Härdtle W. et al. (2014): Does forest continuity enhance the resilience of trees to environmental change?, *PLoS ONE* 9(12): e113507. DOI 10.1371/journal.pone.0113507.

Vos C., Berry P. et al (2008): Adapting landscapes to climate change: examples of climate-proof ecosystem networks and priority adaptation zones. *Journal of Applied Ecology* (45): 1722-1731.

Vose J.M., Clark J.S., Luce C.H., Patel-Weynand T. (Hrsg.) (2016): Effects of drought on forests and rangelands in the United States: A comprehensive science synthesis. Gen. Tech. Rep. WO-93b. Washington, DC: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Washington Office, 289 S.

Walentowski H., Falk W. et al. (2017): Assessing future suitability of tree species under climate change by multiple methods: a case study in southern Germany. *Annals of Forest Research* (60): 101-126.

Walentowski H., Müller-Kroehling S. (2009): Natura 2000, Biodiversität und Klimawandel. Wie hängen diese Megathemen zusammen?. *LWF-Aktuell* (69): 6-7.

WBW 2018: Stellungnahme des WBW zum Thema „Risikovorsorge und der Umgang mit Extremereignissen in der Forstwirtschaft“, https://www.bmel.de/DE/Ministerium/Organisation/Beiraete/_Texte/WaldpolitikVeroeffentlichungen.html (aufgerufen am 26.08.2019).

Welch D. (2008): What should protected area managers do to preserve biodiversity in the face of climate change? *Biodiversity* (9): 75-93.

Winkel G., Volz K.-R. (2003): Naturschutz und Forstwirtschaft. Kriterienkatalog zur Guten fachlichen Praxis. Schriftenreihe Angewandte Landschaftsoekologie 52, 194 S.

Wintle B., Lindenmayer D. (2008): Adaptive risk management for certifiably sustainable forestry. *Forest Ecology and Management* (256): 1311-1319.

Drucksache des Deutschen Bundestages 19/11093 vom 25.06.2019: Antrag der Fraktionen der CDU/CSU und SPD Unser Wald braucht Hilfe – Waldumbau vorantreiben.

Drucksache des Deutschen Bundestages 19/9580 vom 18.04.2019: Antwort der Bundesregierung auf die Kleine Anfrage der Abgeordneten Karlheinz Busen, Frank Sitta, Dr. Gero Clemens Hocker, weiterer Abgeordneter und der Fraktion der FDP Situation der Waldschäden.