

Perspektiven und Potenziale für die Gestaltung eines kohärenten Systems von Wäldern mit natürlicher Entwicklung in Deutschland

Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Fakultät für Forstwissenschaften und Waldökologie
der Georg-August-Universität Göttingen

vorgelegt von
Falko Engel
geboren in Hamburg

erstellt an der
Nordwestdeutschen Forstlichen Versuchsanstalt, Göttingen

Göttingen, 2019

1. Gutachter: Prof. Dr. Hermann Spellmann

2. Gutachter: Prof. Dr. Andreas Schuldt

Tag der mündlichen Prüfung: 20. September 2019

Danksagung

Die vorliegende Arbeit wurde vor allem durch Dr. Peter Meyer, Leiter des Sachgebiets Waldnaturschutz / Naturwaldforschung und Prof. Dr. Hermann Spellmann, Abteilungsleiter und Leiter der NW-FVA, ermöglicht, die das Thema „natürliche Waldentwicklung in Deutschland“ nach Göttingen geholt haben. Prof. Dr. Spellmann und Prof. Dr. Andreas Schuldt danke ich für die Begutachtung der Monografie. Bedanken möchte ich mich auch bei Herrn Dr. Klein und Herrn Kluttig vom BfN und bei Frau Neukirchen vom BMU für die konstruktive und kollegiale Zusammenarbeit und stellvertretend auch für die finanzielle Förderung der Projekte NWePP (FKZ: 3515840200) und NWE5. Die projektbegleitende Arbeitsgruppe hat ebenfalls dazu beigetragen, das Vorhaben voranzubringen. Besonders möchte ich mich bei Herrn Dr. Kändler und Frau Stelzer von der FVA in Freiburg bedanken, die unsere Modellierungsmethoden kritisch bewertet haben.

Für die Unterstützung bei den statistischen Auswertungen gebührt mein großer Dank meinem Kollegen Holger Sennhenn-Reulen, der auch in seiner Elternzeit noch für Rückfragen zur Verfügung stand. Meine Kolleginnen Katja Lorenz und Laura Demant haben mich dankenswerter Weise mit der Übernahme von Recherchen und Materialien sehr unterstützt. Für Korrekturvorschläge, Literaturhinweise und Anregungen zur Verbesserung möchte ich mich besonderes bei meiner Kollegin Johanna Bußkamp und bei meinen Kollegen Marcus Schmidt, Andreas Mölder und Peter Meyer bedanken.

Frau Grube und Inga Mölder von der forstlichen Fakultät haben mir mit Hinweisen zu Organisation und wissenschaftlicher Praxis sehr bei den letzten Schritten des Promotionsstudiums geholfen.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	1
2	Methoden.....	7
2.1	Definitionen von NWE und NWE-Potenzialflächen.....	7
2.2	Aktualisierung und Bilanz der NWE-Kulisse.....	8
2.2.1	Datengrundlage der NWE-Bilanz und Wiederholungsabfrage.....	8
2.2.2	Bilanzierung.....	9
2.3	Bewertung und Lückenanalyse der NWE-Kulisse.....	10
2.3.1	Überblick über die verwendeten Referenzsysteme.....	11
2.3.2	Naturnähe der Baumartenzusammensetzung.....	14
2.3.3	Kenngößen.....	15
2.3.4	Limitierungen.....	17
2.4	Modellierung von NWE_{pot} -Flächen.....	17
2.4.1	Datengrundlagen und abgeleitete Größen.....	17
2.4.1.1	Ausgangsdaten.....	17
2.4.1.2	Abgeleitete Größen.....	23
2.4.2	Vor-Ort-Überprüfung auf Grundlage der BWI ⁹	29
2.4.3	Modellierung.....	32
3	Ergebnisse.....	35
3.1	Aktualisierung und Bilanz der NWE-Kulisse.....	35
3.1.1	Datenlage.....	35
3.1.2	Bilanz der NWE-Flächen.....	35
3.2	Bewertung und Lückenanalyse der NWE-Kulisse.....	41
3.2.1	Repräsentativität der naturräumlichen Großlandschaften.....	41
3.2.2	Repräsentativität der natürlichen Waldtypen.....	43
3.2.3	Bestockungstypen und Altersklassen.....	46
3.2.4	Naturnähe der Baumartenzusammensetzung.....	47
3.2.5	Größenklassenverteilung.....	48
3.3	Modellierung von NWE_{pot} -Flächen.....	49
3.3.1	Vor-Ort-Prüfung.....	49
3.3.2	Modellierung.....	50
3.3.2.1	Modellqualität und -eigenschaften.....	50
3.3.2.2	Modellergebnis.....	52
4	Diskussion.....	55
4.1	Bilanz der NWE-Kulisse.....	55
4.2	Bewertung und Lückenanalyse der NWE-Kulisse.....	57
4.3	Modellierung von NWE_{pot} -Flächen.....	65
5	Zusammenfassung.....	74
6	Summary.....	77
7	Literatur.....	80
8	Anhang.....	92

1 Einleitung

Im Jahr 1992 hat eine Vielzahl von Staaten das Übereinkommen über die biologische Vielfalt (CBD, *Convention on Biological Diversity*) auf der Konferenz der Vereinten Nationen für Umwelt und Entwicklung in Rio de Janeiro beschlossen und in den folgenden Jahren unterzeichnet und ratifiziert. Eines der drei Hauptziele der CBD ist der Erhalt der biologischen Vielfalt (United Nations 1992). Nachdem Deutschland das Übereinkommen 1993 ratifiziert hatte (Bundestag 1993), verabschiedete das Bundeskabinett im Jahr 2007 die Nationale Strategie zur Biologischen Vielfalt (BMU 2007). Die Nationale Strategie zur Biologischen Vielfalt (NBS) enthält insgesamt rund 330 Ziele und 430 Maßnahmen zu allen biodiversitätsrelevanten Themen. Für den Wald beinhaltet die NBS im Abschnitt B 1.2.1 folgende Zielvorstellungen:

- Bis zum Jahre 2020 haben sich die Bedingungen für die in Wäldern typischen Lebensgemeinschaften (Vielfalt in Struktur und Dynamik) weiter verbessert.
- Bäume und Sträucher der natürlichen Waldgesellschaft verjüngen sich ganz überwiegend natürlich.
- Mit naturnahen Bewirtschaftungsformen werden die natürlichen Prozesse zur Stärkung der ökologischen Funktionen genutzt.
- Alt- und Totholz sind in ausreichender Menge und Qualität vorhanden.
- 2020 beträgt der Flächenanteil der Wälder mit natürlicher Waldentwicklung 5 % der Waldfläche bzw. 10 % der Waldfläche der öffentlichen Hand.
- Bei der Neubegründung von Wäldern werden vermehrt standortheimische Baumarten verwendet.
- Der Anteil nicht standortheimischer Baumarten reduziert sich kontinuierlich.
- Historische Waldnutzungsformen wie Mittel-, Nieder- und Hutewald mit ihrem hohen Naturschutz- oder Erholungspotenzial werden weiter geführt und nach Möglichkeit ausgebaut.

Insbesondere die Forderung nach 5 % bzw. 10 % Waldfläche mit natürlicher Entwicklung (NWE) hat zwischen Forstwirtschaft und Naturschutz eine zum Teil kontroverse Diskussion ausgelöst (NABU 2013; Zoologische Gesellschaft Frankfurt 2017; Ibisch 2018; Schulze 2018b; DFWR 2019).

Da die NBS eine Strategie des Bundes ist und keine Verbindlichkeit auf Ebene der Länder, der Kommunen oder im Privatwald hat, ist der Erfolg an einen Konsens mit den Waldbesitzern gebunden. Den Landes- und Kommunalwäldern kommt hier neben den Wäldern des Bundes eine besondere Rolle zu, da die NBS den Vorbildcharakter des öffentlichen Waldes betont. Aber auch der Privatwald soll einbezogen werden. Dies deutet

die NBS durch das Ziel an, auf 10 % der Privatwaldfläche den Vertragsnaturschutz fördern zu wollen (BMU 2007).

Der Schutz der Biodiversität im Wald ist ein vielfältiges Thema, da die Biodiversität zum Teil an natürliche und zum Teil an anthropogen induzierte Strukturen gebunden ist (Bürger-Arndt 1996; Scherzinger 1996; Zerbe & Wiegler 2009; Demant et al. 2018). Während das 5 %-Ziel mit der Maßnahme „Prozessschutz“, also dem Zulassen einer ungestörten, natürlichen Walddynamik (vgl. Sturm 1993) umgesetzt werden soll, können andere Ziele, wie der Erhalt der biologischen Vielfalt, die an historische Nutzungsformen gebunden sind, nur durch Pflege und Nutzung erreicht werden (Bergmeier et al. 2010; Mölder et al. 2019). Ein gutes Beispiel für diesen Zielkonflikt sind Eichenwälder, die eine hohe Biodiversität beherbergen können, in der Vergangenheit aber durch intensive Eingriffe des Menschen etabliert und gepflegt wurden (Götmark 2013; Sebek et al. 2015). Der Prozessschutz steht somit zum einen im Konflikt mit wirtschaftlichen Interessen (vgl. Wildmann et al. 2016) und zum anderen mit konkurrierenden Naturschutzzielen.

Ob der Prozessschutz besonders gut geeignet ist, um die Biodiversität zu schützen, wird in der Literatur unterschiedlich bewertet. Viele Studien deuten darauf hin, dass bei Artengruppen, die an Strukturen wie Altbäume, Totholz und Habitatkontinuität gebunden sind, die Vielfalt in NWE-Flächen höher ist als im Wirtschaftswald bzw. mit fortschreitender Zeit seit der Nutzungsaufgabe ansteigt (Winter et al. 2005; Müller et al. 2007; Bradtka et al. 2010; Paillet et al. 2010; Bässler & Müller 2010; Müller et al. 2010; Bässler et al. 2012; Lehnert et al. 2013). Dies scheint plausibel, da in nutzungsfreien Wäldern eine erhebliche Totholzzakkumulation (Vandekerckhove et al. 2005; Müller & Büttler 2010; Meyer & Schmidt 2011; Paillet et al. 2015; Seibold et al. 2016) und eine Erhöhung der kleinräumigen Struktur- und Habitatvielfalt stattfindet (Winter 2006; Müller et al. 2007; Dieler et al. 2017). Andere Studien kommen jedoch auch zu dem Schluss, dass sich Wirtschaftswälder und NWE-Flächen hinsichtlich der Artenvielfalt nicht signifikant unterscheiden (Schulze et al. 2014; Dieler et al. 2017; Schall et al. 2018; Schulze 2018a; Schulze et al. 2019).

Eine erhöhte Phytodiversität im Wirtschaftswald kann durch das Auftreten von Störungsanzeigern beobachtet werden (Härdtle et al. 2001; Schmidt & Schmidt 2007). In Bezug auf die Baumartenzusammensetzung nimmt der Buchenanteil in NWE-Flächen auf Kosten von lichtbedürftigeren Mischbaumarten, besonders der Eiche, auf vielen Standorten zu (Straußberger 1999; Meyer 2000; Straußberger 2001; Kölling 2003; Meyer et al. 2006; Meyer 2009). Es ist bisher nicht klar, ob natürliche Störungen zur Förderung und zum dauerhaften Bestand von der Buche ansonsten unterlegenen Baumarten führen können

(Jaloviar et al. 2017). Neben der Baumartenzusammensetzung trägt das Störungsregime maßgeblich zur Strukturvielfalt bei. Störungen erhöhen die Heterogenität der Waldlandschaft und wirken sich daher meist positiv auf die Biodiversität aus (Müller et al. 2010; Winter et al. 2015). Der Wiederherstellungsprozess von natürlichen Waldstrukturen nach einer Nutzungsaufgabe scheint jedoch einen relativ langen Zeitraum in Anspruch zu nehmen. So sind für die Bildung von Mikrohabitaten wie Höhlen und Rindentaschen Zeiträume von mehr als 50 Jahre anzusetzen bis eine signifikante Erhöhung der Dichte und Vielfalt eintritt (Larrieu et al. 2012; Larrieu et al. 2017). Insgesamt sind die Zusammenhänge zwischen der Waldstruktur und Lebensraumausstattung auf der einen und der Artenzusammensetzung und -vielfalt auf der anderen Seite sehr komplex und bisher unzureichend geklärt (Meyer 2018). Vor dem Hintergrund des unbekanntes Ausmaßes der tatsächlichen biologischen Vielfalt (Pereira et al. 2012) und des fehlenden Verständnis der Wirkungszusammenhänge werden Schutzstrategien empfohlen, die auch schlecht erforschte oder unbekannt Arten schützen (Myers et al. 2000; Joppa et al. 2011; Laurance & Edwards 2011).

Über den Schutz einer typischen Waldbiodiversität hinaus wird der Beitrag von Wäldern mit natürlicher Entwicklung zur Kohlenstoffspeicherung vor dem Hintergrund des Klimawandels diskutiert (Luyssaert et al. 2008; Köhl et al. 2011; Herbst et al. 2015).

Obwohl NWE in verschiedener Hinsicht ein viel diskutiertes Thema war und ist, gab es bis vor Kurzem noch keine verlässlichen Erhebungen zu Umfang und Qualität dieser Wälder in Deutschland. Grund hierfür war unter anderem, dass es keine allgemein akzeptierte Definition für NWE gab. Ein Vorschlag für eine solche Definition wurde bereits im abgeschlossenen Vorhaben „Natürliche Waldentwicklung (5 %) als Ziel der Nationalen Strategie zur biologischen Vielfalt“ (NWE5, Engel et al. 2016) erarbeitet. Danach sind NWE-Flächen Waldbestände ohne direkte Eingriffe des Menschen. Die dauerhafte, rechtlich gesicherte Aufgabe der forstlichen Nutzung sowie das Unterlassen von Eingriffen zur Sicherung von Naturschutzziele auf einer zusammenhängenden Fläche von $\geq 0,3$ ha stellen hierfür die Grundvoraussetzungen dar. Mit diesen Flächen wird das Ziel verfolgt, eine dauerhafte, ungestörte Entwicklung natürlicher Prozesse zu ermöglichen. Als Wälder mit natürlicher Entwicklung gelten auch diejenigen waldfähigen Flächen, auf denen direkte Eingriffe des Menschen dauerhaft eingestellt sind und bei denen eine Waldsukzession absehbar ist. Zulässige Maßnahmen auf NWE-Flächen sind Waldschutzmaßnahmen bei Gefahr im Verzug, Jagd, Erholung und Forschung. Auf der Basis der Definition wurde in dem Projekt NWE5 eine Bilanz der NWE-Flächen in Deutschland erstellt, laut der es zum Stichjahr 2013 auf 1,9 % der Waldfläche in Deutschland eine natürliche Waldentwicklung gab

und langfristig eine Steigerung auf 3 % zu erwarten war (Engel et al. 2016). Ein Erreichen der quantitativen Ziele der NBS bezüglich NWE bis zum Jahr 2020 war nicht abzusehen. Eine durchgeführte naturschutzfachliche Bewertung und Lückenanalyse zeigte, dass die damalige NWE-Kulisse eine mittlere Naturnähe aufwies, hinsichtlich der Größenklassenverteilung der Einzelgebiete ausgewogen war und einige natürliche Waldtypen und Naturräume unterproportional vertreten waren (Meyer & Engel 2016; Schultze et al. 2016). Eine Analyse des ökonomischen Wertes ergab, dass große Teile der NWE-Kulisse auf produktiven Waldstandorten stockten (Wildmann et al. 2016).

Vor dem Hintergrund des noch nicht erreichten 5 %-Ziels der NBS und der identifizierten Lücken stellt sich die Frage, ob und wie das Ziel erreicht werden kann. Um den aktuellen Stand der Zielerreichung einschätzen zu können, ist zunächst eine Aktualisierung der Bilanz der NWE-Flächen notwendig.

Weiterhin gibt es in Deutschland über die im Projekt NWE5 bilanzierten Wälder mit natürlicher Entwicklung hinaus Waldflächen, die bereits seit längerem ungenutzt geblieben sind, ohne dass ihre natürliche Entwicklung verbindlich und dauerhaft gesichert ist (Engel et al. 2016). Auf diesen Flächen ist ein hoher naturschutzfachlicher Wert bei geringem wirtschaftlichen Interesse zu erwarten. Bei der Auswahl neuer NWE-Flächen sollten diese Flächen eine wichtige Rolle spielen, um Synergien zwischen naturschutzfachlichen und wirtschaftlichen Zielen zu erschließen. Auswertungen der dritten Bundeswaldinventur (BWI³) von Kroiher & Bolte (2015) ergeben beispielsweise, dass auf insgesamt 5,6 % der Waldfläche in Deutschland eine Nutzung nicht zu erwarten ist. Diese Flächen wurden zum Teil bereits für eine Anrechnung in der NWE-Bilanz ins Spiel gebracht (Kroiher & Bolte 2015). Daher ist es sinnvoll, den Umfang dieser Waldflächen ebenfalls belastbar zu erheben, sowie ihre Anerkennungsfähigkeit und naturschutzfachliche Eignung vor dem Hintergrund des angestrebten Lückenschlusses zu prüfen.

Zunächst soll eine Definition aufgestellt werden, die die NWE-Potenzialflächen ($NWE_{pot.}$) hinreichend präzise beschreibt. Auf dieser Grundlage kann der Wert von $NWE_{pot.}$ für eine Ergänzung der NWE-Kulisse diskutiert werden. Zentrale Fragen sind hierbei der naturschutzfachliche Wert, die ökonomischen Kosten und die Notwendigkeit einer dauerhaften Sicherung. Um $NWE_{pot.}$ -Flächen für eine operationale Auswahl lokalisieren zu können, ist zudem eine räumliche Konkretisierung der Flächen notwendig.

Die weitere Ausgestaltung der NWE-Kulisse sollte grundsätzlich den Konzepten einer systematischen Schutzgebietsplanung folgen, um einen wirksamen und effizienten Schutz

der Biodiversität zu gewährleisten. In der Vergangenheit wurde häufig das Fehlen solcher Ansätze bei der Planung von Schutzgebieten bemängelt (Diepolder 1997; Blab 2002). In Europa und Deutschland wurden aber auch bereits Planungsansätze angewandt, die sich an systematischen Methoden orientieren (Blab 2002; Meyer et al. 2007; Kati et al. 2015). Systematische Planungsansätze sollen den umfassenden Schutz der Biodiversität gewährleisten (Margules & Pressey 2000). Hierzu gehört im Wald neben einer repräsentativen Abdeckung aller Waldtypen und Standorte mit ihrer jeweils typischen biologischen Vielfalt auch ein effizientes Vorgehen. Dieses ist vor dem Hintergrund konkurrierender Nutzungsinteressen und limitierter Ressourcen unumgänglich, wenn das Gesamtziel „Schutz der Biodiversität“ realisierbar bleiben soll.

Die vorliegende Arbeit wurde im Rahmen des Forschungs- und Entwicklungsvorhaben „Perspektiven und Potenziale für die Entwicklung eines kohärenten NWE-Systems“ (NWePP) durchgeführt. Das Vorhaben sollte Grundlagen für die quantitative und qualitative Weiterentwicklung der NWE-Flächenkulisse durch die Einbeziehung von NWE_{pot.}-Flächen aufzeigen. Das Vorhaben wurde vom Bundesamt für Naturschutz (BfN) mit Mitteln des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) gefördert.

Für die vorliegende Arbeit ergaben sich folgende operationale Fragestellungen

... hinsichtlich des Bestands der NWE-Flächen:

Wird das 5 %-Ziel bzw. das 10 %-Ziel der NBS von den Waldbesitzern umgesetzt?

Wie groß ist die Lücke zum 5 %-Ziel bzw. zum 10 %-Ziel zum Stichjahr 2019?

Welche Aussichten gibt es, die Ziele zum Stichjahr 2020 bzw. danach zu erreichen?

Wie kann die Erhebung der NWE-Kulisse in Zukunft verbessert werden?

... hinsichtlich der naturschutzfachlichen Bewertung der bestehenden NWE-Kulisse:

Wie kann der Wirkungsgrad der NWE-Kulisse hinsichtlich des Schutzes der typischen Biodiversität bestimmter Waldgesellschaften eingeschätzt werden?

Wo bestehen Lücken bzw. Handlungsfelder in der NWE-Kulisse?

Ist eine positive oder negative Entwicklung des Schutzes der typischen Waldbiodiversität zwischen den Stichjahren 2013 und 2019 in der NWE-Kulisse zu beobachten?

Welche Aussagekraft hat eine Lückenanalyse auf der Bundesebene und können daraus konkrete Handlungsempfehlungen für die regionale und lokale Planungsebene abgeleitet werden?

... hinsichtlich der potenziellen NWE-Flächen:

Gibt es in Deutschland natürliche Waldentwicklung außerhalb von Schutzgebieten?

Wie können NWE-Potenzialflächen identifiziert und quantifiziert werden?

Sind diese Flächen für einen Lückenschluss der rechtlich gesicherten NWE-Kulisse geeignet?

Besteht eine Notwendigkeit für eine dauerhafte Sicherung?

2 Methoden

2.1 Definitionen von NWE und NWE-Potenzialflächen

Eine Definition für Wälder mit natürlicher Entwicklung (NWE) wurde bereits von Engel et al. (2016) erarbeitet. Die Definition lehnt sich an die *Assessment Guidelines for Protected Forests* der Ministerkonferenz zum Schutz der Wälder in Europa (MCPFE) sowie an die Klassifizierung der *International Union for Conservation of Nature and Natural Resources* (IUCN) für die Kategorien I (*strict nature reserve / wilderness area*) und II (*national park*) an (MCPFE 2002; Dudley 2008). Demnach findet auf NWE-Flächen eine natürliche Entwicklung statt, welche durch eine rechtliche Sicherung dauerhaft als Bestimmungszweck festgelegt ist (Tabelle 1). Bei NWE-Flächen steht also die Absicht einer dauerhaften natürlichen Entwicklung im Vordergrund, welche sich durch eine zweckgebundene Sicherung und Abgrenzung der Fläche ausdrückt. Zulässige Maßnahmen auf NWE-Flächen sind Waldschutzmaßnahmen bei Gefahr im Verzug, Jagd, Erholung und Forschung.

Auf NWE-Potenzialflächen ($NWE_{pot.}$) ist davon auszugehen, dass mit hoher Wahrscheinlichkeit mitunter seit Jahrzehnten eine natürliche Entwicklung stattfindet, die jedoch nicht dauerhaft gesichert und nicht als Bestimmungszweck festgelegt ist. Die natürliche Waldentwicklung findet dabei aus anderen Gründen als der zielgerichteten Sicherung von NWE statt. Ein geringer zu erwartender wirtschaftlicher Ertrag ist vermutlich in der Regel der Hauptgrund.

NWE-Flächen und NWE-Potenzialflächen weisen einige gemeinsame Merkmale auf, unterscheiden sich aber vor allem hinsichtlich der zweckbestimmten Sicherung der Flächen (Tabelle 1). Ein weiterer Unterschied ist, dass auf NWE-Flächen die zukünftige Planung von natürlicher Waldentwicklung als Grundlage für die Anerkennung als NWE-Fläche genügt, während sich NWE-Potenzialflächen in der Regel bereits seit Jahrzehnten natürlich entwickeln. Laut der Naturnäheklassifikation von Buchwald (2005) sind $NWE_{pot.}$ -Flächen somit als mindestens „*long untouched forests (n5)*“ zu bezeichnen.

Tabelle 1: Merkmale von NWE-Flächen und NWE-Potenzialflächen (NWE_{pot.}-Flächen).

Pflegeeingriffe beziehen sich sowohl auf forstliche Eingriffe als auch auf Naturschutzmaßnahmen. Waldfähige Sukzessionsflächen, die zum Zeitpunkt der Bewertung noch nicht bewaldet sind, sind als NWE-Flächen anererkennungsfähig. v = trifft zu, x = trifft nicht zu, ? = offen, (v) = trifft in der Regel zu, (x) = trifft in der Regel nicht zu

	NWE	NWE_{pot.}
keine forstliche Nutzung	v	v
keine Pflegeeingriffe	v	v
waldfähig	v	v
verbindliche Sicherung	v	x
Zweck NWE	v	x
Mindestflächengröße 0,3 ha	v	?
NWE in der Vergangenheit	?	(v)
räumliche Abgrenzung	(v)	(x)

2.2 Aktualisierung und Bilanz der NWE-Kulisse

2.2.1 Datengrundlage der NWE-Bilanz und Wiederholungsabfrage

Die NWE-Ziele der NBS beziehen sich auf die Gesamtwaldfläche in Deutschland (5 %-Ziel) und außerdem auf den öffentlichen Wald (10 %-Ziel). Grundlage für die Bilanzierung im Projekt NWEPP ist die Waldfläche der BWI³. Diese beinhaltet 11.419.124 ha Wald, davon 5.933.446 ha öffentlicher Wald (Thünen-Institut 2019). Die Ziele für den Gesamtwald und den öffentlichen Wald belaufen sich somit auf 570.956 bzw. 593.345 ha.

Die zum Stichjahr 2013 im Projekt NWE5 aufgebaute Datenbank der NWE-Flächen (Engel et al. 2016) stellt die Grundlage für die aktualisierte Bilanz zum Stichjahr 2019 dar. Im Zuge einer Wiederholungsabfrage wurden 100 Waldbesitzer und Dachverbände in Deutschland, darunter

- alle Landesforstbetriebe,
- alle Obersten Forst- und Naturschutzbehörden,
- Dachverband der privaten Waldbesitzer,
- Dachverbände der kommunalen Waldbesitzer,
- sowie Stiftungen und Verbände

um die Bereitstellung aktueller Datensätze zu NWE-Flächen gebeten. Die Meldung von NWE-Flächen oder die Bereitstellung von Sachinformationen zu entsprechenden Flächen war von Februar 2018 bis einschließlich Februar 2019 möglich.

Den Waldbesitzern wurde ein Dokument mit den Mindestanforderungen an NWE-Flächen sowie eine detaillierte Beschreibung der benötigten Sachinformationen bereitgestellt (Anhang Abbildung 26). Sie wurden gebeten, möglichst flächenscharfe Informationen in Form von Geodaten bereitzustellen, hatten jedoch auch die Möglichkeit Punktkoordinaten oder textliche bzw. tabellarische Angaben zu machen, wenn eine flächenscharfe Auskunft nicht möglich war. Rückfragen zu den gemeldeten Daten konnten jederzeit mit einer von den Waldbesitzern benannten Hauptansprechperson und/oder mit einer speziell für die Datenbereitstellung benannten Ansprechperson besprochen werden.

Über die konkreten Datenlieferungen hinaus wurden Recherchen zu Entwicklungen in den Nationalparks und dem Nationalen Naturerbe durchgeführt und weiteren Hinweisen auf NWE-Flächen nachgegangen.

2.2.2 Bilanzierung

Die Bilanzierung wurde nach dem im Projekt NWE5 erarbeiteten Schema durchgeführt (Engel et al. 2016). Dabei wurden die von den Waldbesitzern bereitgestellten Angaben zum Schutzstatus verwendet, um die Anerkennungsfähigkeit als NWE-Fläche zu prüfen. Die Prüfung basierte auf den drei Säulen

- Art der rechtlichen Bindung,
- Dauerhaftigkeit und
- Zweckbindung für NWE.

Flächen wurden anerkannt, wenn eine dauerhafte natürliche Waldentwicklung auf der Grundlage einer rechtsverbindlichen Sicherung vorlag und die natürliche Waldentwicklung das primäre Ziel für die Fläche war (vgl. Abschnitt 2.1). Die dokumentierte Eigenbindung im Sinne eines schriftlich dokumentierten Waldnaturschutzkonzepts wurde als verbindliche Sicherung gewertet. Die Angabe zum Stichjahr der Ausweisung wurde verwendet, um die Bilanz zeitlich nach den Stichjahren 2019, 2020 und nach 2020 zu differenzieren.

Da die Waldbesitzer bei der Wiederholungsabfrage ausdrücklich um Bereitstellung von Informationen zu NWE-Flächen und nicht zu temporär nutzungsfreien Flächen gebeten wurden, stellte die Prüfung auf Anerkennungsfähigkeit lediglich einen formalen Schritt dar. Im Unterschied zum Projekt NWE5 wurden neben der Bilanz der NWE-Flächen keine

Zuordnungen in „schwächere“ Bilanzvarianten („Erweiterungsbilanzen“, z. B. mit eingeschränkte Dauerhaftigkeit) vorgenommen.

Für die räumlich konkretisierten NWE-Flächen wurde eine Überlagerungsanalyse mit den bestehenden NWE-Flächen durchgeführt. In den Fällen, in denen ein Waldbesitzer eine komplett überarbeitete NWE-Kulisse zur Verfügung gestellt hatte, wurde die alte Flächenkulisse des Waldbesitzers durch die Neue ersetzt.

Die Grundlage der prozentualen Angaben in der Bilanz ist die Waldfläche der dritten Bundeswaldinventur. In dem Projekt NWE5 wurde hingegen die Waldfläche der zweiten Bundeswaldinventur verwendet.

Die Geo- und Sachdaten werden in einer PostgreSQL-Datenbank gehalten und verarbeitet (PostGIS 2019; The PostgreSQL Global Development Group 2019).

2.3 Bewertung und Lückenanalyse der NWE-Kulisse

Die naturschutzfachliche Bewertung dient vor allem dazu den Beitrag des NWE-Systems zu einem umfassenden Schutz der Biodiversität einzuschätzen. Auf der Grundlage der Bewertung können Handlungsfelder identifiziert und Entwicklungen beschrieben werden. Betrachtet wurde die Verteilung der NWE-Flächen auf die naturräumlichen Großlandschaften (BfN 2008), die Naturnähe, die Repräsentativität der aktuellen Bestockung (real) sowie die Repräsentativität der natürlichen Waldtypen (potenziell).

Die Repräsentativität ist eines der Konzepte einer systematischen Schutzgebietsplanung, und spielt dort eine entscheidende Rolle (Wright 1977; Margules & Pressey 2000; Kukkala & Moilanen 2013). Mit einem repräsentativen Schutzgebietssystem soll erreicht werden, dass die Biodiversität, d. h. Biotoptypen-, Biozöosen- und Artenspektrum, möglichst vollständig geschützt wird.

Da es sich um eine Wiederholung der zum Stichjahr 2013 durchgeführten Bewertung handelt, wurden aus Gründen der Vergleichbarkeit die bei Meyer & Engel (2016) beschriebenen Methoden, Referenzsysteme und -daten verwendet.

2.3.1 Überblick über die verwendeten Referenzsysteme

Naturräumliche Großlandschaften

Die naturräumlichen Großlandschaften des BfN wurden verwendet, um eine naturschutzfachlich aussagekräftige räumliche Gliederung Deutschlands zu ermöglichen (Abbildung 1). Die Großlandschaften basieren auf dem System von Meynen & Schmithüsen (1962) und wurden vom BfN vor dem Hintergrund der Anwendung im FFH-Bereich angepasst (Riecken et al. 1994; BfN 2008).



Abbildung 1: Naturräumliche Großlandschaften Deutschlands (BfN 2008)

Hintergrundkarte: © GeoBasis-DE / BKG (2019)

Potenzielles Referenzsystem: Natürliche Waldtypen und Waldfläche Deutschlands

Die Karte der potenziellen natürlichen Vegetation (pnV) von Suck & Bushart (2010) stellt die einzige bundesweit verfügbare aktuelle Referenz für den natürlichen Zustand der Vegetation dar. In der pnV-Karte wird zwischen insgesamt 347 verschiedenen Kartiereinheiten, welche häufig Komplexe von ähnlichen oder verzahnten Pflanzengesellschaften darstellen, unterschieden. Aus Gründen der Darstellbar- und Auswertbarkeit wurden die Kartiereinheiten zu vereinfachten Typen zusammengefasst, die nachfolgend als natürliche Waldtypen (NWT) bezeichnet werden (Tabelle 2 und Abbildung 2). Für eine detaillierte Zuordnung der Kartiereinheiten zu den NWT siehe Anhang Tabelle 10.

Tabelle 2: Natürliche Waldtypen (NWT) und deren Kurzformen.

* = Latschengebüsche konnten nicht hinsichtlich der Repräsentativität ausgewertet werden, da deren Waldstatus in Bundeswaldinventur und Landbedeckungsmodell widersprüchlich ist.

NWT	Kurzform
Birken-Eichenwälder frischer bis feuchter Standorte	Birken-Eichenwälder frisch
Buchenwälder basen-kalkreicher Standorte	Buchenwälder reich
Buchenwälder bodensaurer Standorte	Buchenwälder arm
Buchenwälder mäßig basenreicher Standorte	Buchenwälder mäßig arm
Eichen-Hainbuchenwälder frischer bis feuchter Standorte	Eichen-Hainbuchenwälder frisch
Eichen-Hainbuchenwälder trocken-warmer Standorte	Eichen-Hainbuchenwälder trocken
Eichenmischwälder trocken-warmer basenreicher Standorte	Eichenmischwälder trocken/reich
Eichenwälder trocken-warmer bodensaurer Standorte	Eichenmischwälder trocken/arm
Erlen-Sumpf- und Bruchwälder	Sumpf- und Bruchwälder
Erlen-Ulmen-Auen- und Feuchtwälder sowie Weiden-Auenwälder	Auen- und Feuchtwälder
Fichtenwälder	keine gesonderter Kurzform
Latschengebüsche*	keine gesonderter Kurzform
Moorwälder	keine gesonderter Kurzform
Sand- und Silikat-Kiefernwälder	Kiefernwälder
Tannenwälder	keine gesonderter Kurzform

Durch die Verwendung der pnV bzw. der NWT wurde eine differenzierte Auswertung nach unterschiedlichen standörtlichen Bedingungen, die eine räumliche Variation der Biodiversität steuern, ermöglicht. Es wird davon ausgegangen, dass die NWT als Surrogat für eine umfassende Abdeckung der Biodiversität verwendet werden können (Faith & Walker 1996).

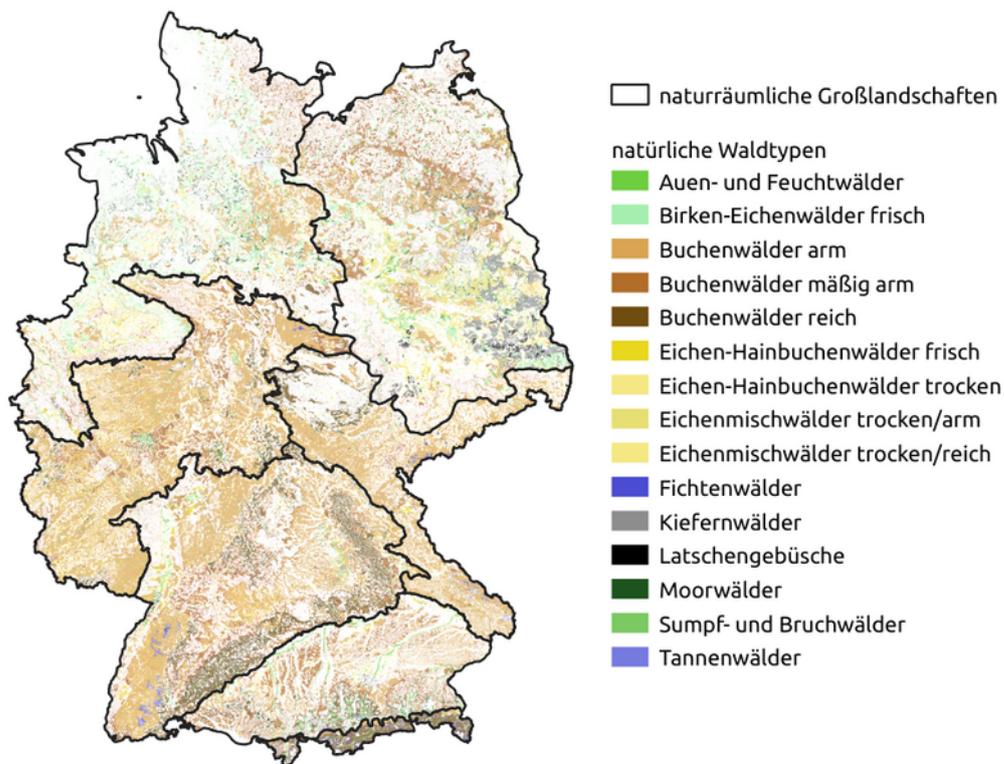


Abbildung 2: Verteilung der natürlichen Waldtypen im Wald in Deutschland modifiziert nach Suck & Bushart (2010)

Naturräumliche Großlandschaften Deutschlands (BfN 2008)

Für die Auswertungen der Repräsentativität auf der Ebene der naturräumlichen Großlandschaften (Abbildung 17, S. 45) wurden nur NWT berücksichtigt, die in der jeweiligen Großlandschaft relevant sind. Hierfür muss ein NWT innerhalb des Waldes einer Großlandschaft eine Mindestfläche von 100 ha aufweisen, es sei denn, eine Großlandschaft hat eine besondere Verantwortung für einen NWT. Eine besondere Verantwortung wurde angenommen, wenn der Anteil eines NWT innerhalb des Waldes einer Großlandschaft mindestens um den Faktor 1,5 höher ist als der zu erwartende Wert, welcher durch den Anteil der Gesamtwaldfläche innerhalb der Großlandschaft definiert wird.

