



**Forstliche Handlungsoptionen
und deren Auswirkungen auf die
Biodiversität und die Kohlenstoff-
speicherung im Wald**

Einleitung

Im Zuge des Klimawandels gerät die Klimaschutzfunktion der Wälder durch ihre Aufnahmefähigkeit von Kohlendioxid (CO₂) immer mehr in den Fokus. Gleichzeitig ist der Wald ein wichtiger Lebensraum und beherbergt zahlreiche teils seltene Tier-, Pflanzen- und Pilzarten. Über viele Waldbewohner, gerade die kleinsten Lebewesen im Boden, ist noch wenig bekannt.

Im Rahmen des Projektes „Biodiversität und Kohlenstoffspeicherung in Wäldern unterschiedlicher Nutzungsintensität“ (BiCO₂) wurden diese beiden Funktionen des Waldes in Zusammenhang mit der forstlichen Bewirtschaftung untersucht.

Dieses Handbuch soll die Wirkung von waldbaulichen Handlungsoptionen auf die ober- und unterirdische Biodiversität und Kohlenstoffspeicherung im Wald aufzeigen. Dabei werden die zu erwartenden Auswirkungen auf verschiedene Artengruppen, Bodeneigenschaften und waldbauliche Größen dargestellt. Zudem werden konkrete Empfehlungen zur Umsetzung sowie Hintergründe und finanzielle Fördermöglichkeiten der jeweiligen Maßnahmen dargestellt.

Zielgruppe dieses Handbuchs sind Waldbesitzende, Försterinnen und Förster und Waldbewirtschaftende, die die Klimaschutzfunktion und die Förderung der Biodiversität bei der Bewirtschaftung der Wälder verstärkt in den Blick nehmen wollen.

Der Wald als Kohlenstoffsенke im Klimawandel

Bäume nehmen durch Photosynthese CO₂ aus der Atmosphäre auf und bauen so lebende Biomasse auf. Durch Streufall, absterbende Wurzeln und sich zersetzendes Totholz, aber auch über organische Wurzelausscheidungen, gelangt der Kohlenstoff in den Boden. Durch Bindung an Tonminerale kann der Kohlenstoff langfristig im Mineralboden stabilisiert werden.

Mitteuropäische Wälder weisen nach den Mooren von allen Landnutzungsformen die höchsten Kohlenstoffvorräte auf. Sie stellen dabei die wichtigste natürliche CO₂-Senke dar und kompensieren so zumindest einen Teil der Emissionen aus anderen Sektoren [1]. Der Kohlenstoff in deutschen Wäldern ist in etwa in gleichen Teilen im oberirdischen Holzvorrat als auch im Boden gespeichert [2]. Der Kohlenstoffvorrat im Boden ist dabei vor allem durch die standörtlichen Bedingungen begrenzt. Dieser kann von unter 50 Tonnen Kohlenstoff pro Hektar in flachgründigen Böden an Hangstandorten bis zu über 300 Tonnen Kohlenstoff pro Hektar in tiefgründigen stauwasserbeeinflussten Böden mit mächtiger organischer Auflage reichen [3]. Der oberirdisch in der Biomasse gespeicherte Kohlenstoff ist dagegen maßgeblich von der forstlichen Bewirtschaftung abhängig und kann Werte bis rund 300 Tonnen Kohlenstoff pro Hektar in alten Buchen-Naturwäldern annehmen [4].

Das BiCO₂-Projekt konzentriert sich in Bezug auf die Kohlenstoffspeicherung auf den Waldspeicher, also das bestandsbildende Stammholz inkl. Wurzeln, das Totholz und die organische Auflage sowie den Mineralboden bis 60 cm Tiefe.

Die Kohlenstoff-Speicherfähigkeit von Waldböden hängt neben standörtlichen auch maßgeblich von den geologischen Ausgangsbedingungen ab.



Tiefgründige Pseudogley-Braunerde an einem Sandstandort *Foto: Nadine Eickenscheidt*



Flachgründige Rendzina an einem Kalkstandort mit hohem Steingehalt *Foto: Ute Hamer*

Struktur- und artenreiche Wälder erhöhen die Bestandsstabilität

Der Klimawandel bedroht zunehmend auch das Ökosystem Wald. Wetterextreme, wie Dürrephasen oder Sturmereignisse, führen direkt zu großen Waldschäden oder begünstigen indirekt großflächige Störungen durch Borkenkäfer und stellen die Forstwirtschaft dadurch vor große Herausforderungen [5]. Als besonders stabil werden Wälder aus mehreren Baumarten angesehen. Fällt eine Baumart aus, bleiben andere weiter bestehen. Außerdem können sich Schaderreger nicht so leicht ausbreiten wie in Reinbeständen [6]. Der globale Verlust von Lebensräumen und der biologischen Vielfalt stellt neben dem Klimawandel eine weitere, ebenso dramatische globale Krise dar [7]. Diverse Bestände können zudem auch einen positiven Effekt auf die gesamte Biodiversität haben. In Wäldern ist der Rückgang der Biodiversität bisher nicht so deutlich zu beobachten wie unter intensiveren Landnutzungsformen wie z. B. in der Agrarlandschaft und weist zuletzt einen positiven Trend auf [8]. Der Forstwirtschaft obliegt dabei eine große Verantwortung, die zahlreichen heimischen an den Wald gebundenen Tier-, Pflanzen- und Pilzarten – oberirdisch, wie auch im Boden – zu erhalten. Eine große Artenvielfalt kann wiederum auch zu einer erhöhten Bestandsstabilität beitragen, z. B. durch das Vorkommen von Fressfeinden möglicher Schadorganismen [9]. Dies gilt insbesondere für strukturreiche Wälder, die sich durch eine Vielfalt an Altersklassen, Waldentwicklungsphasen, Bäumen mit zahlreichen Sonderstrukturen sowie Alt- und Totholz auszeichnen.

Manche Waldbestände sind wahre Hotspots der Biodiversität. In einem wenige Hektar großen Naturwald konnte bspw. rund ein Fünftel der in NRW vorkommenden Totholzkäferarten nachgewiesen werden, darunter zahlreiche äußerst seltene Arten [10]. Darüber hinaus zeigen die Untersuchungen des BiCO₂-Projektes, dass nicht alleine die Betrachtung einzelner Waldbestände, sondern vielmehr auch die der Landschaftsebene für die Biodiversität entscheidend ist. Eine große Vielfalt in den unterschiedlichen Beständen eines Forstbetriebs, eines Landschaftsausschnittes oder einer ganzen Region, bietet größtmögliches Potenzial für eine hohe Biodiversität.



Foto: Michael Meyer

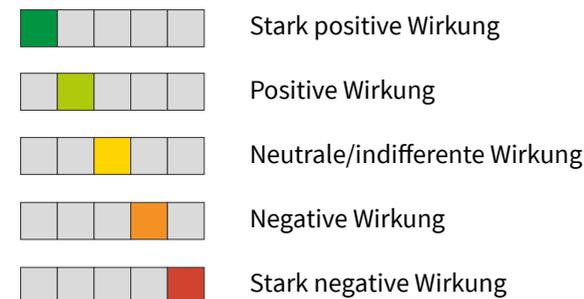
Legende

Darstellung der Auswirkungen

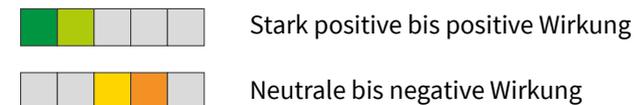
Pro Seite wird im Folgenden eine forstliche Maßnahme vorgestellt: Wie wirkt sie sich auf verschiedene Aspekte der Biodiversität und der Kohlenstoffspeicherung, den Boden und die mögliche Holznutzung aus?

Die Skala ist dabei wie folgt zu interpretieren:

Auswirkungen



Dabei sind auch Spannbreiten möglich, z. B.:



Definition der Auswirkungen der Maßnahmen

Biodiversität: Gesamtauswirkungen auf die Biodiversität. Alle weiteren aufgeführten Artengruppen sind als Beispiele zu verstehen.

Kohlenstoffspeicherung: Gesamtauswirkungen auf die Kohlenstoffspeicherung im Bestand (Waldspeicher: lebende Bäume, Totholz, organische Auflage und Mineralboden bis 60 cm Tiefe)

Vögel: Auswirkungen auf die Artenvielfalt und Individuenzahl der Vögel

Vögel (Höhlenbrüter): Auswirkungen auf die Artenvielfalt und Individuenzahl der Vögel, die ihr Nest in Höhlen anlegen

Vögel (Andere): Auswirkungen auf die Artenvielfalt und Individuenzahl der Vögel, die ihr Nest in Sträuchern, Baumkronen oder auf dem Boden anlegen

Käfer: Auswirkungen auf die Artenvielfalt und Individuenzahl der Käfer

Käfer (Totholz): Auswirkungen auf die Artenvielfalt und Individuenzahl der Käfer, die mindestens für einen Teil ihres Lebenszyklus auf Totholz angewiesen sind

Käfer (Andere): Auswirkungen auf die Artenvielfalt und Individuenzahl der Käfer, die nicht an Totholz gebunden sind

Regenwürmer: Auswirkungen auf die Artenvielfalt und Individuenzahl der Regenwürmer

Springschwänze: Auswirkungen auf die Artenvielfalt und Individuenzahl der Springschwänze

Gefäßpflanzen: Auswirkungen auf die Artenvielfalt und Deckung der Bodenpflanzenarten (Gräser, Kräuter)

Moose: Auswirkungen auf die Artenvielfalt und Individuenzahl der Moose

Flechten: Auswirkungen auf die Artenvielfalt und Individuenzahl der Flechten

Naturverjüngung: Auswirkungen auf die Artenzahl und Abundanz der Naturverjüngung

Mikrohabitate: Auswirkungen auf die Anzahl und Vielfalt an Typen von Kleinstlebensräumen an Bäumen

Wasserhaushalt: Auswirkungen auf den Bestandwasserhaushalt, z. B. Steigerung der Wasserrückhaltung im Bestand oder Erhöhung der Grundwasserneubildungsrate

Holzvorrat: Auswirkungen auf den Vorrat an stehendem Holz und den darin gespeicherten Kohlenstoff

Holznutzung: Auswirkungen auf die wirtschaftlich nutzbare Menge an Holz im Rahmen der forstlichen Bewirtschaftung

Bodenkohlenstoff: Auswirkung auf die Menge an organischem Kohlenstoff im Boden (organische Auflage und Mineralboden bis 60 cm Tiefe)

pH-Wert: Auswirkungen auf den pH-Wert im Boden von sauer bis basisch

Nährstoffverfügbarkeit: Auswirkungen auf die Verfügbarkeit von Nährstoffen im Boden und der Effekt für die Bäume

Bodendichte: Auswirkungen auf die Lagerungsdichte des Bodens

Maßnahmenliste

Seite

WALDSTRUKTUREN

- | | |
|--|-------|
| 1. Erhalt von Biotopbäumen | 8–9 |
| 2. Totholzanreicherung | 10–11 |
| 3. Schaffung von Bestandslücken/Auflichtung | 12–13 |
| 4. Erhalt von Überhältern | 14–15 |
| 5. Erhöhung des Bestandsalters | 16–17 |
| 6. Natürliche Waldentwicklung ohne Holznutzung | 18–19 |
| 7. Waldrandgestaltung | 20–21 |
| 8. Dauerwaldnutzung | 22–23 |
| 9. Belassen natürlicher Störungsflächen | 24–25 |

BAUMARTEN

- | | |
|-----------------------------------|-------|
| 10. Erhöhung des Laubbaumanteils | 26–27 |
| 11. Erhöhung des Nadelbaumanteils | 28–29 |
| 12. Baumartenmischung | 30–31 |

BODEN

- | | |
|---|-------|
| 13. Befahrung von Waldböden | 32–33 |
| 14. Rückbau der Entwässerung | 34–35 |
| 15. Bodenbearbeitung bei Bestandsbegründung | 36–37 |
| 16. Kalkung | 38–39 |

WALDSCHUTZ

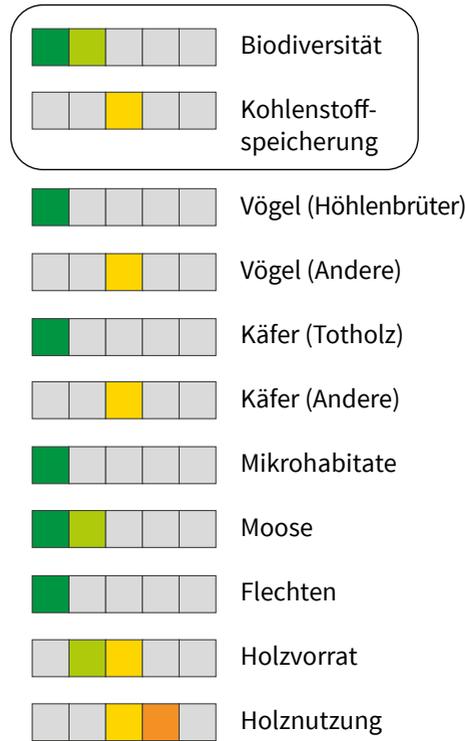
- | | |
|----------------------|-------|
| 17. Verbissreduktion | 40–41 |
|----------------------|-------|

1. Erhalt von Biotopbäumen



Foto: Max Fornfeist

Auswirkungen



Hintergrund

- Biotopbäume bilden zahlreiche Mikrohabitate aus, z. B. Höhlen, Kronentotholz, Pilze
- Diese bieten Lebensräume für zahlreiche Tier-, Pflanzen- und Pilzarten

Empfehlungen

- Erhalt von mindestens 10 Einzelbäumen/ha
- Gruppen von Biotopbäumen bei Bestandsumbau belassen

Hintergrund: Biotopbäume zeichnen sich durch das Vorkommen von sogenannten Mikrohabitaten aus. Dabei handelt es sich um Sonderstrukturen, die von unterschiedlichsten Arten als Lebensraum, Brutplatz oder zur Nahrungssuche genutzt werden können [11]. Diese reichen von Specht- oder Mulmhöhlen über Konsolenpilze bis zu einem Kronenabbruch oder dichtem Moosbewuchs. Bei Biotopbäumen kann es sich um unterschiedliche Baumarten handeln, die schon abgestorben oder lebendig, alt oder jung und dick oder dünn sein können. So kann z. B. eine Rindentasche das Quartier einer Fledermaus, eine Mulmhöhle den Lebensraum für seltene Totholzkäfer oder dichter Flechtenbewuchs das Jagdrevier einer Spinne darstellen [12]. Eine große Vielfalt an Lebensräumen kann so die Diversität an vorkommenden Arten deutlich erhöhen.



Foto: Max Fornfeist

Umsetzung: Ökologisch wertvolle Biotopbäume besitzen oft keinen großen wirtschaftlichen Wert mehr und sollten daher dauerhaft im Wald erhalten werden. Verschiedene Studien empfehlen eine Sicherung von mindestens 10 Einzelbäumen pro Hektar [13]. Hier bietet es sich sowohl aus ökologischer als auch aus Perspektive der Verkehrssicherung und des Arbeitsschutzes an, diese in Gruppen auszuweisen.