Da sich die Auswertungen auf die Waldfläche in Deutschland beziehen, wurde weiterhin eine räumliche Repräsentation der Waldfläche benötigt. Hierfür wurde der Wald aus dem digitalen Landbedeckungsmodell für Deutschland (LBM) verwendet (BKG 2012, vgl. auch Abschnitt 2.4.1.1).

Reales Referenzsystem: Bestockungstypen und Altersklassen der BWI

Um die Repräsentativität der realen Bestockung abzuschätzen, wurden die Bestockungstypen der dritten Bundeswaldinventur (BWI³) verwendet (Riedel et al. 2017). Da für die NWE-Flächen je Beschreibungseinheit maximal drei verschiedene Baumarten von den Waldbesitzern angegeben wurden, konnte ein umfassender Vergleich von Baumartenanteilen nicht durchgeführt werden. Die Bestockungstypen der BWI³ sind jedoch durch die führende Baumart definiert und konnten somit für einen Abgleich mit den Informationen der NWE-Flächen verwendet werden. Die Bestockungstypen wurden für die Auswertungen weiterhin zu vereinfachten Typen zusammengefasst (Tabelle 3). Der Bestockungstyp der BWI³ „Typ mit mehreren gleichrangigen Baumarten“ blieb unberücksichtigt, da den Baumarten im NWE-Datensatz immer ein Rang zugeordnet wurde.

Tabelle 3: Bestockungstypen der dritten Bundeswaldinventur (BWI³) und vereinfachte Typen.

ALh = anderes Laubholz mit hoher Lebensdauer, ALn= anderes Laubholz mit niedriger Lebensdauer, ANH = anderes Nadelholz

vereinfachter Typ	Bestockungstypen BWI³	führende Baumarten BWI³
Buche	Buchen-Typ	Buche
Eiche	Eichen-Typ	alle Eichen
ALh	Typ sonst. Laubbäume mit hoher Lebensdauer, Eschen-Typ	sonstige Laubbäume mit hoher Lebensdauer, alle Eschen
ALn	Typ sonst. Laubbäume mit niedriger Lebensdauer, Birken-Typ, Erlen-Typ	sonstige Laubbäume mit niedriger Lebensdauer, alle Birken, alle Erlen
Fichte	Fichten-Typ	alle Fichten und sonstige Nadelbäume
Kiefer	Kiefern-Typ	alle Kiefern
ANH	Tannen-, Douglasien- und Lärchentyp	alle Tannen, Douglasien, alle Lärchen

2.3.2 Naturnähe der Baumartenzusammensetzung

Für die Beschreibungseinheiten der NWE-Flächen liegen Informationen zur Bestockung mit unterschiedlicher Informationstiefe vor: Von den Waldbesitzern wurden ein bis drei Baumarten oder ein Bestockungstyp je Beschreibungseinheit genannt. Um für möglichst viele Beschreibungseinheiten eine Aussage zur Naturnähe treffen zu können, wurde das von Meyer & Engel (2016) konzipierte Verfahren verwendet, das darauf ausgelegt ist, die Naturnähe in Abhängigkeit von der Informationstiefe zu ermitteln. Für die in Abschnitt 2.3.1

beschriebenen natürlichen Waldtypen wurden Haupt-, Neben- und Pionierbaumarten festgelegt (vgl. Meyer & Engel 2016, Anhang Abbildung 27). Ein Abgleich der Bestockungsinformation der NWE-Flächen mit den Baumarten der auf den jeweiligen NWE-Flächen vorkommenden natürlichen Waldtypen ergibt die Naturnähe, die in den sechs Stufen kulturbestimmt, kulturbetont, bedingt naturnah, eingeschränkt naturnah, naturnah, sehr naturnah angegeben wurde. Eine detaillierte Zuordnung der einzelnen Kombinationen von Baumartennennungen, Baumarten der natürlichen Waldtypen und resultierenden Naturnähestufen findet sich in Anhang Tabelle 11.

2.3.3 Kenngrößen

Proportionalitätsquotient

Der Proportionalitätsquotient (PQ) quantifiziert inwieweit eine bestimmte Einheit proportional in der NWE-Kulisse im Vergleich zum Anteil im Gesamtwald vertreten ist. Er berechnet sich aus dem Verhältnis des Anteils einer Einheit innerhalb der NWE-Kulisse zum Anteil der Einheit im Gesamtwald. Nimmt beispielsweise ein natürlicher Waldtyp 10 % der NWE-Kulisse ein, jedoch 20 % der Gesamtwaldfläche, so ist der Typ in der NWE-Kulisse unterproportional vertreten (PQ = 0,5). Als unterer Grenzwert einer proportionalen Repräsentativität wird ein PQ von 0,9 festgelegt.

$$PQ = \frac{\frac{\sum_{i=1}^n ANWE_i}{ANWE}}{\frac{\sum_{k=1}^m AW_k}{AW}} \quad (1)$$

Es bedeuten:

PQ	=	Proportionalitätsquotient
ANWE _i	=	Einzelflächen i ... n der betrachteten Einheit in der NWE-Flächenkulisse
ANWE	=	Gesamtfläche NWE
AW _k	=	Einzelflächen k ... m der betrachteten Einheit im Wald in Deutschland
AW	=	Waldfläche Deutschlands

Protection Equality Index

Um den Grad der Abweichung von einem repräsentativ ausgeglichenen System zu vergleichen, wurde der *Protection Equality Index* (PE) verwendet (Chauvenet, Kuempel, & Possingham 2017; Chauvenet, Kuempel, McGowan, et al. 2017). Dieser basiert auf der Lorenz-Kurve, welche häufig in der Ökonomie verwendet wird, um das Ausmaß an Ungleichheit zu veranschaulichen.

Der PE wird aus dem Verhältnis der Fläche unter der Lorenz-Kurve der jeweiligen Schutzgebietskulisse (U) zu der gesamten Fläche unter der Linie der perfekten Ausgeglichenheit (V+U) berechnet und nimmt Werte von 0 (maximal unausgeglichen) bis 1 (perfekt ausgeglichen) an (Abbildung 3).

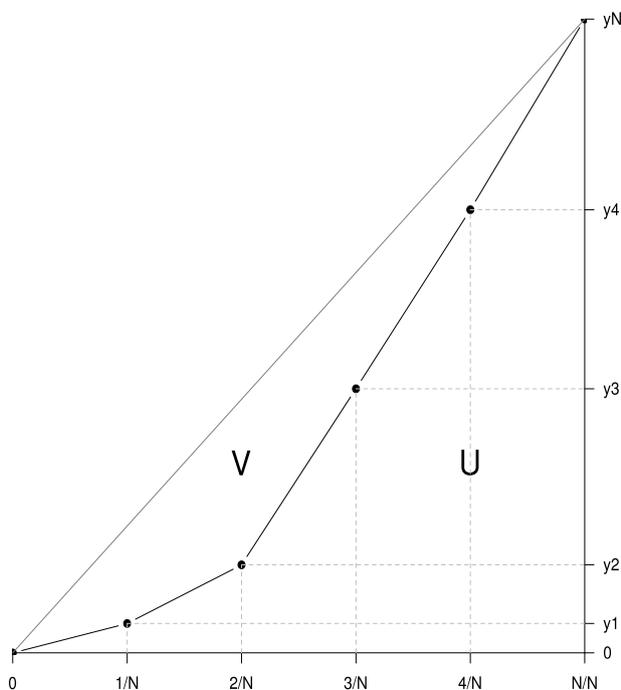


Abbildung 3: Veranschaulichung der Berechnung der *Protection Equality* (PE).

Die Linie der vollkommenen Gleichheit ist grau dargestellt. Die schwarze Kurve entspricht der Lorenz-Kurve und wird durch den kumulativen Proportionalitätsquotienten der Ökoregionen i bis i/N mit $1 \leq i \leq N$ gebildet. Die gestrichelten Linien markieren die Dreiecke und Rechtecke, die zur Annäherung an den Bereich U verwendet werden, wobei PE als das Verhältnis von U zu U+V berechnet wird. Nach Chauvenet, Kuempel, McGowan, et al. (2017)

In Schutzgebietssystemen sollten seltene Schutzgüter auf Grund ihrer Gefährdung überproportional vertreten sein, um für diese einen nachhaltigen Schutz zu gewährleisten (Gonzales et al. 2003; Rodrigues et al. 2004; Maiorano et al. 2007; Meyer et al. 2011; Vimal et al. 2011). Eine rechnerisch proportionale Abbildung von Schutzgütern kann sich somit nur

auf nicht-seltene Schutzgüter beziehen, da gewollt überproportional repräsentierte, seltene Schutzgüter zwangsläufig zu einem rechnerisch unausgeglichene System führen. In der vorliegenden Studie wurden aus diesem Grund nur nicht-seltene Schutzgüter zur Berechnung von Lorenz-Kurven und PE-Indizes herangezogen. Seltene NWT wurden durch einen Anteil von <1 % an der Gesamtwaldfläche definiert.

2.3.4 Limitierungen

Die naturschutzfachliche Bewertung der NWE-Kulisse basiert auf Sachinformationen zu den NWE-Flächen, welche nicht immer für die gesamte Kulisse vorlagen. Während flächig vorliegende Sachinformationen wie beispielsweise die Karte der pnV auf alle als Geodaten vorliegende NWE-Flächen abgebildet werden konnte, weisen die von den Waldbesitzern angegebenen Informationen zum Teil Lücken auf. Die jeweiligen Auswertungen konnten dementsprechend nur für die Flächenanteile der NWE-Kulisse durchgeführt werden, für die entsprechenden Informationen vorlagen:

- Repräsentativität der naturräumlichen Großlandschaften: 92 %,
- Repräsentativität der Natürlichen Waldtypen: 82 %,
- Repräsentativität der Baumartengruppen und Altersklassen: 43 %,
- Naturnähe der Baumartenzusammensetzung: 69 %,
- Größenklassen: 82 %.

2.4 Modellierung von NWE_{pot.}-Flächen

Ziel der Modellierung war es, NWE_{pot.}-Flächen für den Wald in Deutschland zu identifizieren. Zu diesem Zweck wurde die Wahrscheinlichkeit für das Vorhandensein einer NWE_{pot.}-Fläche mit Hilfe eines statistisches Modell geschätzt, welches auf bekannten Wäldern mit und ohne Nutzung (binominal verteilte abhängige Variable) sowie auf flächig vorliegenden erklärenden Variablen beruht. Für die abhängige Variable wurde hierbei auf die Traktecken der BWI zurückgegriffen. Die erklärenden Variablen lagen lückenlos für den gesamten Wald (LBM, vgl. Abschnitt 2.4.1.1) vor.

2.4.1 Datengrundlagen und abgeleitete Größen

2.4.1.1 Ausgangsdaten

Dritte Bundeswaldinventur (BWI)

Die BWI erfasst die großräumigen Waldverhältnisse und forstlichen Produktionsmöglichkeiten in Deutschland in allen Ländern und Eigentumsarten nach dem

gleichen Verfahren. Die BWI ist als eine permanente, einphasige, stratifizierte Trakt-Stichprobe konzipiert. Die terrestrischen Stichproben sind in einem systematischen Stichprobenraster mit regional unterschiedlicher Stichprobendichte (Verdichtungsgebiete) angeordnet. Das Grundnetz hat eine Gitterweite von 4x4 km. Aus den Stichprobendaten werden über die verschiedenen Aggregationsebenen (Objekt, Traktecken, Trakte, Sampling Straten, Gebiete) Schätzwerte für die Grundgesamtheit in einem Gebiet ermittelt (Riedel et al. 2017). Ein einzelner Stichprobenplot wird im Folgenden als Traktecke bezeichnet.

Die Basisdaten der BWI stehen in Form einer Datenbank öffentlich zur Verfügung (<https://bwi.info/>). Die exakten Koordinaten der Traktecken sind nicht öffentlich zugänglich, wurden aber über einen Nutzungsvertrag projektgebunden vom Thünen-Institut bereitgestellt.

Die Informationen der BWI wurden in erster Linie verwendet, um tatsächlich genutzte und nicht genutzte Wälder zu identifizieren, welche als abhängige Variable in das Modell zur Schätzung der Wahrscheinlichkeit von $NWE_{pot.}$ eingingen.

Traktecken, auf denen eine Nutzung stattgefunden hat, können direkt aus der BWI identifiziert werden. Zu diesem Zweck wurde auf das Probebaummerkmal „Probebaumkennziffer“ zurückgegriffen (BMELV 2011): Traktecken, die Probebäume mit den Merkmalsausprägungen

- „selektiv entnommener Probebaum der vorherigen Inventur“ (2),
- „bei Kahlschlag entnommener Probebaum der vorherigen Inventur“ (3) oder
- „nicht mehr auffindbarer Probebaum der vorherigen Inventur, auch nicht als Stock“ (9)

aufwiesen, wurden als genutzt klassifiziert.

Traktecken mit ungenutztem Wald können hingegen nicht direkt aus der BWI abgeleitet werden, da genutzte Bäume nicht in allen Fällen von der an den Traktecken durchgeführten Winkelzählprobe erfasst werden und außerdem die Nutzung bereits vor der ersten bzw. zweiten BWI stattgefunden haben kann. Aus diesem Grund mussten Traktecken mit tatsächlich nicht genutztem Wald bei einer Vor-Ort-Überprüfung direkt identifiziert werden (vgl. Abschnitt 2.4.2). Im Sinne einer effizienten Überprüfung wurden nur Traktecken aufgesucht, bei denen es Hinweise auf eine Nicht-Nutzung gab (vgl. Abbildung 4 und Kroiher & Bolte 2015). Die BWI-Merkmale „Nutzungseinschränkungen“ und „Begehbarkeit“ wurden verwendet, um entsprechende Traktecken zu selektieren.

Das Merkmal Nutzungseinschränkungen wird bei der BWI im Rahmen der Traktvorklärung angesprochen. Eine Nutzungseinschränkung liegt vor, wenn die mögliche Holznutzung

mindestens zu einem Teil nicht wahrgenommen werden kann (BMELV 2011). Der Grad der Nutzungseinschränkung wird in den vier Ausprägungen angegeben:

- keine Einschränkung der Holznutzung,
- Holznutzung nicht zulässig oder nicht zu erwarten,
- etwa 1/3 des üblichen Aufkommens erwartbar und
- etwa 2/3 des üblichen Aufkommens erwartbar.

Als Hinweis auf Nicht-Nutzung wurden Traktecken gewertet, die die Merkmalsausprägung „Holznutzung nicht zulässig oder nicht zu erwarten“ aufweisen.

Weiterhin wird in der BWI zwischen innerbetrieblichen und außerbetrieblichen Ursachen für die Nutzungseinschränkungen differenziert (BMELV 2011).

Merkmale der innerbetrieblichen Nutzungseinschränkungen sind:

- Geländeeigenschaften, Nassstandort,
- geringe Ertragserwartung ($GWL < 1\text{m}^3/\text{a} \cdot \text{ha}$),
- Schutzfläche mit Eigenbindung (z. B. Naturwald),
- sonstige innerbetriebliche Ursachen,
- Splitterbesitz mit unwirtschaftlicher Größe,
- Streulage und
- unzureichende Erschließung.

Merkmale der außerbetrieblichen Nutzungseinschränkung sind:

- Erholungswald,
- Naturschutz,
- Schutzwald und
- sonstige außerbetriebliche Ursachen.

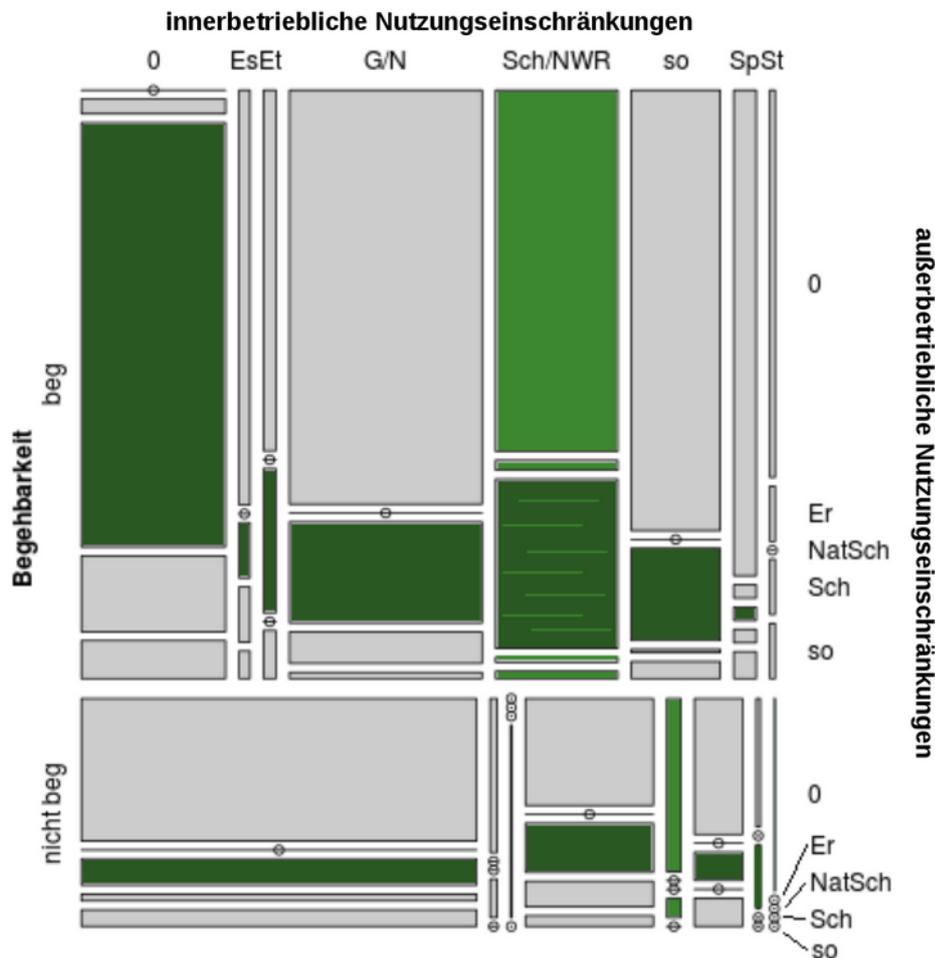


Abbildung 4: Teilmenge der Traktecken der dritten Bundeswaldinventur mit Hinweisen auf Nicht-Nutzung.

Die Flächen der Rechtecke entsprechen den Anteilen der einzelnen Kategorien. Bestockter Holzboden, Netz: 4x4 km. Grüntöne: wahrscheinlich dauerhaft gesicherte NWE-Flächen. Begehrbarkeit: beg=begehrbar, nicht beg = nicht begehrbar; innerbetriebliche Nutzungseinschränkungen: 0 = keine / Angabe fehlt, Es = unzureichende Erschließung, Et = geringe Ertragserwartung ($GWL < 1m^3/a \cdot ha$), G/N = Geländeeigenschaften, Nassstandort, Sch/NWR = Schutzfläche mit Eigenbindung (z.B. Naturwald), so = Sonstige innerbetriebliche Ursachen, St = Streulage, Sp = Splitterbesitz mit unwirtschaftlicher Größe; außerbetriebliche Nutzungseinschränkungen: 0 = keine / Angabe fehlt, Er = Erholungswald, NatSch = Naturschutz, Sch = Schutzwald, so = Sonstige außerbetriebliche Ursachen

Als besondere Teilmenge sind die Traktecken, die außerbetrieblich mit dem Grund „Naturschutz“ oder innerbetrieblich mit dem Grund „Schutzfläche mit Eigenbindung (z. B. Naturwald)“ belegt sind, zu betrachten. Bei diesen Traktecken kann davon ausgegangen werden, dass es sich um einen dauerhaften Nutzungsverzicht aus Gründen des Naturschutzes im Sinne von NWE-Flächen handelt. Während diese Flächen Gegenstand des vorangegangenen Projektes NWE5 waren (vgl. Engel et al. 2016), wurden im Projekt NWePP Flächen betrachtet, auf denen aus anderen Gründen die Nutzung ausbleibt.

Die Begehbarkeit von Traktecken wird bei der BWI während der Traktaufnahme angesprochen. Eine Traktecke ist nicht begehbar, wenn das Aufnahmeteam die notwendigen Arbeiten zur Traktaufnahme nicht durchführen kann (BMELV 2011). Nicht begehbare Traktecken wurden im Projekt NWePP als Hinweis auf Nicht-Nutzung gewertet.

Bei der BWI wird hinsichtlich der Nicht-Begehbarkeit zwischen den Gründen

- gefährliches Gelände,
- Betretungsverbot,
- Latschen / Schlehen und
- sonstige Gefahren

unterschieden.

Digitale Orthophotos

Digitale Orthophotos lagen in Form eines Web Mapping Services (WMS) des Bundesamts für Kartographie und Geodäsie (BKG) mit einer räumlichen Auflösung von 20 cm für Deutschland vor (BKG 2018). Zusätzlich stand ein WMS-Dienst mit den Aufnahmedaten der Luftbilder zu Verfügung.

Die Luftbilder wurden zur Planung und Auswertung der Vor-Ort-Überprüfung sowie fortlaufend zur Ansprache von einzelnen Waldbeständen verwendet.

Geländemodell

Das Digitale Geländemodell (DGM25) beschreibt die Geländeformen der Erdoberfläche durch eine in einem regelmäßigen Gitter angeordnete, in Lage und Höhe georeferenzierte Punktmenge. Die Gitterweite beträgt 25 m, die Höhen- und Lagegenauigkeit beträgt $\pm 1 - 3$ m (BKG 2012).

Das DGM25 wurde in Form der Höhe über dem Meeresspiegel und einer abgeleiteten Hangneigung verwendet. Die Hangneigung wurde mit der Software GRASS GIS (GRASS Development Team 2018) berechnet. Weiterhin wurde das Geländemodell verwendet, um hydrologische Größen wie die *Vertical distance to channel network* und den *Topographic wetness index* abzuleiten (vgl. Abschnitt 2.4.1.2).

Landbedeckungsmodell

Das Digitale Landbedeckungsmodell für Deutschland (LBM) beschreibt die topographischen Objekte der Landschaft unter dem Aspekt der Landbedeckung und Landnutzung lückenlos und überlagerungsfrei mit einer Mindestkartierfläche von 1 ha (BKG 2012).

Das LBM diente als Datengrundlage für die flächenscharfe Darstellung der Waldfläche Deutschlands. Weiterhin wurden auf der Grundlage des LBM landschaftsökologische Fragestellungen zu Kleinflächigkeit und Isolation angesprochen. Das LBM lag im Vektorformat vor. Aus dem LBM wurden die Landbedeckungsformen Laub-, Nadel- oder Mischwald (B311, B312, B313) ausgewählt, um den Wald abzubilden. Die Landbedeckungsform „Büsche, Sträucher, junge Bäume“ (B324) wurde ebenfalls ausgewählt, wenn die Landnutzungsform auf diesen Flächen mit Forst (N311) angegeben war. Als alternative Datengrundlage für die Darstellung der Waldfläche wurde die zum Stichjahr 2006 erstellte und auf Satellitendaten basierende *Forest Type Map Europe* (FTM) in Betracht gezogen. Die Daten sind frei verfügbar und können vom *Joint Research Center* der Europäischen Kommission bezogen werden (European Commission 2019). Auf der Grundlage eines Abgleichs des LBM und der FTM mit den Informationen der BWI³ fiel die Entscheidung für das LBM aus: Das LBM2012 beinhaltet mit rund 11.287.000 ha Wald eine mit der Waldfläche der BWI³ vergleichbare Größe (11.419.124 ha). Die FTM liegt mit rund 15.583.000 ha Wald deutlich darüber. Die Traktecken der BWI, die der Waldfläche zugerechnet werden (beinhaltet auch Nichtholzboden), sind im LBM zu 94 % und in der FTM zu 88 % als Wald klassifiziert. Der Nicht-Wald im LBM stimmt in 98 % der Fälle mit der BWI³ überein, im Falle der FTM sind es nur 95 % (Tabelle 4).

Tabelle 4: Verifizierung der zur Verfügung stehenden Datengrundlagen für die flächige Repräsentation von Wald in Deutschland auf der Grundlage der Wald- und Nicht-Waldecken der BWI³.

Netz BWI: 4x4 km, Waldecken BWI: Blöße, Nichtholzboden, Holzboden und Kurzumtriebsplantage. Wald im Landbedeckungsmodell (LBM): Landbedeckung Laub-, Nadel- oder Mischwald (B311, B312, B313) sowie Landbedeckung Baum/Strauch (B324) wenn Landnutzung Forst (N311). Wald in der *Forest Type Map* (FTM): Laub- (11) und Nadelwald (12)

		BWI ³ Nicht-Wald		BWI ³ Wald	
		Anzahl	Prozent	Anzahl	Prozent
LBM	Wald	1.497	2,5	26.920	94,1
	kein Wald	59.548	97,5	1.687	5,9
FTM	Wald	3.117	5,1	25.220	88,2
	kein Wald	57.928	94,9	3.387	11,8

Digitales Basis-Landschaftsmodell (Basis-DLM)

Das Basis-DLM beinhaltet eine Beschreibung der topographischen Objekte der Landschaft im Vektorformat auf der Grundlage der Festlegungen des ATKIS-Objektartenkatalogs. Der Informationsumfang des Basis-DLM orientiert sich am Inhalt der topographischen Karte 1:10.000/1:25.000, weist jedoch eine höhere Lagegenauigkeit (± 3 m) für die wichtigsten linienförmigen Objekte auf (BKG 2016).

OpenStreetMap (OSM)

OpenStreetMap (OSM) ist eine freie Karte, die von einer Vielzahl von Personen weltweit erstellt und verwaltet wird. Die Karte ist aus verschiedenen Kartenelementen wie zum Beispiel Wegen und Gewässern aufgebaut (OpenStreetMap contributors & Geofabrik GmbH 2016). Die Informationen aus OSM und Basis-DLM wurden verwendet um die Größen *Vertical Distance to Channel Network* und die Distanz zur Erschließung zu berechnen (vgl. Abschnitt 2.4.1.2).

Biotopkartierungen der Länder

Die Biotopkartierungen der Länder wurden gesammelt vom BfN bereitgestellt. Der Datenstand ist laut Auskunft des BfN heterogen und lückenhaft (mündl. Mitteilung). Aus diesem Grund kamen die Biotopkartierungen nicht als Variable für das $NWE_{pot.}$ -Modell in Frage. Sie konnten jedoch genutzt werden, um die Verlässlichkeit der abgeleiteten hydrologischen Variablen *Vertical Distance to Channel Network* und *SAGA Topographic Wetness Index* zu verifizieren (vgl. Abschnitt 2.4.1.2). Zu diesem Zweck wurden Biotoptypen entlang eines Gradienten des Wassereinflusses ausgewählt und hinsichtlich der Ausprägung der genannten Variablen verglichen. Für diesen Arbeitsschritt war eine Vollständigkeit der Biotopkartierungen nicht notwendig.

2.4.1.2 Abgeleitete Größen

Distanz zur Erschließung

Die Distanz zur Erschließung stellt eine Variable des Modells zur Ermittlung der Wahrscheinlichkeit von $NWE_{pot.}$ dar. Als Datengrundlage wurden die kombinierten Wege aus der OSM und dem Basis-DLM verwendet. Das Wegenetz aus der OSM wurde heruntergeladen und auf die für eine forstliche Erschließung geeigneten Wege reduziert. Die Klassifikation fand hierbei gutachterlich statt (Tabelle 5).

Tabelle 5: Wegetypen in der OpenStreetMap (OSM) und deren Klassifizierung hinsichtlich der Eignung als forstliche Erschließung

Bezeichnung OSM	Beschreibung	Erschließung
<i>bridleway</i>	Reitwege, häufig begleitend zu Wirtschaftswegen	nein
<i>cycleway</i>	Radwege, häufig begleitend zu Straßen	nein
<i>footway</i>	Fußwege, Pfade	nein
<i>path</i>	Pfad, i. d. R. eine undefinierte Variante von <i>bridleway</i> , <i>cycleway</i> und <i>footway</i> .	nein
<i>steps</i>	Treppen	nein
<i>unknown</i>	unbekannt	nein
<i>road</i>	Bezeichnung für unbekanntem Wegetyp (wie <i>unknown</i>), kommt in aktuellen Daten nicht vor	nein
<i>living_street</i>	verkehrsberuhigte Wohnstraße	ja
<i>motorway</i>	Autobahn	ja
<i>motorway_link</i>	Autobahnauffahrten	ja
<i>pedestrian</i>	Fußgängerzone	ja
<i>primary</i>	Bundesstraße	ja
<i>primary_link</i>	Zufahrten Bundesstraße	ja
<i>residential</i>	öffentl. Straßen in Wohngegend (ohne Verbindungsfunktion zwischen Ortschaften)	ja
<i>secondary</i>	Landstraßen	ja
<i>secondary_link</i>	Zufahrten Landstraßen	ja
<i>service</i>	Ein- und Zufahrten	ja
<i>tertiary</i>	kleinere Landstraßen	ja
<i>tertiary_link</i>	Zufahrten kleinere Landstraßen	ja
<i>track</i>	Wirtschaftswege Land- und Forstwirtschaft (ggf. Rückewege)	ja
<i>trunk</i>	Autostraßen (Hauptverkehrsnetz nach Autobahn)	ja
<i>trunk_link</i>	Zufahrt Autostraßen	ja
<i>unclassified</i>	kleinste Straßen, häufig Verbindung zwischen Dörfern. Bedeutet NICHT, dass Wegestatus unbekannt ist	ja

Aus dem Basis-DLM wurden linienartige Objekte der Objektarten Straßenverkehr (42001), Straße (42002), Straßenachse (42003), Fahrbahnachse (42005), Weg (42006), Fahrwegachse (42008) extrahiert und mit den Daten aus der OSM kombiniert.

Aus den kombinierten Daten wurde mit GRASS GIS, Version 7.4, eine Distanzkarte berechnet, die für jede 25x25 m Rasterzelle die Distanz in Metern zu der nächstgelegenen Erschließung angibt.

Visuelle Stichproben lassen erkennen, dass die Vollständigkeit der Erschließung (OSM und Basis-DLM) bundesweit auf einem sehr guten Niveau liegt, in einigen Bereichen, welche vor allem in den neuen Bundesländern liegen, jedoch auch Lücken aufweist. Da die Daten weitaus überwiegend sehr detailliert sind und die bestmögliche Datengrundlage für die bundesweite Abbildung der Erschließung darstellen, wurden sie trotz einiger Lücken für die Modellierungen verwendet. Auf die dadurch resultierenden Unschärfen im Ergebnis der Modellierung wird an gegebener Stelle hingewiesen.

Vertical Distance to Channel Network (VDCN)

Aus OSM und dem Basis-DLM wurden Fließgewässer extrahiert, um die Berechnung der hydrologischen Variable *Vertical distance to channel network* zu ermöglichen.

Die Größe VDCN wurde entwickelt, um verbesserte Aussagen zur räumlichen Verteilung von hydromorphen Böden machen zu können (Bock & Köthe 2008). Sie basiert auf Informationen aus einem Digitalen Geländemodell (DGM) und einem Netz von Fließgewässern. Zwischen den Fließgewässern, welche im Sinne von Tiefenlinien betrachtet werden, wird ein mittlerer Grundwasserhochstand interpoliert. Der Abstand zwischen dieser Oberfläche und der darüber liegenden Geländeoberfläche aus dem DGM stellt einen modellierten, mittleren Grundwasserflurabstand dar (Gehrt & Bock 2009). Dieser wird als VDCN bezeichnet. Die Größe VDCN wurde bereits erfolgreich im *digital soil mapping* verwendet, um Wasserhaushaltsinformationen räumlich zu konkretisieren (Ahrends et al. 2016).

Das Netz der Fließgewässer wurde aus der OSM und dem Basis-DLM extrahiert. Aus der OSM wurden hierfür Fließgewässer der Klassen „drain“, „river“ und „stream“ verwendet. Aus dem Basis-DLM wurden Fließgewässer der Klassen Fließgewässer (44001), Wasserlauf (44002) und Gewässerachse (44004) extrahiert. Kanäle wurden zusätzlich über das Attribut „fkt“ (=Funktion) „Kanal“ (8300) ausgeschlossen.

Die VDCN geht als binäre Größe mit den Ausprägungen VDCN <3 m und ≥3 m in das Modell ein. Die VDCN wurde auf der Basis der Fließgewässer und des DGM25 in der Software

SAGA-GIS, Version 6.2.0, mit dem gleichnamigen Modul (*Vertical Distance to Channel Network*, Version 1.0) berechnet.

SAGA Topographic Wetness Index (STWI)

Der *Topographic Wetness Index* ist ein in der digitalen Standortkartierung etablierter Index zur Darstellung der Akkumulation von Oberflächenabflusswasser (Beven & Kirkby 1979; Pourali et al. 2016). Der Index wird auf der Grundlage eines DGM berechnet. Um Limitationen des herkömmlichen TWI im Flachland zu kompensieren, wurde ein modifizierter Index, der STWI, entwickelt (Böhner & Selige 2006). Der STWI wurde auf der Basis des DGM25 in der Software SAGA-GIS, Version 6.2.0, mit dem Modul *SAGA Wetness Index*, Version 1.0, berechnet.

Um die Eignung der Größen VDCN und STWI zur Einschätzung des Wassereinflusses auf Waldstandorten zu verifizieren, wurde deren Ausprägung auf einem Gradienten von nassen bis trockenen Standorten bekannter Flächen aus der Biotopkartierung der Bundesländer dargestellt (Abbildung 5 und 6, (European Commission DG Environment 2013; Drachenfels v. 2016; LLUR 2019)). Als stark wasserbeeinflusste Biotope wurden Bruch-, Sumpf- und Moorwälder ausgewählt. Als mäßig bzw. nicht wasserbeeinflusste Biotope wurden Buchenwälder und eine Gruppe von explizit als „Trockenwälder“ bezeichnete Waldtypen ausgewählt (z. B. Wald trockenwarmer Kalkstandorte (WT) in Niedersachsen (Drachenfels v. 2016)).