Biotopbäume müssen nicht zwingend besondere Mikrohabitate besitzen, vielmehr kann es sich auch um zukünftige Biotopbäume handeln, die z. B. durch einen tiefen Zwiesel, Drehwuchs oder einen krummen Stamm schon frühzeitig als ökonomisch nicht interessant eingestuft werden. Durch vorausschauende Ausweisung kann auch ein zukünftiges Vorkommen von Biotopbäumen gewährleistet werden. Nach dem Absterben tragen Biotopbäume zur Totholzanreicherung bei und erfüllen so weiterhin zahlreiche wichtige ökologische Funktionen (s. Maßnahme 2 Totholzanreicherung).

Der dauerhafte Erhalt von Biotopbäumen ist in NRW förderfähig (s. Kapitel Finanzielle Fördermöglichkeiten).

2. Totholz anreicherung



Foto: Max Fornfeist

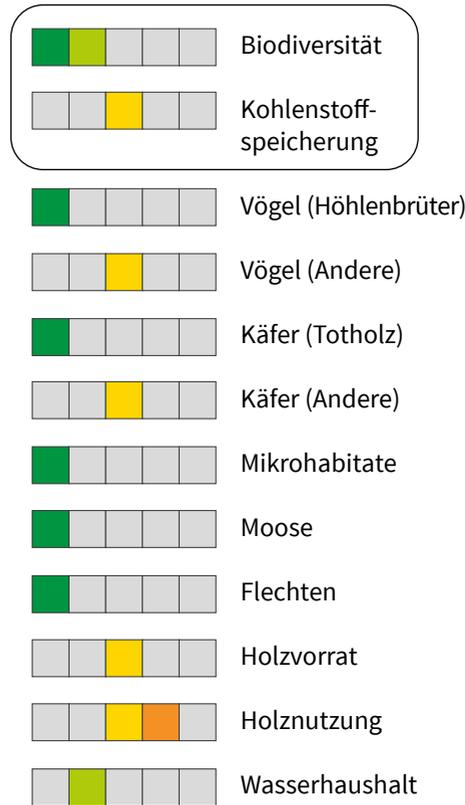
Hintergrund

- Zahlreiche Arten wie z. B. Pilze, Käfer, Vögel, Moose und Flechten sind auf Totholz angewiesen
- Totholz kann zudem die Nährstoffverfügbarkeit und den Wasserhaushalt verbessern

Empfehlungen

- Totholzmenge, wenn möglich, auf mindestens 30 m³/ha erhöhen
- Verschiedene Totholztypen erhalten, z. B. stehend, liegend, besonnt, beschattet, verschiedene Holzarten und Zersetzungsstadien

Auswirkungen



Hintergrund: Totholz ist ein Schlüsselement für die Biodiversität im Wald. Zahlreiche Arten sind an Totholz gebunden – sei es als Lebensraum, Brutstätte oder Ort für die Nahrungssuche. Darunter sind viele Käferarten und besonders viele Pilzarten, die auf die Zersetzung von Holz angewiesen sind [14, 15]. Zudem gibt es viele weitere Insektenarten, sowie Moose und Flechten, die Totholz besiedeln und z. T. ohne dieses nicht vorkommen könnten [16]. Totholzpilze können wiederum einen eigenen Lebensraum darstellen, auf den zahlreiche unterschiedliche Insektenarten angewiesen sind. Als Wasserspeicher kann sich Totholz in geschlossenen Beständen zudem positiv auf das Waldinnenklima auswirken. Das Belassen von Totholz hat positive Effekte auf den Nährstoffhaushalt, da ein Teil der im Holz enthaltenen Nährstoffe auch nach der Zersetzung im Waldökosystem verbleiben und im Boden wieder den Bäumen zur Verfügung stehen. Die Relevanz von Totholz als Kohlenstoffspeicher ist in heimischen Wäldern allerdings als gering einzuschätzen [3].



Foto: Max Fornfeist

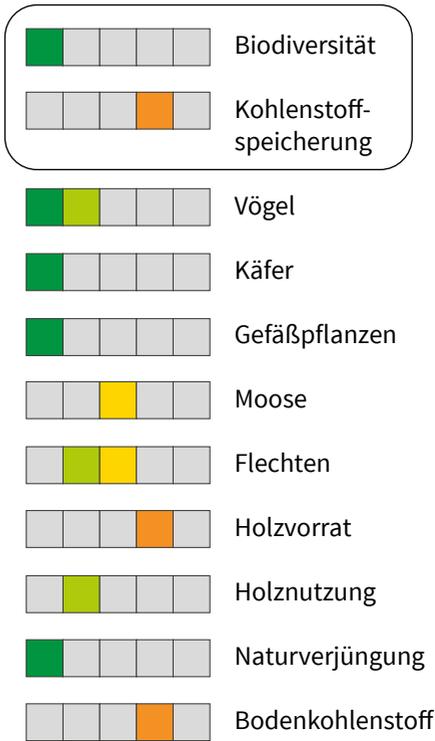
Umsetzung: Für die dauerhafte Erhaltung von vielen Arten sollte eine Mindestmenge an Totholz von ca. 30 bis 60 m³ pro Hektar angestrebt werden [17, 18]. Allerdings ist nicht nur die reine Menge an Totholz entscheidend, sondern auch die Qualität und Vielfalt. Grundsätzlich wird großdimensioniertes Totholz u. a. durch die längere Verweildauer als besonders wertvoll angesehen. Stehendes Totholz kann z. B. für Vögel und Fledermäuse wertvoll sein, während liegendes Totholz durch den Bodenkontakt und die dadurch feuchteren Bedingungen einen ganz anderen Lebensraum darstellt. Zahlreiche Untersuchungen zeigen, dass vor allem besonntes Totholz besonders viele und auch seltene Arten beherbergen kann. Dort kommen im Unterschied zu beschattetem Totholz ganz andere Artengemeinschaften vor [19]. Unterschiedliche Holzarten sind entscheidend, da die Baumarten sich durch ihre chemische Zusammensetzung unterscheiden und dadurch von unterschiedlichen Pilzarten besiedelt werden. Des Weiteren sind für die Biodiversität unterschiedliche Zersetzungsgrade von Bedeutung, da z. B. frisch abgestorbenes Totholz andere Käferarten als schon sehr weit zersetztes beherbergen kann. Somit sollte eine fortwährende Totholzentstehung gewährleistet werden.

3. Schaffung von Bestandslücken/Auflichtung



Foto: Max Fornfeist

Auswirkungen



Hintergrund

- Kleinflächige Eingriffe (Femel-/Lochhiebe) schaffen Lücken für die Verjüngung und andere lichtbedürftige Arten, ohne dass das Waldinnenklima zu sehr gestört wird

Empfehlungen

- Femel-/Lochhiebe mit einer Lückengröße von ca. 60 m Durchmesser je nach Lichtbedürftigkeit der Naturverjüngung

Hintergrund: Zur vorausschauenden Verjüngung von Waldbeständen ist meist eine Auflichtung im Zuge der forstlichen Bewirtschaftung notwendig. Dies sollte aus vielen Gründen nicht im Rahmen von großflächigen Kahlschlägen passieren, vielmehr bieten sich Loch- bzw. Femelhiebe an [20]. Durch schrittweise Vergrößerung von Lücken entsteht ein äußerst strukturreicher Wald, ohne dass das Waldinnenklima wesentlich gestört wird. Vor allem lichtliebende Arten wie z. B. Pflanzen der Krautschicht, Käfer oder andere Insekten, können von den Lücken profitieren [21]. Vor allem bei größeren Lücken kommt es allerdings zum Abbau von organischem Material und zur Kohlenstofffreisetzung [22].



Foto: Max Fornfeist

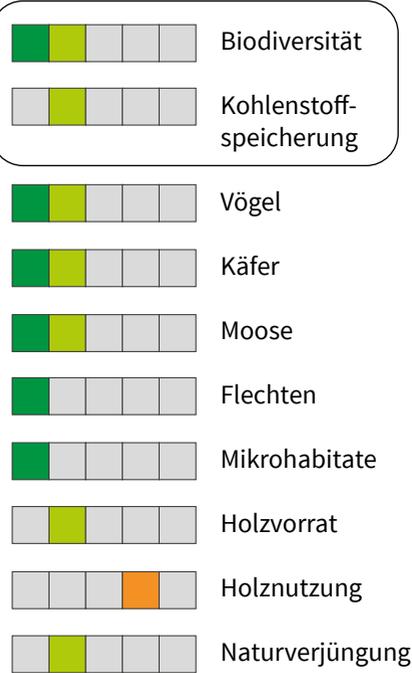
Umsetzung: Im Rahmen einer femelartigen Durchforstung werden auf den Waldbestand verteilt horstweise Lücken von ca. 0,3 Hektar angelegt (Durchmesser der Lückengröße bis zu 60 m). Während Lichtbaumarten wie z. B. die Eiche Lücken größer als 0,3 Hektar benötigen [23], reichen konkurrenzstarken Schattenbaumarten wie z. B. der Rotbuche auch deutlich kleinere Lücken unter 0,1 Hektar (Lückengröße mit Durchmesser unter 30 m). Halbschatten-Baumarten wie z. B. Berg-Ahorn und Ulme nehmen eine Zwischenstellung ein. Die Maßnahme kann von bereits natürlich entstandenen Lücken oder schon vorhandener Verjüngung in lichterem Waldbereichen ausgehen. In den Durchforstungszyklen (z. B. alle 5 Jahre) können die Lücken sukzessive erweitert werden. In den dazwischenliegenden Bereichen kann der Altbestand fortbestehen. Zur Förderung der Biodiversität sollte gerade in solchen Lücken Totholz belassen werden. Zur Förderung von seltenen oder lichtbedürftigen Baumarten wie z. B. der Eiche kann eine Zurückdrängung von Konkurrenzvegetation nötig sein. Auch der Schutz vor Wildverbiss kann sinnvoll sein (s. Maßnahme 17 Verbissreduktion). Zur Förderung der Eiche werden auch Schirmschläge empfohlen. Hier sollten allerdings stets Überhälter im Bestand verbleiben (s. Maßnahme 4 Überhälter). Dieser stärkere Eingriff sollte zudem nur auf Teilflächen (Flächengröße 0,5 bis ca. 2 ha) und nicht als Großschirmschlag erfolgen [23]. Vor allem ältere Bestände sollten nicht zu stark durchforstet werden.

4. Erhalt von Überhältern



Foto: Klaus Striepen

Auswirkungen



Hintergrund

- Alte, großdimensionierte Bäume bieten zahlreichen Arten einen Lebensraum
- Sie dienen als Samenbäume, bieten Schatten und ermöglichen einen fließenden Übergang zur nächsten Waldgeneration
- Sie können, je nach Art, sehr tief wurzeln und bringen so Kohlenstoff und Wasser in die Tiefe

Empfehlungen

- Einige Überhälter auch nach der Zielstärkennutzung dauerhaft erhalten

Hintergrund: Alte und großdimensionierte Bäume sind ein wertvolles Habitat für viele Arten. Spechte benötigen sie z. B. für die Anlage ihrer Höhlen während Flechten aufgrund ihrer sehr langsamen Entwicklung auf sie angewiesen sind. Als Überhälter bezeichnet man Bäume der vorherigen Baumgeneration, die mit der neuen Baumgeneration im Bestand verbleiben. Die dauerhafte Erhaltung von Überhältern auch nach der Zielstärkennutzung in einem Bestand bietet mehrere Vorteile. Vitale Überhälter erhalten das waldtypische Binnenklima, schützen so die Verjüngung und dienen als Samenbaum für neue Baumgenerationen [24, 25]. Zudem sorgen sie für eine hohe vertikale Strukturvielfalt [26] und bilden zahlreiche Mikrohabitate aus. Der Erhalt von Überhältern ist eine wirksame Maßnahme zur Förderung der Biodiversität in Wirtschaftswäldern, da diese für eine Habitatkontinuität sorgen [27, 28]. Sie können Arten eines Altbestandes erhalten, auch wenn dieser sich mittlerweile in einer Verjüngungsphase befindet. Alte Bäume zeichnen sich zudem dadurch aus, dass sie tief wurzeln und so auch zur Kohlenstoffanreicherung im Boden beitragen.



Foto: Max Fornfeist

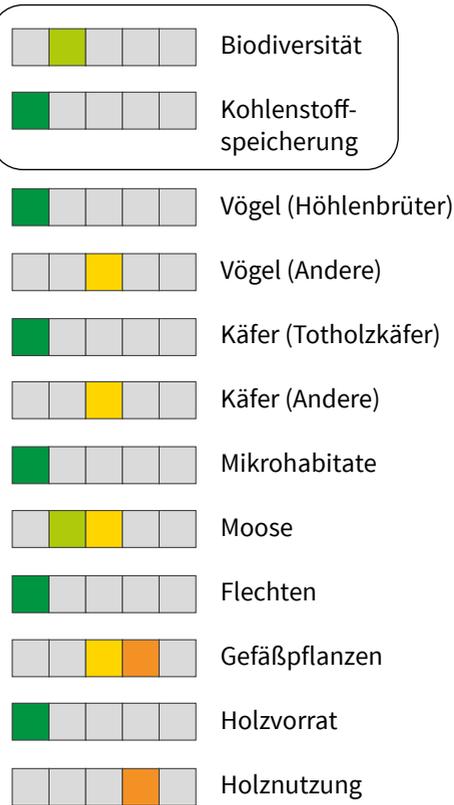
Umsetzung: Wenn möglich, sollten Überhälter der vorherigen Baumgeneration bis über ihr Absterben hinaus im Wald als ökologisch besonders wertvolles mächtiges Totholz verbleiben (s. Maßnahme 1 Erhalt von Biotopbäumen und 2 Totholzanreicherung). Anders als Biotopbäume sollten aber vitale Bäume ausgewählt werden, die noch eine lange Lebenserwartung haben und so als Samenbäume und Schattenspender dienen können. Hierfür sollten vor allem standortgerechte und klimaangepasste Baumarten ausgewählt werden. Viele Überhälter erhalten das Waldinnenklima umso besser. Zudem sorgt eine größere Zahl an Samenbäumen für eine höhere genetische Vielfalt der Verjüngung und erhöht dadurch die Anpassungsfähigkeit der nächsten Baumgeneration [29].

5. Erhöhung des Bestandsalters



Foto: Max Fornfeist

Auswirkungen



Hintergrund

- Einige Arten sind auf alte Wälder bzw. auf groß dimensionierte alte Bäume angewiesen
- Mit dem Bestandsalter erhöht sich der stehende Holzvorrat
- Bessere Erschließung der Nährstoffe und des Wassers im Boden

Empfehlungen

- In jedem Waldgebiet größere Bereiche mit hohem Bestandsalter anstreben

Hintergrund: In alten Wäldern ist häufig eine hohe Vielfalt walddisperser Arten zu finden, da sie besonders strukturreich sind und eine hohe Habitatkontinuität aufweisen [30]. Durch intensive forstliche Nutzung sind sie inzwischen jedoch sehr selten geworden [31]. In Deutschland sind knapp acht Prozent der Wälder älter als 140 Jahre [32]. Da der natürliche Lebenszyklus der vier häufigsten Baumarten Buche, Eiche, Fichte und Kiefer jedoch je nach Art und Standortbedingungen etwa 300 bis 800 Jahre umfassen kann [33], bilden die meisten unserer Wälder lediglich die erste Hälfte ihrer potenziellen Lebenszeit ab. Insbesondere Vögel, Fledermäuse, Insekten, Holzpilze und Flechten profitieren von einem hohen Bestandsalter [30]. Erst wenn dieses erreicht ist – oft nach der ökonomischen Erntereife – können sich in den Wäldern in ausreichender Menge die Strukturen ausbilden, auf die diese Artengruppen angewiesen sind, wie z. B. hohe Totholz mengen, besonders mächtige Bäume und eine Vielzahl an Mikrohabitaten (s. Maßnahme 1 Erhalt von Biotopbäumen) [30, 34]. Auch die Kohlenstoffvorräte in der oberirdischen Biomasse sind in alten Waldbeständen deutlich höher als in jüngeren [35]. Nicht immer sind alte Waldbestände artenreicher als junge, aber sie beherbergen andere, oft seltenere Arten [30] und tragen so zu deren Erhalt sowie zur Artenvielfalt auf Landschaftsebene bei.