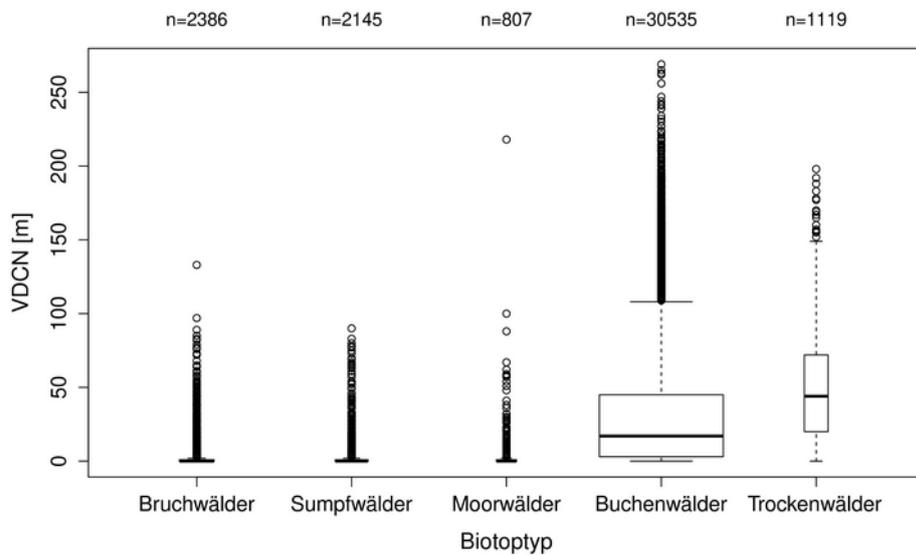


Abbildung 5: Ausprägung der Variable *Vertical distance to channel network* auf ausgewählten Waldbiotypen der Biotopkartierung der Länder Mecklenburg-Vorpommern, Niedersachsen, Rheinland-Pfalz und Schleswig-Holstein.

Die Biotoptypen stellen einen Gradienten von nass zu trocken dar. Trockenwälder beinhalten verschiedene, explizit als trocken bezeichnete Waldbiotope (z. B. Wald trockenwarmer Kalkstandorte (WT) in Niedersachsen).

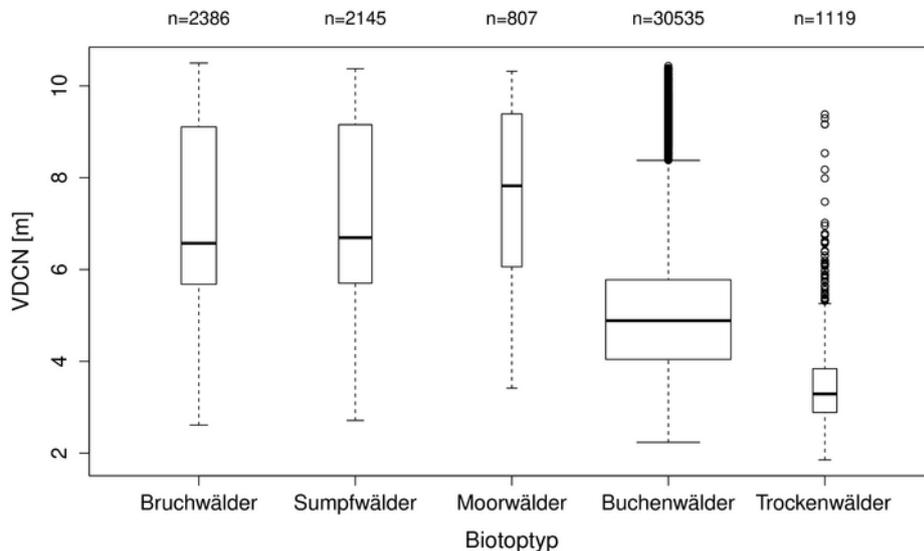


Abbildung 6: Ausprägung der Variable *SAGA Topographic Wetness Index* auf ausgewählten Waldbiotypen der Biotopkartierung der Länder Mecklenburg-Vorpommern, Niedersachsen, Rheinland-Pfalz und Schleswig-Holstein.

Die Biotoptypen stellen einen Gradienten von nass zu trocken dar. Trockenwälder beinhalten verschiedene, explizit als trocken bezeichnete Waldbiotope (z. B. Wald trockenwarmer Kalkstandorte (WT) in Niedersachsen).

Während die stark wasserbeeinflussten Biotoptypen in über 60 % der Fälle eine VDCN von 0 m aufweisen, liegt dieser Anteil bei den mäßig trockenen und trockenen Biotopen lediglich bei etwa 10 % (Abbildung 5). Der STWI ist bei den wasserbeeinflussten Biotoptypen in etwa 70 % der Fälle >6, bei den mäßig trockenen und trockenen Biotopen liegt der Anteil bei etwa 20 % bzw. 10 % (Abbildung 6).

Terrain Ruggedness Index (Differenz zum Erwartungswert)

Der *Terrain Ruggedness Index* (TRI, „Geländerauigkeit“) repräsentiert den mittleren Unterschied in Höhe über NN zwischen einem Pixel und seinen benachbarten Pixeln, wobei diese durch ein benutzerdefiniertes *moving window* definiert werden. Korrelationsanalysen ergaben eine hohe Abhängigkeit zwischen der Hangneigung und dem TRI. Da der Informationsgehalt des TRI zur Einschätzung der Nutzungswahrscheinlichkeit als relevant erachtet wird, sollte die Variable trotz der hohen Korrelation ins das Modell eingehen. Zu diesem Zweck wurde ein einfaches Modell erstellt, welches den erwarteten TRI in Abhängigkeit von der Hangneigung modelliert. Als Variable ging in das finale Modell zur Berechnung der Wahrscheinlichkeit von NWE_{pot} die Differenz des tatsächlichen TRI zu dessen Erwartungswert in Abhängigkeit von der Hangneigung ein.

Landschaftsindizes „Anteil *Edge Area*“ und „*Proximity Index*“

Den beiden Größen „Anteil *Edge Area*“ und „*Proximity Index* ($\log(1+x)$)“ liegen die disjunkten Waldflächen des LBM2012 zugrunde. Der Anteil der *Edge Area* berechnet sich aus dem Verhältnis von Randfläche bei einem angenommenen Randbereich von zwei Baumhöhen (60 m) zu der Gesamtflächengröße einer zusammenhängenden Waldfläche. Die Variable ermöglicht es, kleinräumige oder für die Bewirtschaftung ungünstig geschnittene Waldfragmente von großräumigen, kompakten Wäldern zu differenzieren. Der *Proximity Index* quantifiziert den Grad der Isolation von Einzelflächen in Abhängigkeit von Distanz und Größe der benachbarten Flächen innerhalb eines Suchradius (McGarigal 2015) und wurde in logarithmierter Form verwendet. Es wird erwartet, dass das Bewirtschaftungsinteresse auf kleinräumigen, isolierten Flächen möglicherweise niedriger ist als auf großflächigen Einheiten.

verwendete Werkzeuge

Zur Aufbereitung aller Daten wurden die Werkzeuge (Software-Pakete) R (R Core Team 2017), GRASS GIS (GRASS Development Team 2017), GDAL (GDAL Development Team 2017), SAGA GIS (Conrad et al. 2015) und PostGIS (PostGIS 2019) verwendet.

2.4.2 Vor-Ort-Überprüfung auf Grundlage der BWI³

Auswahl der Traktecken

Die Vor-Ort-Überprüfung diente der Identifizierung von tatsächlich nutzungsfreien Traktecken, welche für die Kalibrierung des $NWE_{\text{pot.}}$ -Modells benötigt wurden. Es wurden 180 Traktecken der BWI ausgewählt, an denen Merkmalsausprägungen vorliegen, die auf eine Nicht-Nutzung hinweisen (vgl. Abschnitt 2.4.1.1) und die außerhalb der bekannten NWE-Kulisse liegen. Die Überprüfung war notwendig, da die Informationen der BWI alleine nicht geeignet sind, um tatsächlich nutzungsfreie Traktecken zu identifizieren (vgl. Abschnitt 2.4.1.1). Um bei dem gegebenen Budget eine möglichst große Anzahl an tatsächlich nutzungsfreien Traktecken für das Modell zu erlangen, wurden nur Traktecken ausgewählt, die laut BWI nicht begehbar sind oder auf denen die Holznutzung nicht zulässig oder nicht zu erwarten ist (vgl. Kroiher & Bolte 2015).

Um die statistische Belastbarkeit der Vor-Ort-Überprüfung zu gewährleisten, wurden die aufzunehmenden Traktecken gleichmäßig über Deutschland verteilt. Hierfür wurde die Funktion „*cover.design*“ des R-Pakets „*fields*“ verwendet. Weiterhin wurde jeweils die Hälfte der Punkte aus einem Stratum mit $\leq 20\%$ bzw. $> 20\%$ Hangneigung (DGM25) ausgewählt, um zu gewährleisten, dass steile Hanglagen in der Stichprobe nicht unterrepräsentiert sind. Eine weitere Stratifizierung nach Begehbarkeit und Nutzungseinschränkungen war nicht nötig, da im Zuge der zufälligen Auswahl von Traktecken die proportionale Abdeckung der Merkmale gewährleistet ist.

Die endgültige Auswahl beinhaltete 47 Traktecken, die laut BWI nicht begehbar sind, 27 Traktecken, auf denen zudem laut BWI die Holznutzung nicht zulässig oder nicht zu erwarten ist sowie 106 Traktecken, auf denen lediglich die Holznutzung nicht zulässig oder nicht zu erwarten ist.

Die für die Vor-Ort-Prüfung ausgewählten Traktecken weisen zusammengefasst folgende Eigenschaften auf:

- sie liegen nicht in bekannten NWE-Flächen
- laut BWI
 - „nicht begehbar“ und/oder „Holznutzung nicht zulässig oder nicht zu erwarten“
 - bestockter Holzboden
 - kein Betretungsverbot
 - keine außerbetriebliche Nutzungseinschränkung: „Naturschutz“
 - keine innerbetriebliche Nutzungseinschränkung: „Schutzfläche mit Eigenbindung (z. B. Naturwald)“
- Stratifizierung: nach Hangneigung ($\leq 20\%$ und $> 20\%$)
- Verteilung: räumlich gleichmäßig

Aufnahmen der Vor-Ort-Prüfung an den ausgewählten Traktecken

Die für die Vor-Ort-Prüfung ausgewählten Traktecken wurden zwischen November 2016 und Juni 2018 mit Hilfe eines GNSS-Gerätes (*Global Navigation Satellite System*) im Gelände aufgesucht. Da sowohl bei der ursprünglichen Aufzeichnung der Koordinaten durch die Inventurteams der BWI als auch bei der Vor-Ort-Überprüfung im Projekt NWePP GNSS-bedingte räumliche Abweichungen vorlagen, konnte der Probekreis der BWI nur annäherungsweise aufgesucht werden. In der Literatur werden für handelsübliche *low-cost* GNSS-Geräte wie das im Projekt verwendete Garmin eTrex30 mittlere Lagefehler im Wald von ca. 10 Metern angegeben (Kaartinen et al. 2015; Hauglin et al. 2017). Eine exakte Ermittlung des Probekreismittelpunktes einer Traktecke mittels Metalldetektor hat bei der Vor-Ort-Prüfung im Projekt nicht stattgefunden.

An der Traktecke wurden Informationen zur Nutzungsintensität aufgenommen. Zusätzlich wurden Eigenschaften von Erschließung, Bestockung und Gelände angesprochen. Alle Parameter wurden sowohl für einen Probekreis mit dem Radius 25 Meter als auch für den gesamten Bestand, in dem sich der Probekreis befand, angesprochen (Abbildung 7 und 8 sowie Anhang Abbildung 28 und 29).



Abbildung 7: Probekreis der Vor-Ort-Überprüfung mit Radius 25 m und umliegender Bestand.
 Digitales Orthophoto: © GeoBasis-DE / BKG (2019)

Die Nutzungsintensität wurde anhand von erkennbaren Stubben, differenziert nach regulärer und sonstiger Nutzung, angesprochen. Eine reguläre Nutzung wurde angenommen, wenn die vorgefundenen Stubben gleich alt und vorwiegend regelmäßig im Bestand verteilt sind. Je nach natürlicher Altersstufe und Zersetzungsgrad der Stubben sowie der Verjüngungssituation wurde zwischen Durchforstung und Endnutzung unterschieden. Eine sonstige Nutzung wurde angenommen, wenn die vorgefundenen Stubben räumlich geklumpt auftreten, offensichtliche Anzeichen von Schadereignissen erkennbar waren oder ein offensichtlicher Zusammenhang mit der Pflege von Infrastrukturen bestand. Die Intensität der Nutzung wurde auf dem Probekreis durch den geschätzten Anteil an genutzten Bäumen, in dem Bestand durch den Anteil genutzter Fläche quantifiziert.

<p>Nutzungstyp, regulär</p> <ul style="list-style-type: none"> • L = Läuterung • Df = Durchforstung • En = Endnutzung <p>Nutzungstyp, sonstige</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ww = Windwurf aufgearbeitet • Ik = Insektenkalamität aufgearbeitet • Vs = Verkehrssicherungsmaßnahmen • Jg = jagdliche Infrastruktur/Schneisen freigeschnitten • Bh = Brennholzwerbung • In = Bau/Instandsetzung von Infrastruktur • Pfl = Pflegemaßnahmen Naturschutz <p>natürliche Altersstufe</p> <ul style="list-style-type: none"> • Dickung, Stangen- und Gertenholz, BHD < 20 cm • geringes Baumholz, BHD 20 – 35 cm • mittleres Baumholz, BHD 35 – 50 cm • starkes Baumholz, BHD 50 – 80 cm • Uraltbestand, BHD > 80 cm • Plenterwald 	<p>Zersetzungsgrad Stubben</p> <ul style="list-style-type: none"> • 1 = frisch tot • 2 = beginnende Zersetzung • 3a = fortgeschritten zersetzt; Holz mit „weichfaulen“ Anteilen < 50 % des Volumens. Eiche und andere Kernhölzer mit zersetztem Splint, aber beilfestem Kernholz • 3b = fortgeschritten zersetzt; Holz mit „weichfaulen“, nicht mehr beilfesten Anteilen > 50 % des Volumens, Umrisse aber noch klar erkennbar. • 4 = stark zersetzt, vermodert; Umriss nicht mehr klar erkennbar, liegendes Holz bereits zu einem erheblichen Teil in den Boden eingesunken.
---	--

Abbildung 8: Bei der Vor-Ort-Überprüfung aufgenommene Parameter der Nutzung und deren Ausprägungen

Die Bestandesfläche wurde im Gelände anhand einer einheitlichen Bestockung und Geländeausprägung angesprochen (vgl. Abbildung 8) und auf einem Luftbild skizziert. Die endgültige Abgrenzung fand im GIS auf der Grundlage der Skizze (vgl. Abbildung 7) statt, da hier alle verfügbaren zusätzlichen Datengrundlagen wie Luftbild, Karte und Geländemodell in bestmöglicher Qualität hinzugezogen werden konnten. Eine komplette Begehung des jeweiligen Bestandes war teilweise auf Grund von gefährlichen Geländebedingungen nicht möglich oder in Fällen von gut überschaubaren Beständen nicht notwendig. In steilen Hanglagen wurden in einzelnen Fällen Bestandesteile mit Hilfe eines Fernglases angesprochen.

Für die Modellbildung wurde lediglich die Ebene des Probekreises verwendet.

2.4.3 Modellierung

Mit einem generalisierten additiven Modell (GAM), welches gleichzeitig eine Prädiktorensélection beinhaltet (*SpikeSlabGAM*, Scheipl et al. 2012), wurde die Wahrscheinlichkeit für das Vorhandensein einer $NWE_{pot.}$ -Fläche ermittelt (Wahrscheinlichkeit für $NWE_{pot.}$). Das genutzte R-Paket „*SpikeSlabGAM*“ implementiert einen Algorithmus zur Schätzung der Parameter eines GAM über ein Verfahren aus dem Bereich der bayesschen Statistik. Hierbei wird neben einem Verteilungsmodell für die Daten (hier: Binomialverteilung)

auch ein Verteilungsmodell für jeden sich im Modell befindlichen Parameter angenommen. Diese *priori* Verteilungen können durch den Anwender selbst festgelegt werden, wobei hier auf die in *SpikeSlabGAM* voreingestellten Verteilungen (*default prior*) zurückgegriffen wurde. Weiterhin beinhaltet *SpikeSlabGAM* eine bayessche Prädiktorenselktion, welche auf der Berechnung einer Vielzahl von plausiblen Modellparameterkombinationen (hier: $n = 5.000$), bedingt auf die vorliegenden Daten und das angenommene statistische Modell, basiert. Die Selektion wird durch die Gewichtung der einzelnen Prädiktoren nahe 0 oder 1 erreicht. Dies ist die zentrale Eigenschaft der Spike-and-Slab-Schätzung und führt, in Analogie zu einem Lichtschalter, zum An- oder Abschalten einzelner Variableneinflüsse. Ebenfalls methodenspezifisch ist die getrennte Schätzung marginaler Effekte von kontinuierlich skalierten Prädiktoren nach linearen und nicht-linearen Anteilen.

Die abhängige Variable ist binominal verteilt und nimmt die Ausprägungen 1 (Nicht-Nutzung) und 0 (Nutzung) an. Die Modellkalibrierung wurde anhand von genutzten und ungenutzten Traktecken der Bundeswaldinventur durchgeführt, wobei die ungenutzten Ecken im Zuge einer Vor-Ort-Stichprobe im Gelände identifiziert wurden (vgl. Abschnitt 2.4.2). Als ungenutzt galten Traktecken, wenn auf der Ebene des Probekreises mit dem Radius 25 m keine Nutzung im Sinne der Definition für NWE-Flächen (vgl. Abschnitt 2.1 und Engel et al. 2016) nachzuweisen war. Genutzte Traktecken wurden direkt aus den Daten der Bundeswaldinventur identifiziert.

Das gewählte Stichprobendesign zeichnet sich durch Eigenschaften aus, die von einer gewöhnlichen Zufallsauswahl aus der Grundgesamtheit aller BWI-Traktecken abweichen: Die Auswahl der Traktecken der Unterstichprobe musste hinsichtlich der BWI-Merkmale Begehbarkeit, Nutzungseinschränkungen und Waldspezifikation eingeschränkt werden, um bei gegebenen finanziellen und zeitlichen Ressourcen eine möglichst hohe Trefferquote von Traktecken ohne tatsächliche Nutzung zu erzielen. Weiterhin wurde eine Stratifizierung nach Hangneigung in zwei Klassen (≤ 20 und > 20 % Hangneigung) vorgenommen um zu gewährleisten, dass steile Hanglagen in der Unterstichprobe nicht unterrepräsentiert sind. Außerdem standen für die Modellierung deutlich mehr Traktecken mit Nutzung als ohne Nutzung zur Verfügung. Eine projektinterne Simulationsstudie (erhältlich auf Anfrage) ergab, dass auch die Traktecken mit Nutzung nach der Hangneigung stratifiziert werden müssen, um eine systematische Verzerrung des Koeffizienten der Hangneigung zu vermeiden. Nach der Stratifizierung konnten etwa 4.000 Traktecken mit Nutzung für die Modellierung verwendet werden.

Die Prädiktoren (Tabelle 6, vgl. auch Abschnitt 2.4.1) liegen für den Wald bundesweit in einer räumlichen Rasterauflösung von 25x25 m vor. Prädiktionen wurden dementsprechend auf derselben räumlichen Auflösung errechnet.

Tabelle 6: Prädiktoren, die in die Modellbildung des Modells zur Schätzung von NWE_{pot} eingegangen sind.

DGM25 = digitales Geländemodell, OSM = OpenStreetMap, Basis DLM = digitales Basis-Landschaftsmodell, LBM2012 = digitales Landbedeckungsmodell, Diff. zu EW = Differenz zum Erwartungswert

Variable	Quelle	Einheiten	Typ
Region	Naturräumliche Großlandschaften	1: Bergland, 2: Tiefland	Faktor
Höhe ü. NN	DGM25	Meter	numerisch
Hangneigung	DGM25	%	numerisch
<i>Terrain Ruggedness Index</i> (Diff. zu EW)	DGM25	m	numerisch
Distanz zur Erschließung	OSM/Basis DLM	m	numerisch
mittlerer Jahresniederschlag	DWD	mm	numerisch
Waldtyp	LBM2012	1: Laub, 2: Nadel, 3: Misch, 4: Strauch	Faktor
<i>Vertical Distance to Channel Network</i>	DGM25, OSM/Basis DLM	1: >3 m, 2: ≤ 3 m	Faktor
<i>Topographic Wetness Index</i>	DGM25	-	numerisch
Anteil <i>Edge Area</i>	LBM2012	%	numerisch
<i>Proximity Index</i> (log(1+x))	LBM2012	-	numerisch

Die Modellqualität wurde durch eine Kreuzvalidierung mit 5 Durchläufen evaluiert. Die Stabilität der durch die marginalen Effekte angezeigten Einflüsse der Prädiktoren wurde durch einen Vergleich der jeweiligen Plots der verschiedenen Modelle bewertet. Die Vorhersagequalität des Modells wurde durch die *receiver-operating characteristic curves* (ROC) und die *area under curve* (AUC) angesprochen. Außerdem wurde die *true skills statistics* (TSS) verwendet, um die Vorhersagegenauigkeit der Prädiktion zu beschreiben. Die TSS stellt die maximale Summe der *true positive* und *true negative rates* (TPR / TNR) dar und wurde aus dem R-Paket „*dismo*“ (Hijmans et al. 2017) verwendet, wo sie als „*spec_sens*“-Statistik bezeichnet wird.

3 Ergebnisse

3.1 Aktualisierung und Bilanz der NWE-Kulisse

3.1.1 Datenlage

Im Zuge der Wiederholungsabfrage der rechtlich gesicherten NWE-Flächen wurden 100 Forstbetriebe, Stiftungen und Dachverbände angeschrieben (vgl. Abschnitt 2.2.1). Von 23 Waldbesitzern aus allen Flächenbundesländern, darunter die meisten Landesforstbetriebe, die DBU Naturerbe GmbH und die Bundesforsten, wurden aktualisierte Daten bereitgestellt. Die gemeldete Fläche setzt sich aus neuen NWE-Flächen und Aktualisierungen bereits vorliegender Flächen zusammen.

Daten, die lediglich als textliche Informationen bereitgestellt wurden, haben zum Stichjahr 2019 einen Anteil von 18 % (ca. 59.000 ha, davon ca. 50.000 ha in Bayern, BaySF 2019) und insgesamt (mit geplanten Flächen) einen Anteil von 29 % (ca. 133.000 ha). Für diese Teilmenge ist eine Verschneidung mit anderen Daten nicht oder nur bedingt möglich. Beispielsweise konnte in vielen Fällen eine eindeutige Zuordnung zu einer naturräumlichen Großlandschaft oder zu den natürlichen Waldtypen nicht vorgenommen werden.

Vollständige Informationen zur Bestockung liegen auf 69 % der bereitgestellten Daten vor.

Das Datenbankmodell zur Haltung der NWE-Flächen wurde im Zuge der Wiederholungsabfrage verbessert. Folgende Änderungen wurden vorgenommen:

- kombinierte Datenhaltung alter und aktueller Informationen in einer Tabelle,
- separate Datenhaltung von Flächen- und Punktinformationen,
- standardisierte Zusammenführung von Flächen-, Punkt- und Textinformationen,
- automatisierte Auflösung von Mehrfachüberlagerungen.

3.1.2 Bilanz der NWE-Flächen

Zum Stichjahr 2019 gibt es in Deutschland 323.982 ha NWE-Flächen, die dauerhaft für die natürliche Waldentwicklung gesichert sind. Dies entspricht einem Anteil von 2,8 % an der Waldfläche gemäß der dritten Bundeswaldinventur (BWI³). Seit der Eröffnungsbilanz zum Stichjahr 2013 hat sich die Fläche um rund 111.000 ha erhöht. Bis zum Jahr 2020 ist ein Anstieg auf 3 % und danach auf ca. 4 % zu erwarten (Abbildung 9). Damit besteht im Gesamtwald zum Stichjahr 2019 eine Lücke von 246.974 ha und perspektivisch von 114.303 ha zum 5 %-Ziel der NBS.

Im öffentlichen Wald wurden zum Stichjahr 2019 275.566 ha NWE-Flächen bilanziert, was einem Anteil von 4,6 % am öffentlichen Wald entspricht. Zum Stichjahr 2020 steigt der Anteil voraussichtlich auf 4,9 % und darüber hinaus auf 5,5 %. Dementsprechend besteht zum Stichjahr 2019 eine Lücke von 317.779 ha und perspektivisch von 270.168 ha zum 10 %-Ziel der NBS im öffentlichen Wald.

Große Flächenzuwächse kommen durch die Naturschutzprogramme vieler Landesforstbetriebe zustande, die unter anderem die Ausweisung der neuen Nationalparks Schwarzwald und Hunsrück-Hochwald beinhalten. Bei der zukünftigen Erweiterung der NWE-Kulisse spielen die vom Bund bereitgestellten Flächen der 3. und 4. Tranche des Nationalen Naturerbes, sowie die geplanten Erweiterungen der Kernzonen in den Nationalparks eine entscheidende Rolle.

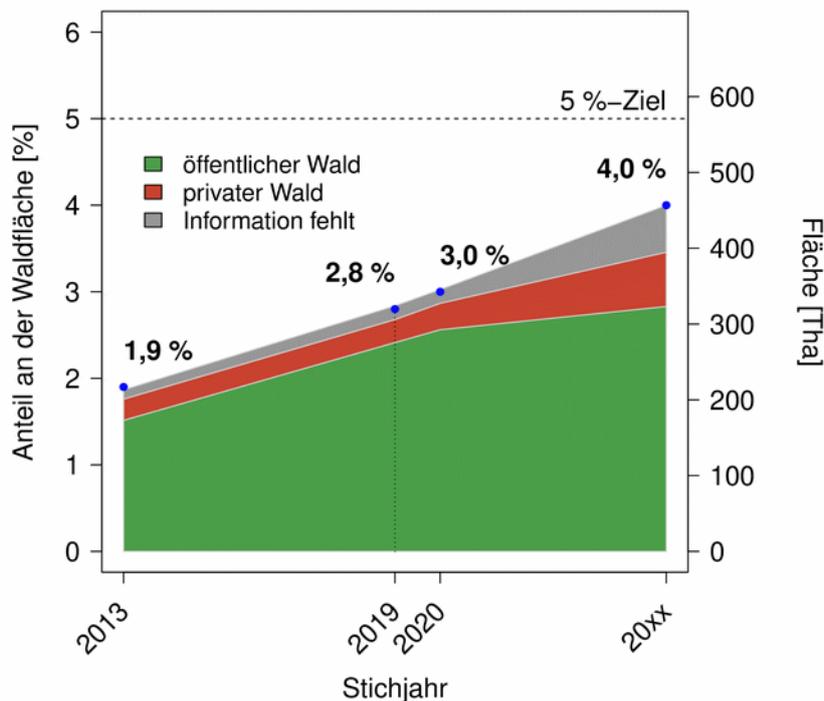


Abbildung 9: Anteil der Wälder mit natürlicher Entwicklung (NWE) an der Gesamtwaldfläche in Deutschland in den Stichjahren 2013 und 2019 sowie Prognose für 2020 und nach 2020 (20xx). Die 5 %-Linie markiert das Ziel der Nationalen Biodiversitätsstrategie.

Umsetzung der NWE-Ziele der NBS in den Bundesländern

Die Ziele der NBS bezüglich der natürlichen Waldentwicklung werden in den meisten Bundesländern aufgegriffen, allerdings vielfach in abgewandelter Form (Tabelle 7). Bis auf einige Ausnahmen beziehen sich die Ziele der Länder meist auf 10 % NWE-Flächen im Landeswald (es wird davon ausgegangen, dass Landeswald in Länderstrategien auch als Staatswald bezeichnet wird). Nur die Bundesländer Brandenburg, Thüringen und Mecklenburg-Vorpommern streben das 5 %-Ziel im Gesamtwald an, wobei Mecklenburg-Vorpommern bereits 2012 feststellte, das Ziel erreicht zu haben.

Tabelle 7: Nennungen der Ziele der Nationalen Strategie zur biologischen Vielfalt 5 % natürliche Waldentwicklung im Gesamtwald bzw. 10 % im öffentlichen Wald in den Strategien der Bundesländer.

(S) = Staatswald, (ö) = öffentlicher Wald, (L) = Landeswald. Staatswald wird i. d. R. als Synonym für Landeswald verwendet. Die Differenzierung nach (S), (ö) und (L) beruht auf den tatsächlichen Formulierungen in den Quellen.

Bundesland	Ziel 5/10 %	Quelle	Stand
Brandenburg	5	Biodiversitätsstrategie	2014
Berlin	10 (ö)	Koalitionsvertrag	2016
Baden-Württemberg	10 (S)	Koalitionsvertrag und Waldprogramm	2016 und 2015
Bayern	10 (S)	Koalitionsvertrag	2018
Bremen	-	-	-
Hessen	5/10 (S)	Biodiversitätsstrategie und Koalitionsvertrag	2016 und 2019
Hamburg	5/10 (ö)	Biodiversitätsstrategie und Koalitionsvertrag	2012 und 2015
Mecklenburg-Vorpommern	5	Biodiversitätsstrategie	2012
Niedersachsen	10 (L)	Koalitionsvertrag und Erlass	2017 und 2018
Nordrhein-Westfalen	5/10 (S)	Biodiversitätsstrategie	2015
Rheinland-Pfalz	10 (S)	Biodiversitätsstrategie und Koalitionsvertrag	2015 und 2016
Schleswig-Holstein	10 (L)	Waldprogramm	2017
Saarland	10 (S)	Biodiversitätsstrategie	2017
Sachsen	-	-	-
Sachsen-Anhalt	10 (L)	Waldprogramm	2014
Thüringen	5	Kabinettsentwurf	2018

Verteilung der NWE-Flächen auf die naturräumlichen Großlandschaften

Die Naturräume Alpen (14,4 %) und Nordostdeutsches Tiefland (3,9 %) weisen die höchsten NWE-Anteile an der jeweiligen Waldfläche auf (Abbildung 10). Im Südwestdeutschen Mittelgebirge ist der Anteil seit 2013 von 0,8 auf 1,4 % gestiegen und hat sich damit nahezu verdoppelt. Auch im Nordwestdeutschen Tiefland und im Westlichen Mittelgebirge hat sich der Anteil merklich um 0,4 bzw. 0,6 % erhöht. Rund 8 % der aktuellen NWE-Flächen konnten nicht eindeutig einer naturräumlichen Großlandschaft zugeordnet werden, da für sie keine Geoinformationen vorlagen und somit eine Verschneidung mit den naturräumlichen Großlandschaften oder eine anderweitige Zuordnung nicht möglich war.

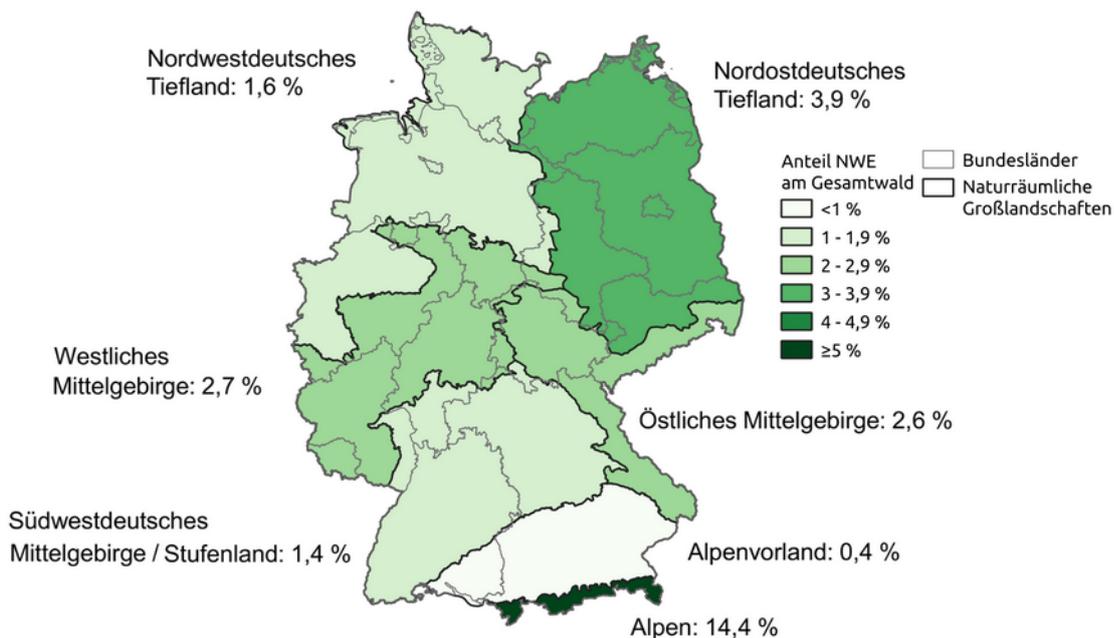


Abbildung 10: Anteile der Wälder mit natürlicher Entwicklung an der Gesamtwaldfläche in den verschiedenen naturräumlichen Großlandschaften (BfN 2008) im Stichjahr 2019.

Verteilung der NWE-Flächen auf die Besitzarten

Mit 76,4 % nimmt der Landeswald den größten Anteil der NWE-Flächen ein (Abbildung 11). Es folgen mit zusammengenommen 6 % die Flächen des Bunds (4,2 %) und der DBU Naturerbe GmbH (1,8 %). Diese werden hier zusammen dargestellt, da die Flächen der DBU ursprünglich vollständig vom Bund übertragen wurden. Private Stiftungen und Verbände folgen mit 5,1 %. Bei weiteren 5,1 % der NWE-Fläche ist die Besitzart unklar. Privatwald, Kommunalwald und sonstiger öffentlicher Wald nehmen Anteile von 2,9, 2,5 und 1,9 % ein.

Weitere Flächen, welche ursprünglich vom Bund und im Rahmen des Nationalen Naturerbes (NNE) übertragen wurden, sind in den Besitzarten Landeswald und private Stiftungen und Verbänden enthalten. Die Anteile des Bundes lassen sich dabei nicht genau einschätzen, da die Zugehörigkeit von einzelnen Flächen oder Gebieten zum NNE in den NWE-Meldungen nicht immer hinterlegt ist.

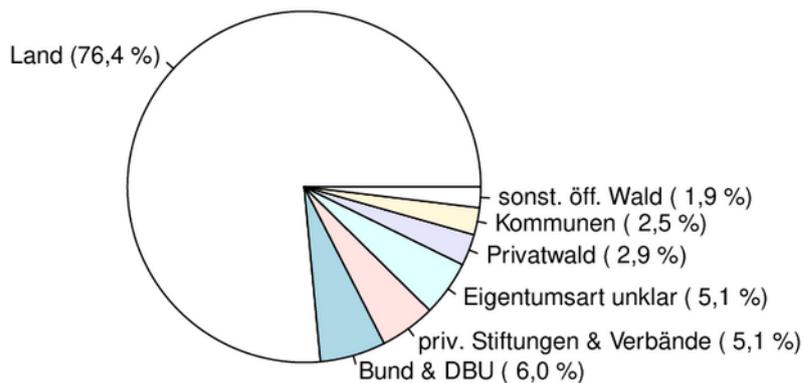


Abbildung 11: Verteilung der NWE-Flächen auf verschiedene Besitzarten.

Verteilung der NWE-Flächen auf die Rechtsgrundlagen

Die NWE-Flächen werden zu 47 % durch Verordnungen gesichert (Abbildung 12). Diese sind zum größten Teil den Nationalparks, Naturschutzgebieten und Biosphärenreservaten zuzuordnen. Mit 32 % folgt die dokumentierte Eigenbindung. Neben weiteren Formen der Rechtsgrundlage nehmen privatrechtliche Verträge einen sehr geringen Anteil von 0,2 % ein.

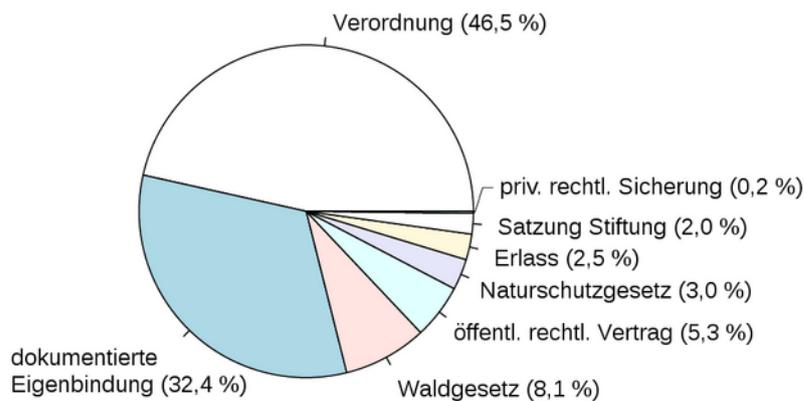


Abbildung 12: Verteilung der NWE-Flächen auf verschiedene Rechtsgrundlagen.

Flächen des Nationalen Naturerbes (NNE)

Das Nationale Naturerbe setzt sich aus den Tranchen 1. bis 4. zusammen und beinhaltet insgesamt etwa 185.000 ha Gesamtfläche (Naturstiftung David 2018; Metzmaker et al. 2018). Der Waldanteil auf den Flächen des NNE lässt sich nicht exakt beziffern. Auf Grund von Angaben der Bundesregierung bzw. dem BfN wird ein Waldanteil von ungefähr 63 % angenommen (Bundesregierung 2012; Metzmaker et al. 2018). Die Waldflächen des NNE werden sofort oder perspektivisch einer natürlichen Entwicklung überlassen, sofern es sich nicht um pflegebedürftige Sonderstandorte handelt (Culmsee et al. 2015).

Die Flächen des NNE wurden soweit möglich in der Bilanz berücksichtigt. Auf Grund von verschiedenen Unsicherheiten wie unbekanntem Waldanteilen und möglicherweise fehlenden Angaben der Waldbesitzer hinsichtlich der Zugehörigkeit bestimmter Flächen zum NNE, konnte eine exakte Abbildung der Flächen in der NWE-Bilanz nicht gewährleistet werden. Eine Liste der Flächenempfänger des NNE (Reiter & Doerpinghaus 2015) wurde mit den Datenlieferanten im Projekt NWePP abgeglichen. Wenn die Datenlieferanten mindestens so viel NWE-Fläche gemeldet hatten, wie laut NNE-Liste an sie übertragen wurde, wurde angenommen, dass alle NNE-Flächen der jeweiligen Waldbesitzer vorlagen. Die Differenz von auf diese Weise vorliegenden Flächen zu der geschätzten Waldfläche des gesamten NNE wurde als „textliche Information“ mit Stichjahr „nach 2020“ in die Bilanz aufgenommen.

3.2 Bewertung und Lückenanalyse der NWE-Kulisse

3.2.1 Repräsentativität der naturräumlichen Großlandschaften

Das Nordostdeutsche Tiefland und die Alpen sind mit PQ-Werten von 1,5 und 6,3 überproportional in der NWE-Kulisse vertreten. Dies gilt insbesondere für die Alpen, für die im Vergleich zum Stichjahr 2013 weiter 30.000 ha NWE-Flächen (als textliche Informationen) vorliegen. Die Westlichen und Östlichen Mittelgebirge sind mit PQ-Werten von jeweils 1,0 proportional vertreten. Das Südwestdeutsche Mittelgebirge und das Nordwestdeutsche Tiefland sind mit PQ-Werten von 0,5 und 0,6 unterproportional vertreten. Am stärksten unterrepräsentiert ist das Alpenvorland mit einem PQ-Wert von 0,1 (Abbildung 13).

NWE-Flächen, die nicht oder nicht eindeutig einer naturräumlichen Großlandschaft zugeordnet werden konnten, sind nicht in der Auswertung enthalten (vgl. Abschnitt 2.3.4).

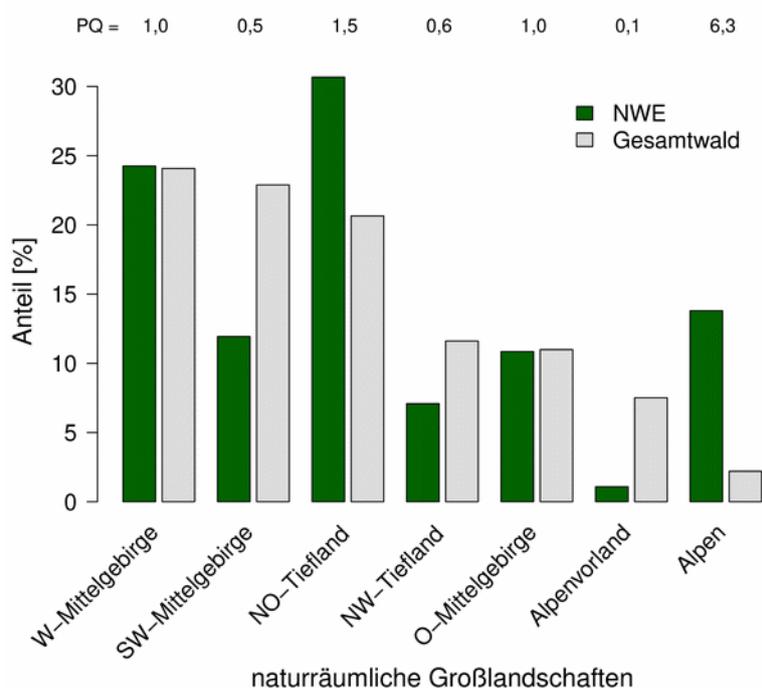


Abbildung 13: Verteilung der Wälder mit natürlicher Entwicklung (NWE) und des Gesamtwaldes auf die naturräumlichen Großlandschaften.

W = Westliche, SW = Südwestliche, NO = Nordöstliche, NW = Nordwestliche, O = Östliche, PQ = Proportionalitätsquotient (Verhältnis Anteil NWE zu Anteil Gesamtwald je naturräumliche Großlandschaft)

Die NWE-Flächen sind im Vergleich zum Stichjahr 2013 ungleichmäßiger auf die naturräumlichen Großlandschaften verteilt. Dies drückt sich in dem deutlich niedrigeren *Protection Equality Index* (PE) von 0,463 zum Stichjahr 2019 im Vergleich zu 0,652 zum Stichjahr 2013 aus (Abbildung 14). Hauptgrund für die Verschiebung ist die starke Erweiterung der NWE-Kulisse in den Alpen, wo jedoch lediglich 2,2 % des Gesamtwaldes in Deutschland liegen.

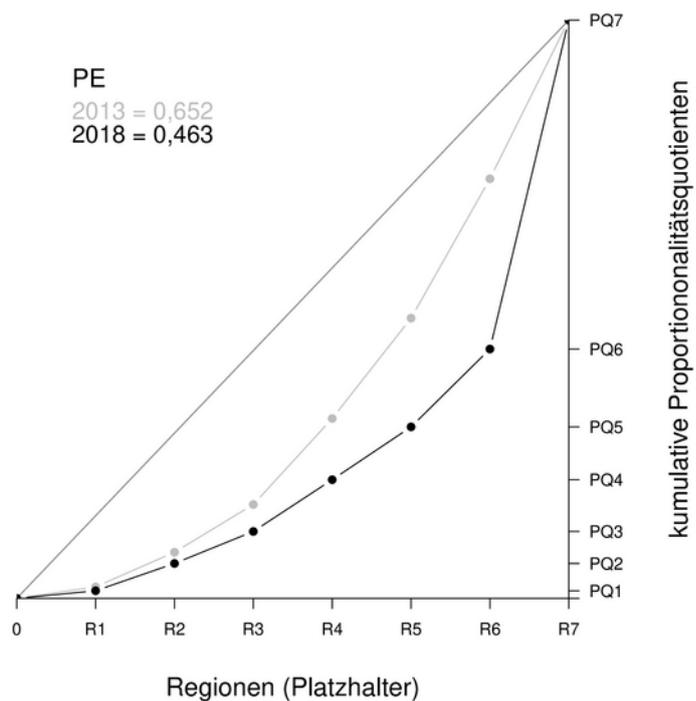


Abbildung 14: Repräsentativität der naturräumlichen Großlandschaften: Vergleich der NWE-Kulisse zu den Stichjahren 2013 und 2019 *Protection Equality Index* (PE) und Lorenz-Kurve.
R_i = stellvertretend für Großlandschaften, y-Achse = kumulative und sortierte Proportionalitätsquotienten

3.2.2 Repräsentativität der natürlichen Waldtypen

Bei den nicht-seltenen natürlichen Waldtypen sind insbesondere die trockenen Eichen-Hainbuchenwälder mit einem PQ von 0,5 deutlich unterrepräsentiert (s. Abbildung 15). Leicht unterrepräsentiert sind weiterhin die bodensauren Buchenwälder (0,7), die frischen Eichen-Hainbuchenwälder (0,8) und die frischen Birken-Eichenwälder (0,7). Überproportional vertreten sind die Auen- und Feuchtwälder (1,7), die Kiefernwälder (1,5), die Moorwälder (2,4) sowie die Eichenmischwälder trocken-warmer Ausprägung (1,6).

Als seltene NWT wurden die Sumpf- und Bruchwälder, die Fichtenwälder und die Eichenmischwälder trocken/reicher Standorte identifiziert. Diese sollten in der NWE-Kulisse überrepräsentiert sein. Innerhalb der NWE2019-Kulisse ist dies grundsätzlich der Fall. Insbesondere der Fichtenwald ist mit einem PQ von 9,5 deutlich überrepräsentiert.

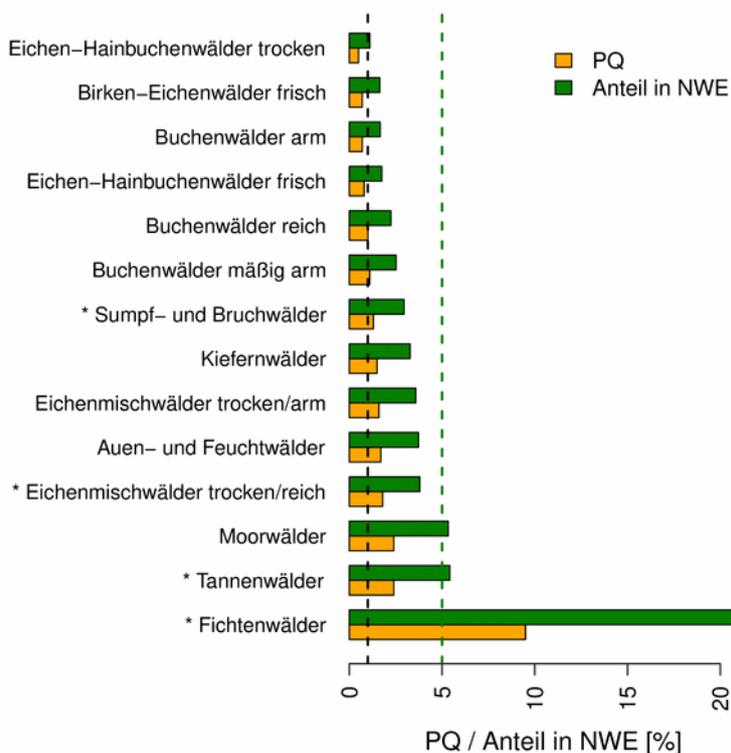


Abbildung 15: Proportionalitätsquotienten (PQ) der Natürlichen Waldtypen (NWT) und Anteil der NWE-Fläche an der Fläche des NWT (potenziell).

Schwarze vertikale Linie: Proportionalität (PQ = 1), grüne vertikale Linie: 5 %-Ziel. Wären 5 % von jedem NWT in der NWE-Kulisse enthalten, so wäre das NBS-Ziel bei gleichzeitiger proportionaler Abbildung der NWT erreicht.

* = seltene NWT

Im Vergleich zu dem Stichjahr 2013 zeigt sich eine weitgehend unveränderte Situation. Der PE-Index hat sich von 0,743 auf 0,751 nur geringfügig erhöht (Abbildung 16). Insgesamt liegen die Lorenz-Kurven relativ nah an der Linie der vollkommenen Gleichheit.

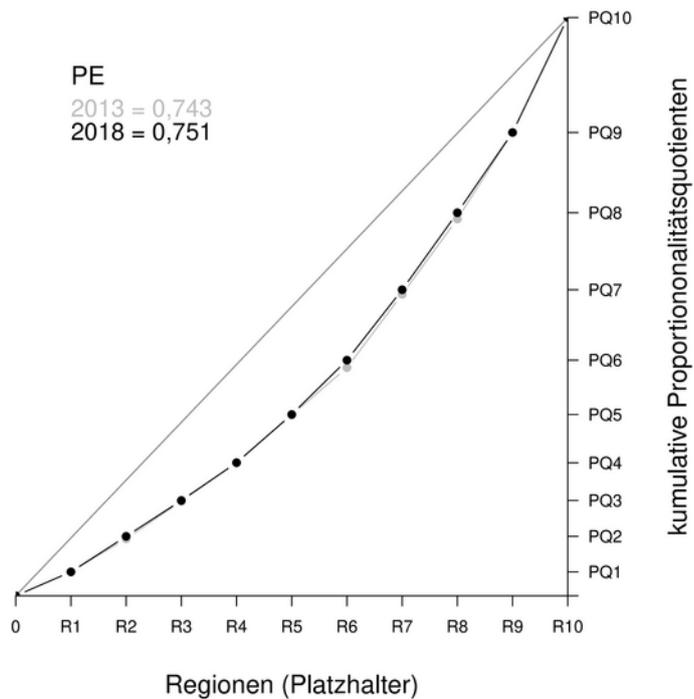


Abbildung 16: Repräsentativität der natürlichen Waldtypen (nur nicht-seltene): Vergleich der NWE-Kulisse zu den Stichjahren 2013 und 2019. Protection Equality Index (PE) und Lorenz-Kurve.

Ri = stellvertretend für natürliche Waldtypen, y-Achse = kumulative und sortierte Proportionalitätsquotienten

Repräsentativität der natürlichen Waldtypen innerhalb der naturräumlichen Großlandschaften

Die natürlichen Waldtypen sind auf der Ebene der naturräumlichen Großlandschaften überwiegend adäquat repräsentiert. In den Regionen Alpen, Alpenvorland, Östliche Mittelgebirge und Nordostdeutsches Tiefland sind insgesamt neun NWT unterrepräsentiert oder stark unterrepräsentiert (Abbildung 17). In den Alpen und Östlichen Mittelgebirgen fehlen insgesamt sechs NWT vollständig in der NWE-Kulisse.

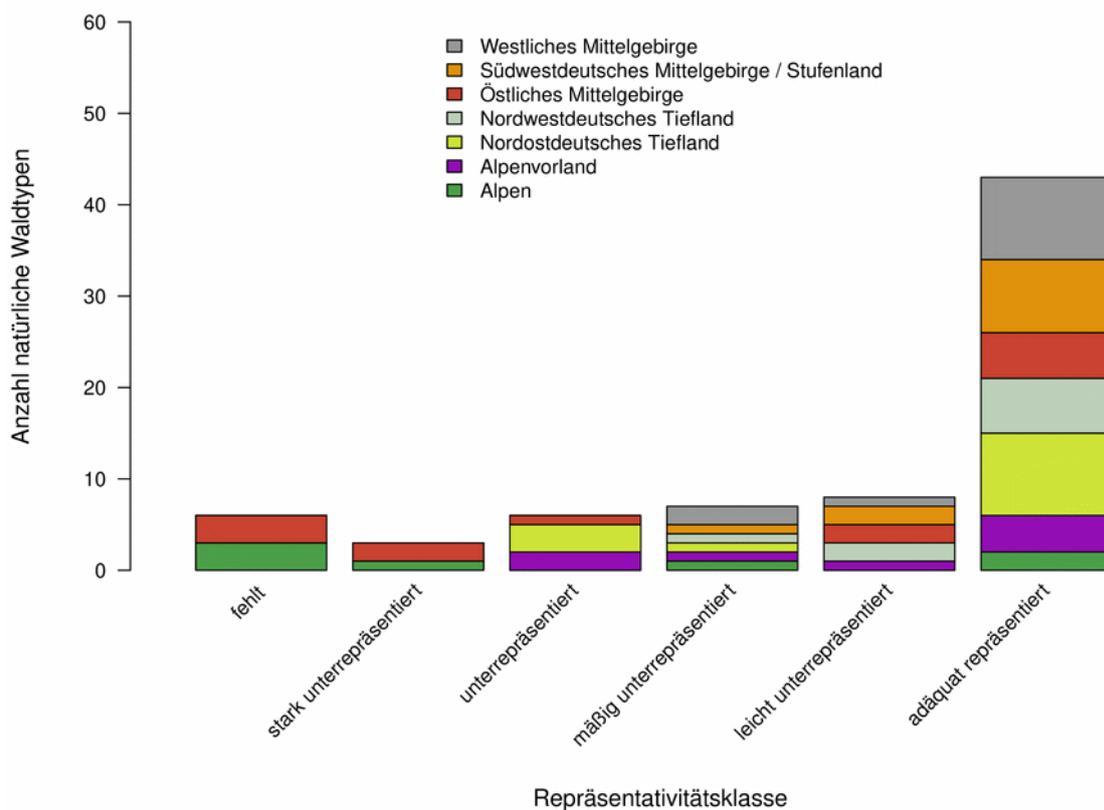


Abbildung 17: Anzahl der natürlichen Waldtypen innerhalb der naturräumlichen Großlandschaften nach Klassen der Repräsentativität.

Folgende Proportionalitätsquotienten (PQ) liegen der Klassenbildung zugrunde: stark unterrepräsentiert ($>0 - <0,3$), unterrepräsentiert ($\geq 0,3 - <0,5$), mäßig unterrepräsentiert ($\geq 0,5 - <0,7$), leicht unterrepräsentiert ($\geq 0,7 - <0,9$), adäquat repräsentiert ($\geq 0,9$)

3.2.3 Bestockungstypen und Altersklassen

Im Vergleich zur aktuellen Baumartenzusammensetzung sind die Baumartengruppen Fichte und Kiefer unterproportional vertreten, die Baumartengruppe Buche ist jedoch überproportional in der NWE-Kulisse vertreten (Abbildung 18). Wälder mit einem Alter der Hauptbaumart von mehr als 160 Jahren besitzen einen deutlich überproportionalen Anteil. Insbesondere die alten Buchenwälder sind in der NWE-Kulisse stark vertreten. Auch bei den Baumartengruppen Eiche und Fichte, bedingt auch bei der Kiefer, sind höhere Anteile der alten Wälder zu sehen.

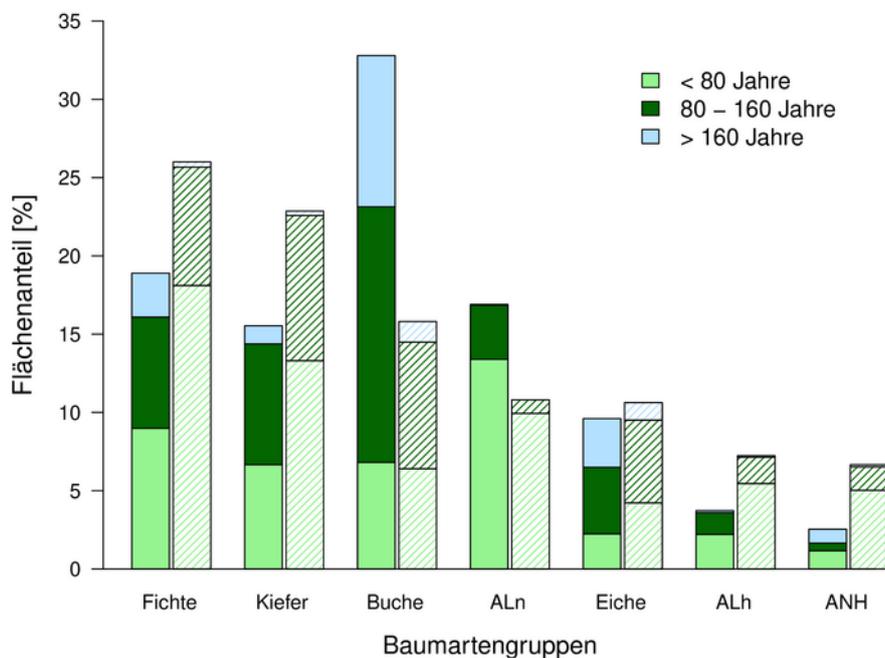


Abbildung 18: Flächenanteile der Baumartengruppen nach Hauptbaumart und Altersklassen in der NWE Kulisse (gefüllte Säulen) und im Gesamtwald (schraffierte Säulen).

ALn = anderes Laubholz mit niedriger Umtriebszeit, ALh = anderes Laubholz mit hoher Umtriebszeit, ANH = anderes Nadelholz

Die wesentlichen Merkmale der Baumarten- und Altersklassenzusammensetzung bleiben zwischen den Stichjahren 2013 und 2019 bestehen.

3.2.4 Naturnähe der Baumartenzusammensetzung

Die Naturnähe der NWE-Kulisse hat sich im Vergleich zum Jahr 2013 erhöht. Während 2013 die Baumartenzusammensetzung auf 30 % der Flächen naturnah oder sehr naturnah war, sind es heute 36 % (Abbildung 19).

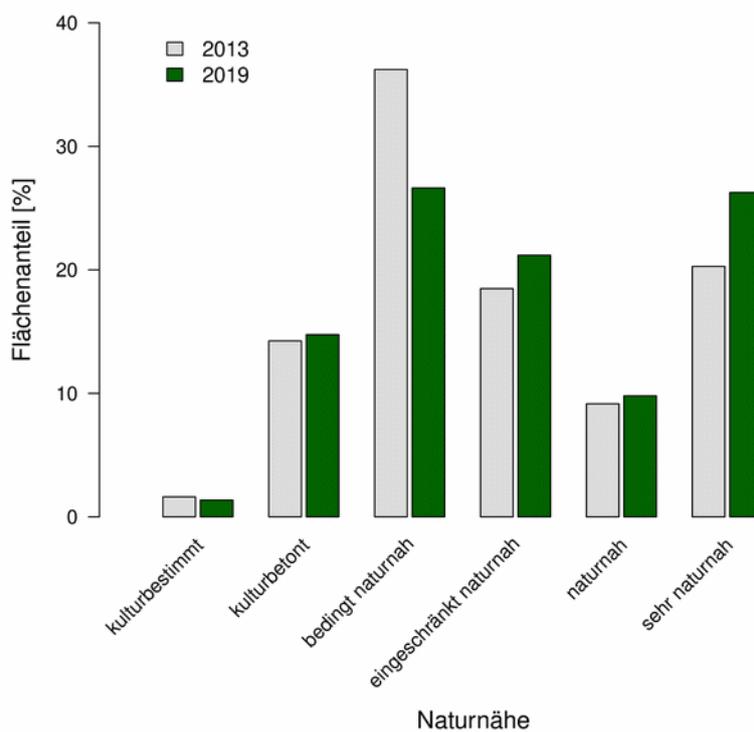


Abbildung 19: Flächenanteile der Naturnähestufen (Baumartenzusammensetzung) der NWE-Kulisse im Vergleich zwischen 2013 und 2019.

3.2.5 Größenklassenverteilung

Gebiete mit einer Fläche über 500 ha (erste und zweite grüne Säule von rechts in Abbildung 20, insgesamt ca. 121.000 ha) haben mit 46 % den größten Flächenanteil an der NWE-Kulisse. Mittelgroße Flächen von 20 bis 500 ha erreichen einen Anteil von ca. 39 % und kleinere Flächen zwischen 1 und 20 ha von ca. 15 %. Der Anteil der sehr kleinen Flächen unter 1 ha beträgt weniger als 1 % (Abbildung 20).

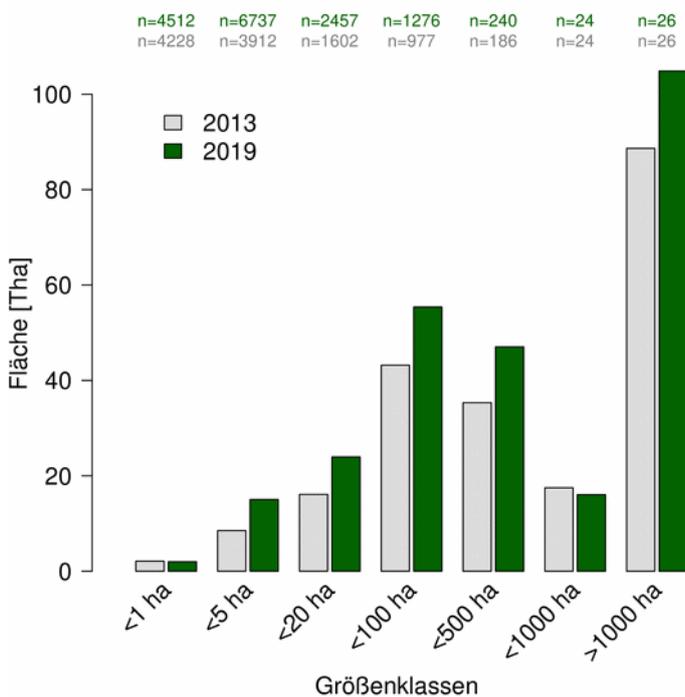


Abbildung 20: Größenklassenverteilung der NWE-Kulisse im Vergleich zwischen 2013 und 2019.

Die Verhältnisse zwischen den Größenklassen haben sich zwischen den Stichjahren 2013 und 2019 nur geringfügig verändert. Offensichtlich sind bei der Erweiterung der Kulisse kaum Kleinflächen <1 ha hinzugekommen. Genauere Betrachtungen ergaben weiterhin, dass bereits bestehende große Gebiete mit benachbarten kleineren Gebieten zusammengeführt wurden.

3.3 Modellierung von NWE_{pot.}-Flächen

3.3.1 Vor-Ort-Prüfung

Es wurden insgesamt 180 Traktecken für die Vor-Ort-Überprüfung ausgewählt, von denen 172 Traktecken aufgesucht und aufgenommen werden konnten (Abbildung 21 und Tabelle 8). An den fehlenden 8 Ecken war eine Aufnahme auf Grund schwieriger Geländebedingungen oder eines im Vorwege nicht bekannten Betretungsverbot nicht möglich. An 97 Traktecken (54 %) entsprach die vorgefundene Nutzungssituation sowohl auf der Ebene des Probekreises als auch auf der Ebene des Bestandes den NWE-Kriterien. Auf der Ebene des Probekreises war dies an insgesamt 129 Traktecken (72 %) der Fall. Diese 129 Traktecken gingen als nicht-genutzte Ecken in die Modellbildung zur Schätzung der Wahrscheinlichkeit von NWE_{pot.} ein.

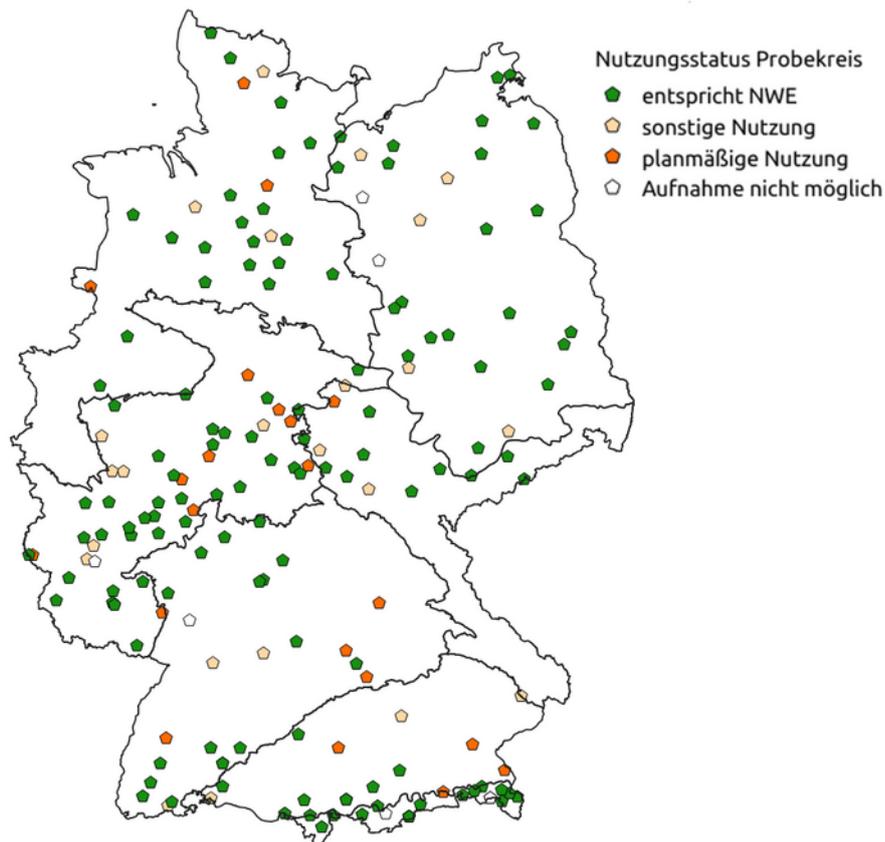


Abbildung 21: Bei der Vor-Ort-Prüfung bereiste Traktecken der Bundeswaldinventur mit vorgefundener Nutzungssituation (Ebene des Probekreises).

Räumliche Gliederung: Naturräumliche Großlandschaften (BfN 2008)

Tabelle 8: Vorgefundene Nutzung in Probekreisen und Beständen der im Rahmen der Vor-Ort-Prüfung aufgesuchten Traktecken der BWI³.

n. a. = nicht aufgenommen

Probekreis	Bestand	Anzahl [n]	Anteil [%]
n. a.	n. a.	7	3,9
entspricht NWE	entspricht NWE	97	53,9
entspricht NWE	planmäßige Nutzung	6	3,3
entspricht NWE	sonstige Nutzung	26	14,4
planmäßige Nutzung	planmäßige Nutzung	21	11,7
sonstige Nutzung	planmäßige Nutzung	3	1,7
sonstige Nutzung	sonstige Nutzung	20	11,2
Summe		180	100

3.3.2 Modellierung

3.3.2.1 Modellqualität und -eigenschaften

Modellqualität

Das in Abschnitt 2.4.3 beschriebene Modell zeichnet sich in der Kreuzvalidierung durch stabile marginale Effekte aus und weist eine hohe mittlere AUC von 0,92 (sd = 0,05) auf. Die *true skills statistic* (TSS) für den Schwellenwert von 0,05633128 liegt bei dem relativ hohen Wert von 0,70. Die *true positive rate* (TPR) und *true negative rate* (TNR) liegen für diesen Schwellenwert bei 78,7 % und 91,3 %. Das Modell hat demnach eine gute bis sehr gute prädiktive Leistung.

Marginale Effekte

Die marginalen Effekte der Variablen zeigen plausible Ausprägungen (Abbildung 22). Beispielsweise führen eine hohe Hangneigung und eine hohe Distanz zur Erschließung zu einer höheren Wahrscheinlichkeit für $NWE_{pot.}$. Auch der Waldtyp hat einen Effekt: Eine Bestockung mit Nadelwald führt zu einer geringeren Wahrscheinlichkeit für $NWE_{pot.}$. Eine höhere Wahrscheinlichkeit für $NWE_{pot.}$ erhalten ebenfalls grundwassernahe Flächen (VDCN), kleinräumige Flächen (Anteil *Edge area*) und isolierte Flächen (*Proximity Index*).

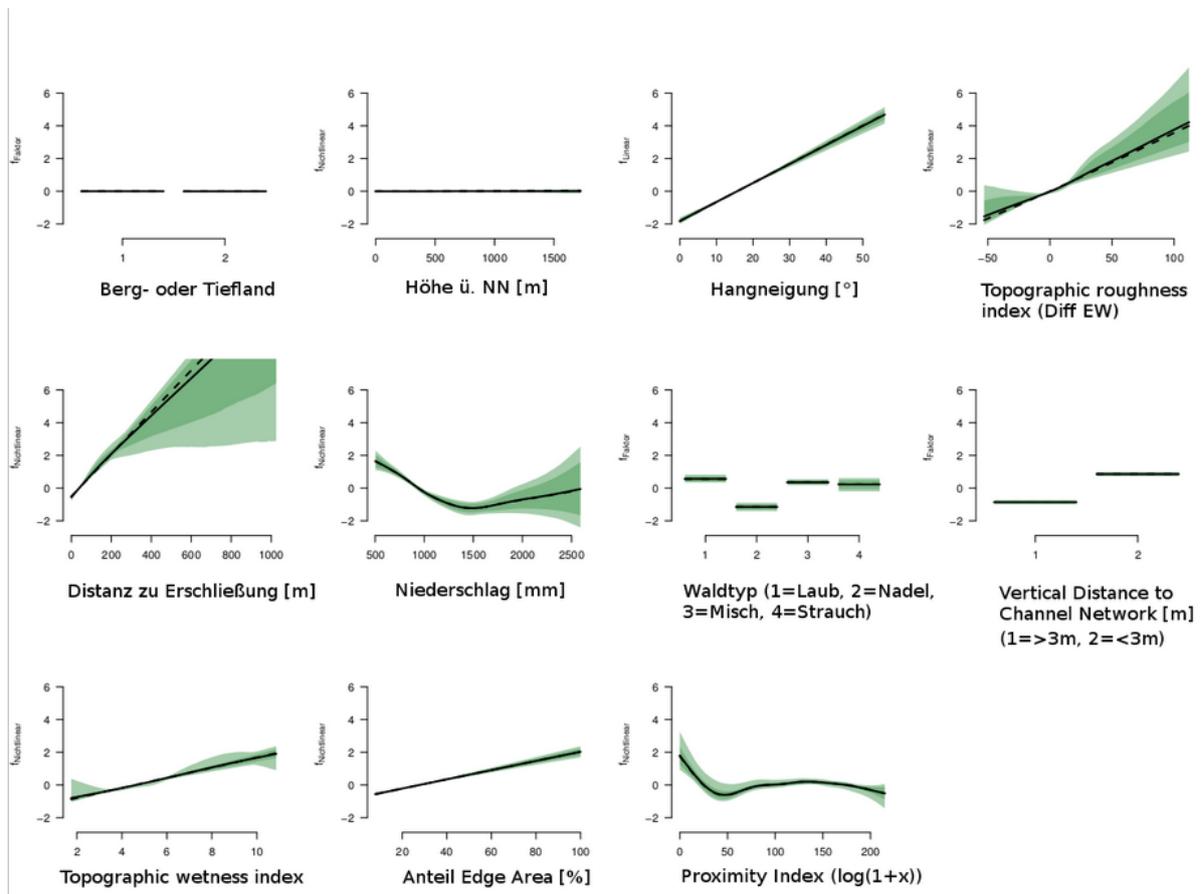


Abbildung 22: Marginale Effekte der Variablen.

Konfidenzbänder und Mittelwert bzw. Median der Modelldurchläufe des *Spike-and-Slab* GAM. TRI (Diff. EW): *Terrain ruggedness index* (Differenz zum Erwartungswert), VDCN: *Vertical distance to channel network*, TWI: *Topographic wetness index*

Die *inclusion probability* und *term importance* gibt die Stärke des Einflusses der Variablen in dem Modell an (Tabelle 9). Die Variablen mit dem höchsten Einfluss sind der Waldtyp, die VDCN, die Distanz zur Erschließung und die Hangneigung.