Foto: Max Fornfeist

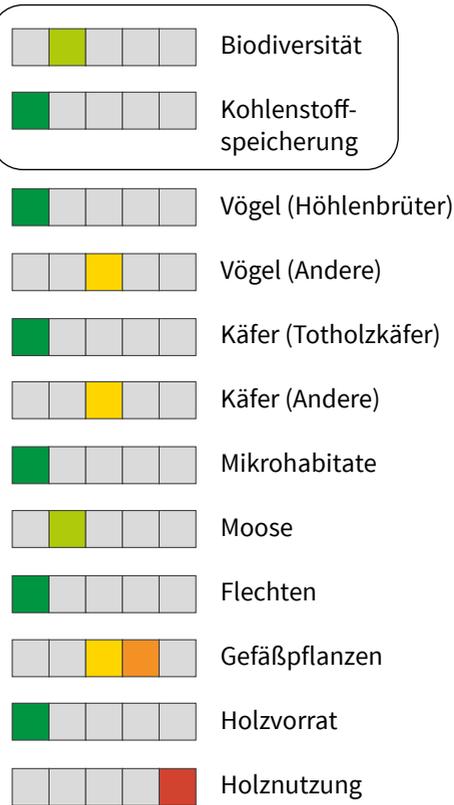
Umsetzung: Eine Verzögerung der Zielstärkenutzung um einige Jahrzehnte trägt dazu bei, dass sich die alterstypischen Waldstrukturen umfangreicher ausprägen und die Kohlenstoffvorräte steigen können. Auch auf kleinräumigen Flächen (von 0,3 bis 20 ha) kann dies der Struktur- und Artenvielfalt bereits zugutekommen [36, 37].

6. Natürliche Waldentwicklung ohne Holznutzung



Foto: Max Fornfeist

Auswirkungen



Hintergrund

- Bestimmte Waldentwicklungsphasen – mit ihren jeweiligen charakteristischen Arten – können am besten in Wäldern mit natürlicher Entwicklung erhalten werden

Empfehlungen

- Mögliche Einstellung der forstlichen Bewirtschaftung in älteren, ökologisch wertvollen standortangepassten Beständen

Hintergrund: In Deutschland besteht das politische Ziel zur Förderung der Biodiversität auf mindestens 5 % der Waldfläche eine natürliche Entwicklung zu ermöglichen [38]. Dieses Ziel ist aktuell (Stand 2024) noch nicht erreicht. Wälder ohne forstliche Nutzung zeichnen sich im Vergleich zu bewirtschafteten Wäldern vor allem durch hohe Totholz- und Biomassevorräte aus. Gerade späte Waldentwicklungsphasen wie die Terminal- oder Zerfallsphase mit ihren spezifischen Artengemeinschaften sind im Wirtschaftswald meist sehr selten. Vor allem in den ersten Jahrzehnten nach der Einstellung der Bewirtschaftung eines Waldes einer Altersklasse kommt es typischerweise zu einem Kronenschluss und stetigem Vorratsaufbau. Damit einher gehen kann eine Abnahme der Pflanzen- und Baumartenvielfalt. Durch Störungen oder das altersbedingte Absterben einzelner Bäume entstehen Lücken und es kann sich ein Mosaik unterschiedlicher Waldentwicklungsphasen entwickeln. Wie in zahlreichen Studien zu Naturwäldern gezeigt werden konnte, kann eine natürliche Waldentwicklung positive Effekte auf die Diversität von Pilzen, Käfern und Flechten haben [39, 40]. Zudem weisen Naturwälder hohe Kohlenstoffvorräte auf und weitere Studien zeigen, dass Wälder nach der Einstellung der forstlichen Bewirtschaftung eine langanhaltende Kohlenstoffakkumulation in Bestand, Totholz und Boden aufweisen können [4, 41, 42].



Foto: Max Fornfeist

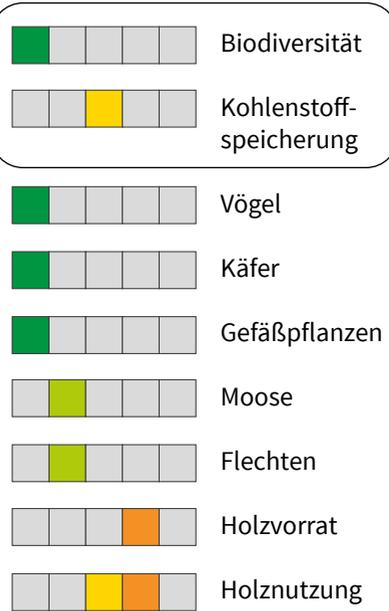
Umsetzung: Für die Einstellung der forstlichen Bewirtschaftung sollten vor allem Bestände mit standortangepassten Baumarten (vorwiegend heimische Laubbäume) in Betracht gezogen werden. Aus ökonomischer Sicht bieten sich vor allem ertragsschwache Standorte, schlecht erreichbare Hanglagen oder Sonderstandorte wie z. B. Moor-, Bruch- oder Auenwälder an. Um Probleme mit der Verkehrssicherung zu umgehen, bietet es sich an, Flächen abseits von Straßen, größeren Forst- und Wanderwegen auszuwählen bzw. einen Pufferstreifen von mindestens 50 m zu diesen zu lassen.

7. Waldrandgestaltung



Foto: Wiebke Theisinger

Auswirkungen



Hintergrund

- Gestufte Waldränder mit Strauch- und Lichtbaumarten stellen ökologisch sehr wertvolle Lebensräume dar
- Sie können zudem das Waldinnenklima schützen und zur Bestandesstabilität beitragen

Empfehlungen

- Entwicklung von gestuften Waldinnen- und Waldaußenrändern
- Waldränder bei der Wiederbewaldung von Schadflächen einbeziehen

Hintergrund: Mehrstufige Waldränder stellen einen fließenden Übergang zwischen Wald und Offenland dar und tragen zur Stabilität des Bestandes sowie zur Artenvielfalt bei. Dabei handelt es sich i. d. R. (von außen nach innen) um ineinander übergehende Abschnitte eines Kraut- und Staudensaumes, eines Strauchgürtels und schließlich eines Waldmantels, der sich an den eigentlichen Wald anschließt [43]. Eine derartige Abstufung bringt im Vergleich zu einer scharfen Waldgrenze mehrere Vorteile mit sich: Die Vegetationsstruktur bremst den Wind, wodurch die Gefahr von Windwurf und -bruch reduziert wird und zudem das Waldinnenklima feuchter bleibt. Des Weiteren werden Baumarten mit empfindlicher Rinde vor Sonnenbrand geschützt [44]. Waldränder bilden außerdem ein wertvolles Biotop für eine Vielzahl an Arten und sind gerade aufgrund ihrer Übergangsfunktion besonders artenreich [43]. Ein Waldbestand kann nicht nur Außen, sondern auch im Inneren – bspw. als Übergänge zwischen verschiedenen Waldbeständen oder zu Forststraßen – Ränder aufweisen. Zugleich kann ein stufiger Aufbau die Verkehrssicherung erleichtert [45].



Foto: Wiebke Theisinger

Umsetzung: Da bei der Wiederbewaldung von Kalamitätsflächen alles neu geplant werden kann, bietet sich die Anlage von Waldrändern hier besonders gut an. Es sollten vor allem Lichtbaumarten (z. B. Feld-Ahorn, Weiden, Zitter-Pappel, Wildobstarten) und Arten der Gattung Sorbus (z. B. Elsbeere, Mehlbeere oder Speierling) eingebracht werden [45, 46]. Pionierbaumarten breiten sich dabei oft von selbst aus. Deren Einbeziehung trägt zur Diversität bei und spart Kosten. Um einen gestuften Waldrand mit seinem lichten Charakter und das Fortschreiten seiner Sukzession hin zu einem dichten Waldbestand zu unterbrechen, ist regelmäßige und intensive Pflege nötig. Das anfallende Holz kann als Energieholz verwertet werden [46].

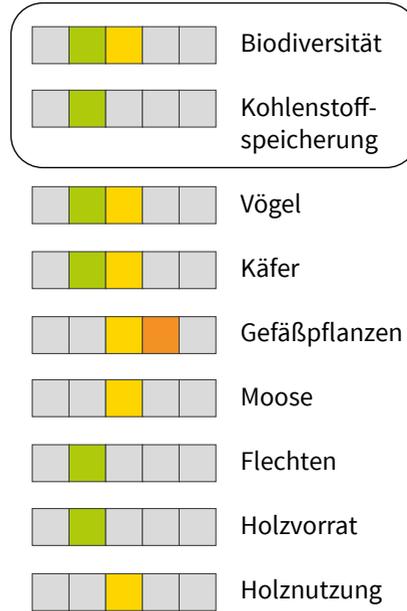
Die Anlage von Waldrändern ist in NRW förderfähig (s. Kapitel Finanzielle Fördermöglichkeiten).

8. Dauerwaldnutzung



Foto: Klaus Striepen

Auswirkungen



Hintergrund

- Die Bewirtschaftungsform beruht auf der Nutzung der natürlichen Prozesse
- Förderung der walddtypischen Biodiversität (primär schattentolerante Arten)

Empfehlungen

- Dauerwaldwirtschaft vor allem mit Schattenbaumarten wie Buche und Tanne möglich
- Überführung von jungen gleichaltrigen Wäldern empfehlenswert
- Eine kontinuierliche Holzentnahme ist nötig, um das System aufrecht zu halten

Hintergrund: Die forstliche Bewirtschaftung eines Dauer- bzw. Plenterwaldes beruht auf der bestmöglichen Ausnutzung der natürlichen Dynamik. Ziel ist die Entstehung strukturreicher Wälder mit Bäumen unterschiedlicher Altersklassen ohne Pflanzarbeiten. Prägend sind vor allem die Dauerhaftigkeit der Bestockung, das Vorkommen von Bäumen aller Altersklassen auf jeder Flächeneinheit und die Gleichmäßigkeit des Holzvorrats [47, 48]. Eine kontinuierliche Holznutzung ist nötig, um die Aufrechterhaltung des Systems, sowie gleichmäßige Erträge zu gewährleisten. Durch das Ausbleiben größerer Eingriffe bei gleichzeitiger Förderung der Baumartenvielfalt, sind Dauerwälder relativ stabil gegenüber Störungen wie z. B. Windwurf oder Kalamitäten. In Dauerwäldern kommen vor allem für geschlossene Wälder charakteristische Arten vor, wodurch der positive Effekt auf die Biodiversität nicht überschätzt werden sollte [49, 50]. Jedoch können Dauerwälder mit zunehmendem Alter deutlich artenreicher werden (s. Maßnahme 5 Erhöhung des Bestandsalters). Große Holzvorräte und die Produktion von Wertholz können zudem zum Klimaschutz beitragen.



Foto: Klaus Striepen

Umsetzung: Folgende waldbauliche Grundsätze werden im Dauerwald angewendet:

- Nutzung ökonomisch wertvoller Bäume einzelstammweise oder in kleinen Gruppen: Erntevolumen darf höchstens so groß sein wie der Zuwachs seit der letzten Erntemaßnahme
- Keine starke Auflichtung durch Kahl- oder Schirmschläge
- Nutzung von Naturverjüngung [47, 48].

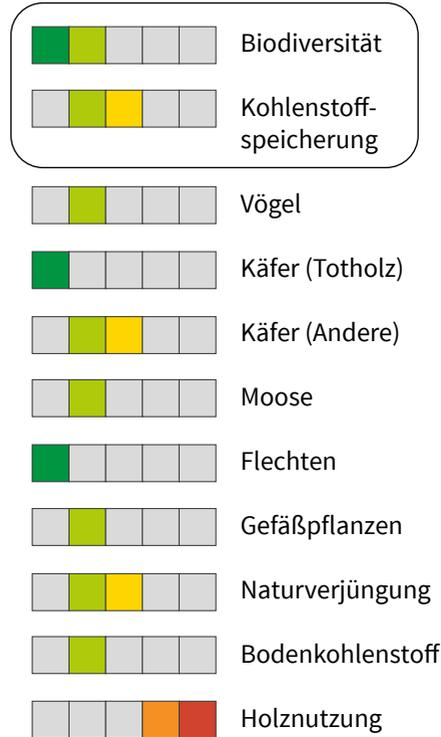
Da in dieser Nutzungsform nie größere Lücken entstehen, ist diese besonders gut geeignet für Mischbestände aus Schattenbaumarten wie z. B. Buche oder Tanne. Eine Voraussetzung für artenreiche Baumartenverjüngung sind angepasste Schalenwildichten (s. Maßnahme 17 Verbissreduktion). Für die Überführung von klassischen Altersklassenwäldern in Dauerwälder bieten sich vor allem junge Bestände an, in denen eine frühzeitige Differenzierung möglich ist [51].

9. Belassen natürlicher Störungsflächen



Foto: Moritz Münch

Auswirkungen



Hintergrund

- Nicht geräumte Störungsflächen erhöhen die Strukturvielfalt und fördern die Biodiversität
- Verhinderung von Bodenverdichtung
- Waldinnenklima kann zumindest teilweise erhalten werden

Empfehlungen

- Teilflächen wenn möglich nicht räumen
- Auf Naturverjüngung setzen und bei Bedarf nach einigen Jahren gezielt die Baumartenvielfalt durch Zapflanzung von klimaangepassten Baumarten erweitern

Hintergrund: Durch die Folgen des Klimawandels ist es in Deutschland seit 2018 in großem Maße zum Absterben von Bäumen und ganzen Waldbeständen im Zuge von Borkenkäferkalamitäten und Stürmen gekommen. Der überwiegende Teil der Flächen wurde dabei geräumt, wodurch die Neubepflanzung erleichtert und zumindest noch ein Holzsertrag generiert wird. Allerdings bietet das Belassen solcher Störungsflächen einige Vorteile: Das Waldinnenklima bleibt im Gegensatz zu einer vollständigen Räumung zumindest teilweise bestehen, der Boden wird keiner starken Befahrung ausgesetzt und es bilden sich langfristig gesehen, strukturreichere Bestände [52]. Zudem stellen belassene Störungsflächen wertvolle Lebensräume dar: Im Vergleich zu einer Räumung profitieren vor Allem Flechten, Moose, Pilze und Totholzkäfer [53, 54]. Anders als an Totholz gebundene Arten, reagieren z. B. krautige Pflanzenarten die den offenen Wald bevorzugen nur in geringem Ausmaß auf Räumung [55] und Pionierbaumarten können sogar profitieren [56]. Studien zeigen zudem tendenziell negative Auswirkungen auf die Kohlenstoffspeicherung durch Räumung [57, 58].