Tabelle 9: Inclusion probability und term importance der Terme.

fct = faktorieller Term, lin = linearer Term, sm = geglätteter Term (*smoothed*), grla_berg_tief = Region Bergland oder Tiefland, dgm25 = Höhe über NN, dgm25_sl = Hangneigung, dgm_tri_diff10 = *terrain roughness index* (Differenz zum Erwartungswert), dist_erschl = Distanz zur Erschließung, dwd_perc = mittlerer Jahresniederschlag, wald = Waldtyp (Laub-, Nadel, Mischwald und Strauch), vdcn_below_3 = *vertical distance to channel network* (binär <3 m und ≥3 m), twi = SAGA *topographic wetness index*, li_edge_perc = Anteil *edge area*, log1p_li_prox = *proximity index*

<i>variable</i>	<i>inclusion probability</i>	<i>term importance</i>
u		
fct(grla_berg_tief)	0,026	0
lin(dgm25)	0,024	0
sm(dgm25)	0,034	0
lin(dgm25_sl)	1	0,097
lin(dgm25_tri_diff10)	1	0,025
sm(dgm25_tri_diff10)	0,192	0,003
lin(dist_erschl)	1	0,127
sm(dist_erschl)	0,194	0
lin(dwd_prec)	1	0,08
sm(dwd_prec)	1	0,06
fct(wald)	1	0,267
fct(vdcn_below_3)	1	0,23
lin(twi)	1	0,018
sm(twi)	0,078	0,001
lin(li_edge_perc)	1	0,071
sm(li_edge_perc)	0,023	0
lin(log1p_li_prox)	0,055	0,001
sm(log1p_li_prox)	1	0,018

3.3.2.2 Modellergebnis

Mit dem beschriebenen Modell wurde für jede Stelle in der Waldlandschaft, für die die entsprechenden Variablen vorlagen, eine Wahrscheinlichkeit für $NWE_{pot.}$ vorhergesagt. Die Wahrscheinlichkeiten liegen zwischen 0 und 1, wobei der Wert 1 die höchste Wahrscheinlichkeit für $NWE_{pot.}$ darstellt. Die Variablen, und damit auch das Ergebnis der

Modellierung, liegen für die Waldfläche in Deutschland mit einer Auflösung von 25x25 m vor (Abbildung 23 und 24).

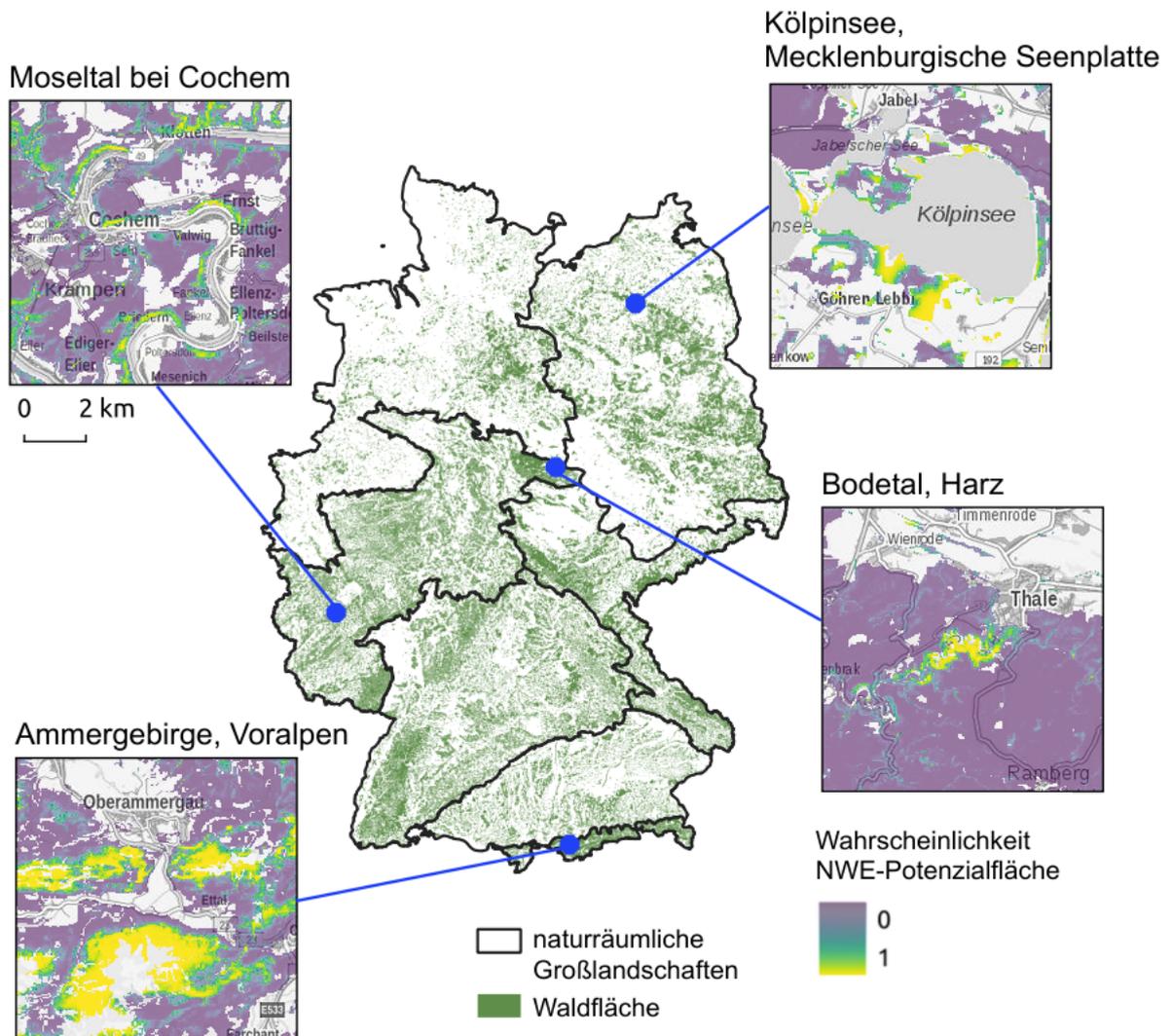


Abbildung 23: Beispielhafte Ausschnitte der NWE-Potenzialkarte mit Übersicht Wald in Deutschland.

Wahrscheinlichkeiten liegen für den Gesamtwald mit einer räumlichen Auflösung von 25x25 m vor. Räumliche Gliederung: Naturräumliche Großlandschaften (BfN 2008), Hintergrundkarte und Walddecker: © GeoBasis-DE / BKG (2019)

Waldflächen mit hoher Wahrscheinlichkeit für NWE_{pot} haben einen geringen Anteil an der Gesamtwaldfläche (Abbildung 25). Während etwa 78 % der Waldfläche eine Wahrscheinlichkeit von 0 aufweist, haben Flächen mit einer Wahrscheinlichkeit von $\geq 0,5$ einen Anteil von etwa 3,4 % (Wahrscheinlichkeiten gerundet auf eine Nachkommastelle).

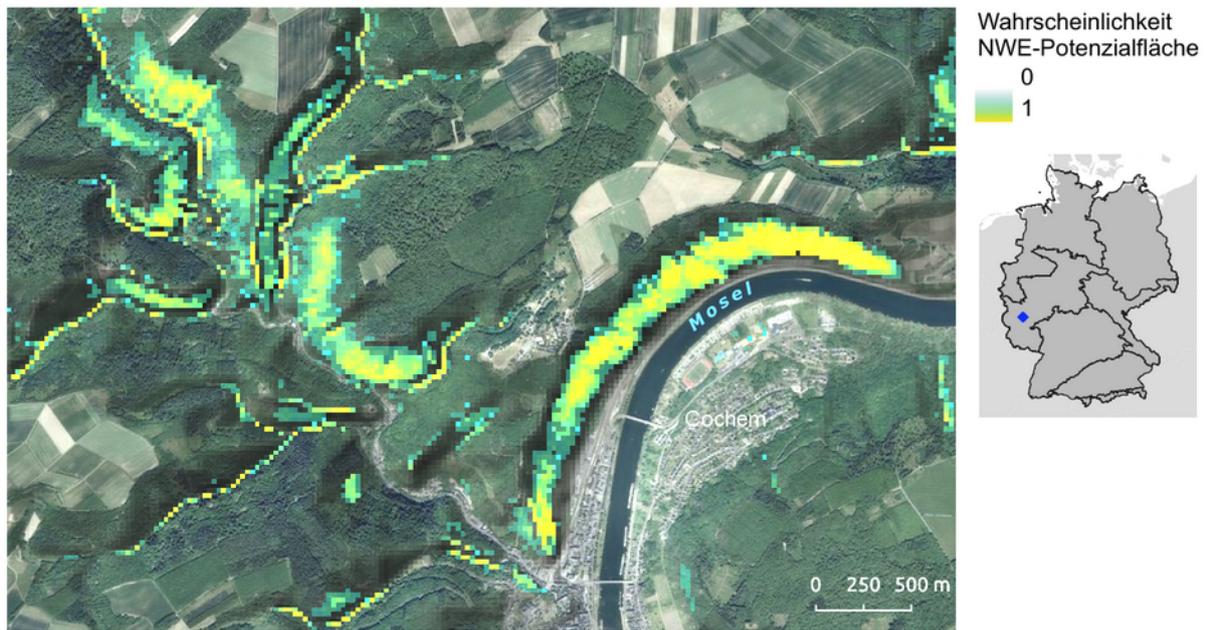


Abbildung 24: Beispielhafte Detailkarte mit NWE-Potenzialflächen bei Cochem, Mosel
 Digitales Orthophoto: © GeoBasis-DE / BKG (2019)

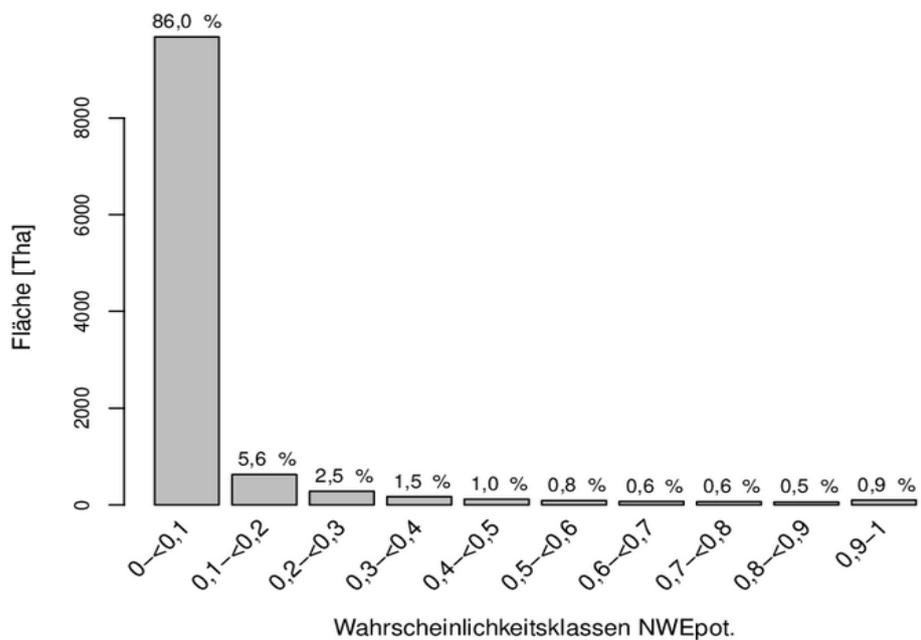


Abbildung 25: Verteilung der Gesamtwaldfläche in Deutschland auf Klassen der Wahrscheinlichkeit für NWE_{pot}.
 Fläche in tausend Hektar [Tha]

4 Diskussion

4.1 Bilanz der NWE-Kulisse

Wird das 5 %-Ziel bzw. das 10 %-Ziel der NBS von den Waldbesitzern umgesetzt?

Die Erweiterung der NWE-Kulisse geht schneller voran als noch zum Stichjahr 2013 prognostiziert. Damals zeichnete sich für das Jahr 2020 ein NWE-Anteil an der Gesamtwaldfläche von 2,3 % und darüber hinaus von 3,0 % ab. Es zeigte sich nun, dass 2019 bereits 2,8 % erreicht wurden. Bis 2020 ist eine Steigerung auf 3 % und darüber hinaus auf 4 % zu erwarten. Die beiden neuen Nationalparks Hunsrück-Hochwald und Schwarzwald haben mit insgesamt ca. 5.800 ha aktuellen Kernzonen nur einen geringen Anteil an den insgesamt rund 111.000 ha neuen NWE-Flächen. Der größere Teil wurde im Landeswald außerhalb von Nationalparks ausgewiesen. Auch der Bund hat in den letzten Jahren die Flächen des Nationale Naturerbes mit einer 3. und 4. Tranche erweitert. Der öffentliche Wald ist jedoch insgesamt mit einem NWE-Anteil von 4,6 % an der öffentlichen Waldfläche noch relativ weit vom Ziel entfernt. Denn obwohl Länder und Bund die NWE-Ziele der NBS umsetzen, ist der kommunale Wald bisher nur mit geringen Anteilen an der NWE-Kulisse beteiligt.

Im Privatwald wurden bisher verhältnismäßig wenig NWE-Flächen ausgewiesen. Vor allem der Privatwald im engeren Sinne ist kaum an der NWE-Kulisse beteiligt. Andererseits haben privatrechtliche Stiftungen und Verbände, die ebenfalls dem privaten Wald zugerechnet werden, z. T. erhebliche Anteile an der NWE-Kulisse. Die NNE-Flächen der DBU Naturerbe GmbH zählen beispielsweise dazu. Für die Bilanz ist der Privatwald jedoch von großer Bedeutung, da die Gesamtwaldfläche, auf der das 5 %-Ziel beruht, einen Privatwaldanteil von knapp 50 % hat (Thünen-Institut 2019). Wenn jedoch der öffentliche Wald das ebenfalls formulierte 10 %-Ziel erreicht, ist automatisch auch das 5 %-Ziel mit erfüllt (10 % im öffentlichen Wald: 593.345 ha, 5 % im Gesamtwald: 570.956 ha). Theoretisch können also die NWE-Ziele der NBS ausschließlich im öffentlichen Wald umgesetzt werden. In diesem Falle wäre zu prüfen, welche Auswirkungen dies auf die naturschutzfachliche Qualität der NWE-Kulisse hätte.

Insgesamt ist die Dynamik bei der Umsetzung von NWE derzeit hoch. Wegen des zügigen Fortschritts sollte verstärkt auf eine naturschutzfachlich fundierte Umsetzung geachtet werden, die einen wirksamen Schutz der Biodiversität gewährleistet. Auch vor dem Hintergrund der entstehenden Kosten im Sinne von Ertragseinbußen (Wildmann et al. 2016) ist ein effizientes Vorgehen von Bedeutung.

Der Privatwald im engeren Sinne und der kommunale Wald sollten stärker in die NWE-Kulisse einbezogen werden, um zu gewährleisten, dass durch eine ungleiche Verteilung auf die Besitzarten keine naturschutzfachlichen Defizite entstehen (vgl. Wulf & Kolk 2014; Mölder 2016; Johann & Schaich 2016). Hierfür sollten entsprechende Förderinstrumente bereitgestellt werden (Franz et al. 2018).

Wie groß ist die Lücke zum 5 %-Ziel bzw. zum 10 %-Ziel zum Stichjahr 2019?

Welche Aussichten gibt es, die Ziele zum Stichjahr 2020 bzw. danach zu erreichen?

Zum Stichjahr 2019 besteht im Gesamtwald eine Lücke von etwa 247.000 ha zur Erreichung des 5 %-Ziels und von etwa 318.000 ha zum 10 %-Ziel. Eine Erreichung der Ziele bis zum Stichjahr 2020 ist daher nicht zu erwarten. Über das Stichjahr 2020 hinaus zeichnet sich jedoch ab, dass die Ziele erreicht werden können. Dafür spricht der in der vorliegenden Studie prognostizierte NWE-Anteil von 4 % nach dem Jahr 2020. Weiterhin wurde mit den NWE-Potenzialflächen eine Möglichkeit identifiziert, einen Teil der Lücke durch Flächen zu schließen, die wahrscheinlich sowohl aus naturschutzfachlicher als auch aus ökonomischer Sicht geeignet sind.

Wie kann die Erhebung der NWE-Kulisse in Zukunft verbessert werden?

Die Datenlage zu NWE-Flächen weist einen sehr hohen Detailgrad auf, jedoch bestehen auch Möglichkeiten zur Verbesserung. So liegen im Vergleich zum Stichjahr 2013 heute erheblich mehr aktuelle NWE-Flächen als textliche Information, also ohne räumliche Abgrenzung, vor. Dadurch wird die Bilanz weniger belastbar, da eine Überlagerungsanalyse nicht möglich ist. Außerdem können bundesweit vorliegende Geoinformationen, wie z. B. die der potenziell natürlichen Vegetation, nicht auf die NWE-Daten abgebildet werden, was zu Unschärfen in der naturschutzfachlichen Bewertung führt. Zum Stichjahr 2013 waren räumlich nicht abgrenzbare Flächen vor allem in den Zukunftsbilanzen, also bei den geplanten Flächen zu finden. Zum Stichjahr 2019 sind im Vergleich dazu textliche Informationen in höherem Umfang bei den aktuellen NWE-Flächen hinzugekommen. Hier nehmen sie einen Anteil von 18 % ein. Ein Großteil dieser Daten wurde nicht von den Waldbesitzern gezielt für das Projekt NWePP bereitgestellt, sondern von einer Webseite entnommen, auf der die NWE-Definition von Engel et. al (2016) verwendet wurde (BaySF 2019). Aber auch in anderen Fällen wurden lediglich textliche Informationen bereitgestellt, da offensichtlich die personellen Ressourcen nicht für eine umfassende Aufbereitung der NWE-Daten zur Verfügung standen.

Eine weitere Verbesserungsmöglichkeit der Datenlage zu NWE-Flächen besteht hinsichtlich des Nationalen Naturerbes (NNE). Obwohl der gesamte Umfang des NNE quantifiziert wird (Reiter & Doerpinghaus 2015; Metzmacher et al. 2018) liegen keine vollständigen Flächenabgrenzungen vor. Es wäre wünschenswert, dass eine zentrale Stelle die entsprechenden Liegenschaften als Geodaten aufbereitet.

Grundsätzlich ist es von zentraler Bedeutung, einen Hauptansprechpartner für NWE-Fragen bei den Waldbesitzern zu haben. Durch die beiden Projekte NWE5 und NWePP wurde diese Entwicklung bereits gefördert und sollte ggf. ausgebaut werden.

4.2 Bewertung und Lückenanalyse der NWE-Kulisse

Wie kann der Wirkungsgrad der NWE-Kulisse hinsichtlich des Schutzes der typischen Biodiversität bestimmter Waldgesellschaften eingeschätzt werden?

Mit der Repräsentativität steht bei den Bewertungen im Projekt NWePP ein Kriterium im Vordergrund, welches in der systematischen Schutzgebietsplanung eine zentrale Rolle spielt (Margules & Pressey 2000; Kukkala & Moilanen 2013). Die Repräsentativität wurde bereits häufig als Planungsgrundlage für Schutzgebietssysteme bzw. für deren Evaluierung verwendet (Peterson et al. 1995; Diepolder 1997; Iacobelli et al. 2006; Williams et al. 2016). Mit einem repräsentativen Schutzgebietssystem soll die vollständige Vielfalt der Biodiversität (möglichst auf allen räumlichen Ebenen) in einem Schutzgebietssystem abgebildet werden (Margules & Usher 1981; Pressey et al. 1993; Margules & Pressey 2000). Repräsentativität kann auch als Maß für das Erreichen bestimmter Flächenziele je Schutzgut bezeichnet werden (Margules & Sarkar 2007) und ist somit geeignet, eine Flächenkulisse hinsichtlich der Zielerreichung einzuschätzen.

Da die Biodiversität in ihrer Gesamtheit nicht erfasst werden kann, muss in der Regel bei der Bewertung der Repräsentativität auf Surrogate zurückgegriffen werden. Diese können auf der Artebene oder auf der Ebene von Umweltvariablen existieren (Margules et al. 2002). Im Projekt NWePP werden natürliche Waldtypen im Sinne von standörtlichen Einheiten verwendet, die bestimmte natürliche Vegetationstypen repräsentieren. Die zu Grunde liegende Theorie besagt, dass jede Art eine eindeutige Verbreitung im ökologischen Raum hat (Hutchinson 1957; Austin & Margules 1994). Die Verteilung im Raum ist an die Variabilität der Umwelt gebunden. Eine räumlich relativ grobe Lückenanalyse auf der Grundlage von umwelt-basierten Surrogaten ermöglicht somit eine praktikable Ansprache aller möglichen Habitate und ökologischen Prozesse, die die Verteilung von Arten bzw. der Biodiversität im Raum kontrollieren (Noss & Cooperrider 1994; Faith & Walker 1996; Iacobelli et al. 2006).

Ein Vorteil der Verwendung von umwelt-basierten Surrogaten im Vergleich zu bestimmten Arten oder Artgruppen ist, dass möglicherweise unbekannte oder schlecht dokumentierte Arten von der Flächenauswahl profitieren können (Scott et al. 1987). Die oft gute Datenverfügbarkeit ist ein weiterer Vorteil (Margules et al. 2002).

Eine zu berücksichtigende Eigenschaft bei der Verwendung des natürlichen Waldtyps als Surrogat ist dessen potenzieller Charakter. Häufig ist der geringere Anteil der Standorte eines bestimmten NWT auch tatsächlich naturnah bestockt. Man findet also beispielsweise auf einer Fläche des NWT „Eichenwälder trocken-warmer bodensaurer Standorte“ in vielen Fällen einen kulturbestimmten Kiefern-Wirtschaftswald vor. Die Auswertungen beziehen sich damit auf einen potenziellen Zustand. Dies scheint nicht nur legitim zu sein, sondern auch notwendig, denn die Perspektive von NWE-Flächen ist dauerhaft. Wenn sich auf unbestimmte Zeit die walddtypische Biodiversität entwickeln soll, müssen die Standorte aller Waldtypen in der NWE-Kulisse enthalten sein. Aus Sicht des Naturschutzes ist es wahrscheinlich erstrebenswert, möglichst naturnahe Flächen auf den als unterrepräsentiert identifizierten Standorten auszuwählen, um einen möglichst großen Nutzen für den Naturschutz zu gewährleisten. Aus wissenschaftlicher Sicht kann es jedoch auch interessant sein, die Sukzession von kulturbestimmten zu naturnahen Stadien zu beobachten. Ein aktuelles Beispiel hierfür sind die großflächigen Störungen in Fichten-Nationalparks. Voraussetzung dafür ist ein Monitoring.

Um den Wirkungsgrad der NWE-Kulisse hinsichtlich des Schutzes der Biodiversität einzuschätzen zu können, bzw. deren Repräsentativität, ist es notwendig konkrete Ziele zu definieren, anhand derer eine Zielerreichung quantifiziert werden kann. Während die Minimalanforderung eine Repräsentation von mindestens einem Element je Surrogat ist, können konkrete Flächenziele auch individuell für jedes Surrogat gesetzt werden (Williams 2001). Im Projekt NWePP wurden die Anteile der jeweiligen natürlichen Waldtypen im Gesamtwald als Zielvorgabe gewählt, um eine lückenlose und proportionale Abdeckung der natürlichen Waldtypen im Zielsystem abzubilden. Die proportionale Zielstellung dient der grundsätzlichen Einschätzung, ob die potenziell im Wald vorhandene Biodiversität in der NWE-Kulisse abgebildet wird. Für die Ableitung operationaler Ziele für den Lückenschluss kann es hingegen sinnvoll sein, Schutzgüter, die in der Referenzfläche als selten zu bezeichnen sind, überproportional in der Schutzgebietskulisse zu berücksichtigen (Margules & Pressey 2000; Gonzales et al. 2003; Vimal et al. 2011).

Wo bestehen Lücken bzw. Handlungsfelder in der NWE-Kulisse?

Ist eine positive oder negative Entwicklung des Schutzes der NWE-typischen Waldbiodiversität zwischen den Stichjahren 2013 und 2019 in der NWE-Kulisse zu beobachten?

Einzelne Handlungsfelder können erkannt werden, wenn z. B. bestimmte Typen nicht oder deutlich unterproportional im betrachteten System vertreten sind. Stark überproportional vertreten Typen geben weitere Hinweise auf möglicherweise ungünstige Entwicklungen. Für die NWE-Kulisse konnten folgende maßgeblichen Abweichungen von einer proportionalen Verteilung identifiziert werden:

Buchenwälder, für die Deutschland eine besondere Verantwortung hat (Knapp et al. 2007), weisen keine maßgeblichen Defizite auf. Hinsichtlich der tatsächlichen Bestockung (vgl. Abschnitt 3.2.3) sind Buchenwälder überproportional in der NWE-Kulisse vertreten. Lediglich die basenarmen Standorte der Buche sind in der NWE-Kulisse unterrepräsentiert (vgl. Ssymank 2000). Grund hierfür ist wahrscheinlich, dass die ärmeren Standorte der Buche häufig mit Nadelholz bestockt sind und aus wirtschaftlichen Erwägungen nicht in die NWE-Kulisse eingehen. Obwohl die potenziellen Standorte bodensaurer Buchenwälder im Vergleich zu ihrem Anteil im Gesamtwald in der NWE-Kulisse unterproportional vertreten sind, sind doch knapp 100.000 ha dieses natürlichen Waldtyps bereits in der NWE-Kulisse enthalten. Daher kann nicht von einem maßgeblichen Defizit gesprochen werden. Die mesophilen und basenreichen Standorte der Buchenwälder sind in der NWE-Kulisse hingegen proportional vertreten.

Hinsichtlich der potenziellen Standorte der Eichenwaldgesellschaften können einige deutlichere Defizite erkannt werden: Insbesondere die potenziellen Standorte der trockenen Eichen-Hainbuchenwälder, aber auch die der frischen Eichen-Hainbuchenwälder und frischen Birken-Eichenwälder sind in der NWE-Kulisse unterproportional vertreten. Diese Waldtypen kommen in der NWE-Kulisse mit ca. 2.800 ha, 9.400 ha und 7.300 ha vor. Auch in anderen Studien wurden bereits Lücken hinsichtlich der Eichenwälder identifiziert: Diepolder (1997) stellt fest, dass die Eichen-Hainbuchenwälder des Schichtstufenlandes nicht im System der Nationalparks repräsentiert sind. Es stellt sich jedoch die Frage, ob Eichenwälder mit der Maßnahme Prozessschutz erhalten werden können. Eichenwälder wurden in der Vergangenheit in aller Regel durch intensive, multifunktionale Nutzungsformen vom Menschen etabliert und erhalten (Leuschner & Ellenberg 2017; Bobiec et al. 2018) und können eine besonders hohe Vielfalt an spezialisierten Waldarten beherbergen (Brändle & Brandl 2001; Ssymank 2016; Mölder et al. 2019). Eichen-Lebensraumtypen werden jedoch

heute auf vielen Standorten durch die Buche und andere Schattbaumarten verdrängt (Meyer 2000; Meyer et al. 2006; Meyer 2009; Ssymank 2016; Leuschner & Ellenberg 2017). Insbesondere durch den Prozessschutz wären Eichenwälder gefährdet, wenn die Eichen auf den jeweiligen Standorten nicht die notwendige Konkurrenzskraft aufweisen um die Schlusswaldgesellschaft zu bilden.

Die Standorte der natürlichen Fichtenwälder hingegen sind deutlich überproportional in der NWE-Kulisse vertreten. Diese sind insgesamt in Deutschland selten und überproportional in den Nationalparks Harz, Berchtesgaden und Bayerischer Wald geschützt. Obwohl seltene Typen durchaus verstärkt in einer Schutzgebietskulisse berücksichtigt werden sollten, scheint der Waldtyp mit ca. 11.000 ha NWE-Fläche (etwa 20 % des bundesweiten Vorkommens im Wald) bereits ausreichend berücksichtigt worden zu sein.

Die Repräsentativität der nicht-seltenen natürlichen Waldtypen ist insgesamt relativ nah an einer proportionalen Verteilung (vgl. PE-Index und Lorenz-Kurve Abschnitt 3.2.2) und im Vergleich zum Stichjahr 2013 nahezu unverändert. Es bestehen also auch zum Stichjahr 2019 noch dieselben Lücken, welche bereits im Projekt NWE5 identifiziert wurden (vgl. Meyer & Engel 2016).

Auf der Ebene der naturräumlichen Großlandschaften kann festgestellt werden, dass der überwiegende Teil der NWT proportional abgebildet ist. Lediglich in den Alpen und den Östlichen Mittelgebirge gibt es jeweils drei Typen, die nicht in der NWE-Kulisse vertreten sind. An diesem Beispiel wird deutlich, dass eine Lückenanalyse auf der Ebene von kleineren Organisationseinheiten zu einem detaillierteren, und möglicherweise operationaleren, Ergebnis führen kann. Perspektivisch sollten detaillierte Auswertungen auf regionalen Ebenen ausgeweitet werden.

Über die Repräsentativität der natürlichen Waldgesellschaften hinaus wurde weiterhin die Verteilung der NWE-Flächen auf die naturräumlichen Großlandschaften, die Naturnähe der Baumartenzusammensetzung, die Repräsentativität der aktuellen Bestockungstypen und Altersklassen sowie die Größenklassenverteilungen betrachtet.

Die Verteilung der NWE-Flächen auf die naturräumlichen Großlandschaften ist relativ unausgeglich. Hier zeigen sich zwei wichtige Faktoren, die die Ausweisung von NWE-Flächen beeinflussen: Einerseits spielen die Eigentumsverhältnisse eine wichtige Rolle. Im Nordostdeutschen Tiefland liegen große Teile des Nationalen Naturerbes, welches aus dem Besitz des Bundes für den Naturschutz gesichert wurde. Da der übertragende Eigentümer gleichzeitig auch Initiator der NBS ist, kann ein Eigeninteresse an der Widmung

als NWE vorausgesetzt werden. Ebenfalls hohe NWE-Anteile können in den Alpen festgestellt werden. Es handelt sich zum größten Teil um unbewirtschaftete Flächen im Hochgebirge, auf denen wahrscheinlich eine forstliche Nutzung mit stark erhöhten Pflege- und Erntekosten bei gleichzeitiger geringem Ertrag einhergehen würde. Trotz der relativ unausgeglichenen Verteilung sind alle Großlandschaften bis auf das Alpenvorland jedoch mit mindestens 20.000 ha in der NWE-Kulisse vertreten. Eine Erweiterung der NWE-Kulisse im Alpenvorland wäre ein sinnvoller Schritt, um die Verteilung der NWE-Flächen ausgeglichener zu gestalten. Hierbei bleibt zu beachten, dass von den nicht eindeutig einer Großlandschaft zuzuordnenden NWE-Flächen ein erheblicher Teil wahrscheinlich im Alpenvorland liegt (BaySF 2019).

Die NWE-Kulisse weist eine mittlere Naturnähe auf, wobei es offensichtlich eine Entwicklung zu mehr Naturnähe seit dem Stichjahr 2013 gibt. Grund hierfür ist wahrscheinlich die Entwicklung von Sukzessionsflächen hin zu Pionierstadien mit Baumarten der pnV und die Auswahl neuer, naturnaher NWE-Flächen.

Die relativ hohe Naturnähe spiegelt sich auch in der Betrachtung der aktuellen Bestockungstypen und Altersklassen wider: Hier sind Buchenwälder und hohe Altersklassen in der NWE-Kulisse überproportional vertreten. Fichten und Kiefernwälder, welche in den meisten Fällen standortsfremd sind, sind hingegen deutlich unterproportional enthalten.

Hinsichtlich der Flächengrößen weist die NWE-Kulisse eine einigermaßen gleichmäßige Verteilung auf die Größenklassen auf. Während in der Debatte um Wildnisgebiete derzeit häufig Forderungen nach großen (≥ 1.000 ha) Prozessschutzgebieten gestellt werden (BMUB 2017; Zoologische Gesellschaft Frankfurt 2017), gibt es auch Argumente für den Schutz von kleineren (< 1.000 ha) Flächeneinheiten (Lindenmayer 2019; Wintle et al. 2019). Vor dem Hintergrund der ungeklärten SLOSS-Frage (Single Large Or Several Small) wird empfohlen, unterschiedlich große Schutzgebiete auszuweisen (Bohn et al. 1989).

Insgesamt ist die NWE-Kulisse aus naturschutzfachlicher Sicht unter Berücksichtigung der vorliegenden Ergebnisse als gut zu bezeichnen. Dies ist erfreulich, aber auch ein wenig überraschend. Denn die Flächenkulisse ist überwiegend nicht im Zuge eines übergeordneten systematischen Planungsprozesses entstanden (Meyer et al. 2016). Einzelne Teile der Kulisse, wie die Naturwaldreservate, sind zwar repräsentativ ausgewählt worden (Meyer et al. 2007), andere Teile wie die Nationalparks wurden jedoch zumindest teilweise eher dort ausgewiesen, wo die nötige Akzeptanz bestand.

Teile der Schutzgebietskulisse in Deutschland wurden bereits in der Vergangenheit von verschiedenen Autoren und Autorinnen hinsichtlich ihres Beitrags zum Schutz der Biodiversität und vor dem Hintergrund systematischer Planungsansätzen bewertet (Diepolder 1997; Blab 2002; Steer et al. 2008; Culmsee et al. 2014). In anderen Ländern bzw. auf der europäischen Ebene beschäftigten sich weitere Studien mit dem Thema (Araújo et al. 2007; Rondinini & Pressey 2007; Mikusiński et al. 2007; Lehtomäki et al. 2009; Kati et al. 2015). Die Ergebnisse decken sich zum Teil mit den Erkenntnissen aus der vorliegenden Studie.

Diepolder (1997) entwirft ein theoretisches Konzept für ein Nationalparksystem, das sich im Wesentlichen auf die Abdeckung von repräsentativen Landschaftselementen aus sechs naturräumlichen Großlandschaften stützt. Die von Diepolder identifizierten nicht repräsentierten Landschaftseinheiten sind Buchenwälder in den westlichen und östlichen Mittelgebirgen, Buchenwälder und Eichen-Hainbuchenwälder des Schichtstufenlandes sowie Buchen- und Fichtenwälder des Schwarzwaldes. Insbesondere das Schichtstufenland und das Alpenvorland waren damals nicht in der Kulisse der Nationalparks vertreten. Da seit 1997 weitere fünf Nationalparks etabliert wurden (Kellerwald-Edersee, Hainich, Eifel, Schwarzwald und Hunsrück-Hochwald) dürfte eine erneute Analyse heutzutage deutlich weniger Lücken aufweisen.

Steer et al. (2008) identifizieren Lücken in dem deutschen Schutzgebietssystem, bestehend aus Natura2000, Nationalparks, Biosphärenreservaten und Naturparks. So fehlen grundsätzlich großflächige ungenutzte Waldflächen. Insbesondere wird bemängelt, dass Buchenwälder, für die Deutschland eine besondere Verantwortung trägt, kaum in dem Schutzgebietssystem vertreten sind. Weiterhin seien Bruchwälder unterrepräsentiert. Leider machen Steer et al. keine Angaben zur verwendeten Methodik der Lückenanalyse.

Obwohl in der Vergangenheit keine explizite Bewertung der Wälder mit natürlicher Entwicklung in Deutschland stattgefunden hat, sind die Auswertungen von Diepolder (1997), die sich auf Nationalparks beziehen, am ehesten mit den Ergebnissen des Projekts NWePP vergleichbar. Nationalparks sind ein wesentlicher Bestandteil der heutigen NWE-Kulisse. Die von Diepolder (1997) identifizierten Lücken haben sich vor allem durch die Ausweisung neuer Nationalparks weitgehend geschlossen. Die Eichen-Hainbuchenwälder hingegen stehen jedoch damals wie heute auf der Liste der unterrepräsentierten Waldtypen. Die von Steer et al. (2008) identifizierten Lücken hinsichtlich von Buchenwäldern und großen Flächen von ungenutzten Wäldern können in der NWE-Kulisse nicht vorgefunden werden.