Foto: Moritz Münch

Umsetzung: Wenn möglich, sollte zumindest ein Teil der gestörten Fläche nicht geräumt werden. Hierfür bieten sich aus Gründen der Verkehrssicherung, ein Teil des Bestands mit ausreichend Abstand zu Forstwegen an. Aufkommende Naturverjüngung sollte gegen Wildverbiss geschützt werden [52] (s. Maßnahme 17 Verbissreduktion).

Auf Teilflächen auf denen dennoch eine Räumung geplant ist, sollte Folgendes beachtet werden: Wurzelteller, Hochstümpfe und Totholz teilweise belassen, in Hanglagen Ernte mit Seilkran prüfen, bei der Holzernte Schäden an lebenden Bäumen und Naturverjüngung vermeiden, bei forstschutzrelevantem Holz Schlitzen anstelle von vollständigem Entrinden [59].

10. Erhöhung des Laubbaumanteils



Foto: Max Fornfeist

Hintergrund

- Laubbäume stellen an vielen Standorten die potenziell natürliche Vegetation dar und werden von vielen Insektenarten bevorzugt
- Sie haben eine leichter zersetzbare Laub- und Wurzelstreu und verbessern so die Bodenqualität

Empfehlungen

- Einbringung von Laubbäumen in nadelholzdominierte Bestände
- Wiederbewaldung oder Erstaufforstung mit möglichst hohem Anteil heimischer Laubbaumarten

Auswirkungen



Hintergrund: Laubbäume stellen an den allermeisten Standorten in Mitteleuropa die ursprünglich natürliche Vegetation dar. Dadurch sind sie an diesen Standorten besser angepasst als Nadelbäume und somit weniger anfällig gegenüber klimatischen Veränderungen. Da viele Laubbäume schon länger in Mitteleuropa vorkommen gibt es viele Insekten- und Pilzarten, die an diese gebunden sind. Eichen und Weiden wirken sich durch ihre große Bedeutung für Insekten, besonders positiv auf die Biodiversität aus [60]. Durch die leichtere Zersetzbarkeit der Streu von Laubbäumen im Vergleich zu Nadelbäumen, tragen sie zudem zur schnellen Nährstoffumsetzung bei und fördern dadurch die mikrobielle Aktivität [61] und das Vorkommen von wichtigen Bodenlebewesen wie Regenwürmern und Springschwänzen. Die Streu von Ulme, Erle und Esche hat durch ihren raschen Abbau einen besonders positiven Effekt [62]. Durch die leichter zersetzbare Streu und die dadurch beschleunigte Einarbeitung von organischem Material in den Mineralboden, kann dieser einen stabileren Speicher als die Humusschicht darstellen. Alte tiefwurzelnde Laubbaumarten wie z. B. Buche oder Eiche erhöhen darüber hinaus ebenfalls die Kohlenstoffspeicherung im Boden [3].



Foto: Max Fornfeist

Umsetzung: Bei der Bestandsbegründung sollte ein möglichst großer Anteil heimischer und standortgerechter Laubbaumarten, stets in Mischung verwendet werden (s. Maßnahme 12 Baumartenmischung). Vor allem in nadelholzdominierten Beständen, aber auch anderen Reinbeständen, empfiehlt sich die Einbringung von Laubbäumen. Während auf Freiflächen günstige Bedingungen für den Anbau von lichtbedürftigen Arten wie z. B. Stiel- oder Trauben-Eiche (z. T. auch mit Nutzung von Vorwäldern aus Birke oder Erle) herrschen [23], ist der Voranbau unter relativ geschlossenem Kronendach oft nur mit schattentoleranten Arten wie Buche oder Berg-Ahorn in kleineren Lücken möglich.

Pflanzungen von Laubbäumen als Voranbau oder zur Wiederbewaldung von Kalamitätsflächen sind in NRW förderfähig (s. Kapitel Finanzielle Fördermöglichkeiten).

11. Erhöhung des Nadelbaumanteils



Foto: Max Fornfeist

Hintergrund

- Nadelbäume kommen an den meisten Standorten natürlicherweise nicht vor
- Ihre Wuchsleistung übertrifft allerdings oft die der meisten Laubbäume und eignet sich besser für langlebige Holzprodukte
- Nadelstreu ist schwerer zersetzbar und kann sich negativ auf bodenökologische Prozesse auswirken
- Eingeführte fremdländische Baumarten können sich negativ auf die Biodiversität auswirken

Empfehlungen

- Nadelbäume möglichst in Mischung mit heimischen Laubbäumen anbauen

Auswirkungen



Hintergrund: Natürlicherweise kommen Nadelbäume vor allem in montanen Regionen Mitteleuropas vor und sonst nur an wenigen Sonderstandorten. Da Nadelholz sich aber besser für die Herstellung von Bauholz eignet und zudem meist noch eine deutlich höhere Wuchsleistung aufweist, ist sein Anbau in den meisten Fällen ökonomisch rentabler. Die aktuellen klimatischen Entwicklungen zeigen aber deutlich, dass der Anbau von Nadelreinbeständen sehr risikoreich und daher auch aus ökonomischer Sicht nicht mehr zu empfehlen ist. Nadelwälder weisen bei einigen Artengruppen wie z. B. Flechten oder Spechten eine geringere Artenvielfalt auf und bilden zudem weniger Mikrohabitate aus. Durch die chemische Zusammensetzung ihrer Streu beeinflussen Nadelbäume vor allem aber die Bodenökologie. Der pH-Wert nimmt im Vergleich zum Anbau von Laubbäumen i. d. R. ab und es kommt zur Versauerung. Dies schränkt das Vorkommen von Regenwürmern und Springschwänzen ein und mindert auch die mikrobielle Aktivität [61] wodurch die Nährstoffumsetzungsprozesse im Boden reduziert sind. Zudem wird die langfristige und stabile Einlagerung von Kohlenstoff im Mineralboden gehemmt. Studien belegen aber auch, dass Nadelbestände die Biodiversität auf Landschaftsebene erhöhen können, wenn in der Region sonst nur Laub- und Mischbestände vorkommen [63].



Foto: Max Fornfeist

Umsetzung: Wenn Nadelbäume verwendet werden, sollte dies ausschließlich zur Risikominimierung, in Mischbeständen, mit standortheimischen Laubbäumen erfolgen. Aus Sicht der Biodiversität und der Vorbeugung vor ungewolltem Ausbreiten, sollte auf den Anbau von fremdländischen Nadelbaumarten wie z. B. Douglasie, Küstentanne, Hemlock-Tanne, Edel-Tanne o. ä. verzichtet werden [60, 64].

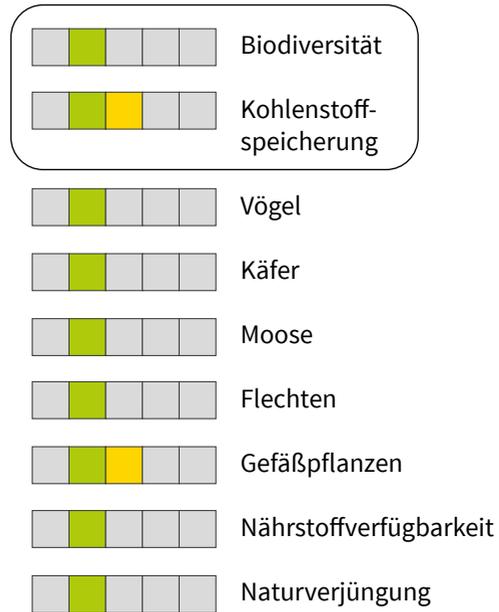
Pflanzungen von Nadelbäumen bis zu einem gewissen Anteil sind in NRW förderfähig (s. Kapitel Finanzielle Fördermöglichkeiten).

12. Baumartenmischung



Foto: Max Fornfeist

Auswirkungen



Hintergrund

- Verschiedene Baumarten können die Bestandesstabilität erhöhen
- Durch Unterschiedlichkeit von Habitatstruktur, Rinde, Streu und Wurzelsystem bieten sie verschiedenen Organismen einen Lebensraum

Empfehlungen

- Einbringung von Mischbaumarten in artenarme Bestände
- Bestandsbegründung mit mindestens vier Baumarten
- Förderung von seltenen, heimischen und lichtbedürftigen Baumarten

Hintergrund: Vor dem Hintergrund des Klimawandels wird aus Gründen der Risikostreuung die Mischung von Baumarten empfohlen. Studien konnten zeigen, dass Mischbestände eine höhere Stabilität gegenüber Störungen aufweisen als Reinbestände. Das gilt vor allem für kleinflächige Insektenkalamitäten, pathogene Pilze und für Windwürfe. Die Beimischung von Laubbäumen in Nadelbestände reduziert zudem die Waldbrandgefahr [6]. Mischbestände können außerdem die Biodiversität vieler Artengruppen fördern. Die Beimischung von, durch viele Insekten bewohnte Baumarten wie z. B. die heimischen Eichenarten, kann empfohlen werden [65]. Allerdings gibt es auch Arten, die auf Reinbestände einer Baumart angewiesen sind, sodass auch immer die Landschaftsebene betrachtet werden sollte [63]. Neben der Verteilung des Anbaurisikos auf mehrere Baumarten, bieten Mischbestände noch einen weiteren ökonomischen Vorteil: Zwar ist eine waldbauliche Behandlung anspruchsvoller, allerdings konnte dort eine erhöhte Produktivität nachgewiesen werden. Dies ist z. B. auf die Unterschiedlichkeit der Wurzelsysteme und die Nutzung von Ressourcen in unterschiedlichen Bodentiefen zurückzuführen [66, 67].



Foto: Max Fornfeist

Umsetzung: Das Waldbaukonzept für NRW empfiehlt für die Bestandsbegründung die Verwendung von mindestens vier standortgerechten Baumarten in Anlehnung an die vorgeschlagenen WET. Gerade bei der Wiederbewaldung bietet sich die Stiel- und auf eher trockeneren Standorten die Trauben-Eiche als Hauptbaumart an [23]. Zudem können Beimischungen von eher seltenen, heimischen und klimaangepassten Baumarten wie z. B. Ulmen, Linden, Spitz- und Feld-Ahorn, Vogelkirsche, Wildobstarten sowie Elsbeere und Speierling empfohlen werden. Baumartenmischungen erfolgen stets auf Kleinflächen, nicht einzelbaumweise.

Die Pflanzung von mehreren Baumarten zur Etablierung von Mischbeständen ist in NRW förderfähig (s. Kapitel Finanzielle Fördermöglichkeiten).

13. Befahrung von Waldböden



Foto: Wald und Holz NRW

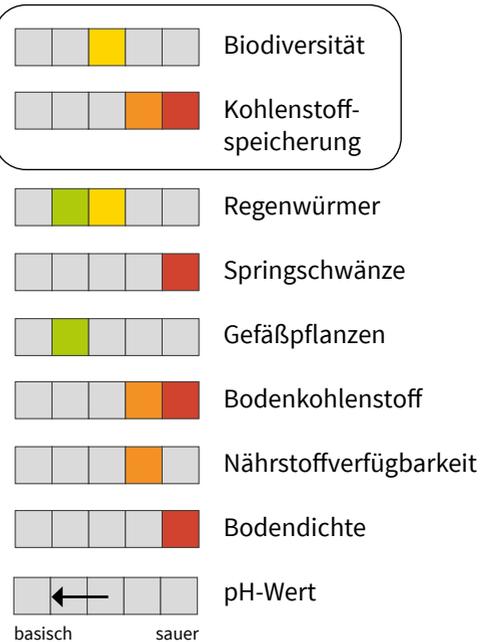
Hintergrund

- Bodenverdichtung reduziert den Porenraum und damit die Sauerstoffverfügbarkeit für Wurzeln und Bodentiere
- Bereits einmaliges Befahren verdichtet den Boden langfristig

Empfehlungen

- Befahrung nur auf festgelegten Rückegassen
- Erhöhung des Abstands zwischen den Gassen unter Berücksichtigung des bestehenden Rückegassennetzes
- Befahrung nur bei geeigneten Witterungsverhältnissen
- Verwendung von möglichst bodenschonenden Fahrzeugen

Auswirkungen



Hintergrund: Die Befahrung des Waldbodens mit schweren Forstmaschinen führt zwangsläufig zu einer Verdichtung des Bodens. Die damit einhergehenden Veränderungen in der Bodenstruktur und -chemie, beeinträchtigen Lebensgemeinschaften im Boden, mit Folgen für den Streuabbau, die Humusbildung und die Bodenfruchtbarkeit. Verdichtung reduziert die Verfügbarkeit von Sauerstoff und Wasser im Boden und der pH-Wert steigt. Davon profitieren lediglich an Sauerstoffarmut angepasste Bakterien, sowie einige Regenwurmarten. Wurzeln haben Schwierigkeiten den kompakten Boden zu durchdringen und auch viele (Mikro-)Organismen und Springschwänze werden negativ beeinflusst [68]. Je nach Bodenart und Hangneigung wirkt sich die Befahrung unterschiedlich stark aus. Steile Hanglagen und feuchte, tonige Böden sind empfindlicher als bspw. sandige Flachlandwälder. In Ersteren, kommt es häufiger zu tiefen Spurrillen und Durchmischungen der Bodenschichten. Bodenverdichtung beschleunigt die Umsetzung von organischem Material und erhöht die CO₂-Freisetzung. Unsere Untersuchungen zeigen, dass es mit dem relativen Anstieg der Lagerungsdichte durch die Befahrung, zu einer Abnahme des Bodenkohlenstoffs und der mikrobiellen Biomasse kommt [69].



Foto: Thea Schlager

Umsetzung: Anpassung der Forstmaschinen: Verringerung des Kontaktflächen-drucks durch geringe maximale Radlast (reduziertes Lastgewicht), Herabsetzen des Reifenfülldrucks, Verwendung breiterer Reifen. Mit einer Reifendruck-Regelanlage kann auch bei höherer Bodenfeuchte gearbeitet werden [70]. Durch das Auslegen von Reisigmatten werden Kräfte gleichmäßiger auf den Boden verteilt [71]. Alternativ bietet sich in jungen Beständen die Verwendung von Rückepferden an. In Gebieten mit steilen Hängen sind Seilkräne oder Seilwindenschlepper eine geeignete Option [72]. Gassenabstände unter Berücksichtigung des bestehenden Rückegassennetzes wenn möglich auf 30–40 m erhöhen.

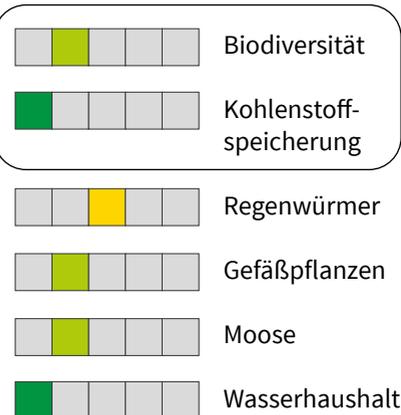
Der Einsatz von Rückepferden ist in NRW förderfähig (s. Kapitel Finanzielle Fördermöglichkeiten).

14. Rückbau der Entwässerung



Foto: NABU-Naturschutzstation Münsterland

Auswirkungen



Hintergrund

- Grabenverschlüsse verlängern die Verweilzeit des Bodenwassers in den Beständen und verkürzen so die durch den Klimawandel verstärkt zu erwartenden Trockenphasen
- Wasserbeeinflusste Böden können große Mengen an Kohlenstoff speichern

Empfehlungen

- Verschluss von Entwässerungsgräben
- Je mehr Grabenverschlüsse pro Fläche, desto gleichmäßiger verbleibt das Wasser im Bestand

Hintergrund: In vielen Feuchtwäldern wurden in der Vergangenheit in großem Maßstab Entwässerungsgräben angelegt, um eine forstliche Bewirtschaftung und den Anbau von verschiedenen Baumarten zu ermöglichen. Durch sich ändernde klimatische Bedingungen und neue waldbauliche Zielsetzung, rückt nun wieder eine Wiederherstellung des natürlichen Wasserhaushaltes in den Fokus [73]. Die Wiedervernässung von Waldstandorten kann sich in Zeiten von langen Dürreperioden positiv auf die Vitalität der Bäume und die Stabilität des Ökosystems auswirken [74]. Feuchtwälder haben eine artenreiche Vegetation vorzuweisen und einen positiven Einfluss auf die Biodiversität. Während Moose und einige Bodenorganismen von den feuchten Bedingungen profitieren, kann es für tiefgrabende Regenwürmer zu nass werden [75, 76]. Die Kohlenstoffspeicherung in Wäldern mit Staunässeinfluss ist besonders hoch. Durch die zeitweise herrschenden sauerstoffarmen Bedingungen werden die Zersetzungsprozesse verlangsamt und es kommt zur Anreicherung großer Mengen Kohlenstoff im Boden, die die Vorräte in den Bäumen teils deutlich übertreffen [3].



Foto: Max Fornfeist

Umsetzung: Ein Verschluss von Entwässerungsgräben kann zur Verbesserung des Wasserhaushaltes beitragen. Zu empfehlen ist ein Verschluss von möglichst vielen Gräben an verschiedenen Stellen, um einen auf der Fläche gleichmäßigen Wasserstau zu erzeugen. Eine Umsetzung kann z. B. mit Kleinbagger durch kleinräumige Verfüllung mit lehmigem Bodenmaterial oder zusätzlich mit Holz erfolgen. Ein vollständiger Verschluss der Gräben ist nicht empfehlenswert, da zu radikale Veränderungen ebenfalls negative Effekte auf die Vitalität der Bäume haben können. Gräben an Wegrändern sollten bestehen bleiben, um Schäden durch Wasser zu vermeiden. In Moor- oder Bruchwäldern mit angepassten Baumarten wird dagegen ein vollständiger Verschluss von Gräben und ein Rückbau von Drainagen empfohlen [74].

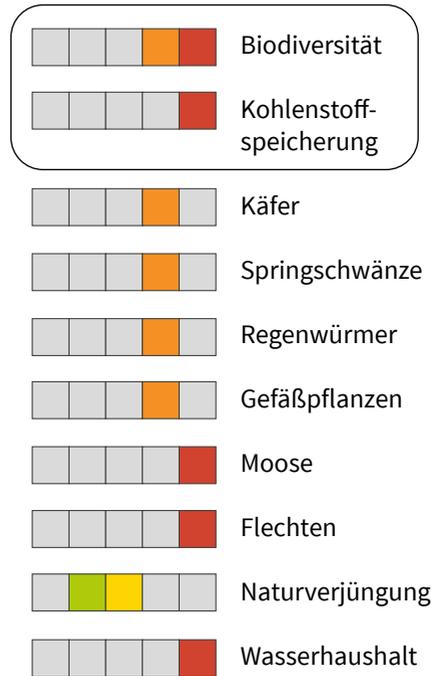
Die Wiedervernässung von Feuchtwäldern ist in NRW förderfähig (s. Kapitel Finanzielle Fördermöglichkeiten).

15. Bodenbearbeitung bei Bestandsbegründung



Foto: Max Fornfeist

Auswirkungen



Hintergrund

- Bodenbearbeitung wie z. B. Mulchen erleichtert die Bestands-Neubegründung, kann aber erhebliche negative Effekte auf die Bodenökologie und Kohlenstoffspeicherung haben

Empfehlungen

- Bodenbearbeitung, wenn möglich, immer vermeiden, sonst nur auf Teilflächen oder streifenweise und mit möglichst geringer Tiefe

Hintergrund: Bodenbearbeitung wird in der Forstwirtschaft vor allem eingesetzt, um die Bestandsbegründung nach Kahlschlägen oder zur Wiederbewaldung nach Kalamitäten zu erleichtern. Weniger intensive Methoden sind z. B. das streifenweise Freilegen des Mineralbodens als Vorbereitung zur Saat oder zur Verjüngung von Kiefern. Flächige Verfahren, wie z. B. das Mulchen, Fräsen oder Pflügen wirken sich dagegen erheblich auf die Bodeneigenschaften aus.



Foto: Max Fornfeist

Genutzt werden sie, um die Anwuchsbedingungen der jungen Bäume zu verbessern und gleichzeitig die Konkurrenzvegetation wie z. B. Brombeere oder Adlerfarn zurückzudrängen [77]. Auch die Naturverjüngung von Kiefern und anderen Pionierbaumarten kann profitieren [78]. Dem gegenüber stehen allerdings zahlreiche negative Effekte. Durch Bodenbearbeitung kommt es zur schnelleren Umsetzung der Streu und zur Freisetzung von CO₂ sowie zum Verlust von Stickstoff und anderen Nährstoffen aus dem Boden. Auch Vorarbeiten wie die Entnahme der Wurzelstöcke haben erhebliche negative Effekte auf die Kohlenstoffspeicherung des Systems [79]. Besonders negativ wirkt sich die mit der Maßnahme einhergehende flächige Befahrung mit schweren Maschinen auf den Boden aus [80] (s. Maßnahme 13 Befahrung von Waldböden). Auch die Effekte auf die Biodiversität sind negativ: Sowohl Bodenlebewesen, auf dem Boden lebende Insektenarten wie z. B. Käfer oder Spinnen, als auch Pflanzenarten werden beeinträchtigt [81–83].

Umsetzung: Eine flächige Bodenbearbeitung sollte vermieden werden. Zur Vorbereitung von Saaten oder der Förderung von Naturverjüngung kann z. B. bei einer mächtigen Humusauflagen nur ein streifenweises Freilegen des Mineralbodens erfolgen [84]. Bodenbearbeitung sollte grundsätzlich so bodenschonend wie möglich sein und immer so wenig wie möglich in die Bodenstruktur eingreifen.

Die Bodenvorbereitung mit Pferd ist in NRW förderfähig (s. Kapitel Finanzielle Fördermöglichkeiten).

16. Kalkung



Foto: Robert Jansen

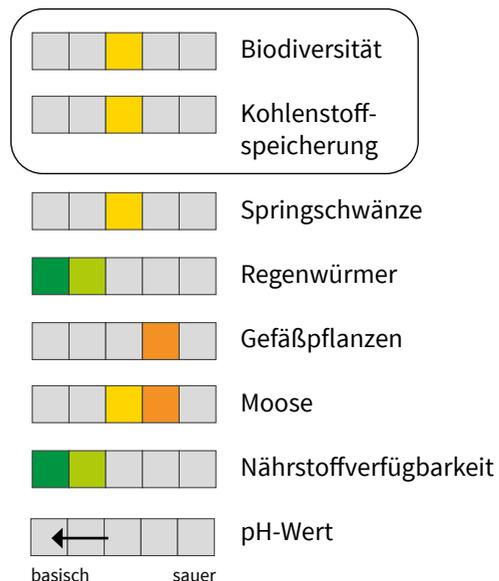
Hintergrund

- Die Einbringung von dolomitischem Kalk verbessert die Nährstoffverfügbarkeit (Calcium, Magnesium) und verringert die Aluminium-Toxizität im Oberboden
- Je nach Standort verstärkt sie die Auswirkungen der Eutrophierung und fördert das Auftreten von Stickstoffzeigerarten

Empfehlungen

- Kalkung nur auf natürlicherweise basischen Standorten, um starker Versauerung entgegen zu wirken
- Vorbeugender Verzicht auf Nadelbaumarten zur Verbesserung der Streuqualität

Auswirkungen



Hintergrund: Viele Waldböden sind heutzutage saurer als natürlicherweise zu erwarten wäre. Dies ist einerseits auf intensive Waldnutzungsformen in der Vergangenheit und andererseits auf nach wie vor hohe Immissionen von versauernden Luftschadstoffen (Nitrat, Ammonium u. a.) aus Verkehr, Industrie und Landwirtschaft zurückzuführen [85, 86]. Eine Waldkalkung kann vor allem im Oberboden zu einer Anhebung des pH-Wertes und einer Verringerung der Aluminium-Toxizität führen. Dies verbessert die Wuchsbedingungen für die Baumarten, löst Mangelerscheinungen verschiedener Nährstoffe auf [87] und erhöht die biologische Aktivität. Im Gegensatz zu anderen Bodenlebewesen profitieren Regenwürmer von Kalkungen [88, 89]. Sie fördern die Streuzersetzung und tragen wesentlich zur Verlagerung organischer Substanz in tiefere Bodenschichten bei. Durch die erhöhten Umsatzprozesse, insbesondere in der organischen Auflage, kann es allerdings zu einer Eutrophierung vor allem durch Stickstoff kommen, was zu einem dominanten Auftreten von Stickstoffzeigern wie z. B. der Brombeere führen kann [85, 87]. Dadurch werden an Nährstoffmangel angepasste Waldarten, die darüber hinaus häufig gefährdet sind, verdrängt. Zudem kann es je nach Standort zu einem Abbau der organischen Substanz in der Humusaufgabe und im Oberboden sowie zu einem reduzierten Feinwurzelwachstum kommen [87].



Foto: Robert Jansen

Umsetzung: Empfohlen werden 3 Tonnen dolomitischer Kalk (reich an Calcium und Magnesium) pro Jahrzehnt. Nicht gekalkt werden sollten natürlicherweise saure Standorte wie z. B. Sandstein, Schiefer oder Granit. Von Standorten, die wasser- oder naturschutzfachlich sensibel sind, sollte Abstand gehalten werden [85, 89, 90]. Um einer Versauerung vorzubeugen, empfiehlt sich der Anbau von Laubbaumarten mit guter Streuqualität (vor allem Ulme, Erle und Esche) sowie das Belassen des Feinreisigs im Wald bei der Holzernte. Die Kalkung sollte zudem außerhalb der Vegetationszeit durchgeführt werden [91].

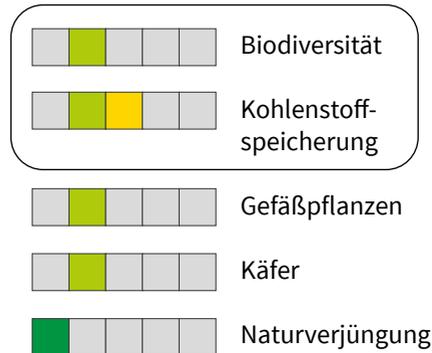
Eine Bodenschutzkalkung und entsprechende Voruntersuchungen sind in NRW förderfähig (s. Kapitel Finanzielle Fördermöglichkeiten).

17. Verbissreduktion



Foto: Hannes Lenke

Auswirkungen



Hintergrund

- Wildverbiss führt zur Abnahme der Naturverjüngung und zur Entmischung der Baumarten
- Bei überhöhten Wildbeständen kann sich eine verstärkte Bejagung positiv auf die Biodiversität auswirken

Empfehlungen

- Wildverbiss soweit reduzieren, dass sich alle Baumarten verjüngen können
- Revierübergreifende Drückjagden mit langen Jagdpausen
- Weisergatter als Anschauungsobjekt und Argumentationsgrundlage

Hintergrund: Hohe Bestände von wiederkäuendem Schalenwild (z. B. Reh-, Rot-, Dam- und Muffelwild) können zu einem hohen Verbissdruck im Wald führen. Dies kann nicht nur die Bodenvegetation, sondern vor allem auch die Verjüngung der Baumarten beeinträchtigen. Es kommt nicht nur zu einer Reduzierung der Jungpflanzen, was die Erfolgchancen einer natürlichen Waldverjüngung mindert, sondern auch zu einer Entmischung der Arten [92, 93]. Dies liegt daran, dass vor allem Rehe selektiv manche, mitunter seltene Baumarten verbeißen. So können meist sporadisch vorkommende, waldbaulich aber sehr interessante Arten wie Eiche, Ulme, Linde oder Tanne vom Wild stark verbissen werden und so komplett ausfallen [94]. Durch eine geringere Baumarten- und Strukturvielfalt kann es auch zur Abnahme der Biodiversität, z. B. von Käfern, kommen [95].



Foto: Max Fornfeist

Umsetzung: Um das Ausmaß des Verbissdrucks festzustellen, ist die Anlage von Weisergattern empfehlenswert. Auf diesen eingezäunten Flächen, wird dann nach einigen Jahren sichtbar, wie sich die Verjüngung im Vergleich zum umliegenden Bereich mit Verbisseinfluss entwickelt. Dies können Waldbesitzende zudem gegenüber Jagdpächtern auch als Argumentationsgrundlage für höhere Abschusszahlen verwenden [94]. Auch die Ergebnisse von Verbissgutachten können hier hilfreich sein [96]. Wenn möglich, sollte die Jagd jedoch so angepasst werden, dass eine artenreiche Naturverjüngung auch ohne Schutzmaßnahmen möglich ist. Empfohlen werden vor allem revierübergreifende Drückjagden mit langen dazwischen liegenden Jagdpausen. Zudem sollten Wildfütterungen unterlassen werden, Jagdruhezonen ausgewiesen werden und auch der Abschuss von weiblichen Rehen erfolgen. Wiederbewaldungsflächen sollten priorisiert werden. Schutzmaßnahmen wie flächige Einzäunungen oder Wuchshüllen sind, alleine aus wirtschaftlicher Sicht, negativ zu bewerten. In Kombination mit Baumartenverlusten, können die für Schutzmaßnahmen aufgewendeten Kosten durch Jagdpachteinnahmen jedoch häufig nicht langfristig kompensiert werden [93–95].

Die Anlage von Weisergattern ist in NRW förderfähig (s. Kapitel Finanzielle Fördermöglichkeiten).



Foto: Max Fornfeist

Lebensraumvielfalt auf Landschaftsebene

Kein einzelner Waldbestand kann eine große Diversität an allen Artengruppen aufweisen und gleichzeitig noch viel Kohlenstoff speichern. Unsere Untersuchungen haben gezeigt, dass die vorkommenden Arten sich zwischen unterschiedlichen Beständen stark unterscheiden. Dies gilt z. B. für die Artengemeinschaften von Vögeln und Käfern. Gerade das Nebeneinander von unterschiedlichen Beständen mit unterschiedlichen Baumartenzusammensetzungen, Altersklassen und Waldentwicklungsphasen bietet das größtmögliche Potenzial für eine große Biodiversität auf Landschaftsebene. Ein alter, geschlossener Buchenwald mit viel Totholz kann z. B. ganz anderen Arten einen Lebensraum bieten, als ein lichter Eichenwald oder ein Bestand mit Nadelbaumarten. Studien haben auch gezeigt, dass Mischbestände zwar zahlreiche Vorteile bieten (s. Maßnahme 12 Baumartenmischung), allerdings auch Reinbestände eine wichtige Rolle zur Erhaltung mancher Arten spielen, sofern auf Landschaftsebene eine große Baumartenvielfalt herrscht [63].