Insgesamt gibt es in Deutschland bereits seit den 1960er Jahren Forderungen nach systematischen Planungsansätzen für Schutzgebiete. Für Naturschutzgebiete hat Sukopp (1971) bereits verschiedene Kriterien für eine objektive Bewertung aufgelistet, die auch heute zu den Bausteinen einer systematischen Schutzgebietsplanung gehören (Kukkala & Moilanen 2013). Zentrale Elemente sind Seltenheit, Gefährdung, Repräsentativität, Wirksamkeit, Unersetzbarkeit, Redundanz, *Comprehensiveness* und Effizienz.

Diepolder (1997) weist darauf hin, dass bereits Anfang der 1970er Jahre die Möglichkeiten einer länderübergreifenden Planung von Nationalparks geprüft wurden. Bei der späteren Ausweisung von neuen Nationalparks lagen jedoch trotzdem keine Konzepte zur systematischen Unterschutzstellung von bestimmten Ökosystemtypen oder erkennbare Anknüpfungen an ein länderübergreifendes Bundesprogramm vor. Diepolder (1997) stellt fest, dass in der Vergangenheit häufig Kriterien wie Seltenheit und Gefährdung bei der Unterschutzstellung von Ökosystemen eine entscheidende Rolle spielten, nicht aber die repräsentative Abdeckung von weiter verbreiteten und weniger gefährdeten Ökosystemen im Sinne von „Referenzflächen“, in denen eine menschliche Nutzung unterbleibt. Bei der Ergänzung der bestehenden Nationalparks sollen laut Diepolder neben der Sicherung von seltenen und international bedeutsamen solche Ökosysteme gesichert werden, die 1. bisher nicht oder nicht ausreichend repräsentiert sind, 2. einst weit verbreitet und typisch waren, jetzt aber vom Menschen zurückgedrängt wurden und 3. möglichst vollständig die ökologische Variabilität abdecken. Über die genannten Kriterien hinaus führt Diepolder u. a. die Naturnähe, die Schutzwürdigkeit, die Management-Effektivität, Nutzungen und Beeinträchtigungen sowie die nationale und internationale Bedeutung als Bewertungskriterien an.

Blab (2002) stellt fest, dass Naturschutzgebiete in Deutschland bis Ende der 1970er Jahre meist lokal und unkoordiniert ausgewiesen wurden. Auslöser für eine Unterschutzstellung war häufig die unmittelbare Gefährdung der Objekte. Obwohl seit Ende der 1970er Jahre ansatzweise systematische Naturschutzgebietsplanungen anvisiert wurden, konnten auf Grund dieser historischen Ausrichtung des Naturschutzes auf das Besondere bei Untergewichtung des Naturraumtypischen bisher keine quantitativ und qualitativ zufriedenstellenden Schutzgebiets-Verbundsysteme etabliert werden. Die FFH-Richtlinie stellt laut Blab erstmals ein Instrumentarium mit klaren Zielen für ein kohärentes Schutzgebietssystem dar. Sie berücksichtigt neben den klassischen Schutzobjekten auch in Deutschland weit verbreitete, typische Biototypen (z. B. bodensaure Buchenwälder) und bedient somit den Grundgedanken einer repräsentativen Flächenauswahl. Auch Blab erkennt

bereits die Notwendigkeit einer objektivierten Auswahl von naturschutzfachlich wertvollen Bereichen vor dem Hintergrund konkurrierender Nutzungsinteressen.

Welche Aussagekraft hat eine Lückenanalyse auf der Bundesebene und können daraus konkrete Handlungsempfehlungen für die regionale und lokale Planungsebene abgeleitet werden?

Die bundesweite Bewertung wird durch das Vorliegen räumlich konkreter Daten zur pnV und zum Wald ermöglicht, welche erst seit relativ kurzer Zeit zur Verfügung stehen (Suck & Bushart 2010; BKG 2012). Obwohl die Datengrundlage auf einer lokalen Ebene wahrscheinlich nur bedingt dafür geeignet ist, konkrete Einzelflächen anzusprechen, ist sie doch bundesweit einheitlich aufbereitet und beinhaltet die wesentlichen Waldtypen, die für eine entsprechende Bewertung benötigt werden.

Eine Lückenanalyse auf der Ebene der naturräumlichen Großlandschaften wurde bereits in einer ersten Auswertung durchgeführt (vgl. Abschnitt 3.2.1) und kann perspektivisch ausgebaut werden. Ebenso können sich auf der Ebene einzelner Bundesländer abweichende Ergebnisse hinsichtlich unter- oder nicht-repräsentierter NWT ergeben. Da die Repräsentativitätsanalyse im Sinne einer Lückenanalyse durchgeführt wird, die wiederum Grundlage für die zukünftige Auswahl von komplementären Flächen für die NWE-Kulisse ist, kann eine genauere Betrachtung auf der Ebene von Bundesländern sinnvoll sein. Dies gilt umso mehr als dass die Zuständigkeit für die Umsetzung in vielen Fällen auf der Landesebene liegt. Zusätzlich kann es sein, dass auf der Landesebene genauere Daten für die Auswertungen vorliegen. Die Daten im Projekt wurden nicht auf der Ebene der Bundesländer aufbereitet und dementsprechend nicht ausgewertet. Perspektivisch besteht hierzu jedoch die Möglichkeit.

Da es sich bei der NBS um eine Strategie des Bundes handelt, muss die Betrachtung auf der Bundesebene jedoch grundsätzlich Bestandteil der Planungen sein. Eine Betrachtung über die Bundesgrenze hinaus ist ebenso notwendig, wenn die Verantwortung Deutschlands für bestimmte Waldtypen (z. B. Buche) abgeschätzt werden soll.

4.3 Modellierung von NWE_{pot.}-Flächen

Gibt es in Deutschland natürliche Waldentwicklung außerhalb von Schutzgebieten?

Während Umfang und räumliche Verteilung von geschützten oder besonders wertvollen Wäldern mit natürlicher Entwicklung in Deutschland und Europa bereits Gegenstand einiger Untersuchungen waren (Bundesregierung 2009; Forest Europe 2015; Engel et al. 2016; Sabatini et al. 2018), liegen über nicht-geschützte Wälder mit natürlicher Entwicklung bisher wenige Erkenntnisse vor.

Auf europäischer Ebene unterliegen laut Forest Europe (2015) rund 4 % der Wälder (7,3 Mio. ha) einer vom Menschen unbeeinflussten Entwicklung. Forest Europe definiert diese Wälder wie folgt: *Forests undisturbed by man are those in which the natural forest development cycle has remained or been restored, and displays the characteristics of natural tree species composition, natural age structure, deadwood components and natural regeneration, and no visible sign of human activity.* Während sich diese Wälder in Nord- und Südosteuropa konzentrieren, existieren im westlichen Zentraleuropa lediglich 100.000 ha dieser Wälder. In Deutschland gibt es laut Forest Europe keine vom Menschen unbeeinflussten Wälder, dementsprechend auch keine außerhalb von Schutzgebieten. Die Zahlen von Forest Europe (2015) basieren auf bestehenden nationalen Inventuren (in Deutschland: BWI) und Expertenmeinungen.

Ebenfalls auf europäischer Ebene wurden von Sabatini et al. (2018) Primärwälder im Sinne der Definition der FAO (2016) auf der Datengrundlage der *World Database of Protected Area* (UNEP-WCMC & IUCN 2017) hinsichtlich ihrer räumlichen Verteilung und ihres Schutzstatus analysiert. Die FAO definiert Primärwälder folgendermaßen: *Naturally regenerated forest of native species, where there are no clearly visible indications of human activities and the ecological processes are not significantly disturbed.* Es handelt sich somit nicht um Primärwälder im Sinne von Urwäldern, sondern lediglich um naturnahe, weitgehend einer natürlichen Entwicklung überlassene Wälder ohne einen Anspruch an eine vom Menschen unveränderte Ursprünglichkeit. Nach Sabatini et al. sind europaweit 30 % der bisher bekannten Primärwälder nicht streng nach IUCN Kategorie I (*strict nature reserves / wilderness area*) oder II (*national park*) geschützt. In Deutschland hingegen sind 98 % der 6.000 ha in der Studie enthaltenen Primärwälder geschützt. Weiterhin entwickeln Sabatini et al. (2018) ein Modell, welches die Wahrscheinlichkeit für das Vorhandensein von Primärwäldern flächenhaft vorhersagt. Erwartungsgemäß liegen im dicht besiedelten Deutschland keine weiteren potenziellen Primärwälder.

Für Deutschland wurde weiterhin die dritte Bundeswaldinventur vor dem Hintergrund des 5 %-Ziels der NBS von Kroiher & Bolte (2015) ausgewertet, um Hinweise auf den Umfang von Wäldern mit erheblichen Nutzungseinschränkungen zu erhalten. Die Studie kommt zu dem Schluss, dass auf 5,6 % der Waldfläche eine Holznutzung unwahrscheinlich ist, da die zu Grunde liegenden Traktecken der BWI entweder nicht begehbar und/oder eine Holznutzung nicht zulässig oder nicht zu erwarten ist. Betrachtet man diese Teilmenge der Traktecken etwas genauer, so kann zwischen Merkmalen unterschieden werden, die sehr wahrscheinlich auf rechtlich gesicherte NWE-Flächen hindeuten und solchen, die auf ungenutzte und nicht-geschützte Wälder hindeuten (vgl. Abschnitt 2.4.1.1). Unter dieser Annahme teilen sich die 5,6 % der von Kroiher & Bolte (2015) ermittelten Wälder auf in 1,9 % rechtlich gesicherte und 3,7 % nicht-geschützte Flächen auf. Die 3,7 % entsprechen hierbei ca. 422.500 ha Waldfläche bzw. ca. 409.000 ha Holzbodenfläche. Die vorliegende Studie verdeutlicht jedoch, dass die Auswertung der BWI zum Zwecke der Schätzung des Umfangs von gesicherten NWE-Flächen und nicht-genutzten Wäldern außerhalb von Schutzgebieten nur bedingt geeignet ist. Gesicherte NWE-Flächen genügen bestimmten Mindestanforderungen, wie z. B. einer dauerhafte rechtlichen Sicherung und eine Mindestflächengröße, welche anhand der Größen der BWI nicht überprüft werden können. Nicht-genutzten Wälder außerhalb von Schutzgebieten können offensichtlich ebenfalls nicht verlässlich über die BWI angesprochen werden: Bei der Vor-Ort-Überprüfung wurden auf der Ebene des Probekreises an 28 % und auf der Ebene des umliegenden Bestandes an 46 % der Traktecken Anzeichen einer Nutzung vorgefunden. Die bedingte Belastbarkeit der BWI wird auch am Beispiel der nicht begehbaren Traktecken deutlich: Nicht begehbar im Sinne der Aufnahmetätigkeit im Zuge der BWI bedeutet, dass das Inventurteam an der Traktecke keine Aufnahmen durchführen konnte. Die Faktoren, die eine Inventur verhindern, müssen aber nicht zwangsläufig auch eine forstliche Nutzung ausschließen. Wenn beispielsweise einzelne Probebäume auf Grund von punktuell starkem Unterwuchs nicht gekluppt werden können, kann die Inventur nicht durchgeführt werden, und die Traktecke wird als nicht begehbar attribuiert. Das Aufsuchen der konkreten Stelle im Wald ist jedoch möglich und damit evtl. auch eine Nutzung. Bei der Vor-Ort-Prüfung konnten die meisten nicht begehbaren Traktecken grundsätzlich aufgesucht werden.

Die bei der Vor-Ort-Prüfung vorgefunden tatsächlichen Nutzungssituationen an den Traktecken der BWI verdeutlichen weiterhin, dass auch bei ungünstigen Geländebedingungen eine Nutzung generell nicht ausgeschlossen werden kann. Die Grenzen der Bewirtschaftbarkeit sind in Deutschland meist nicht erreicht. Hittenbeck (2011) kommt beispielsweise zu dem Schluss, dass auf Böden mit Lössauflage im

niedersächsischen Bergland eine hochmechanisierte Holzernte bis zu einer Hangneigung von 79 % theoretisch möglich ist. Für Raupenharvester wird in der Literatur eine maximale Hangneigung von 65 % angegeben, mit Hilfsmitteln wie z. B. einer Sicherung per Seilwinde sogar bis zu 100 % (LWF 2002). In steilem Gelände bis zu 140 % Hangneigung wird ein kombiniertes Verfahren aus motormanueller Fällung und Seilkranbringung bzw. Gebirgsharvestereinsatz (Kombination aus Seilkran und Prozessor) angewendet (LWF 2010). In absolut unbefahrten Lagen kommt ein kombiniertes Verfahren aus motormanueller Fällung und Hubschrauberbringung zum Einsatz (LWF 2002; LWF 2010).

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass in Deutschland wahrscheinlich vergleichsweise wenig Wälder mit natürlicher Entwicklung außerhalb von Schutzgebieten existieren, da die Bedingungen für die Bewirtschaftung nur in Ausnahmefällen so schlecht sind, dass eine Bewirtschaftung nicht in Frage kommt. Auch wenn bei der Vor-Ort-Prüfung durchaus Waldbestände vorgefunden wurden, in denen offensichtlich keine Nutzung stattgefunden hat, bliebe zu überprüfen, ob es Hinweise aus der Literatur oder aus der Analyse von Geländemodellen auf historische Nutzungen an diesen Plots gibt (Schellberg et al. 2010; Arnold 2011; Swieder 2014; Poschlod 2017).

Unstrittig dürfte jedoch sein, dass je ungünstiger die Geländebedingungen sind, die Wahrscheinlichkeit für eine Nicht-Nutzung bzw. für eine faktische natürliche Entwicklung steigt. Die NWE-Potenzialflächen sollen diese Wahrscheinlichkeit abbilden.

Wie können NWE-Potenzialflächen identifiziert und quantifiziert werden?

Wälder mit faktischer natürlicher Entwicklung außerhalb von Schutzgebieten wurden bisher in Deutschland nicht kartiert und es gab kein Verfahren, um den Umfang und die räumliche Verteilung verlässlich zu schätzen.

Eine belastbare Ableitung aus den Daten der Bundeswaldinventur ist nicht möglich, da die BWI kein Merkmal enthält, welches auf diese Fragestellung zugeschnitten ist. Eine Einschätzung der Nutzung anhand der Probestämme der Winkelzählprobe kann nicht vorgenommen werden, da die Möglichkeit besteht, dass genutzte Bäume nicht von der Winkelzählprobe erfasst werden, oder die Nutzung bereits vor der ersten BWI stattgefunden hat.

In Zuge der Kohlenstoffinventur 2017 (CI2017) wurde mit der „Nutzungsart“ ein neues Merkmal eingeführt (BMEL 2017). Es werden dabei über die Winkelzählprobe hinaus auf einem Probekreis mit dem Radius 25 m alle genutzte Bäume mit einem Mindest-BHD von 7 cm aufgenommen und nach der Nutzungsart „keine Nutzung“, „selektive Nutzung“ und

„flächige Entnahme“ (regulär oder kalamitätsbedingt) differenziert. Es werden allerdings nur Nutzungen seit der letzten Inventur aufgenommen, im Falle der CI2017 also nur Nutzungen seit der BWI³. Da somit alle älteren Nutzungen nicht dokumentiert werden, können die Ergebnisse der CI2017 nicht herangezogen werden um nutzungsfreie Wälder zu identifizieren.

Die stichprobenbasierte Erfassung der faktisch nutzungsfreien Wälder im Zuge der BWI wäre grundsätzlich erstrebenswert. Hierzu bedarf es jedoch der Entwicklung eines geeigneten Merkmals für die BWI, das eine belastbare Schätzung zulässt.

Auf europäischer Ebene gibt es Studien, die nutzungsfreie Wälder modellbasiert identifizieren. Die Modelle beruhen auf Flächen oder Punkten mit bekannten Ausprägungen der Zielgröße (z. B. Nutzung ja/nein) und auf erklärenden Variablen, die flächendeckend für den jeweiligen Untersuchungsraum vorliegen.

Hinsichtlich der erklärenden Variablen identifiziert Forest Europe (2015) entlegene, schlecht zugängliche Regionen mit extremen klimatischen und/oder topographischen Eigenschaften als Voraussetzungen für das Vorkommen von Wäldern, welche sich vom Menschen unbeeinflusst entwickeln.

In das von Sabatini et al. (2018) entwickelte Modell gehen Variablen ein, die die räumliche Verteilung von Primärwäldern erklären. Sozio-ökonomische Faktoren wie beispielsweise die Populationsdichte und die Entfernung von größeren Städten haben hohe Erklärungswerte, aber auch Geländemerkmale wie die Geländerauigkeit sowie die Verfügbarkeit von Wasser sind von hoher Relevanz.

Weitere Hinweise auf erklärende Variablen, die eine mögliche Nutzungsfreiheit anzeigen, können bei Verkerk et al. (2015) gefunden werden. Die Autoren modellieren die Nutzungswahrscheinlichkeit (*harvest likelihood*) in europäischen Wäldern. Wichtige Einflussgrößen sind neben Zuwachs, Baumartenzusammensetzung, Vorrat und Bodenproduktivität auch die Geländerauigkeit (*terrain ruggedness*) und die Erschließung.

In den ausgewerteten Studien stehen somit hauptsächlich Variablen im Fokus, die extreme Geländeeigenschaften hinsichtlich der Topografie und des Wasserhaushalts sowie eine schlechte Erschließung abbilden. In dem Modell zur Ermittlung der Wahrscheinlichkeit von NWE_{pot} haben ähnliche Variablen wie die Distanz zur Erschließung, die Hangneigung sowie die Geländerauigkeit und die Informationen zum Wasserhaushalt (VDCN und TWI), einen hohen Erklärungsgrad.

Die Qualität und Vollständigkeit der verwendeten Variablen sind eine wichtige Voraussetzung für eine gute Vorhersagegüte des Modells. Die abhängige Variable in dem NWE_{pot} -Modell hat eine hohe Qualität, da die Nicht-Nutzung explizit vor Ort geprüft wurde und die genutzten Ecken eindeutig aus der BWI hervorgehen. Die Modellqualität könnte jedoch durch eine höhere Anzahl an nachweislich nicht genutzten Punkten verbessert werden, was auf Grund der personelle Ausstattung nicht möglich war. Die erklärenden Variablen haben grundsätzlich ebenfalls eine hohe Qualität, weisen jedoch auch einige Schwächen auf. Die meisten verwendeten Variablen sind abgeleitete Produkte aus dem digitalen Geländemodell (DGM) und der OpenStreetMap bzw. dem Basis-DLM. Diese Datenquellen zeichnen sich durch einen hohen Detailgrad und Aktualität aus, OSM und Basis-DLM können jedoch Lücken aufweisen. Aus dem DGM direkt abgeleitete Größen wie die Hangneigung können als sehr verlässlich und nahezu fehlerfrei bezeichnet werden. Die VDCN basiert auf dem DGM und den Fließgewässern aus OSM und Basis-DLM. Auf Grund des möglicherweise unvollständigen Gewässernetzes und der unbekanntenen hydrologischen Bodeneigenschaften stellt die VDCN jedoch nur eine Annäherung an die realen Verhältnisse dar. Obwohl die Validierung der VDCN eine gute Qualität anzeigt, können insbesondere auf der lokalen Ebene Ungenauigkeiten entstehen. Insgesamt scheint die VDCN jedoch eine vielversprechende Genauigkeit zu gewährleisten, was sich unter anderem daran zeigt, dass modellierte NWE_{pot} -Flächen ohne weitere Hilfsgrößen in wassergeprägten Naturschutzgebieten ausgewiesen werden. Die Distanz zur Erschließung basiert ebenfalls auf OSM und Basis-DLM und weist dort Ungenauigkeiten auf, wo Wege nicht kartiert wurden. Obwohl dies im Wald und in weniger stark frequentierten Regionen wahrscheinlich häufiger der Fall ist als in siedlungsnahen Bereichen, ist der Detailgrad der Ausgangsdaten dennoch als sehr hoch einzuschätzen.

Ein weiterer Grund für ungenaue Vorhersagen durch das Modell liegt darin, dass möglicherweise Variablen in dem Modell fehlen, die einen relevanten Einfluss für die Wahrscheinlichkeit von NWE_{pot} haben. Eine Größe, die auf Grund von fehlenden Datenquellen nicht berücksichtigt werden konnte, sind die Eigentumsverhältnisse. Studien haben ergeben, dass im Kleinstprivatwald <5 ha die Nutzungsintensität häufig geringer ist als im übrigen Wald und eine Nutzung zum Teil sogar unterbleibt (ML Niedersachsen 2014; Hennig 2018; Unseld 2018). Ob diese Größe für einen dauerhaften Nutzungsverzicht relevant ist, bleibt jedoch fraglich, da sich bei einem Eigentümerwechsel oder bei Änderungen in der Organisationsstruktur die Voraussetzungen für eine Nutzung ändern können.

Ein wichtiges Ziel der vorliegenden Studie war es, NWE-Potenzialflächen räumlich abzugrenzen und den Umfang von $NWE_{pot.}$ zu quantifizieren. Beides konnte nicht umgesetzt werden. Während das entwickelte Modell geeignet ist, Bereiche mit einer besonders hohen Wahrscheinlichkeit für $NWE_{pot.}$ auf einer Karte hervorzuheben, können konkrete Einzelflächen nicht ohne Weiteres abgegrenzt, und damit auch keine summarische Flächenbilanz berechnet werden. Voraussetzung für die Abgrenzung von Flächen ist ein Schwellenwert, anhand dessen die Planungseinheiten der Modellierung (Pixel, 25x25 m) binär in $NWE_{pot.}$ und nicht $NWE_{pot.}$ klassifiziert werden können. Die Ermittlung eines objektiv korrekten Schwellenwertes ist jedoch nicht möglich. Schwellenwerte werden durch eine sogenannte *cut-point* Analyse ermittelt (Fawcett 2006), bei der auf der Basis der bekannten Punkte mit und ohne Nutzung sowie der modellierten Wahrscheinlichkeit das Verhältnis von *true positive*, *true negative*, *false positive* und *false negative* Treffern optimiert wird. Die Optimierung kann dabei variabel gestaltet werden, je nachdem ob es beispielsweise wichtiger erscheint die *true positive* Rate zu maximieren oder die *false positive* Rate zu minimieren. Bei einem empirischen Schwellenwert (in diesem Falle TSS, vgl. Abschnitt 2.4.3) von 0,056 würde eine Kulisse von ca. 2 Mio. ha resultieren. Wird ein Schwellenwert gutachterlich auf beispielsweise 0,5 oder 0,8 gesetzt resultieren gänzlich andere Flächenumfänge.

Perspektivisch besteht die Möglichkeit Optimierungsprozesse zu verwenden, um $NWE_{pot.}$ -Flächen abzugrenzen. Hierbei werden Flächen identifiziert, die eine möglichst hohe Wahrscheinlichkeit für $NWE_{pot.}$ haben und gleichzeitig bestimmte vordefinierte Flächenziele erreichen. Die Flächenziele können hierbei aus einer Lückenanalyse abgeleitet werden.

In Anbetracht der dargestellten Erkenntnisse wird die ermittelte Wahrscheinlichkeit für $NWE_{pot.}$ nur als Kartenlayer dargestellt, welcher Bereiche mit besonders hoher Wahrscheinlichkeit für $NWE_{pot.}$ hervorhebt. Die Karte dient der Entscheidungsunterstützung bei der Suche nach neuen NWE-Flächen.

Sind diese Flächen für einen Lückenschluss der rechtlich gesicherten NWE-Kulisse geeignet?

Wälder mit einer hohen Wahrscheinlichkeit für $NWE_{pot.}$ entwickeln sich möglicherweise seit längerer Zeit eigendynamisch und haben dementsprechend eine hohe Naturnähe. Da das Modell lediglich eine Wahrscheinlichkeit liefert, sind der tatsächliche Nutzungsstatus sowie die Eignung der Fläche als NWE-Flächen allerdings stets vor Ort zu prüfen. Abgesehen von der fehlenden dauerhaften Sicherung, der fehlenden räumlichen Abgrenzung und der

möglicherweise fehlenden Mindestflächengröße, entsprechen sie somit den Mindestanforderungen an NWE-Flächen und wären grundsätzlich gut geeignet die NWE-Kulisse zu ergänzen.

Allerdings reicht die naturschutzfachliche Qualität der Einzelfläche nicht aus um einen komplementären Lückenschluss der bereits gesicherten NWE-Kulisse zu gewährleisten. Hierfür ist eine Lückenanalyse des gesamten Systems der NWE-Flächen notwendig. Die Lücken wurden im Zuge einer Lückenanalyse auf der Bundesebene ermittelt (vgl. Abschnitt 3.2). Da eine flächenscharfe Kulisse der NWE_{pot.}-Flächen nicht ohne weiteres abgegrenzt werden kann, besteht keine Möglichkeit deren Beitrag zu einem Lückenschluss zu quantifizieren. Perspektivisch kann jedoch der bereits erwähnte Optimierungsprozess verwendet werden, um diesen Beitrag abzuschätzen. Durch den Optimierungsprozess werden vorgegebene Flächenziele für die unterrepräsentierten natürlichen Waldtypen bei einer möglichst hohen Wahrscheinlichkeit für NWE_{pot.} erreicht. Der Flächenumfang der angestrebten Kulisse steht somit durch die vordefinierten Flächenziele fest. Eine Darstellung der Flächenanteil der optimierten Kulisse, beispielsweise getrennt nach 10 %-Wahrscheinlichkeitsklassen (NWE_{pot.}), kann Aufschluss über den Beitrag von NWE_{pot.} zum Lückenschluss geben: Ist der Lückenschluss überwiegend durch Flächen mit hoher Wahrscheinlichkeit für NWE_{pot.} realisierbar, dann ist der Beitrag von NWE_{pot.} dementsprechend hoch. Der mögliche Grad des Beitrags von NWE_{pot.} hängt hierbei auch von der Art der unterrepräsentierten Waldtypen ab: Sind Typen unterrepräsentiert, die vorwiegend auf wenig extremen Standorten vorkommen, dann kann der Beitrag von NWE_{pot.} nicht hoch sein.

Aber auch ohne den beschriebenen Optimierungsprozess sollen die NWE_{pot.}-Flächen bereits jetzt einer systematischen Erweiterung der NWE-Kulisse dienen. Die kartographische Darstellung der unterrepräsentierten natürlichen Waldtypen zusammen mit der Wahrscheinlichkeit für NWE_{pot.} soll im Sinne eines Werkzeuges zur Entscheidungsunterstützung verwendet werden, um geeignete Flächen für den Lückenschluss zu finden. Da die NWE_{pot.}-Karte flächig für den gesamten deutschen Wald vorliegt, ist eine notwendige Flexibilität bei der Flächenauswahl gewährleistet. Die Flexibilität ist ein weiteres wichtiges Konzept in der systematischen Schutzgebietsplanung, nach dem zum einen durch das Angebot von Alternativen bei der Schutzgebietsplanung die Wahrscheinlichkeit dafür steigt, dass geeignete Lösungen gefunden werden (Pressey et al. 1993) und zum anderen die Möglichkeit besteht, dass zu einem späteren Zeitpunkt

korrigierend eingegriffen werden kann, wenn einzelne Flächen ausfallen (Rodrigues et al. 2000).

Im Verlauf des konkreten Auswahlprozesses von Einzelflächen müssen neben dem naturschutzfachlichen Wert und der Eignung für den Lückenschluss weitere Kriterien beachtet werden, um eine Flächenauswahl zu treffen, die naturschutzfachlichen und organisatorischen Ansprüchen genügt.

Bei der Auswahl neuer NWE-Flächen sollte aus naturschutzfachlicher Sicht darauf geachtet werden, dass die Flächen

- einen komplementären Beitrag zur bestehenden NWE-Kulisse leisten,
- eine hohe Naturnähe aufweisen (Baumartenzusammensetzung, Strukturmerkmale, Totholzanteile, Störungsregime, Altersstruktur),
- idealerweise Vorkommen seltener und gefährdeter Waldtypen und/oder Waldarten aufweisen,
- eine kompakte Flächenform haben (nicht bei natürlicherweise linienförmig ausgeprägten Waldtypen),
- die Mindestflächengröße von 0,3 ha erfüllen,
- eine hohe Habitatkontinuität/Habitattradition aufweisen,
- bestehende und fragmentierte NWE-Flächen arrondieren und
- für den Prozessschutz geeignet sind bzw. keine Zielkonflikte mit anderen Naturschutzzielen bestehen.

Aus organisatorischer Sicht sollte gewährleistet sein, dass

- die Verpflichtungen zur Verkehrssicherung gering gehalten wird,
- es keine Zielkonflikte aus rechtlicher Sicht gibt (z. B. freizuhaltenden Stromtrassen),
- es finanzielle Ausgleichsmöglichkeiten gibt und
- eine kompakte Flächenform gewahrt wird.

Besteht eine Notwendigkeit für eine dauerhafte Sicherung?

Für eine dauerhafte Sicherung von NWE_{pot.}-Flächen spricht, dass damit eine vollumfängliche Anerkennungsfähigkeit bezüglich der Mindestanforderungen an NWE-Flächen gewährleistet wäre. Die dauerhafte Sicherung zum Zwecke der natürlichen Waldentwicklung sowie die Mindestflächengröße sind Bestandteil der Definition und sollen dazu beitragen, die waldtypische Biodiversität wirkungsvoll zu schützen. Einer dauerhaften Sicherung müsste zunächst ein Auswahlprozess vorangehen in dessen Rahmen die Konzepte der

systematischen Schutzgebietsplanung Anwendung finden können. Im Sinne eines wirksamen Schutzes der Biodiversität wäre dies als weiterer Vorteil einer dauerhaften Sicherung zu sehen.

Des Weiteren wurde erkannt, dass auch in ungünstigen Geländelagen eine zukünftige Nutzung nicht auszuschließen ist. Auch aus diesem Grund ist eine dauerhafte Sicherung notwendig, wenn zukünftige Nutzungs- oder Pflegeeingriffe ausgeschlossen werden sollen.

Gegen eine Sicherung der NWE_{pot.}-Flächen spricht, dass laut NBS sowohl Flächen innerhalb als auch außerhalb von Schutzgebieten zum angestrebten Flächenziel von Wäldern mit natürlicher Entwicklung beitragen:

„Zum angestrebten Flächenanteil von Wäldern mit natürlicher Waldentwicklung tragen sowohl Schutzgebiete (Naturwaldreservate u. a.) als auch Flächen außerhalb von Schutzgebieten bei.“ (BMU 2007), (Abschnitt B 1.2.1., S. 32).

Hierbei ist jedoch zu klären, ob die Formulierung „Wäldern mit natürlicher Waldentwicklung“ sich auf die (nachträglich erarbeitete) Definition von NWE-Flächen (Engel et al. 2016) beziehen soll, und somit eine Sicherung der Fläche notwendig macht. Wenn Schutzgebiete als Gebiete mit hoheitlicher Sicherung verstanden werden, dann könnte NWE außerhalb von Schutzgebieten existieren, wenn sie beispielsweise durch eine dokumentierte Eigenbindung, als Kompensationsmaßnahme oder vertraglich gesichert ist.

Die uneingeschränkte Anerkennung von NWE_{pot.}-Flächen in einer NWE-Bilanz wird nicht empfohlen. Gründe hierfür sind die fehlenden Eigenschaften hinsichtlich der Mindestanforderungen an NWE-Flächen, die Restunsicherheit hinsichtlich der tatsächlichen und zukünftigen Nutzungsverhältnisse auf den NWE_{pot.}-Flächen und die genannten Vorteile einer dauerhaften Sicherung.

Die dauerhafte Sicherung, insbesondere von privaten und kommunalen Waldflächen, kann nur gelingen, wenn entsprechende Instrumente des finanziellen Ausgleichs bereitgestellt werden. Diese haben jedoch bisher für die Maßnahme Prozessschutz noch nicht gegriffen (Franz et al. 2018). Da die Förderung des Vertragsnaturschutzes ein weiteres Ziel der NBS ist (BMU 2007), ist der Bund gefordert, hier die nötigen Rahmenbedingungen zu schaffen.

5 Zusammenfassung

Das Übereinkommen über die biologische Vielfalt (CBD = Convention on Biological Diversity) wurde 1992 in Rio de Janeiro auf der Konferenz der Vereinten Nationen für Umwelt und Entwicklung (UNCED) verabschiedet und danach von einer Vielzahl von Staaten ratifiziert. Eines der drei Hauptziele der CBD ist der Erhalt der biologischen Vielfalt. Nachdem Deutschland das Übereinkommen 1993 ratifiziert hatte, verabschiedete das Bundeskabinett im Jahr 2007 die Nationale Strategie zur Biologischen Vielfalt (NBS). Die NBS enthält rund 330 Ziele zu biodiversitätsrelevanten Themen. Eines der zentralen Ziele für den Lebensraum Wald lautet: „2020 beträgt der Flächenanteil der Wälder mit natürlicher Waldentwicklung 5 % der Waldfläche“.

Für Deutschland war es bis vor Kurzem auf Grund von fehlenden Daten zu Wäldern mit natürlicher Entwicklung (NWE) nicht möglich eine belastbare Bilanz der gesamten NWE-Kulisse vorzunehmen. Zum Stichjahr 2013 wurde erstmals in dem Forschungsvorhaben „NWE5“ diese Grundlage auf Basis einer abgestimmten Definition für NWE-Flächen und einer räumlich explizit erfassten Flächenkulisse mit zahlreichen beschreibenden Attributen geschaffen. Diese Datengrundlage wurde zum Stichjahr 2019 in dem Vorhaben „NWePP“, welches den Rahmen für die vorliegende Arbeit darstellt, aktualisiert.

Auf der Grundlage der im Projekt „NWePP“ erfassten Daten wurden die NWE-Flächen erneut bilanziert und einer naturschutzfachlichen Bewertung unterzogen. Im Sinne einer systematischen Schutzgebietsplanung bietet sich eine Lückenanalyse des NWE-Systems an, die Handlungsfelder für die weitere Ausgestaltung der Flächenkulisse identifiziert. Hierzu zählen beispielsweise Waldtypen, die in der aktuellen NWE-Kulisse nicht vertreten oder unterrepräsentiert sind.

Über die rechtlich gesicherten NWE-Flächen hinaus gibt es in Deutschland zudem wahrscheinlich faktische NWE-Flächen, deren natürliche Entwicklung nicht formal und dauerhaft gesichert ist, die sich aber seit geraumer Zeit bereits eigendynamisch entwickeln (NWE-Potenzialflächen = $NWE_{pot.}$). Zu diesen NWE-Potenzialflächen gibt es bislang kaum belastbare Informationen. Es ist zu erwarten, dass dort, wo bisher eine forstliche Nutzung unterblieben ist, sich naturschutzfachlich wertvolle Waldbestände finden lassen, die gleichzeitig von einem geringen wirtschaftlichen Interesse sind.

Fragestellungen

In der Arbeit wird folgenden zentralen Fragestellungen nachgegangen:

... hinsichtlich der Bilanzierung der NWE-Flächen:

Wie groß ist die Lücke zum 5 %-Ziel bzw. zum 10 %-Ziel zum Stichjahr 2019?

Welche Aussichten gibt es, die Ziele zum Stichjahr 2020 bzw. danach zu erreichen?

... hinsichtlich der naturschutzfachlichen Bewertung der bestehenden NWE-Kulisse:

Wie kann der Wirkungsgrad der NWE-Kulisse hinsichtlich des Schutzes der typischen Biodiversität bestimmter Waldgesellschaften eingeschätzt werden?

Wo bestehen Lücken bzw. Handlungsfelder in der NWE-Kulisse?

... hinsichtlich der potenziellen NWE-Flächen:

Gibt es in Deutschland natürliche Waldentwicklung außerhalb von Schutzgebieten?

Wie können NWE-Potenzialflächen identifiziert und quantifiziert werden?

Sind diese Flächen für einen Lückenschluss der rechtlich gesicherten NWE-Kulisse geeignet?

Methodik

In der Arbeit wird zwischen dauerhaft gesicherten NWE-Flächen und NWE-Potenzialflächen unterschieden. NWE-Flächen erfüllen bestimmte Mindestanforderungen, wie eine rechtliche Sicherung und eine explizite Widmung für NWE und sind i. d. R. räumlich abgegrenzt. Auf NWE_{pot.}-Flächen ist davon auszugehen, dass mit hoher Wahrscheinlichkeit bereits seit einiger Zeit eine natürliche Entwicklung stattfindet, die jedoch nicht dauerhaft gesichert und nicht als Bestimmungszweck festgelegt ist.

Die Flächenkulisse der dauerhaft gesicherten NWE-Flächen wurde durch eine Abfrage bei 100 Waldbesitzern in Deutschland aktualisiert. Die Waldbesitzer wurden gebeten räumlich konkrete NWE-Flächen mit Geodaten und Angaben zur Besitzart, Dauer des bisherigen Nutzungsverzichts, Schutzstatus, Bestockung, etc. bereitzustellen. Die Informationen wurden auf Anerkennungsfähigkeit im Sinne der NWE-Definition überprüft und überlagerungsfrei zusammengeführt.

Auf der Grundlage dieser Daten wurde eine naturschutzfachliche Bewertung durchgeführt, in deren Mittelpunkt die Repräsentativität der 15 in Deutschland vorkommenden natürlichen

Waldtypen (NWT) stand. Die NWT basieren auf der Karte der potenziellen natürlichen Vegetation und sind damit ein Abbild für die standörtlichen Verhältnisse der in Deutschland vorkommenden natürlichen Waldgesellschaften. Sie werden in der Lückenanalyse als Surrogat für die Waldbiodiversität verwendet.

Weiterhin wurde die Wahrscheinlichkeit für das Vorliegen einer NWE-Potenzialfläche auf der Grundlage eines SpikeAndSlab-GAM für den Wald in Deutschland modelliert. Zur Kalibrierung des Modells wurden nachweislich ungenutzte bzw. genutzte Traktecken der dritten Bundeswaldinventur (BWI³) und flächendeckend vorliegenden Informationen zu z. B. Geländeausprägungen, Erschließung, standörtlichen Bedingungen, Isolation und Waldart verwendet.

Ergebnisse

Zum Stichjahr 2019 gibt es in Deutschland rund 324.000 ha, die der NWE-Definition entsprechen. Dies entspricht einem Anteil von 2,8 % bezogen auf den Gesamtwald gemäß den Ergebnissen der BWI³. Seit der Eröffnungsbilanz zum Stichjahr 2013 hat sich die Fläche um rund 111.000 ha erhöht. Bis zum Jahr 2020 ist ein Anstieg auf 3 % und danach auf ca. 4 % zu erwarten. Große Flächenzuwächse kommen durch die Umsetzung der NWE-Ziele der NBS in den Landeswäldern vieler Bundesländer zustande. Bei der perspektivischen Erweiterung der NWE-Kulisse spielen vor allem die Flächen der 3. und 4. Tranche des Nationalen Naturerbes sowie die zu erwartenden Erweiterungen der Kernzonen in den Nationalparks eine entscheidende Rolle. Die Alpen (14,4 %) und das Nordostdeutsche Tiefland (3,9 %) weisen die höchsten Anteile an NWE-Flächen auf. Im Südwestdeutschen Mittelgebirge ist der Anteil von 0,8 auf 1,4 % gestiegen und hat sich damit nahezu verdoppelt.

Zum Stichjahr 2013 wie auch heute sind die Standorte der NWT Eichen-Hainbuchenwälder, Birken-Eichenwälder und bodensauren Buchenwälder in der NWE-Kulisse unterproportional vertreten. Die Standorte der Fichtenwälder besitzen hingegen einen stark überproportionalen Anteil. Alle anderen NWT sind adäquat repräsentiert. Im Vergleich zur aktuellen Baumartenzusammensetzung im Gesamtwald sind Fichte und Kiefer unterproportional, die Buche jedoch überproportional in der NWE-Kulisse vertreten. Wälder mit einem Alter der Hauptbaumart von mehr als 160 Jahren besitzen einen deutlich überproportionalen Anteil. Insgesamt ist die NWE-Kulisse aus naturschutzfachlicher Sicht positiv zu bewerten.

Die Wahrscheinlichkeit für das Vorkommen einer NWE_{pot.}-Fläche wurde flächendeckend modelliert und liegt als Karte mit einer Auflösung von 25x25 m für den Wald in Deutschland

vor. Eine Betrachtung der marginalen Effekte zeigt, dass folgende Eigenschaften zu einer hohen Wahrscheinlichkeit für NWE_{pot.} führen: starke Hangneigung, schlechte Erschließung, hoher Wassereinfluss sowie isolierte Streulage. Das erarbeitete Modell ist ein Hilfsmittel, welches Hinweise auf möglicherweise gut geeignete Flächen zur Komplettierung der NWE-Kulisse entsprechend der NWE-Ziele der NBS liefert.

Schlussfolgerungen

Für die weitere Ausgestaltung der 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. NWE_{pot.}-Flächen sollten in diesem Auswahlprozess eine wichtige Rolle spielen, um Synergien zwischen naturschutzfachlichen und wirtschaftlichen Zielen zu erschließen. Bei der konkreten Auswahl von neuen, dauerhaft zu sichernden NWE-Flächen stehen dabei jedoch weitere Aspekte wie die Eigentumsverhältnisse, der naturschutzfachliche Wert, die Möglichkeiten eines praktikablen Flächenmanagements sowie Konflikte mit anderen rechtlichen Verpflichtungen im Vordergrund. Das erarbeitete Modell der NWE_{pot.}-Flächen soll zusammen mit den identifizierten Lücken im Sinne einer Entscheidungsunterstützung Hinweise auf gut geeignete Flächen geben.

Perspektivisch können detailliertere Analysen auf der Ebene von kleineren Organisationseinheiten oder Regionen genaueren Aufschluss über die zu schließenden Lücken geben. Die Auswahl von NWE_{pot.}-Flächen, die besonders gut für einen Lückenschluss geeignet sind, kann durch Optimierungsprozesse unterstützt werden.

6 Summary

Title of thesis: Perspectives and potentials for development of a coherent system of forests with natural development in Germany.

In the context of the German National Biodiversity Strategy the total area of forests with natural development (NWE, German: natürliche Waldentwicklung) in Germany was assessed and subjected to a gap analysis. Potential NWE sites were also identified on the basis of a spatially explicit model.

Methodology

In this thesis, permanently secured NWE sites (NWE sites) are distinguished from potential NWE sites (NWE_{pot.} sites). NWE sites meet certain minimum requirements, such as

permanent legal protection and an explicit designation for NWE. These sites are usually spatially delimited. NWEpot. sites are sites where there is a high probability that they have developed naturally for some time but which, however, are not yet designated as sites for natural development and are not under long-term legal protection. The total area of permanently secured NWE areas was assessed by a survey of forest owners in Germany. They were asked to provide spatially explicit information on NWE sites, as well as additional information. On the basis of this data a gap analysis was carried out focusing on the representativeness of 15 natural forest types (NWT, German: natürliche Waldtypen). The NWT represent the potential sites of the corresponding forest types and were used in the analysis as a surrogate for forest biodiversity. Additionally, the probability for the presence of a NWEpot. site was modeled for the entire forest area of Germany on the basis of a SpikeAndSlab-GAM. The model was calibrated using the plots of the third Federal Forest Inventory (BWI3) and nationwide geodata on, for example, terrain characteristics, development, site conditions, isolation and forest type.

Results

As of the year 2019 there are about 324,000 hectares of NWE sites in Germany. This corresponds to 2.8 % of the total forest area. An increase to 3 % is expected by 2020 and later to approx. 4 %. The sites of NWT oak-hornbeam forests, birch-oak forests and acidophilous beech forests are, however, underrepresented in the NWE network, whereas potential spruce forests sites make up a disproportionately high proportion of the total. All other NWT are adequately represented. Compared to the current tree species composition in the forest as a whole, spruce and pine are underrepresented, while beech is overrepresented in the NWE network. Forests where the age of the main tree species is greater than 160 years make up a disproportionately high share of sites. Overall, the NWE network can be rated positively from a nature conservation point of view. The occurrence probability for a NWEpot. site has been modelled and mapped, with a resolution of 25x25 m, for the entire forest area in Germany. The marginal effects of the model indicate that the following characteristics lead to a high probability for NWEpot: steep slope inclination, large distance to forest tracks, high water influence as well as an isolated location.

Conclusions

For the further design of the NWE network systematic conservation planning (SCP) concepts, such as representativeness and complementarity, are recommended, in order to protect the forest biodiversity as efficiently and comprehensively as possible. NWEpot. sites

should play an important role in this selection process. They provide the opportunity to develop synergies between nature conservation and economic objectives. The results of the model for detecting NWEpot sites presented here, together with the identified NWT-gaps, could provide systematic decision support for identifying suitable sites.

7 Literatur

- Ahrends, B., Steinicke, C., Köhler, M., & Meesenburg, H. 2016. Ableitung des Grundwasserflurabstandes für Waldstandorte im niedersächsischen Tiefland. *Waldökologie, Landschaftsforschung und Naturschutz* 16: 59–81.
- Araújo, M.B., Lobo, J.M., & Moreno, J.C. 2007. The Effectiveness of Iberian Protected Areas in Conserving Terrestrial Biodiversity. *Conservation Biology* 21: 1423–1432.
- Arnold, V. 2011. Celtic Fields und andere urgeschichtliche Ackersysteme in historisch alten Waldstandorten Schleswig-Holsteins aus Laserscan-Daten. *Archäologisches Korrespondenzblatt* 41: 439–455.
- Austin, M.P., & Margules, C.R. 1994. Die Bewertung der Repräsentanz. In: Usher, M.B. & Erz, W. (Hrsg.), *Erfassen und Bewerten im Naturschutz.*, S. 48–65. Grosse Reihe. UTB für Wissenschaft, Heidelberg.
- Bässler, C., & Müller, J. 2010. Importance of natural disturbance for recovery of the rare polypore *Antrodiaella citrinella* Niemelä & Ryvarden. *Fungal Biology* 114: 129–133.
- Bässler, C., Müller, J., Svoboda, M., Lepšová, A., Hahn, C., Holzer, H., & Pouska, V. 2012. Diversity of wood-decaying fungi under different disturbance regimes—a case study from spruce mountain forests. *Biodiversity and Conservation* 21: 33–49.
- Bayerische Staatsforsten (BaySF). 2019. Bayerische Staatsforsten | Trittsteine der Natürlichen Waldentwicklung. URL: <https://www.baysf.de/de/wald-schuetzen/bayerns-wilde-waelder/trittsteine-der-natuerlichen-waldentwicklung.html> (heruntergeladen am 17.04.2019).
- Bergmeier, E., Petermann, J., & Schröder, E. 2010. Geobotanical survey of wood-pasture habitats in Europe: diversity, threats and conservation. *Biodiversity and Conservation* 19: 2995–3014.
- Beven, K.J., & Kirkby, M.J. 1979. A physically based, variable contributing area model of basin hydrology / Un modèle à base physique de zone d'appel variable de l'hydrologie du bassin versant. *Hydrological Sciences Bulletin* 24: 43–69.
- BfN (Bundesamt für Naturschutz). 2008. *Daten zur Natur 2008*. Landwirtschaftsverlag, Münster.
- BKG (Bundesamt für Kartographie und Geodäsie). 2016. Digitales Basis-Landschaftsmodell (Basis-DLM). URL: https://sg.geodatenzentrum.de/web_public/gdz/dokumentation/deu/basis-dlm.pdf (heruntergeladen am 07.12.2019).
- BKG (Bundesamt für Kartographie und Geodäsie). 2012a. Digitales Geländemodell Gitterweite 25 m (DGM25). URL: https://sg.geodatenzentrum.de/web_public/gdz/dokumentation/deu/dgm25.pdf (heruntergeladen am 07.12.2019).
- BKG (Bundesamt für Kartographie und Geodäsie). 2012b. Digitales Landbedeckungsmodell (LBM-DE 2012). URL: https://sg.geodatenzentrum.de/web_public/gdz/dokumentation/deu/lbm-de2012.pdf (heruntergeladen am 07.12.2019).
- BKG (Bundesamt für Kartographie und Geodäsie). 2018. Dokumentation Digitale Orthophotos DOP20 / DOP40. URL: <https://mis.bkg.bund.de/trefferanzeige?docuuid=4b041142-059c-4d74-9ac1-868763640447&plugid=/ingrid-group:iplug-ige&docid=AE6C3F7C-9D12-4552-9398-55C884F2B22A> (heruntergeladen am 07.12.2019).

- Blab, J. 2002. Stellenwert und Rolle von Naturschutzgebieten in Deutschland. *Natur und Landschaft* 77: 333–339.
- BMEL (Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft) (Hrsg.). 2017. *Aufnahmeanweisung für die Kohlenstoffinventur 2017*. BMEL, Bonn.
- BMELV (Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz) (Hrsg.). 2011. *Aufnahmeanweisung für die dritte Bundeswaldinventur (BWI³) (2011-2012)*. BMELV, Bonn.
- BMU (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit) (Hrsg.). 2007. *Nationale Strategie zur Biologischen Vielfalt*. BMU, Berlin.
- BMUB (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit). 2017. Qualitätskriterien zur Auswahl von großflächigen Wildnisgebieten in Deutschland im Sinne des 2 % Ziels der Nationalen Biodiversitätsstrategie. URL: https://www.bfn.de/fileadmin/BfN/landschaftsundbiotopschutz/Dokumente/BMU_BfN_Kriterien_Wildnisgebiete_Bund_Laender_20180503_barrierefrei.pdf (heruntergeladen am 07.07.2019).
- Bobiec, A., Reif, A., & Öllerer, K. 2018. Seeing the oakscape beyond the forest: a landscape approach to the oak regeneration in Europe. *Landscape Ecology* 33: 1–16.
- Bock, M., & Köthe, R. 2008. Predicting the depth of hydromorphic soil characteristics influenced by ground water. *Hambg. Beiträge Phys. Geogr. Landschaftsökol.* 19: 12–22.
- Bohn, U., Bürger, K., & Mader, H.-J. 1989. Leitlinien des Naturschutzes und der Landschaftspflege. *Natur und Landschaft* 64: 379–381 und Beilage 16.
- Böhner, J., & Selige, T. 2006. Spatial prediction of soil attributes using terrain analysis and climate regionalisation. In: *SAGA - analysis and modelling applications*, S. 13–27. Göttinger geographische Abhandlungen. Goltze, Göttingen.
- Bradtka, J., Bässler, C., & Müller, J. 2010. Baumbewohnende Flechten als Zeiger für Prozessschutz und ökologische Kontinuität im Nationalpark Bayerischer Wald. *Waldökologie, Landschaftsforschung und Naturschutz* 9: 49–63.
- Brändle, M., & Brandl, R. 2001. Species richness of insects and mites on trees: expanding Southwood. *Journal of Animal Ecology* 70: 491–504.
- Buchwald, E. 2005. A hierarchical terminology for more or less natural forests in relation to sustainable management and biodiversity conservation. In: FAO (Hrsg.), *Proceedings. Third Expert Meeting on Harmonizing Forest-related Definitions.*, S. 111–127. FAO, Rom.
- Bundesregierung. 2012. Antwort der Bundesregierung auf die Kleine Anfrage der Abgeordneten Undine Kurth (Quedlinburg), Cornelia Behm, Hans-Josef Fell, weiterer Abgeordneter und der Fraktion BÜNDNIS90/DIE GRÜNEN – Drucksache 17/10249 – Stand der Übertragung von Flächen des Bundes im Rahmen des Nationalen Naturerbes. URL: <http://dipbt.bundestag.de/dip21/btd/17/103/1710370.pdf> (heruntergeladen am 31.01.2014).
- Bundesregierung. 2009. Waldbericht der Bundesregierung 2009. URL: <http://dip21.bundestag.de/dip21/btd/16/133/1613350.pdf> (heruntergeladen am 20.06.2014).

- Bundestag. 1993. Gesetz zu dem Übereinkommen vom 5. Juni 1992 über die biologische Vielfalt. URL: http://www.bgbl.de/xaver/bgbl/start.xav?startbk=Bundesanzeiger_BGBI&jumpTo=bgbl293s1741b.pdf (heruntergeladen am 18.06.2019).
- Bürger-Arndt, R. 1996. Zukunftsziele im Waldnaturschutz. *Forstwissenschaftliches Centralblatt* 115: 80–89.
- Chauvenet, A.L.M., Kuempel, C.D., McGowan, J., Beger, M., & Possingham, H.P. 2017. Methods for calculating Protection Equality for conservation planning. *PLoS ONE* 12: 1–17.
- Chauvenet, A.L.M., Kuempel, C.D., & Possingham, H.P. 2017. ProtectEqual, v1.0.1. URL: <https://github.com/AChauvenet/ProtectEqual> (heruntergeladen am 14.12.2018).
- Conrad, O., Bechtel, B., Bock, M., Dietrich, H., Fischer, E., Gerlitz, L., Wehberg, J., Wichmann, V., & Böhner, J. 2015. System for Automated Geoscientific Analyses (SAGA) v. 2.1.4. *Geoscientific Model Development* 8: 1991–2007.
- Culmsee, H., Denstorf, H.O., Mann, P., & Schmid, L. 2015. Wälder des Nationalen Naturerbes. *Natur und Landschaft* 90: 117–123.
- Culmsee, H., Schmidt, M., Schmiedel, I., Schacherer, A., Meyer, P., & Leuschner, C. 2014. Predicting the distribution of forest habitat types using indicator species to facilitate systematic conservation planning. *Ecological Indicators* 37: 131–144.
- Demant, L., Meyer, P., Sennhenn-Reulen, H., Walentowski, H., & Bergmeier, E. 2018. Is there a consensus in German forest conservation? Targeting forest conservation with compensatory payments. URL: <http://peerageofscience.org/conference/eccb2018/107734> (heruntergeladen am 27.08.2018).
- DFWR. 2019. Waldnaturschutz im Widerstreit der Interessen. URL: <https://www.dfwr.de/index.php/blog/4-waldnaturschutz> (heruntergeladen am 05.06.2019).
- Dieler, J., Uhl, E., Biber, P., Müller, J., Rötzer, T., & Pretzsch, H. 2017. Effect of forest stand management on species composition, structural diversity, and productivity in the temperate zone of Europe. *European Journal of Forest Research* 136: 739–766.
- Diepolder, U. 1997. *Zustand der deutschen Nationalparke im Hinblick auf die Anforderungen der IUCN*. Dissertation, Technische Universität München.
- Drachenfels v., O. 2016. *Kartierschlüssel für Biotoptypen in Niedersachsen unter besonderer Berücksichtigung der gesetzlich geschützten Biotope sowie der Lebensraumtypen von Anhang I der FFH-Richtlinie* (Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz (NLWKN), Hrsg.). NLWKN, Hannover.
- Dudley, N. (Hrsg.). 2008. *Guidelines for applying protected area management categories*. IUCN, Gland, Switzerland.
- Engel, F., Bauhus, J., Gärtner, S., Kühn, A., Meyer, P., Reif, A., Schmidt, M., Schultze, J., Späth, V., Stübner, S., Wildmann, S., & Spellmann, H. 2016. *Wälder mit natürlicher Entwicklung in Deutschland: Bilanzierung und Bewertung* (Bundesamt für Naturschutz, Hrsg.). Landwirtschaftsverlag, Münster.

- European Commission. 2019. Forest Mapping. URL: <https://forest.jrc.ec.europa.eu/en/past-activities/forest-mapping/> (heruntergeladen am 02.07.2019).
- European Commission DG Environment. 2013. Interpretation manual of the European Union Habitats. URL: https://ec.europa.eu/environment/nature/legislation/habitatsdirective/docs/Int_Manual_EU28.pdf (heruntergeladen am 08.01.2020).
- Faith, D.P., & Walker, P.A. 1996. Environmental diversity: on the best-possible use of surrogate data for assessing the relative biodiversity of sets of areas. *Biodiversity & Conservation* 5: 399–415.
- FAO (Hrsg.). 2016. *State of the world's forests - Forests and agriculture: land-use challenges and opportunities*. FAO, Rom.
- Fawcett, T. 2006. An introduction to ROC analysis. *Pattern Recognition Letters* 27: 861–874.
- Forest Europe. 2015. *State of Europe's Forests 2015*. MCPFE, Madrid.
- Franz, K., Blomberg, M. von, Demant, L., Dieter, M., Lutter, C., Meyer, P., Möhring, B., Paschke, M., Seintsch, B., Selzer, A.M., & Spellmann, H. 2018. Perspektiven für den Vertragsnaturschutz. *AFZ-DerWald* 73: 30–33.
- Franz, K., Blomberg, M. von, Demant, L., Lutter, C., Seintsch, B., & Selzer, A.M. 2018. Umsetzung von Vertragsnaturschutz im deutschen Wald. *AFZ-DerWald* 73: 13–15.
- GDAL Development Team. 2017. GDAL - Geospatial Data Abstraction Library, v2.2.1. URL: <http://www.gdal.org> (heruntergeladen am 27.06.2018).
- Gehrt, E., & Bock, M. 2009. Ermittlung der Grundwassereflurabstände auf Grundlage digitaler Höhenmodelle. URL: http://eprints.dbges.de/306/1/Text_GW_3.pdf (heruntergeladen am 18.12.2017).
- Gonzales, E.K., Arcese, P., Schulz, R., & Bunnell, F.L. 2003. Strategic reserve design in the central coast of British Columbia: integrating ecological and industrial goals. *Canadian Journal of Forest Research* 33: 2129–2140.
- Götmark, F. 2013. Habitat management alternatives for conservation forests in the temperate zone: Review, synthesis, and implications. *Forest Ecology and Management* 306: 292–307.
- GRASS Development Team. 2017. Geographic Resources Analysis Support System (GRASS GIS) Software, v7.2. URL: <http://grass.osgeo.org> (heruntergeladen am 27.06.2018).
- GRASS Development Team. 2018. Geographic Resources Analysis Support System (GRASS GIS) Software, v7.4. URL: <http://grass.osgeo.org> (heruntergeladen am 15.04.2019).
- Härdtle, W., Oheimb v., G., & Westphal, C. 2001. Vergleichende Untersuchungen zur Struktur und Vegetation von Natur- und Wirtschaftswäldern des Tieflandes auf Grundlage räumlich expliziter Vegetationsmodelle. *Berichte der Reinhold-Tüxen-Gesellschaft* 13: 183–196.
- Hauglin, M., Hansen, E.H., Næsset, E., Busterud, B.E., Gjevestad, J.G.O., & Gobakken, T. 2017. Accurate single-tree positions from a harvester: a test of two global satellite-based positioning systems. *Scandinavian Journal of Forest Research* 32: 774–781.
- Hennig, P. 2018. Holznutzung im Kleinprivatwald. *AFZ-DerWald* 73: 12–15.

- Herbst, M., Mund, M., Tamrakar, R., & Knohl, A. 2015. Differences in carbon uptake and water use between a managed and an unmanaged beech forest in central Germany. *Forest Ecology and Management* 355: 101–108.
- Hijmans, R.J., Phillips, S., Leathwick, J., & Elith, J. 2017. dismo: Species Distribution Modeling, v1.1-4. URL: <https://CRAN.R-project.org/package=dismo> (heruntergeladen am 28.09.2018).
- Hittenbeck, J. 2011. Überprüfung von Einsatzgrenzen für die hochmechanisierte Holzernte in geneigtem Terrain. *AFZ-DerWald* 66: 30–33.
- Hutchinson, G.E. 1957. Concluding Remarks. *Cold Spring Harbor Symposia on Quantitative Biology* 22: 415–427.
- Iacobelli, A., Alidina, H., Blasutti, H., Anderson, C., & Kavanagh, K. 2006. *A landscape-based protected areas gap analysis and GIS tool for conservation planning*. WWF Canada, Toronto.
- Ibisch, P.L. 2018. Unter allen Wipfeln ist keine Ruh. *Frankfurter Allgemeine Zeitung*, 3.9.2018
- Jaloviari, P., Saniga, M., Kucbel, S., Pittner, J., Vencurik, J., & Dovciak, M. 2017. Seven decades of change in a European old-growth forest following a stand-replacing wind disturbance: A long-term case study. *Forest Ecology and Management* 399: 197–205.
- Johann, F., & Schaich, H. 2016. Land ownership affects diversity and abundance of tree microhabitats in deciduous temperate forests. *Forest Ecology and Management* 380: 70–81.
- Joppa, L.N., Roberts, D.L., Myers, N., & Pimm, S.L. 2011. Biodiversity hotspots house most undiscovered plant species. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 108: 13171–13176.
- Kaartinen, H., Hyypä, J., Vastaranta, M., Kukko, A., Jaakkola, A., Yu, X., Pyörälä, J., Liang, X., Liu, J., Wang, Y., Kaijaluoto, R., Melkas, T., Holopainen, M., & Hyypä, H. 2015. Accuracy of Kinematic Positioning Using Global Satellite Navigation Systems under Forest Canopies. *Forests* 6: 3218–3236.
- Kati, V., Hovardas, T., Dieterich, M., Ibisch, P.L., Mihok, B., & Selva, N. 2015. The challenge of implementing the European network of protected areas Natura 2000. *Conservation Biology* 29: 260–270.
- Knapp, H.D., Nickel, E., & Plachter, H. 2007. Buchenwälder - ein europäischer Beitrag zum Waldarbeitsprogramm der CBD. *Natur und Landschaft* 82: 386–390.
- Köhl, M., Kenter, B., Hildebrand, R., Olschofsky, K., Köhler, R., Rötzer, T., Mette, T., Pretzsch, H., Rüter, S., Köthke, M., Dieter, M., Abiy, M., & Makeschin, F. 2011. Nutzungsverzicht oder Holznutzung? - Auswirkungen auf die CO₂-Bilanz im langfristigen Vergleich. *AFZ-DerWald* 66: 25–27.
- Kölling, C. 2003. Turnierplatz der Baumarten: Naturwaldreservate als Belegexemplare natürlicher Waldgesellschaften. *LWF aktuell* 40: 24–25.
- Kroiher, F., & Bolte, A. 2015. Naturschutz und Biodiversität im Spiegel der BWI 2012. *AFZ-DerWald* 70: 23–27.
- Kukkala, A.S., & Moilanen, A. 2013. Core concepts of spatial prioritisation in systematic conservation planning: Concepts of systematic conservation planning. *Biological Reviews* 88: 443–464.

- Larrieu, L., Cabanettes, A., & Delarue, A. 2012. Impact of silviculture on dead wood and on the distribution and frequency of tree microhabitats in montane beech–fir forests of the Pyrenees. *European Journal of Forest Research* 131: 773–786.
- Larrieu, L., Cabanettes, A., Gouix, N., Burnel, L., Bouget, C., & Deconchat, M. 2017. Development over time of the tree-related microhabitat profile: the case of lowland beech–oak coppice-with-standards set-aside stands in France. *European Journal of Forest Research* 136: 37–49.
- Laurance, W.F., & Edwards, D.P. 2011. The search for unknown biodiversity. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 108: 12971–12972.
- Lehnert, L.W., Bässler, C., Brandl, R., Burton, P.J., & Müller, J. 2013. Conservation value of forests attacked by bark beetles: Highest number of indicator species is found in early successional stages. *Journal for Nature Conservation* 21: 97–104.
- Lehtomäki, J., Tomppo, E., Kuokkanen, P., Hanski, I., & Moilanen, A. 2009. Applying spatial conservation prioritization software and high-resolution GIS data to a national-scale study in forest conservation. *Forest Ecology and Management* 258: 2439–2449.
- Leuschner, C., & Ellenberg, H. 2017. *Ecology of Central European Forests - Vegetation Ecology of Central Europe Volume I*. Springer International Publishing, Cham.
- Lindenmayer, D. 2019. Small patches make critical contributions to biodiversity conservation. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 116: 717–719.
- LLUR (Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume des Landes Schleswig-Holstein). 2019. Kartieranleitung und Biotoptypenschlüssel für die Biotopkartierung Schleswig-Holstein. URL: https://www.schleswig-holstein.de/DE/Fachinhalte/B/biotope/Downloads/kartierschlüssel.pdf?__blob=publicationFile&v=2
- Luyssaert, S., Schulze, E.-D., Börner, A., Knohl, A., Hessenmöller, D., Law, B.E., Ciais, P., & Grace, J. 2008. Old-growth forests as global carbon sinks. *Nature* 455: 213–215.
- LWF (Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft) (Hrsg.). 2002. *Aktuelle Holzernteverfahren am Hang*. LWF, Freising.
- LWF (Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft). 2010. *LWF-Merkblatt Nr. 13 - Holzernte in steilen Hanglagen*. LWF, Freising.
- Maiorano, L., Falcucci, A., Garton, E.O., & Boitani, L. 2007. Contribution of the Natura 2000 Network to Biodiversity Conservation in Italy. *Conservation Biology* 21: 1433–1444.
- Margules, C.R., & Pressey, R.L. 2000. Systematic conservation planning. *Nature* 405: 243–253.
- Margules, C.R., Pressey, R.L., & Williams, P.H. 2002. Representing biodiversity: Data and procedures for identifying priority areas for conservation. *Journal of Biosciences* 27: 309–326.
- Margules, C.R., & Sarkar, S. 2007. *Systematic conservation planning*. Cambridge University Press, Cambridge; New York.
- Margules, C.R., & Usher, M.B. 1981. Criteria used in assessing wildlife conservation potential: A review. *Biological Conservation* 21: 79–109.

- McGarigal, K. 2015. Fragstats Help. URL: <http://www.umass.edu/landeco/research/fragstats/documents/fragstats.help.4.2.pdf> (heruntergeladen am 06.11.2017).
- MCPFE. 2002. MCPFE assessment guidelines for protected and protective forest and other wooded land in Europe. URL: <http://www.unece.org/fileadmin/DAM/timber/publications/2002-guidelines-protected-forest.pdf> (heruntergeladen am 12.06.2014).
- Metzmacher, A., Mann, T., & Finck, P. (Hrsg.). 2018. *Das Nationale Naturerbe - Flächenmanagement auf Naturerbeflächen*. BfN, Bonn - Bad Godesberg.
- Meyer, P. 2000. Strukturelle Diversität und waldbauliche Eingriffe – Entwicklung der Durchmesser-Diversität von Buchen- und Fichtenbeständen in Abhängigkeit von der Eingriffsstärke. In: *Tagungsband der Sektion Waldbau vom 13.09.- 15.09.2000 in Dessau/Klieken*, S. 31–48.
- Meyer, P. 2009. Vier Jahrzehnte Naturwaldforschung in Deutschland: Erreichtes und Erwartungen. *Mitteilungen des Vereins für forstliche Standortskunde und Forstpflanzenzüchtung* 46: 11–14.
- Meyer, P. 2018. Wald ohne Bewirtschaftung: Sinnvoll oder überflüssig? *AFZ-DerWald* 73: 26–29.
- Meyer, P., Bauhus, J., Reif, A., Späth, V., & Spellmann, H. 2016. Möglichkeiten zur Weiterentwicklung des NWE-Systems. *Naturschutz und Biologische Vielfalt* 145: 209–216.
- Meyer, P., Bücking, W., Gehlhar, U., Schulte, U., & Steffens, R. 2007. Das Netz der Naturwaldreservate in Deutschland: Flächenumfang, Repräsentativität und Schutzstatus im Jahr 2007. *forstarchiv* 78: 188–196.
- Meyer, P., & Engel, F. 2016. Repräsentanz der Wälder mit natürlicher Entwicklung in Deutschland. In: Bundesamt für Naturschutz (Hrsg.), *Wälder mit natürlicher Entwicklung in Deutschland: Bilanzierung und Bewertung*, S. 151–190. Naturschutz und Biologische Vielfalt. Landwirtschaftsverlag, Münster.
- Meyer, P., & Schmidt, M. 2011. Accumulation of dead wood in abandoned beech (*Fagus sylvatica* L.) forests in northwestern Germany. *Forest Ecology and Management* 261: 342–352.
- Meyer, P., Schmidt, M., Spellmann, H., Bedarff, U., Bauhus, J., Reif, A., & Späth, V. 2011. Aufbau eines Systems nutzungsfreier Wälder in Deutschland. *Natur und Landschaft* 86: 243–249.
- Meyer, P., Wevell von Krüger, A., Steffens, R., & Unkrig, W. 2006. *Naturwälder in Niedersachsen - Schutz und Forschung. Band 1: Niedersächsisches Tiefland*. Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt, Göttingen/Braunschweig.
- Meynen, E., & Schmithüsen, J. (Hrsg.). 1962. *Handbuch der naturräumlichen Gliederung Deutschlands*. Verlag der Bundesanstalt für Landeskunde, Remagen.
- Mikusiński, G., Pressey, R.L., Edenius, L., Kujala, H., Moilanen, A., Niemelä, J., & Ranius, T. 2007. Conservation Planning in Forest Landscapes of Fennoscandia and an Approach to the Challenge of Countdown 2010. *Conservation Biology* 21: 1445–1454.
- ML Niedersachsen. 2014. *Der Wald in Niedersachsen - Ergebnisse der Bundeswaldinventur 3*. Niedersächsisches Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz, Hannover.

- Mölder, A. 2016. Small forest parcels, management diversity and valuable coppice habitats: an 18th century political compromise in the Osnabrück region (NW Germany) and its long-lasting legacy. *iForest - Biogeosciences and Forestry* 9: 518–528.
- Mölder, A., Meyer, P., & Nagel, R.-V. 2019. Integrative management to sustain biodiversity and ecological continuity in Central European temperate oak (*Quercus robur*, *Q. petraea*) forests: An overview. *Forest Ecology and Management* 437: 324–339.
- Müller, J., & Büttler, R. 2010. A review of habitat thresholds for dead wood: a baseline for management recommendations in European forests. *European Journal of Forest Research* 129: 981–992.
- Müller, J., Hothorn, T., & Pretzsch, H. 2007. Long-term effects of logging intensity on structures, birds, saproxylic beetles and wood-inhabiting fungi in stands of European beech *Fagus sylvatica* L. *Forest Ecology and Management* 242: 297–305.
- Müller, J., Noss, R.F., Bussler, H., & Brandl, R. 2010. Learning from a “benign neglect strategy” in a national park: Response of saproxylic beetles to dead wood accumulation. *Biological Conservation* 143: 2559–2569.
- Myers, N., Mittermeier, R.A., Mittermeier, C.G., da Fonseca, G.A.B., & Kent, J. 2000. Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature* 403: 853–858.
- NABU. 2013. Natürliche Waldentwicklung bis 2020 – Förderung eines Netzwerks der „Urwälder von morgen“. URL: <http://www.nabu.de/imperia/md/content/nabude/wald/130201-nabu-waldentwicklung.pdf> (heruntergeladen am 04.02.2014).
- Naturstiftung David. 2018. Informationsbrief Nationales Naturerbe Nr. 14. URL: https://www.naturstiftung-david.de/fileadmin/Medien/Downloads/NNE_Infoportal/Infobriefe/Informationsbrief_Nationales_Naturerbe_Nr._14.pdf (heruntergeladen am 24.06.2019).
- Noss, R.F., & Cooperrider, A. 1994. *Saving nature's legacy: protecting and restoring biodiversity*. Island Press, Washington, D.C.
- OpenStreetMap contributors, & Geofabrik GmbH. 2016. OSM Daten der deutschen Bundesländer. URL: <https://www.geofabrik.de/> (heruntergeladen am 18.12.2016).
- Paillet, Y., Bergès, L., Hjältén, J., Ódor, P., Avon, C., Bernhardt-Römermann, M., Bijlsma, R.-J., De Bruyn, L., Fuhr, M., Grandin, U., Kanka, R., Lundin, L., Luque, S., Magura, T., Matesanz, S., Mészáros, I., Sebastià, M.-T., Schmidt, W., Standovár, T., Tóthmérész, B., Uotila, A., Valladares, F., Vellak, K., & Virtanen, R. 2010. Biodiversity Differences between Managed and Unmanaged Forests: Meta-Analysis of Species Richness in Europe. *Conservation Biology* 24: 101–112.
- Paillet, Y., Pernot, C., Boulanger, V., Debaive, N., Fuhr, M., Gilg, O., & Gosselin, F. 2015. Quantifying the recovery of old-growth attributes in forest reserves: A first reference for France. *Forest Ecology and Management* 346: 51–64.
- Pereira, H.M., Navarro, L.M., & Martins, I.S. 2012. Global Biodiversity Change: The Bad, the Good, and the Unknown. *Annual Review of Environment and Resources* 37: 25–50.
- Peterson, E.B., Peterson, N.M., & Pollard, D.F.W. 1995. Some principles and criteria to make Canada's protected area systems representative of the nation's forest diversity. *The Forestry Chronicle* 71: 497–507.