Insofern gibt es für jeden einzelnen Waldbestand nicht die eine optimale Maßnahme aus Sicht der Förderung der Biodiversität. Gerade die unterschiedliche waldbauliche Behandlung kann auf Landschaftsebene eine große Vielfalt schaffen und ist in Gebieten mit sehr kleinflächig differenzierten Waldbesitzverhältnissen ohnehin

häufig gegeben. Neben den in dieser Broschüre genannten Maßnahmen sind auch noch weitere, allerdings weniger flächenrelevante Bewirtschaftungssysteme, zu nennen. Dies sind z. B. historische Waldnutzungsformen wie Nieder-, Mittel- oder Hutewald. Diese zeichnen sich häufig durch eine intensive Nutzung, relativ lichte Bedingungen und den Fokus auf Lichtbaumarten wie die Eiche aus. Dadurch sind sie vor allem im Hinblick auf die Insektenfauna sehr divers. Solche Lebensraumbedingungen sind gerade auf der Landschaftsebene sehr selten geworden. Da aber viele Arten auf diese Bedingungen angewiesen sind, kommt ihnen zum Erhalt der Biodiversität eine große Bedeutung zu [97].

Waldbauliche Entscheidungen sind, z. B. was die Baumartenwahl angeht, aus Sicht der Förderung der Biodiversität u. a. deshalb nicht immer gleich zu bewerten, da sich die Ausgangsbedingungen jedes Bestandes durch die umliegende Landschaft unterscheiden und entsprechend berücksichtigt werden sollten.

Finanzielle Fördermöglichkeiten

In Nordrhein-Westfalen können einige der vorgestellten Handlungsoptionen finanziell gefördert werden. Die Extremwetter-Richtlinie gilt dabei für Kalamitätsflächen, die zuvor einen Nadelholzanteil von über 50 % hatten. Die Förderrichtlinie Privat- und Körperschaftswald (PKW) gilt für Waldflächen im Allgemeinen. Doppelförderungen sind grundsätzlich ausgeschlossen.

Übersicht über Fördermöglichkeiten, Stand: 2024 für das Bundesland Nordrhein-Westfalen

Nr.	Maßnahme	Fördersätze	Förderrichtlinie
1.	Erhalt von Biotopbäumen	z. B. Buche ab BHD 40 cm: 100 €/Baum, ab 60 cm: 230 €; Eiche ab BHD 40 cm 270 €/Baum und ab 60 cm: 690 €, bis zu 30 festgelegte Bäume/ha	PKW
7.	Waldrandgestaltung	Anlage eines mindestens 10 m tiefen Waldaußenrandes aus heimischen Strauch- und Laubbaumarten auf Kalamitätsflächen: 2,60 €/laufenden Meter	Extremwetter
		Pflanzung 2,20 €/laufenden Meter Waldrand mit heimischen Laubbaumarten. 80 % der Pflegekosten in einer Tiefe von bis zu 15 m.	PKW
10.	Erhöhung des Laubbaumanteils	Wiederbewaldungsprämie: 800 €/ha für das Pflanzen von mindestens 400 standortgerechten Bäumen/ha auf Kalamitätsflächen.	Extremwetter
11.	Erhöhung des Nadelbaumanteils		
12.	Baumartenmischung	Wiederbewaldung von Kalamitätsflächen mit mindestens 4 Baumarten und mindestens 35 % heimischen Laubbäumen	

		nach Waldentwicklungstypen des Waldbaukonzepts NRW: z. B. Eiche-Buche/Hainbuche (12.700 €/ha) oder Buche-Edellaubbäume (12.300 €/ha), enthalten sind 2 Pflegemaßnahmen.	
		Pflanzungen mit maximal 35 % Nadelholzanteil: z. B. Stiel-/Trauben-Eiche 1,80 € (bei 0–20 % Nadelholzanteil oder 1,50 € (bei 21–35 % Nadelholzanteil), Rotbuche 1,70 bzw. 1,40 €, Weißtanne 1,60 € bzw. 1,30 €. Saat: Stiel-/Trauben-Eiche 2.700 € und Buche 2.520 €/ha. Möglich als Aufforstung, Voranbau, Unterbau, Zupflanzung in Naturverjüngungen inkl. Jungbestandspflege (Mischungs- und Standraumregulierung): 770 €/ha. Einbringung seltener heimischer Mischbaumarten wie z. B. Ulme, Linde oder Wildostarten	PKW
		80 % der Kosten für: – Initialpflanzungen von Arten der Weich- und Hartholzaue oder von moortypischen Arten – Entfernung nicht standortheimischer Baumarten älter 15 Jahre in Auen-, Moor- oder Bruchwäldern, an Stillgewässern oder Quellen im Wald	PKW
13.	Befahren von Waldböden	Einsatz von Rückepferden: Rücken oder Vorrücken von Holz zur Rückegasse oder zur Abfuhrstelle: 7,50 €/Festmeter.	Extremwetter

Nr.	Maßnahme	Fördersätze	Förderrichtlinie
14.	Rückbau der Entwässerung	80 % der Kosten für: – Verschluss und Rückbau von Drainagen in Moor- oder Bruchwäldern – Wiedervernässung in bodenfeuchten Eichenwäldern	PKW
15.	Bodenbearbeitung bei Bestandsbegründung	600 €/ha für Bodenvorbereitung mit Pferd	PKW
16.	Kalkung	90 % der Kosten einer Bodenschutzkalkung und 80 % für Voruntersuchungen im Privatwald (Körperschaftswald: 70 % bzw. 50 %).	PKW
17.	Verbissreduktion	Anlage von Weisergattern: 7,50 €/laufenden Meter, maximal 350 €/Gatter (nicht im Körperschaftswald). Mechanischer Einzelschutz: 3,50 €/Pflanze.	PKW
		Anlage von Weisergattern: 7,50 €/laufenden Meter auf Kalamitätsflächen, maximal 375 €/Gatter. Verbisschutzmanschetten: 3,50 €/Stück bzw. 1,90 €/10 Stück, maximal 1.400 €/ha.	Extremwetter

Die Förderrichtlinie Privat- und Körperschaftswald (PKW), Extremwetterfolgen sowie weitere aktuelle Fördermöglichkeiten in Nordrhein-Westfalen sind unter folgendem Link verfügbar:

www.waldbauernlotse.de

Waldbaukonzept Nordrhein-Westfalen:

https://www.wald-und-holz.nrw.de/fileadmin/Publikationen/Broschueren/Waldbaukonzept_nrw.pdf

Standort- und waldbaubezogen digitalen Karten des Internetportals Waldinfo.NRW:

www.waldinfo.nrw.de

Deutschlandweit gilt das Förderprogramm Klimaangepasstes Waldmanagement. Die Förderung beträgt bis zu 100 €/ha, wenn folgende 12 Kriterien zusammen erfüllt sind:

- Vorausverjüngung
- Vorrang von Naturverjüngung
- Künstliche Verjüngung nach Baumartenempfehlungen
- Zulassen von Sukzessionsstadien, Vorwäldern
- Hohe Baumartenvielfalt
- Verzicht auf Kahlschläge, Belassen von Störungsflächen auf 10 %
- Anreicherung und Erhöhung der Diversität von Totholz
- Erhalt von mindestens fünf Habitatbäumen/ha
- Rückegassenabstände mindestens 30 m bei Neuanlage
- Verzicht auf Düngung und Pflanzenschutzmittel
- Wasserrückhaltung, Rückbau der Entwässerung
- Natürliche Waldentwicklung auf 5 % der Waldfläche für 20 Jahre

<https://www.klimaanpassung-wald.de>

Glossar

Bestand/Waldbestand: Kleinste abgrenzbare Einheit eines Waldes, i. d. R. anhand der Baumartenzusammensetzung oder des Alters.

Biodiversität: Vielfalt an Lebensräumen, Tier-, Pflanzen- und Pilzarten, inkl. genetischer Vielfalt. Hier liegt der Schwerpunkt auf der Betrachtung der Artenvielfalt.

Bodenart: Unterscheidung von verschiedenen Böden anhand der Korngröße der Bodenbestandteile in Sand (groß), Schluff (mittel), Ton (klein) und Lehm (alle Korngrößen kommen in gewissen Anteilen vor).

Bruchwald: Dauerhaft wasserbeeinflusster Waldtyp, typischerweise kommen Erlen oder Birken vor.

Drainage: Einrichtung zur Entwässerung von Landflächen. Dies erfolgt anders als bei Entwässerungsgräben mit Rohren unterhalb der Bodenoberfläche.

Durchforstung: Planmäßige Entnahme von einigen Bäumen im Rahmen der forstlichen Bewirtschaftung zur Holzernte und Förderung des Wachstums der verbleibenden Bäume.

Emission: Ausstoß von Stoffen, i. d. R. Schadstoffen in die Umwelt, z. B. Abgase von Industrieanlagen oder Einleitung von nicht geklärten Abwässern in Flüsse. Als Emission zählen zudem auch Lärm und Licht.

Eutrophierung: Übermäßiger Eintrag von Nährstoffen, der negative Folgen für die Ökologie in Gewässern oder Böden haben kann.

Femel-/ Lochhieb: Methode der Waldbewirtschaftung, bei der Gruppen von Bäumen geerntet werden. In den entstehenden Lücken können durch die veränderten Lichtbedingungen junge Bäume nachwachsen.

Festmeter: Forstliches Maß, das einem Kubikmeter entspricht.

Flechten: Lebensgemeinschaft aus Pilzen und Algen bzw. Bakterien. Sie zeichnen sich durch ein sehr langsames Wachstum aus und besiedeln in Mitteleuropa vor allem die Rinde von Bäumen und Gesteine.

Habitatkontinuität: Dauerhaftes Vorhandensein von Lebensräumen, auch über mehrere Waldentwicklungsphasen und Baumgenerationen hinaus.

Horst(-weise): Baumgruppe einer Flächengröße von 0,1 – 0,5 ha.

Humusschicht: Auf dem mineralischen Boden aufliegendes organisches Material unterschiedlichen Zersetzungsgrades wie z. B. Blätter, Nadeln oder Zweige.

Hutewald: Historische Waldnutzungsform, bei der der Wald zur Viehhaltung genutzt wird. Schweine, Kühe, Schafe oder Pferde fressen die am Boden wachsenden Gräser, Sträucher, Kräuter oder jungen Bäume und auch die Früchte einiger Bäume wie z. B. Eicheln oder Bucheckern, wodurch ein besonderer Waldtyp entsteht.

Immission: Eintrag von Stoffen, i. d. R. Schadstoffe, in die Umwelt. Z. B. der Eintrag von Stickstoffverbindungen wie Nitrat oder Ammoniak aus Landwirtschaft, Industrie und Verkehr über die Luft und das Wasser in den Wald.

Kalamität(-sfläche): Großflächiges Absterben von Bäumen durch Schädlinge, Sturm oder anderen Umwelteinflüsse.

Konsolenpilz: Baumpilz mit dauerhaft sichtbarem Fruchtkörper.

Lagerungsdichte: Maß für die Dichte des Bodens. Diese ist abhängig von dem Substrat (Sand, Schluff, Ton) und kann durch forstliche Aktivitäten beeinflusst werden.

Mikrobielle Aktivität: Die Aktivität von Pilzen und Bakterien im Boden, die die Zersetzung von organischem Material bewirken.

(Baum-)Mikrohabitat: Abgrenzbarer Kleinstlebensraum an einem Baum, z. B. Spechthöhle, Pilz, freiliegendes Holz oder Moosbewuchs.

Waldinnenklima: Mikroklimatische Bedingungen im Wald, die sich von der Umgebung unterscheiden können. Im Wald ist es i. d. R. feuchter und Temperaturen unterliegen geringeren Schwankungen als außerhalb des Waldes.

Mittelwald: Historische Waldnutzungsform, bei der Hoch- und Niederwaldwirtschaft auf einer Fläche kombiniert wird. In der Unterschicht findet eine regelmäßige Ernte von Bäumen statt, die meist als Brennholz genutzt werden und dann wieder austreiben. In der Oberschicht wachsen langlebige Bäume, zumeist Eichen, die nach langen Wachstumszeiten hochwertiges Bauholz liefern können. Durch die lichten und abwechslungsreichen Bedingungen stellen Mittelwälder oft artenreiche Lebensräume dar.

Mulmhöhle: Baumhöhle mit teilweise zersetztem Holzsubstrat (Mulm). Diese kann zahlreichen Arten einen Lebensraum bieten.

Naturverjüngung: Junge Bäume, die sich selbst gesät haben und ohne menschliches Zutun nachwachsen. Abgrenzung zur Pflanzung und Saat.

Niederwald: Historische Waldnutzungsform, bei der die Bäume in vergleichsweise kurzen Zyklen von 10-30 Jahren geerntet werden. Die Ernte erfolgt durch das sog. „Auf-den-Stock-Setzen“, sodass die Bäume wieder aus dem Wurzelstock austreiben können. Dies ist vor allem mit Laubbäumen wie Hainbuche, Hasel oder Linde möglich.

pH-Wert: Maß für die Konzentration an Wasserstoffionen, die eine saure Wirkung haben. Ein niedriger pH-Wert stellt dabei einen saureren Charakter dar, während hohe Werte als basisch gewertet werden. Werte von ca. 7 werden als neutral bezeichnet, die Spanne reicht von 0 bis 14.

Pionierbaumart: Baumarten, die durch ihre Ökologie (widerstandsfähig gegen natürliche Umwelteinflüsse, lichtliebend, besonders flugfähige und leichte Samen) in der Lage sind, Freiflächen als erste Baumarten zu besiedeln. Dies sind z. B. Birken, Erlen, Weiden oder Kiefern.

Reinbestand: Waldbestand, der aus einer Baumart besteht.

Reisig: Dünne Äste und Zweige von Bäumen und Sträuchern.

Reisigmatte: Matten aus Ästen und Zweigen, die auf Rückegassen ausgelegt werden, um die Bodenverdichtung und -beschädigung bei der Befahrung mit schweren Forstmaschinen zu verringern.

Rückegasse: Unbefestigte Schneise im Wald zum Abtransport von gerentetem Holz mit Forstmaschinen zur nächstgelegenen befestigten Forststraße.

Schirmschlag: Gleichmäßige Auflichtung des Altbestandes durch Entnahme von Bäumen zur Förderung der Verjüngung.

Springschwänze: Artengruppe urtümlicher, kleiner Insekten, die im Boden eine wichtige Rolle bei der Zersetzung von Blättern, Nadeln und Zweigen spielen und somit für die Bodenökologie und den Nährstoffkreislauf von Bedeutung sind.

Streu: Auf den Boden gefallenes pflanzliches Material, z. B. Blätter, Zweige und Nadeln, das nach Zersetzungsprozessen im Boden zur Kohlenstoffspeicherung und Nährstoffverfügbarkeit beiträgt.

Sukzession: Gerichtet und auf natürliche Weise ablaufendes Auftreten von Pflanzen und z. T. auch anderen Arten nach Störungen. Meist beginnt sie krautigen Pflanzen, gefolgt von Sträuchern und Pionierbaumarten und endet mit dem Vorhandensein von an den Standort am besten angepassten Arten des sog. Klimax-Stadiums, z. B. eines Buchenmischwaldes in Mitteleuropa.

Verjüngung: Junge, nachwachsende Bäume, die in Zukunft die nächste Baumgeneration bilden können.

Verkehrssicherung: Vorsorgliches Absuchen und Entfernen von möglichen Gefahrenquellen wie z. B. abgestorbene Bäume oder Kronentotholz entlang von Straßen, Schienen, Wanderwegen oder Gebäuden im oder am Wald.

Voranbau: Einbringung von jungen Bäumen unter dem Altbestand.

Waldentwicklungsphase: Ein durch die Waldstruktur abgrenzbarer Bereich eines Waldes. Unterschieden werden: Verjüngungs-, Initial-, Optimal- (früh, mittel und spät), Terminal- und Zerfallsphase sowie Lücke.

Weisergatter: Kleinflächiger Zaun, der den Einfluss von Wildtieren ausschließt und so zeigt, welche Verjüngung an dem Standort ohne Wildverbiss möglich wäre.

Wurzelteller: Ein durch das Umfallen eines Baumes aus dem Boden gerissener Wurzelbereich mit Bodenmaterial. Er kann vielen Arten einen Lebensraum bieten.

Zielstärkennutzung: Ernte von einzelnen Bäumen nach dem Erreichen eines bestimmten Durchmessers. Dieser kann z. B. bei der Buche je nach Betriebsziel bei ca. 60 cm liegen.

Zwiesel: Aufgabelung des Baumstamms in mehrere Teilstämme. Da dadurch die Länge des einzelnen Baumstamms z. T. erheblich verkürzt wird, werden solche Bäume als wirtschaftlich weniger interessant eingeschätzt. Aus ökologischer Sicht bieten sie sich als zukünftige Biotopbäume an, auch da ein Teilstamm mit der Zeit abbrechen kann.

Literaturverzeichnis

- 1 Riedel, T., Stümer, W., Hennig, P., Dunger, K. and Bolte, A. (2019) Wälder in Deutschland Sind Eine Wichtige Kohlenstoffsenke. *AFZ-Der Wald*, 14, 14-18.
- 2 Wellbrock, N., Bolte, A. and Flessa, H. (2016) Dynamik Und Räumliche Muster Forstlicher Standorte in Deutschland - Ergebnisse Der Bodenzustandserhebung Im Wald 2006 Bis 2008. Johann Heinrich von Thünen-Institut, Braunschweig, 550.
- 3 Hamer, U., Klein-Raufhake, T., Meyer, M., Schaper, J. and Rentemeister, K. (2023) Kohlenstoffspeicherung in Wäldern Nordrhein-Westfalens. *AFZ-Der Wald*, 21, 21-23.
- 4 Nagel, R., Meyer, P., Blaschke, M. and Feldmann, E. (2023) Strict Forest Protection: A Meaningful Contribution to Climate-Smart Forestry? An Evaluation of Temporal Trends in the Carbon Balance of Unmanaged Forests in Germany. *Frontiers in Forests and Global Change*, 6. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fgc.2023.1099558>.
- 5 Bausch, J., Seeling, U., Dieter, M., Farwig, N., Hafner, A., Kätzel, R., Kleinschmit, B., Lang, F., Lindner, M. and Möhring, B. (2021) Die Anpassung von Wäldern Und Waldwirtschaft an Den Klimawandel: Gutachten Des Wissenschaftlichen Beirates Für Waldpolitik-Oktober 2021. *Berichte über Landwirtschaft-Zeitschrift für Agrarpolitik und Landwirtschaft*.
- 6 Jactel, H., Bauhus, J., Boberg, J., Bonal, D., Castagnyrol, B., Gardiner, B., Gonzalez-Olabarria, J.R., Koricheva, J., Meurisse, N. and Brockerhoff, E.G. (2017) Tree Diversity Drives Forest Stand Resistance to Natural Disturbances. *Current Forestry Reports*, 3, 223-243. <https://doi.org/10.1007/s40725-017-0064-1>.
- 7 Pörtner, H.-O., Scholes, R.J., Arneth, A., Barnes, D.K.A., Burrows, M.T., Diamond, S.E., Duarte, C.M., Kiessling, W., Leadley, P., Managi, S., McElwee, P., Midgley, G., Ngo, H.T., Obura, D., Pascual, U., Sankaran, M., Shin, Y.J. and Val, A.L. (2023) Overcoming the Coupled Climate and Biodiversity Crises and Their Societal Impacts. *Science, American Association for the Advancement of Science*, 380, eabl4881. <https://doi.org/10.1126/science.abl4881>.
- 8 Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen. (2024, May 28) Artenvielfalt Und Landschaftsqualität - Umweltindikatoren NRW. <https://umweltindikatoren.nrw.de/natur-laendliche-raeume/artenvielfalt-und-landschaftsqualitaet>.
- 9 Oliver, T.H., Heard, M.S., Isaac, N.J.B., Roy, D.B., Procter, D., Eigenbrod, F., Freckleton, R., Hector, A., Orme, C.D.L., Petchey, O.L., Proença, V., Raffaelli, D., Suttle, K.B., Mace, G.M., Martín-López, B., Woodcock, B.A. and Bullock, J.M. (2015) Biodiversity and Resilience of Ecosystem Functions. *Trends in Ecology & Evolution*, 30, 673-684. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2015.08.009>.
- 10 Köhler, F. (2000) Bestandserfassung Der Totholzkäferfauna (Coleoptera) Der Naturwaldzelle "Teppes Viertel" Im Wolbecker Tiergarten Bei Münster/Westfalen.
- 11 Büttler, R., Lachat, T., Krumm, F., Kraus, D. and Larrieu, L. (2020) Habitatbäume Kennen, Schützen Und Fördern. *Merkblatt für die Praxis*, 64, 1-12.
- 12 Büttler, R., Lachat, T., Krumm, F., Kraus, D. and Larrieu, L. (2020) Taschenführer Der Baummikrohabitate - Beschreibung Und Schwellenwerte Für Feldaufnahmen. Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL.
- 13 Wald und Holz NRW, Ed. (2014) Biotopholzstrategie Xylobius Nordrhein-Westfalen - Alt- Und Totholz Für Den Landeswald. Münster.
- 14 Parajuli, R. and Markwith, S.H. (2023) Quantity Is Foremost but Quality Matters: A Global Meta-Analysis of Correlations of Dead Wood Volume and Biodiversity in Forest Ecosystems. *Biological Conservation*, 283, 110100. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2023.110100>.
- 15 Stokland, J.N., Siitonen, J. and Jonsson, B.G. (2012) Biodiversity in Dead Wood. Cambridge University Press, Cambridge. <https://doi.org/10.1017/CBO9781139025843>.
- 16 Boch, S., Saiz, H., Allan, E., Schall, P., Prati, D., Schulze, E.-D., Hessenmöller, D., Sparrius, L. and Fischer, M. (2021) Direct and Indirect Effects of Management Intensity and Environmental Factors on the Functional Diversity of Lichens in Central European Forests. *Microorganisms*, 9, 463. <https://doi.org/10.3390/microorganisms9020463>.

- 17 Müller, J., Bußler, H. and Utschick, H. (2007) Wie Viel Totholz Braucht Der Wald? Ein Wissenschaftsbasiertes Konzept Gegen Den Artenschwund Der Totholzzöosen. *Naturschutz und Landschaftsplanung*, **39**, 165–170.
- 18 Müller, J. and 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. <https://doi.org/10.1007/s10342-010-0400-5>.
- 19 Seibold, S., Bässler, C., Brandl, R., Büche, B., Szallies, A., Thorn, S., Ulyshen, M. and Müller, J. (2016) Microclimate and Habitat Heterogeneity as the Major Drivers of Beetle Diversity in Dead Wood. *Journal of Applied Ecology*, **53**, n/a-n/a. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12607>.
- 20 Landwirtschaftskammer Oberösterreich. (2012) Waldbaummerkblatt - Verjüngungsmethoden.
- 21 Brunet, J., Fritz, Ö. and Richnau, G. (2010) Biodiversity in European Beech Forests - a Review with Recommendations for Sustainable Forest Management. *Ecological Bulletins*, **53**, 77–94.
- 22 Tong, R., Ji, B., Wang, G.G., Lou, C., Ma, C., Zhu, N., Yuan, W. and Wu, T. (2024) Canopy Gap Impacts on Soil Organic Carbon and Nutrient Dynamic: A Meta-Analysis. *Annals of Forest Science*, **81**, 12. <https://doi.org/10.1186/s13595-024-01224-z>.
- 23 Ministerium für Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen, Ed. (2023) Waldbaukonzept Nordrhein-Westfalen - Empfehlungen Für Eine Nachhaltige Waldbewirtschaftung.
- 24 Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg- FVA BW. (2024) Erfassung von lockeren Althölzern und Überhälterbeständen. waldwissen.net - Informationen für die Forstpraxis. <https://www.waldwissen.net/de/technik-und-planung/waldinventur/ableitung-von-lockeralthoelzer>.
- 25 Lapin, K., Schueler, S., Oettel, J., Georges, I., Haslinger, R. and Benger, C. (2021) Maßnahmen Katalog Managementindikatoren Zur Erhaltung Und Förderung Der Biodiversität in Österreichischen Wäldern. BIOSA - Biosphäre Austria; Bundesforschungs- und Ausbildungszentrum für Wald, Naturgefahren und Landschaft; Land&Forst Betriebe Österreich, Wien.
- 26 Gimpl, G., Pröll, G., Zwettler, K. and Heilingbrunner, G. (2018) Handbuch NATURA2000.Wald - Naturnahe Waldbewirtschaftung Für Ausgewählte FFH-Schutzgüter Im Wald. Schwerpunkt Lebensräume. Wien.
- 27 Kozák, D., Svitok, M., Zemlerová, V., Mikoláš, M., Lachat, T., Larrieu, L., Paillet, Y., Buechling, A., Bače, R., Keeton, W.S., Vítková, L., Begovič, K., Čada, V., Dušátko, M., Ferenčík, M., Frankovič, M., Gloor, R., Hofmeister, J., Janda, P., Kameniar, O., Kníř, T., Majdanová, L., Mejstřík, M., Pavlin, J., Ralhan, D., Rodrigo, R., Roibu, C.-C., Synek, M., Vostarek, O. and Svoboda, M. (2023) Importance of Conserving Large and Old Trees to Continuity of Tree-Related Microhabitats. *Conservation Biology*, John Wiley & Sons, Ltd, **37**, e14066. <https://doi.org/10.1111/cobi.14066>.
- 28 Kraus, D. and Krumm, F. (2013) Integrative Ansätze Als Chance Für Die Erhaltung Der Artenvielfalt in Wäldern. European Forest Institute.
- 29 Eusemann, P., Preuß, A., Liesebach, M. and Liesebach, H. (2019) Genetische Diversität Im Vermehrungsgut Der Rotbuche. *AFZ-Der Wald*, **1**, 35–37.
- 30 Wissenschaftlicher Beirat Waldpolitik beim BMEL, Ed. (2023) Zum Umgang Mit Alten, Naturnahen Laubwäldern in Deutschland Im Spannungsfeld Zwischen Biodiversitätsschutz, Klimaschutz Und Anpassung an Den Klimawandel. Berlin.
- 31 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., Marques Duarte, I., Meyer, P., Midteng, R., Mikas, 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. and Kuemmerle, T. (2018) Where Are Europe's Last Primary Forests? *Diversity and Distributions*, John Wiley & Sons, Ltd, **24**, 1426–1439. <https://doi.org/10.1111/ddi.12778>.
- 32 Thünen-Institut. (2012) 3. Bundeswaldinventur Ergebnisdatenbank. <https://bwi.info/>.
- 33 Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL). (2022) Unser Wald - Natur Aus Försterhand.
- 34 Linnemann, B., Elmer, M., Meyer, M., Santora, L. and Wöllecke, J. (2024) Wirkung der Waldnutzung auf Biodiversität und Strukturvielfalt. *Natur in NRW*. **2**, 9–13
- 35 Klein-Raufhake, T., Schaper, J., Fornfeist, M., Hölzel, N. and Hamer, U. (2024) Wirkung der Waldnutzung auf Bodenökologie und C-Speicherung. *Natur in NRW*, **2**, 14–18.
- 36 Engel, F., Bauhus, J., Gärtner, S., Kühn, A., Meyer, P., Reif, A., Schmidt, M., Schultze, J., Späth, V. and Stübner, S. (2016) Wälder Mit Natürlicher Entwicklung in Deutschland: Bilanzierung Und Bewertung. *Naturschutz und Biologische Vielfalt*, **145**, 1–221.
- 37 Meyer, P., Bücking, W., Gehlhar, U., Schulte, U. and Steffens, R. (2007) Das Netz Der Naturwaldreservate in Deutschland: Flächenumfang, Repräsentativität Und Schutzstatus Im Jahr 2007. *Forstarchiv*, **78**, 188–196.
- 38 Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU), Ed. (2007) Nationale Strategie Zur Biologischen Vielfalt. BmU Berlin.
- 39 Meyer, P., Feldmann, E., Hagge, J., Keye, C., Lorenz, K., Nagel, R., Mölder, A., Roschak, C., Schmidt, M., Schmidt, W., Singer, D. and Zeller, L. (2023) Fünf Jahrzehnte Naturwaldforschung in Niedersachsen. *AFZ-Der Wald*, **13**, 14–18.
- 40 Paillet, Y., Bergès, L., Hjaltnén, 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., Meszaros, I., Sebastia, M.-T., Schmidt, W., Standovář, T. and Virtanen, R. (2010) Biodiversity Differences between Managed and Unmanaged Forests: Meta-Analysis of Species Richness in Europe. *Conservation biology: the journal of the Society for Conservation Biology*, **24**, 101–112. <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2009.01399.x>.
- 41 Idoate-Lacasia, J., Stillhard, J., Portier, J., Brang, P., Zimmermann, S., Bigler, C., Bugmann, H. and Hobi, M.L. (2024) Long-Term Biomass Dynamics of Temperate Forests in Europe after Cessation of Management. *Forest Ecology and Management*, **554**, 121697. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2024.121697>.
- 42 Vanhellemont, M., Leyman, A., Govaere, L., De Keersmaeker, L. and Vandekerckhove, K. (2024) Site-Specific Additionality in Aboveground Carbon Sequestration in Set-aside Forests in Flanders (Northern Belgium). *Frontiers in Forests and Global Change*, **7**. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/ffgc.2024.1236203>.
- 43 Arbeitsgruppe Ökologie der Landesforstverwaltung Baden-Württemberg, Ed. (1996) Lebensraum Waldrand - Schutz Und Gestaltung. *Merkblätter Waldökologie*.
- 44 Costa, R. and Barandun, J. (2001) Waldrand: Lebensraum Voller Überraschungen. Amt für Wald Graubünden, Ed., *Faktenblatt*, **7**.
- 45 Thüringen Forst, Ed. (o.J.) Waldbau-Information Nr. 6 - Wiederbewaldung Nach Schädereignissen: Waldrandgestaltung.
- 46 Bolliger, M. and Aargau, N. (2009) Waldrandpflege: Eine Chance Für Die Natur! *Milieu*, 13–15.
- 47 Zingg, A. (2003) Dauerwald-Ein Neues Altes Thema Der Waldwachstumsforschung. *Inf. bl. Forschungsbereich Wald*, **15**, 1–3.
- 48 Zingg, A. (2012) Überall Plenter? - Über 100 Jahre Forschung in Plenterwäldern. *Wald und Holz*.
- 49 Ammer, C., Schall, P., Goßner, M.M., Boch, S., Prati, D., Blaser, S. and Fischer, M. (2017) Waldbewirtschaftung Und Biodiversität: Vielfalt Ist Gefragt. *AFZ-Der Wald*, Deutscher Landwirtschaftsverlag GmbH, **17**, 20–25.
- 50 Ministerium für Infrastruktur und Landwirtschaft (ML) des Landes Brandenburg, Landesbetrieb Forst Brandenburg and Landeskompentenzentrum Forst Eberswalde (LFE), Eds. (2010) Naturnahe Waldwirtschaft - Dauerwald Heute? *Eberswalder Forstliche Schriftreihe*, **46**.
- 51 Kynast, R. (2009) Mit Initialfemeln Zum Plenterwald (Essay) | The Creation of Selection Forest Using Initial Femel Cut (Essay). *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen*, **160**, 137–143. <https://doi.org/10.3188/szf.2009.0137>.
- 52 Müller, J. and Hilmers, T. (2020) Katastrophen Für Den Menschen - Segen Für Die Biodiversität. *LWF aktuell*, 13–15.
- 53 Georgiev, K.B., Beudert, B., Bässler, C., Feldhaar, H., Heibl, C., Karasch, P., Müller, J., Perlík, M., Weiss, I. and Thorn, S. (2021) Forest Disturbance and Salvage Logging Have Neutral Long-Term Effects on Drinking Water Quality but Alter Biodiversity. *Forest Ecology and Management*, **495**, 119354. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2021.119354>.
- 54 Thorn, S., Chao, A., Georgiev, K., Müller, J., Bässler, C., Campbell, J., Castro, J., Chen, Y.-H., Choi, C.-Y., Cobb, T., Donato, D., Durska, E., Macdonald, S., Feldhaar, H., Fontaine, J., Fornwalt, P., Hernández, R., Hutto, R., Koivula, M. and Leverkus, A. (2020) Estimating Retention Benchmarks for Salvage Logging to Protect Biodiversity. *Nature Communications*, **11**, 1–8. <https://doi.org/10.1038/s41467-020-18612-4>.