- Poschlod, P. 2017. *Geschichte der Kulturlandschaft: Entstehungsursachen und Steuerungsfaktoren der Entwicklung der Kulturlandschaft, Lebensraum- und Artenvielfalt in Mitteleuropa*. Ulmer, Stuttgart.
- PostGIS. 2019. PostGIS - Spatial and Geographic Objects for PostgreSQL. URL: <http://postgis.net/> (heruntergeladen am 23.06.2019).
- Pourali, S.H., Arrowsmith, C., Chrisman, N., Matkan, A.A., & Mitchell, D. 2016. Topography Wetness Index Application in Flood-Risk-Based Land Use Planning. *Applied Spatial Analysis and Policy* 9: 39–54.
- Pressey, R.L., Humphries, C.J., Margules, C.R., Vane-Wright, R.I., & Williams, P.H. 1993. Beyond opportunism: Key principles for systematic reserve selection. *Trends in Ecology & Evolution* 8: 124–128.
- R Core Team. 2017. R: A Language and Environment for Statistical Computing, v3.4.4. URL: <https://www.R-project.org/>
- Reiter, K., & Doeringhaus, A. 2015. Das Nationale Naturerbe – Definition, Bilanz, Ausblick. *Natur und Landschaft* 90: 98–104.
- Riecken, U., Ries, U., & Ssymank, A. 1994. Rote Liste gefährdeter Biotoptypen und komplexe Deutschlands. Konzept, Möglichkeiten und fachliche Grenzen. In: Akademie für Raumforschung und Landesplanung (ARL) (Hrsg.), *Arbeitsmaterialien Heft 212*, S. 231–249. ARL, Hannover.
- Riedel, T., Hennig, P., Kroiher, F., Polley, H., Schmitz, F., & Schwitzgebel, F. 2017. *Die dritte Bundeswaldinventur (BWI 2012). Inventur- und Auswertemethoden*. Thünen, Eberswalde.
- Rodrigues, A.S.L., Akçakaya, H.R., Andelman, S.J., Bakarr, M.I., Boitani, L., Brooks, T.M., Chanson, J.S., Fishpool, L.D.C., Da Fonseca, G.A.B., Gaston, K.J., Hoffmann, M., Marquet, P.A., Pilgrim, J.D., Pressey, R.L., Schipper, J., Sechrest, W., Stuart, S.N., Underhill, L.G., Waller, R.W., Watts, M.E.J., & Yan, X. 2004. Global Gap Analysis: Priority Regions for Expanding the Global Protected-Area Network. *BioScience* 54: 1092–1100.
- Rodrigues, A.S., Cerdeira, J.O., & Gaston, K.J. 2000. Flexibility, efficiency, and accountability: adapting reserve selection algorithms to more complex conservation problems. *Ecography* 23: 565–574.
- Rondinini, C., & Pressey, R.L. 2007. Special Section: Systematic Conservation Planning in the European Landscape: Conflicts, Environmental Changes, and the Challenge of Countdown 2010. *Conservation Biology* 21: 1404–1405.
- Sabatini, F.M., Burrascano, S., Keeton, W.S., Levers, C., Lindner, M., Pötzschner, F., Verkerk, P.J., Bauhus, J., Buchwald, E., Chaskovsky, O., Debaive, N., Horváth, F., Garbarino, M., Grigoriadis, N., Lombardi, F., Duarte, I.M., Meyer, P., Midteng, R., Mikac, S., Mikoláš, M., Motta, R., Mozgeris, G., Nunes, L., Panayotov, M., Ódor, P., Ruete, A., Simovski, B., Stillhard, J., Svoboda, M., Szwagrzyk, J., Tikkanen, O.-P., Volosyanchuk, R., Vrska, T., Zlatanov, T., & Kuemmerle, T. 2018. Where are Europe's last primary forests? *Diversity and Distributions* 24: 1426–1439.

- Schall, P., Gossner, M.M., Heinrichs, S., Fischer, M., Boch, S., Prati, D., Jung, K., Baumgartner, V., Blaser, S., Böhm, S., Buscot, F., Daniel, R., Goldmann, K., Kaiser, K., Kahl, T., Lange, M., Müller, J., Overmann, J., Renner, S.C., Schulze, E.-D., Sikorski, J., Tschapka, M., Türke, M., Weisser, W.W., Wemheuer, B., Wubet, T., & Ammer, C. 2018. The impact of even-aged and uneven-aged forest management on regional biodiversity of multiple taxa in European beech forests. *Journal of Applied Ecology* 55: 267–278.
- Scheipl, F., Fahrmeir, L., & Kneib, T. 2012. Spike-and-Slab Priors for Function Selection in Structured Additive Regression Models. *Journal of the American Statistical Association* 107: 1518–1532.
- Schellberg, S., Sittler, B., Hering, S., Wattendorf, P., & Konold, W. 2010. Airborne Laser Scanning in der Kulturlandschaftsforschung. *Natur und Landschaft* 85: 199–205.
- Scherzinger, W. 1996. *Naturschutz im Wald: Qualitätsziele einer dynamischen Waldentwicklung*. Ulmer, Stuttgart.
- Schmidt, M., & Schmidt, W. 2007. Vegetationsökologisches Monitoring in Naturwaldreservaten. *Forstarchiv* 78: 205–214.
- Schulze, J., Reif, A., Gärtner, S., Bauhus, J., Engel, F., & Späth, V. 2016. Naturschutzfachliche Bewertung der Wälder mit natürlicher Entwicklung in Deutschland. In: Bundesamt für Naturschutz (BfN) (Hrsg.), *Wälder mit natürlicher Entwicklung in Deutschland: Bilanzierung und Bewertung*, S. 75–150. Naturschutz und Biologische Vielfalt. Landwirtschaftsverlag, Münster.
- Schulze, E.-D. 2018a. Effects of forest management on biodiversity in temperate deciduous forests: An overview based on Central European beech forests. *Journal for Nature Conservation* 43: 213–226.
- Schulze, E.-D. 2018b. Unser Wald braucht kein Ruhekitzchen. *Frankfurter Allgemeine Zeitung*, 24.08.2018
- Schulze, E.-D., Bouriaud, L., Bussler, H., Gossner, M., Walentowski, H., Hessenmöller, D., Bouriaud, O., & Gadow v., K. 2014. Opinion Paper: Forest management and biodiversity. *Web Ecology* 14: 3–10.
- Schulze, E.-D., Craven, D., Durso, A.M., Reif, J., Guderle, M., Kroiher, F., Hennig, P., Weiserbs, A., Schall, P., Ammer, C., & Eisenhauer, N. 2019. Positive association between forest management, environmental change, and forest bird abundance. *Forest Ecosystems* 6: 3.
- Scott, J.M., Csuti, B., Jacobi, J.D., & Estes, J.E. 1987. Species Richness A geographic approach to protecting future biological diversity. *BioScience* 37: 782–788.
- Sebek, P., Bace, R., Bartos, M., Benes, J., Chlumská, Z., Dolezal, J., Dvorsky, M., Kovar, J., Machac, O., Mikatova, B., Perlik, M., Platek, M., Polakova, S., Skorpik, M., Stejskal, R., Svoboda, M., Trnka, F., Vlasin, M., Zapletal, M., & Cizek, L. 2015. Does a minimal intervention approach threaten the biodiversity of protected areas? A multi-taxa short-term response to intervention in temperate oak-dominated forests. *Forest Ecology and Management* 358: 80–89.
- Seibold, S., Bässler, C., Baldrian, P., Reinhard, L., Thorn, S., Ulyshen, M.D., Weiß, I., & Müller, J. 2016. Dead-wood addition promotes non-saproxyllic epigeal arthropods but effects are mediated by canopy openness. *Biological Conservation* 204: 181–188.
- Ssymank, A. 2016. Biodiversität und Naturschutz in Eichen-Lebensraumtypen. *AFZ-DerWald* 71: 10–13.

- Ssymank, A. 2000. Rahmenbedingungen für die naturschutzfachliche Bewertung großer Räume und fachliche Anforderungen an ein Bundesvorrangflächensystem für den Naturschutz. *Schriftenreihe für Landschaftspflege und Naturschutz* 63: 11–47.
- Steer, U., Scherfose, V., & Balzer, S. 2008. Ausgewählte Aspekte des deutschen Schutzgebietssystems. *Natur und Landschaft* 83: 93–100.
- Straußberger, R. 2001. Altes und Neues über die Buchen der Oberpfalz. *LWF aktuell* 31: 30–31.
- Straußberger, R. 1999. Natürlichkeit der Kiefernwälder Nordbayerns. *AFZ-DerWald* 54: 392–393.
- Sturm, K. 1993. Prozeßschutz - ein Konzept für naturschutzgerechte Waldwirtschaft. *Zeitschrift für Ökologie und Naturschutz* 2: 181–192.
- Suck, R., & Bushart, M. 2010. *Karte der potentiellen natürlichen Vegetation Deutschlands: Maßstab 1:500.000*. Landwirtschaftsverlag, Münster.
- Sukopp, H. 1971. Bewertung und Auswahl von Naturschutzgebieten. *Schriftenreihe für Landschaftspflege und Naturschutz* 6: 183–194.
- Swieder, A. 2014. Landschaftsarchäologie im Osthaz anhand von Laserscan-Daten. *Hallesches Jahrbuch für Geowissenschaften Beiheft* 34: 41–52.
- The PostgreSQL Global Development Group. 2019. PostgreSQL, v9.5.19. URL: <https://www.postgresql.org/> (heruntergeladen am 29.06.2019).
- Thünen-Institut. 2019. BUNDESWALDINVENTUR ERGEBNISDATENBANK. URL: <https://bwi.info/> (heruntergeladen am 30.06.2019).
- UNEP-WCMC, & IUCN. 2017. World Database on Protected Areas. URL: <https://www.iucn.org/theme/protected-areas/our-work/world-database-protected-areas> (heruntergeladen am 24.06.2019).
- United Nations. 1992. Convention on Biological Diversity (CBD). URL: <http://www.cbd.int/doc/legal/cbd-en.pdf> (heruntergeladen am 31.01.2014).
- Unsel, R. 2018. Nutzungsintensität in Kleinstratwäldern: Vielfalt auf kleiner Fläche. *Natur und Landschaft* 93: 323–331.
- Vandekerkhove, K., De Keersmaecker, L., Baete, H., & Walley, R. 2005. Spontaneous re-establishment of natural structure and related biodiversity in a previously managed beech forest in Belgium after 20 years of non intervention. *Forest Science and Landscape Research* 79 (1/2): 145–156.
- Verkerk, P.J., Levers, C., Kuemmerle, T., Lindner, M., Valbuena, R., Verburg, P.H., & Zudin, S. 2015. Mapping wood production in European forests. *Forest Ecology and Management* 357: 228–238.
- Vimal, R., Rodrigues, A.S.L., Mathevet, R., & Thompson, J.D. 2011. The sensitivity of gap analysis to conservation targets. *Biodiversity and Conservation* 20: 531–543.
- Wildmann, S., Spellmann, H., & Engel, F. 2016. Ökonomische Bewertung der bestehend Flächen mit natürlicher Waldentwicklung. In: Bundesamt für Naturschutz (Hrsg.), *Wälder mit natürlicher Entwicklung in Deutschland: Bilanzierung und Bewertung*, S. 191–208. Naturschutz und biologische Vielfalt. Landwirtschaftsverlag, Münster.

- Williams, P. 2001. Complementarity. In: *Encyclopedia of Biodiversity*, S. 813–829. Academic Press, San Diego.
- Williams, K.J., Harwood, T.D., & Ferrier, S. 2016. *Assessing the ecological representativeness of Australia's terrestrial National Reserve System: A community-level modelling approach*. CSIRO Land and Water, Canberra, Australia.
- Winter, S. 2006. Naturnähe-Indikatoren für Tiefland-Buchenwälder. *forstarchiv* 77: 94–101.
- Winter, M.-B., Ammer, C., Baier, R., Donato, D.C., Seibold, S., & Müller, J. 2015. Multi-taxon alpha diversity following bark beetle disturbance: Evaluating multi-decade persistence of a diverse early-seral phase. *Forest Ecology and Management* 338: 32–45.
- Winter, S., Flade, M., Schumacher, H., Kerstan, E., & Möller, G. 2005. The importance of near-natural stand structures for the biocoenosis of lowland beech forests. *For. Snow Landsc. Res.* 79 (1/2): 127–144.
- Wintle, B.A., Kujala, H., Whitehead, A., Cameron, A., Veloz, S., Kukkala, A., Moilanen, A., Gordon, A., Lentini, P.E., Cadenhead, N.C.R., & Bekessy, S.A. 2019. Global synthesis of conservation studies reveals the importance of small habitat patches for biodiversity. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 116: 909–914.
- Wright, D.F. 1977. A site evaluation scheme for use in the assessment of potential nature reserves. *Biological Conservation* 11: 293–305.
- Wulf, M., & Kolk, J. 2014. Plant species richness of very small forests related to patch configuration, quality, heterogeneity and history. *Journal of Vegetation Science* 25: 1267–1277.
- Zerbe, S., & Wiegand, G. (Hrsg.). 2009. *Renaturierung von Ökosystemen in Mitteleuropa*. Springer, Berlin Heidelberg.
- Zoologische Gesellschaft Frankfurt (Hrsg.). 2017. *Wildnis in Deutschland*. Druck- und Verlagshaus Zarbock GmbH & Co. KG, Frankfurt a. M.

8 Anhang

Informationsbedarf zu Wäldern mit natürlicher Entwicklung (NWE)

Forschungsprojekt NWEPP (Natürliche Waldentwicklung in Deutschland: Perspektiven und Potenziale für die Entwicklung eines kontinuierlichen NWE-Systems)

Was sind Wälder mit natürlicher Entwicklung?

Wälder mit natürlicher Entwicklung (NWE) umfassen Waldbestände ohne direkte Eingriffe des Menschen. Die dauerhafte Aufrechterhaltung der forstlichen Nutzung sowie das Untersuchen von Eingriffen zur Sicherung von Naturschutzzielelen auf einer zusammenhängenden Fläche von ≥0,3 ha stellen hierfür die Grundvoraussetzungen dar (vgl. Tabelle 1). Mit diesen Flächen wird das Ziel verfolgt, eine dauerhafte, ungestörte Entwicklung natürlicher Prozesse zu ermöglichen. Als Wälder mit natürlicher Entwicklung gelten auch diejenigen waldfähigen Flächen, die sich im Zuge von Waldstufenabstufungen bilden und sich über eine Waldstufenabstufung befinden. Klassische NWE-Flächen sind beispielsweise: Kernzonen von Nationalparks und Biosphärenreservaten, Naturwaldreservate, Bannwälder, Wildnisgebiete, nutzungsfreie Waldflächen in Naturschutzgebieten, nutzungsfreie Waldflächen im Rahmen des Nationalen Naturerbes, aber auch nutzungsfreie Waldflächen im Rahmen von Kompensationsmaßnahmen, Vertragsnaturschutz oder dokumentierter Eigenbindung. Diese Flächen, die für eine Bilanzierung von NWE-Flächen relevant sind.

Tabelle 1: Mindestanforderungen und zulässige Maßnahmen NWE-Flächen

Mindestanforderungen an NWE-Flächen	Zulässige Maßnahmen auf NWE-Flächen
Definition natürliche Waldentwicklung	Flächen mit natürlicher Waldentwicklung sind alle waldfähigen Flächen, die dauerhaft (bei zeitlicher Begrenzung) nicht forstlich genutzt werden und auf dem Gelände keine planmäßigen Eingriffe aus Gründen des Naturschutzes oder der Landschaftspflege stattfinden.
Flächengröße	≥ 0,3 ha
Dauerhaftigkeit der Sicherung	Rechtliche Sicherstellung der dauerhaften natürlichen Waldentwicklung. Als Formen der rechtlichen Absicherung sind Rechtsverordnungen (i. d. R. Schutzgebietsverordnungen), Naturschutzverordnungen (z. B. dauerhafter Vertragsnaturschutz, diehtliche Sicherung) und andere geeignete Maßnahmen (z. B. dauerhafte Habitatbaumaßnahmen) anerkennungs-fähig.
Aktuelle Waldbestockung	Auch waldfähige Sukzessionsflächen, auf denen aktuell kein Wald stockt (z. B. stängelige Truppendüngungsflächen), werden bei der Bilanzierung berücksichtigt.
Zulässige Maßnahmen auf NWE-Flächen	Nicht: Feuersturz- und Forstschadensmaßnahmen bei Gefahr im Verzug (Rechtschutzmaßnahmen sind jedoch zulässig)
Erholung	Öffentlicher Zutritt, Verwehenssicherungsmaßnahmen
Forschung	Eine nicht zerstörend wirkende Forschungsaktivität

Welche Daten werden für das Projekt NWEPP benötigt?

Für eine umfassende Bilanzierung und naturschutzfachliche Bewertung der bundesweiten NWE-Klasse sollen im Idealfall flächenscharfe Geodaten (polygone) mit vollständigen Sachdaten (vgl. Tabelle 2) vorliegen. Wir bitten Sie jedoch auch Daten zu relevanten NWE-Vorkennungsdaten, die hinsichtlich der räumlichen Kontextisierung außerhalb der Vorkennungsdaten Sachdaten eingeschneit sind, wenn Ihnen keine detaillierten Informationen vorliegen.

Mögliche Erman der Ländliche Kontextisierung können sein:

- a) flächenscharfe Abgrenzung
 - GIS-Daten (polygon) bereitstellen
 - wenn nicht möglich: Karten (Papier oder digitales Dokument) bereitstellen
- b) einzelne Koordinate je Gebiet
 - GIS-Daten (Punkte) bereitstellen
 - wenn nicht möglich: Koordinaten bereitstellen
- c) keine räumliche Repräsentation
 - Tabelle mit Flächengrößen bereitstellen
 - wenn nicht möglich: summarische Mitteilung machen

Es wird eine möglichst kleinräumige Differenzierung auf der Ebene des (ehemaligen) forstlichen Bestandes angestrebt. Für jede abgrenzbare Einheit sollen die in Tabelle 2 aufgeführten Sachinformationen möglichst vollständig vorliegen. Eine abgrenzbare Einheit kann ein einzelner forstlicher Bestand innerhalb einer größeren NWE-Fläche sein oder aber die gesamte NWE-Fläche an sich, wenn keine Untergliederung in einzelne Einheiten vorliegt.

Tabelle 2: Benötigte Sachinformationen zu NWE-Flächen je räumlich abgrenzbare Einheit. Fett: Obligatorische Informationen.

Art	Abstufung, Erläuterung
Bestand	Bundeswald, Landeswald, Privatwald, etc.
Größe der Flächeneinheit	Angabe der Waldfläche in Hektar
Art der Bestockung der Flächeneinheit	Hauptbaumart, 2. und 3. Baumart mit Anteilen bzw. Bestandestyp
Alter der Bestockung der Flächeneinheit	Flächengröße, ggf. zeitgebunden und dazugehörigen Flächenanteil
Dauer Nutzungsrecht	Trücklicher Alter der Hauptbaumart (in Jahren oder (statistische) Zuordnung der natürlichen Altersstufen) zu den 6. Baumarten bzw. Bestandestypen
Rechtliche Sicherung der Flächeneinheit	Angaben in einfachen Klassen (seit < 10 Jahren, seit 10-50 Jahren, > 50 Jahren, gestrich bis (Jahr))
	Rechtliche Grundlage der natürlichen Waldentwicklung (z. B. Naturwaldreservat, Naturschutzgebiet, Kompensationsmaßnahme, Vertragsnaturschutz, Eigenbindung, ...)

Übersicht: Stangen- und Grenznetz (mit einer BHD < 30 cm), geringe (mittlere BHD 20 - 30 cm), mittlere (mittlere BHD 35 - 50 cm), hohe (mittlere BHD 50 - 60 cm), Vollbestand (F > 40 cm BHD)

Anhand der Angabe zur „Rechtliche Sicherung“ wird entschieden, ob eine Fläche dauerhaft für die natürliche Waldentwicklung gesichert ist und somit, ob die Fläche in die NWE-Bilanz aufgenommen werden kann.

Bestimmte Informationen können sich aus der Datenlieferung an sich ergeben und müssen nicht separat für jede Fläche angegeben werden. So ergibt sich beispielsweise die

Information „Rechtliche Sicherung“ direkt aus einer ausschließlichen Bereitstellung von Kernzonen eines Nationalparks (rechtliche Sicherung in diesem Fall: Verordnung des Nationalparks). Ebenso ergibt sich die Flächengröße bei GIS-Daten (Polygone) direkt aus den Daten, die mit der Datenlieferung ausreichen. Flächen einer Legenart (z. B. Bannwälder) müssen, wenn diese Informationen auch nicht für jede Einzelzelle separat angegeben werden.

Datenformate und -dokumentation

Bitte verwenden Sie für die Übermittlung der Daten an die NWE-PVA möglichst gängige Formate (Geodaten: Shapefile; Sachdaten: Attributabelle der Geodaten, Access, Excel). Bei entsprechender Dokumentation ist auch die Bereitstellung von komplexeren Sachdaten wie z. B. Forstennrichtungsdaten möglich. Grundsätzlich ist eine eindeutige Beschreibung der Attribute der Sachdaten notwendig, die den häufig verwendeten Spaltennamen und Attributnamen entsprechen. Die Sachdaten sollten in einem geeigneten Format (z. B. XML) zur Zusammenführung von Geo- und Sachdaten muss vorliegen, wenn die Daten separat bereitgestellt werden. Zu den Geodaten muss die jeweilige Projektionsinformation vorliegen (EPSG-Code, .prj-Datei oder nachrichtlich).

Datenlieferung und Rückfragen

Für die weiteren Projektarbeit bitten wir um eine **möglichst zeitnahe Bereitstellung** der Informationen über Ihre NWE-Flächen. Je nach Umfang der Datenlieferung können Sie uns die Daten per E-Mail oder an folgende Adresse auf CD/DVD zusenden:

Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt
 z Hd. Herrn Engel
 Grätzstraße 2
 37079 Göttingen

Rückfragen bitte ebenfalls an: Hr. Engel, 0551.69.401.252, fakco.engel@nw-va.de

Zusicherung einer weitestmöglichen Behandlung

Die Daten dienen ausschließlich der internen Verwendung im Projekt. Sie werden von der Nordwestdeutschen Forstlichen Versuchsanstalt verwaltet und nicht an Dritte weitergegeben. Alle Ergebnisse werden nur anonymisiert und aggregiert dargestellt.

Abbildung 26: Dokument zum Datenbedarf bei der Wiederholungsabfrage der NWE-Flächen

Tabelle 10: Zuordnung von natürlichen Waldtypen zu den Hauptgruppen der potenziellen natürlichen Vegetation (Suck & Bushart 2010)

Natürlicher Waldtyp	Hauptgruppen
Buchenwälder bodensaurer Standorte (Buchenwälder arm)	La1, Lb2a,,Lb2b,Lb2c, Lb2d, Lb2e, Lc3a, Lc4, Lc5a, Lc5d, Lc6a, Lc6b, Ld3a, Ld4, Ld5, Ld6, Le7a, Le7b, Le8, Lf9
Buchenwälder mäßig basenreicher Standorte (Buchenwälder mäßig reich)	Ma1a, Ma1b, Mb2, Mc3, Mc4, Mc5, Mc6a, Mc6b, Mc6c, Md3a, Md4, Md5, Md6a, Md6b, Me7, Me8, Me9
Buchenwälder basen-kalkreicher Standorte (Buchenwälder reich)	Na1, Nb2a, Nc3, Nc4a, Nc4b, Nc5, Nc6, Nc7a, Nc7b, Nd3, Nd4, Nd5, Ne8a, Ne8b
Eichen-Hainbuchenwälder frischer bis feuchter Standorte (Eichen-Hainbuchenwälder frisch)	F1b, F2, F3, F4, F5, F6
Eichen-Hainbuchenwälder trocken-warmer Standorte (Eichen-Hainbuchenwälder trocken)	Ga1, Ga2, Ga3, Gb5, Gb6, Gb7
Eichenmischwälder trocken-warmer basenreicher Standorte (Eichenmischwälder trocken/reich)	K1a, K2a, K2b, K2c
Eichenwälder trocken-warmer bodensaurer Standorte (Eichenmischwälder trocken/arm)	Ja1a, Ja1b, Jb2
Birken-Eichenwälder frischer bis feuchter Standorte (Birken-Eichenwälder frisch)	H1,H2,H3
Moorwälder (keine gesonderte Kurzform)	C2a, C2b, C2c, D1a, D1b, D2, D3, D4a, D4b
Erlen-Sumpf- und Bruchwälder (Sumpf- und Bruchwälder)	E1a, E1b, E3
Erlen-Ulmen-Auen- und Feuchtwälder (Auen- und Feuchtwälder)	E2, E4, E5, E7a, E7b
Weiden-Auenwälder (keine gesonderte Kurzform)	E6a, E8
Sand- und Silikat-Kiefernwälder (Kiefernwälder)	P1a, P1b, P2a, P2b, P2c, Q1
Fichtenwälder bodensaurer Standorte (Fichtenwälder)	S1a, S2, S4
Tannenwälder (keine gesonderte Kurzform)	R1, R2

Natürlicher Waldtyp	Rot-Buche	Traruben- und Stiel-Eiche	Hainbuche	Esche	Berg-Ahorn	Spitz-Ahorn	Feld-Ahorn	Berg-Ulme	Flatter- und Feld-Ulme	Spitze Sommer- und Winter-	Vogel-Kirsche	Elsbeere	Sand- und Moor-Birke	Vogelbeere	Rot-Erle	Staubkirsche Gewöhnliche	Weiden	Weiß-Tanne	Rot-Fichte	Wald-Kiefer
Buchenwälder bodensaure Standorte	H	N	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
Buchenwälder mäßig basenreicher Standorte	H	N	N	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
Buchenwälder basen-kalkreicher Standorte	H	N	N	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
Eichen-Hainbuchenwälder frischer bis feuchter Standorte	N	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H
Eichen-Hainbuchenwälder trocken-warmer Standorte	N	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H
Eichenmischwälder trocken-warmer basenreicher Standorte	N	H	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
Eichenwälder trocken-warmer bodensaure Standorte	N	H	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
Sand- und Silikat-Kiefernwälder	N	N	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
Birken-Eichenwälder frischer bis feuchter Standorte	N	H	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
Tannenwälder	N	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
Fichtenwälder bodensaure Standorte	N	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
Erlen-Sumpf- und Bruchwälder	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
Erlen-Ulmen-Auen- und Feuchtwälder	I	H	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
Moorwälder	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
Weiden-Auenwälder	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I

Abbildung 27: Zuordnung von Haupt- (H), Neben- (N) und Pionierbaumarten (P) bzw. -gattungen zu den natürlichen Waldtypen

Über die in der Tabelle aufgelisteten Baumarten hinaus wurden Baumarten bzw. -gattungen, die als Bestockung der NWE-Flächen gemeldet wurden, und die als eingeführte Baumarten gelten mit (E) bezeichnet (Abies grandis, Abies nordmanniana, Abies procera, Chamaecyparis, Larix eurolepis, Larix kaempferi, Liriodendron tulipifera, Picea omorika, Picea pungens, Picea sitchensis, Pinus nigra, Pinus rigida, Pinus strobus, Platanus acerifolia, Populus balsamifera, Prunus serotina, Pseudotsuga menziesii, Quercus cerris, Quercus palustris, Quercus rubra, Robinia pseudoacacia, Thuja plicata, Tsuga heterophylla) und alle anderen Baumarten bzw. -gattungen mit (A).

Tabelle 11: Naturnähestufen und zugehörige Baumartenkombinationen, differenziert nach Anzahl genannter Baumarten

H = Hauptbaumart, N = Nebenbaumart, P = Pionierbaumart, E = eingeführte Baumart, A = andere Baumarten

Naturnähe- stufe	Anzahl genannter Baumarten	zugehörige Kombinationen Baumartentypen
1	1	E
1	2	E/E
1	3	A/A/E, A/E/A, A/E/E, A/N/E, A/P/E, E/A/A, E/A/E, E/E/A, E/E/E, N/A/E, N/E/E, P/A/E, P/E/E
2	2	A/A, A/E, E/A, E/H, E/N, E/P, H/E, N/E, P/E
2	3	A/A/A, A/E/N, A/E/P, A/H/A, A/H/E, A/N/A, A/P/A, E/A/N, E/A/P, E/E/N, E/E/P, E/H/E, E/N/A, E/N/E, E/P/A, E/P/E, H/A/E, H/E/A, H/E/E, H/E/N, H/E/P, H/P/E, N/A/A, N/E/A, N/P/E, P/A/A, P/E/A, P/P/E
3	1	A
3	2	A/N, A/P, P/A
3	3	A/A/H, A/A/N, A/A/P, A/E/H, A/H/P, A/N/N, A/N/P, A/P/N, A/P/P, E/A/H, E/E/H, E/H/A, E/H/N, E/H/P, E/N/N, E/P/P, H/A/A, H/E/H, H/H/A, H/H/E, H/N/A, H/N/E, H/P/A, N/E/P, N/H/A, N/H/E, N/N/A, N/N/E, N/P/A, P/E/P, P/H/A, P/H/E, P/N/A, P/N/E, P/P/A
4	1	P
4	2	A/H, H/A, N/A, N/P, P/N, P/P
4	3	A/H/H, A/H/N, A/N/H, A/P/H, E/N/H, E/P/H, H/A/P, N/A/H, N/A/N, N/A/P, N/E/H, N/E/N, N/H/P, N/N/N, N/N/P, N/P/N, N/P/P, P/A/H, P/A/N, P/A/P, P/E/H, P/E/N, P/H/P, P/N/N, P/N/P, P/P/N, P/P/P
5	1	N
5	2	H/P, N/H, N/N, P/H
5	3	H/A/H, H/A/N, H/P/P, N/H/H, N/H/N, N/N/H, N/P/H, P/H/H, P/H/N, P/N/H, P/P/H
6	1	H
6	2	H/H, H/N
6	3	H/H/H, H/H/N, H/H/P, H/N/H, H/N/N, H/N/P, H/P/H, H/P/N

Aufnahme BWI-Ecken

Traktecke:	Datum:	Uhrzeit:
------------	--------	----------

Probekreis 25 m (PK)

Faktor:	
---------	--

PK, Nutzung regulär	Einheit	
Typ	s. Leg.	
Intensität	% (n)	
nat. Altersstufe	s. Leg.	
Zersetzungsgrad Stubben	s. Leg.	
PK, Nutzung sonstige		
Typ	s. Leg.	
Intensität	% (n)	
natürliche Altersstufe	s. Leg.	
Zersetzungsgrad Stubben	s. Leg.	
PK, Erschließung		
aktuelle Befahrung	%	
PK, Gelände / Standort		
Geländeform	s. Leg.	
mittlere Hangneigung	°/DGM	
Befahrbarkeit (grundsätzlich)	%	
Verblockt	%	
Gründigkeit	fl./tief	
Wasserbeeinflusst	%	
Art waterbeeinflusst	txt	

Bestand

Bestandesbeschreibung	Einheit	
Flächengröße (Aufnahme/Luftbild)	ha	
Baumart 1 / Fl.anteil / nat. A.stufe	s. Leg.	
Baumart 2 / Fl.anteil / nat. A.stufe	s. Leg.	
Baumart 3 / Fl.anteil / nat. A.stufe	s. Leg.	
Mischungsform	s. Leg.	
Schlussgrad gesamt	%	
Anzahl Schichten	n	
Verjüngung	%	
Vergrasung	%	

Abbildung 28: Aufnahmeformular für die Vor-Ort-Überprüfung

Bestand, Nutzung regulär		Einheit
Typ		s. Leg.
Intensität		% (ha)
natürliche Altersstufe		s. Leg.
Zersetzungsgrad Stubben		s. Leg.
Bestand, Nutzung sonstige		
Typ		s. Leg.
Intensität		% (ha)
natürliche Altersstufe		s. Leg.
Zersetzungsgrad Stubben		s. Leg.
Bestand, Erschließung		
Erschließung Typ		s. Leg.
Erschließung Distanz		m
aktuelle Befahrung		%
Bestand, Gelände / Standort		
Geländeform		s. Leg.
mittlere Hangneigung		°/DGM
Befahrbarkeit (grundsätzlich)		%
Verblockt		%
Gründigkeit		fl./tief
Wasserbeeinflusst		%
Art wasserbeeinflusst		txt

Bemerkungen

Abbildung 28-2: Aufnahmeformular für die Vor-Ort-Überprüfung

Legende

Nutzungsformen, regulär (FoEi Niedersachsen, mod.)

- L = Läuterung
- Df = Durchforstung
- En = Endnutzung
(Abtrieb, Vorbereitungshieb, Nachlichtung, Erntehieb, Räumung, Femelhieb, Saumbieb, Pflegehieb, Auszug)

Nutzungsformen, sonstige

- Ww = Windwurf aufgearbeitet
- Ik = Insektenkalamität aufgearbeitet
- Vs = Verkehrssicherungsmaßnahmen
- Jg = jagdliche Infrastruktur/Schneisen freigeschnitten
- Bh = Brennholzwerbung
- In = Bau/Instandsetzung von Infrastruktur
- Pfl = Pflegemaßnahmen Naturschutz

Erschließung

- Wweg = Wanderweg
- Rg = Rückegasse
- Wstr = Waldstraße
- öStr = öffentliche Straße
- FWeg = Feldweg

natürliche Altersstufen

- Dickung, Stangen- und Gertenholz BHD < 20 cm)
- geringes Baumholz BHD 20 – 35 cm
- mittleres Baumholz BHD 35 – 50 cm
- starkes Baumholz BHD 50 – 80 cm
- Uraltbestand BHD > 80 cm
- Plenterwald

Geländeformen (BW13, mod.)

- Ebene
- hügelig/wellig
- Tallage
- untere Hanglage
- mittlere Hanglage
- obere Hanglage
- Hochlage/Kammlage/Plateaulage

Mischungsformen (FoEi Niedersachsen)

- stammweise
- truppweise (Fläche bis 10 m Durchmesser)
- gruppenweise (Fläche von 10 - 20 m Durchmesser)
- horstweise (Fläche von 20 - 40 m Durchmesser)
- flächenweise (Fläche über 40 m Durchmesser)
- reihenweise
- vereinzelt
- verbreitet
- streifenweise

Zersetzungsgrade Stubben

- 1 = frisch tot
- 2 = beginnende Zersetzung
- 3a = fortgeschritten zersetzt; Holz mit „weichfaulen“ Anteilen < 50 % des Volumens. Eiche und andere Kernhölzer mit zersetztem Splint, aber beifestem Kernholz
- 3b = fortgeschritten zersetzt; Holz mit „weichfaulen“, nicht mehr beifesten Anteilen > 50 % des Volumens, Umriss aber noch klar erkennbar.
- 4 = stark zersetzt, vermodert; Umriss nicht mehr klar erkennbar, liegendes Holz bereits zu einem erheblichen Teil in den Boden eingesunken.

Abbildung 29: Legende zum Aufnahmeformular für die Vor-Ort-Überprüfung