- 55 Jonášová, M. and Prach, K. (2008) The Influence of Bark Beetles Outbreak vs. Salvage Logging on Ground Layer Vegetation in Central European Mountain Spruce Forests. *Biological Conservation*, **141**, 1525–1535. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2008.03.013>.
- 56 Pietsch, S. (2023, April 20) Windwurfflächen Im Buchenwald: Einfluss Der Räumungsintensität Auf Die Nachwachsenden Baumarten.
- 57 Dobor, L., Hlásny, T., Rammer, W., Zimová, S., Barka, I. and Seidl, R. (2020) Is Salvage Logging Effectively Dampening Bark Beetle Outbreaks and Preserving Forest Carbon Stocks? *Journal of Applied Ecology*, John Wiley & Sons, Ltd, **57**, 67–76. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.13518>.
- 58 Serrano-Ortiz, P., Marañón-Jiménez, S., Reverter, B.R., Sánchez-Cañete, E.P., Castro, J., Zamora, R. and Kowalski, A.S. (2011) Post-Fire Salvage Logging Reduces Carbon Sequestration in Mediterranean Coniferous Forest. *Forest Ecology and Management*, **262**, 2287–2296. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2011.08.023>.
- 59 Thorn, S., Bässler, C., Svoboda, M. and Müller, J. (2017) Effects of Natural Disturbances and Salvage Logging on Biodiversity – Lessons from the Bohemian Forest. *Ecology of Mountain Forest Ecosystems in Europe*, **388**, 113–119. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2016.06.006>.
- 60 Schuch, S., Kahnis, T., Floren, A., Dorow, W.H.O., Rabitsch, W., Goßner, M.M., Blank, S.M., Liston, A., Segerer, A.H., Sobczyk, T. and Nuß, M. (2024) Die Bedeutung von Gehölzen Für Einheimische, Phytophage Insekten. *Natur und Landschaft*, **99**, 174–179.
- 61 Klein-Raufhake, T., Schaper, J., Hölzel, N. and Hamer, U. (2023) Einfluss Der Waldbewirtschaftung Auf Bodenökologische Prozesse. *AFZ-Der Wald*, **21**, 17–20.
- 62 Walser, M., Mathis, D.S., Köchli, R., Stierli, B., Maeder, M. and Brunner, I.L. (2018) Der Waldboden Lebt: Vielfalt Und Funktion Der Bodenlebewesen. Eidg. Forschungsanstalt WSL.
- 63 Heinrichs, S., Schall, P., Ammer, C., Fischer, M. and Gossner, M. (2020) Annahmen Und Ergebnisse Zur Biodiversität Im Wirtschaftswald - Neues Aus Der Biodiversitätsforschung. WSL.
- 64 Nehring, S. and Skowronek, S. (2023) Die Invasiven Gebietsfremden Arten Der Unionsliste Der Verordnung (EU) Nr. 1143/2014. Deutschland / Bundesamt für Naturschutz, Bonn. <https://doi.org/10.19217/skr654>.
- 65 Leidinger, J., Blaschke, M., Ehrhardt, M., Fischer, A., Gossner, M.M., Jung, K., Kienlein, S., Kózak, J., Michler, B., Mosandl, R., Seibold, S., Wehner, K. and Weisser, W.W. (2021) Shifting Tree Species Composition Affects Biodiversity of Multiple Taxa in Central European Forests. *Forest Ecology and Management*, **498**, 119552. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2021.119552>.
- 66 Fichtner, A., Härdtle, W., Bruehlheide, H., Kunz, M., Li, Y. and von Oheimb, G. (2018) Neighbourhood Interactions Drive Overyielding in Mixed-Species Tree Communities. *Nature Communications*, **9**, 1144. <https://doi.org/10.1038/s41467-018-03529-w>.
- 67 Schwarz, J.A. and Bauhus, J. (2019) Benefits of Mixtures on Growth Performance of Silver Fir (*Abies Alba*) and European Beech (*Fagus Sylvatica*) Increase With Tree Size Without Reducing Drought Tolerance. *Frontiers in Forests and Global Change*, **2**. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fgc.2019.00079>.
- 68 Cambi, M., Certini, G., Neri, F. and Marchi, E. (2015) The Impact of Heavy Traffic on Forest Soils: A Review. *Forest Ecology and Management*, **338**, 124–138. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2014.11.022>.
- 69 Klein-Raufhake, T., Hölzel, N., Schaper, J., Hortmann, A., Meyer, M., Fornfeist, M., Santora, L., Elmer, M., Rentemeister, K., Wöllecke, J., Linnemann, B. and Hamer, U. (2024) Severity of Topsoil Compaction Controls the Impact of Skid Trails on Soil Ecological Processes. *Journal of Applied Ecology*.
- 70 Lüscher, P., Frutig, F., Sciacca, S., Spjebak, S. and Thees, O. (2010) Physikalischer Bodenschutz Im Wald – Bodenschutz Beim Einsatz von Forstmaschinen. *Merkblatt für die Praxis*.
- 71 Fründ, H.-C. and Gaertig, T. (2017) Maßnahmen Zur Sicherung Und Zur Regeneration von Bodenfunktionen in Rückegassen. Hochschule Osnabrück, HAWK Hildesheim/ Holzminden/ Göttingen. https://www.hs-osnabrueck.de/fileadmin/HSOS/Homepages/Ruewola/pdf/RUEWOLA_Massnahmenkatalog26Jun17.pdf.
- 72 Borchert, H., Brunotte, J., Ebeling, C., Erler, J., Flechsig, B., Gaertig, T., Grill, M., Hittenbeck, J., Ritter, F. and Rolfes, L. (2021) Bodenschutz im Wald: nachhaltige Nutzung. Fachagentur für Nachwachsende Rohstoffe e.V.
- 73 NABU-Naturschutzstation Münsterland e.V., Ed. (2018) Wälder Im Klimawandel - Informationen Für Waldbesitzer.
- 74 Bieker, D., Elmer, M., Wittjen, K. and Linnemann, B. (2018) Mehr Wasser Für Feuchte Wälder Und Moore. *AFZ-Der Wald*, **2**, 13–15.
- 75 Graefe, U., Frank, T., Beylich, A., Brauckmann, H.-J. and Broll, G. (2024) Untersuchungen der Anneliden-Fauna (Regenwürmer und Kleinringelwürmer) von Feuchthumusformen im Münsterland. Halle/Saale. <https://eprints.dbges.de/1880/>.
- 76 Singh, J., Schädlner, M., Demetrio, W., Brown, G.G. and Eisenhauer, N. (2020) Climate Change Effects on Earthworms - a Review. *Soil Organisms*, **91**, 113–137. <https://doi.org/10.25674/so91iss3pp114>.
- 77 Löf, M., Dey, D.C., Navarro, R.M. and Jacobs, D.F. (2012) Mechanical Site Preparation for Forest Restoration. *New Forests*, **43**, 825–848. <https://doi.org/10.1007/s11056-012-9332-x>.
- 78 Jäärats, A., Sims, A. and Seemen, H. (2012) The Effect of Soil Scarification on Natural Regeneration in Forest Microsites in Estonia. *Baltic Forestry*, **18**, 133–143.
- 79 Jandl, R., Lindner, M., Vesterdal, L., Bauwens, B., Baritz, R., Hagedorn, F., Johnson, D.W., Minkinen, K. and Byrne, K.A. (2007) How Strongly Can Forest Management Influence Soil Carbon Sequestration? *Geoderma*, **137**, 253–268. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2006.09.003>.
- 80 Gartzia-Bengoetxea, N., Arbestain, M.C., Mandiola, E. and Martínez de Arano, I. (2011) Physical Protection of Soil Organic Matter Following Mechanized Forest Operations in Pinus Radiata D.Don Plantations. *Soil Biology and Biochemistry*, **43**, 141–149. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2010.09.025>.
- 81 Košulič, O., Procházka, J., Tuf, I.H. and Michalko, R. (2021) Intensive Site Preparation for Reforestation Wastes Multi-Trophic Biodiversity Potential in Commercial Oak Woodlands. *Journal of Environmental Management*, **300**, 113741. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113741>.
- 82 Varnagirytė-Kabašinskienė, I., Survila, G. and Armolaitis, K. (2022) Deep Soil Ploughing for Afforestation: A Review of Potential Impacts on Soil and Vegetation. *BALTIC FORESTRY*, **27**. <https://doi.org/10.46490/BF590>.
- 83 Skłodowski, J. (2017) Manual Soil Preparation and Piles of Branches Can Support Ground Beetles (Coleoptera, Carabidae) Better than Four Different Mechanical Soil Treatments in a Clear-Cut Area of a Closed-Canopy Pine Forest in Northern Poland. *Scandinavian Journal of Forest Research*, **32**, 123–133. <https://doi.org/10.1080/02827581.2016.1195868>.
- 84 Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (LWF), Ed. (2017) Freisaaten Im Wald. *Merkblatt der Bayerischen LWF*, **37**.
- 85 Reif, A., Schulze, E.-D., Ewald, J. and Rothe, A. (2014) Kalk im Wald – muss es sein? waldwissen.net - Informationen für die Forstpraxis. <https://www.waldwissen.net/de/lebensraum-wald/waldboden/kalk-im-wald-muss-es-sein>.
- 86 Meesenburg, H., Wellbrock, N., Lauer, A., Eickenscheidt, N., Höhle, J., Grüneberg, E., Evers, J., Ahrends, B., Schimming, C.-G., Nagel, H.-D., Riek, W. and Meiwes, K.J. (2017) Entwicklung Der Versauerung von Waldböden in Deutschland. *AFZ-Der Wald*, **2**, 18–22.
- 87 (2023) Schlussbericht Zum Vorhaben: Waldbodenkalkung Als Maßnahme Zur Erhöhung Der Anpassungsfähigkeit Der Wälder An Den Klimawandel Und Zur Sicherung Und Erhöhung Der CO2-Speicher- Und Senkenfunktion Der Wälder. Teilvorhaben 1: Stabilisierung Der Kohlenstoffsequestrierung In Der Ober- Und Unterirdischen Biomasse. Göttingen.
- 88 Bluhm, C., Puhlmann, H. and Hartmann, P. (2023) Die Bodenfauna in Den Wäldern Baden-Württembergs: Vielfältig, Bedeutend Und Gefährdet. **113**, 237–259.
- 89 Puhlmann, H., Hartmann, P., Mahlau, L. and von Wilpert, K. (2021) 10 Jahre Bodenschutzkalkungen in Baden-Württemberg. *AFZ-Der Wald*, **22**, 28-31.
- 90 Geologischer Dienst Nordrhein-Westfalen, Ed. (2019) Bodenschutzkalkung.
- 91 Asche, N. (2003) Bodenschutzkalkung in Nordrhein-Westfalen. Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz
- 92 Bödeker, K., Jordan-Fragstein, C., Vor, T., Ammer, C. and Knoke, T. (2023) Abrupt Height Growth Setbacks Show Overbrowsing of Tree Saplings, Which Can Be Reduced by Raising Deer Harvest. *Scientific Reports*, Nature Publishing Group, **13**, 12021. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-38951-8>.
- 93 von der Goltz, H., Ammer, C., Vor, T., Müller, M., Jordan-Fragstein, C., Knoke, T., Bödeker, K. and Zimmer, R. (2022) Schlussbericht BioWild-Projekt - Biodiversität Und Schalenwildmanagement in Wirtschaftswäldern. ANW Deutschland e.V. - Projektbüro BioWild, Schmallenberg.
- 94 Geyer, J., Thoma, S., Kröschel, M., Suchant, R., Fräger, C. and Kühl, N. (2021) Praxis-Ratgeber Waldumbau Und Jagd - Grundlagen Für Einen Konstruktiven Dialog. Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg, Freiburg im Breisgau.

- 95 Ammer, C., Vor, T., Knoke, T. and Wagner, S. (2010) Der Wald-Wild-Konflikt - Analyse und Lösungsansätze vor dem Hintergrund rechtlicher, ökologischer und ökonomischer Zusammenhänge. Universitätsverlag Göttingen. <https://doi.org/10.17875/gup2010-280>.
- 96 Wald und Holz NRW, Ed. (2024) Hintergrundinformationen Zu Verbissaufnahme in NRW.
- 97 Mölder, A. and Schmidt, M. (2023) Nieder- und Mittelwälder: Waldkulturerbe und Hotspots der Biodiversität. *Waldzustandsbericht 2023 für Niedersachsen*, Zenodo, 33–36.

Impressum

Herausgeber

Landesbetrieb Wald und Holz Nordrhein-Westfalen,
NABU-Naturschutzstation Münsterland e. V.
& Universität Münster, Institut für Landschaftsökologie

Autoren: Max Fornfeist, Maren Bergmann, Michael Elmer, Ute Hamer, Norbert Hölzel, Theresa Klein-Raufhake, Britta Linnemann, Michael Meyer, Katharina Rentemeister, Lea Santora, Jens Schaper, Jens Wöllecke

Layout: Silvia Banyong

Stand: Oktober 2024

Diese Broschüre wurde im Rahmen des durch die Fachagentur für Nachwachsende Rohstoffe (FNR) geförderten Waldklimafonds-Projektes „Biodiversität und Kohlenstoffspeicherung in Wäldern unterschiedlicher Nutzungsintensität“ (BiCO₂, FKZ: 2218WK23A4/-B4/-C4) erstellt.

Titelfoto: Klaus Striepen



Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages