

STAND DER FORSCHUNG ZUM ZUSTAND UND ZUR
VULNERABILITÄT VON WALDÖKOSYSTEMEN IM
KLIMAWANDEL

Mai 2025 – 25/01



Impressum

Herausgeber

Wissenschaftlicher Beirat für Natürlichen Klimaschutz

Geschäftsstelle beim Bundesamt für Naturschutz

DLR Projektträger

Heinrich-Konen-Str. 1

53227 Bonn

Telefonnummer: +49 228 3821 2900

E-Mail: WBNK-GS@dlr.de

Autorinnen und Autoren

Dr. Torsten Welle, Dr. Stefan Kreft, Dr. Axel Schick, Prof. Dr. Peter Spathelf, Lilli Jahrbeck, Jonathan Milde

Zitiervorschlag

Welle, T., Kreft, S., Schick, A., Spathelf, P., Jahrbeck, L., Milde, J. (2005). Stand der Forschung zum Zustand und zur Vulnerabilität von Waldökosystemen im Klimawandel – eine Literaturstudie. Gutachten 25/01 im Auftrag des Wissenschaftlichen Beirats für Natürlichen Klimaschutz (WBNK).

ISBN: 978-3-949245-38-1

Stand

Mai 2025

Bildnachweis

Titelbild: Vanessa Krohn-Trinius

Das vorliegende Gutachten wird im Namen des WBNK veröffentlicht. Es wurde jedoch nicht vom WBNK selbst verfasst; die inhaltlichen Aussagen und Bewertungen liegen in der Verantwortung der Autorinnen und Autoren und spiegeln nicht notwendigerweise die Positionen des WBNK wider.

Inhalt

1	Einleitung	3
1.1	Ziel der Literaturstudie	3
1.2	Ablauf der Literaturstudie	3
2	Methodik	4
2.1	Arbeitspaket 1: Suche	6
2.2	Arbeitspaket 2: Auswahl und Klassifikation	8
2.2.1	Auswahl.....	8
2.2.2	Klassifikation	11
2.3	Arbeitspaket 3: Auswertung.....	11
2.3.1	Befunde der Studien zu Waldzustandsänderung, Vulnerabilität, Resistenz und Resilienz im Vergleich unterschiedlicher Nutzungsformen	11
2.3.2	Überlegungen in den Studien zu No- oder Low-regret-Maßnahmen	14
3	Ergebnisse.....	14
3.1	Arbeitspaket 1: Suche	14
3.1.1	Anzahl der gefundenen Treffer.....	14
3.2	Arbeitspaket 2: Auswahl und Klassifikation	15
3.2.1	Auswahl.....	15
3.2.2	Klassifikation	15
3.3	Arbeitspaket 3: Auswertung.....	16
3.3.1	Datenstatistik	16
3.3.2	Befunde der Studien zu Waldzustandsänderung, Vulnerabilität, Resistenz und Resilienz im Vergleich unterschiedlicher Nutzungsformen	22
3.3.3	Überlegungen in den Studien zu No- oder Low-regret-Maßnahmen	32
4	Diskussion	43
4.1	Befunde der Studien zu Waldzustandsänderung, Vulnerabilität, Resistenz und Resilienz im Vergleich unterschiedlicher Nutzungsformen	43
4.2	Überlegungen in den Studien zu No- oder Low-regret-Maßnahmen	46
4.2.1	No-oder Low-regret-Maßnahmen: allgemein.....	47
4.2.2	No-oder Low-regret-Maßnahmen: Abwägungsentscheidungen	47
4.2.3	No-oder Low-regret-Maßnahmen: Baumartenwahl.....	48
4.2.4	No-oder Low-regret-Maßnahmen: Bewirtschaftungspraktiken	49
4.2.5	No-oder Low-regret-Maßnahmen: Landschaftsbezogene Maßnahmen	50
4.2.6	No-oder Low-regret-Maßnahmen: Abwägung der forstwirtschaftlichen Perspektive und der Naturschutz-Perspektive	50

4.2.7	No-oder Low-regret-Maßnahmen: Diskussion der potenziellen Klimaschutzwirkung	51
5	Fazit.....	52
6	Literaturverzeichnis	55
	Anhang A: Suchprotokoll Arbeitspaket 1.....	64
	Anhang B: Klassifikationsprotokoll	72
	Anhang C: Auswertungsprotokoll	78
	Anhang D: Literaturlisten der Arbeitspakete	86
	Anhang E: Steckbriefe der analysierten Publikationen.....	86

1 Einleitung

Die vorliegende Arbeit bezieht sich auf die öffentliche Ausschreibung nach Unterschwellenvergabeordnung (UVgO): Literaturstudie "Stand der Forschung zum Zustand und Vulnerabilität von Waldökosystemen im Klimawandel", Kennziffer: 313/2025/8452039. Die Literaturstudie entstand im Auftrag des Wissenschaftlichen Beirates für Natürlichen Klimaschutz und wurde über das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR) in Auftrag gegeben.

1.1 Ziel der Literaturstudie

Das Ziel des Vorhabens war die Erarbeitung einer systematischen Übersicht des Forschungsstandes zum Zustand von Waldökosystemen unterschiedlicher Bewirtschaftungsformen und ihrer Vulnerabilität unter den Bedingungen des Klimawandels. Zu diesem Zweck wurden relevante und repräsentative wissenschaftliche Veröffentlichungen auf systematische und transparente Weise dokumentiert und enthaltene Erkenntnisse analysiert, zusammenfassend dargestellt und diskutiert. Dabei wurden Methodenstandards für systematische Reviews speziell für umweltwissenschaftliche Fragestellungen verwendet. In erster Linie wurde dabei auf die Reporting standards for Systematic Evidence Syntheses (ROSES) - Methode (Haddaway et al. 2017) zurückgegriffen.

Folgende Teilziele wurden festgelegt:

1. Untersuchung des gesamten Spektrums von Waldökosystemen und Nutzungsformen und deren Intensität
2. Gegenüberstellung forstlicher Nutzungsperspektiven und Naturschutzperspektiven
3. Darstellung von „Low-regret“ bzw. „no-regret“-Klimaschutzmaßnahmen in Waldökosystemen

Folgende Schwerpunkte bzw. Eingrenzungen wurden gemäß der Leistungsbeschreibung gewählt:

1. Baumalter: Alte und nicht-bewirtschaftete mit einem Alter von in der Regel 120 Jahren und älter; außerdem sehr junge Waldsukzessionsstadien (1-20 Jahre)
2. Veröffentlichungszeitraum: ab 2015
3. Geographischer Bezug: Deutschland und Mitteleuropa, ohne relevante internationale Studien auszuschließen, die Rückschlüsse für die Debatte in Deutschland zuließen

1.2 Ablauf der Literaturstudie

Die Literaturstudie unterteilte sich in eine Abfolge von Arbeitspaketen (Illustration 1) mit spezifischen Zielen, Vorgehensweisen, Ergebnissen und Produkten. In ihrer Gesamtheit bearbeiten die Arbeitspakete die Aufgabenstellungen der Leistungsbeschreibung.

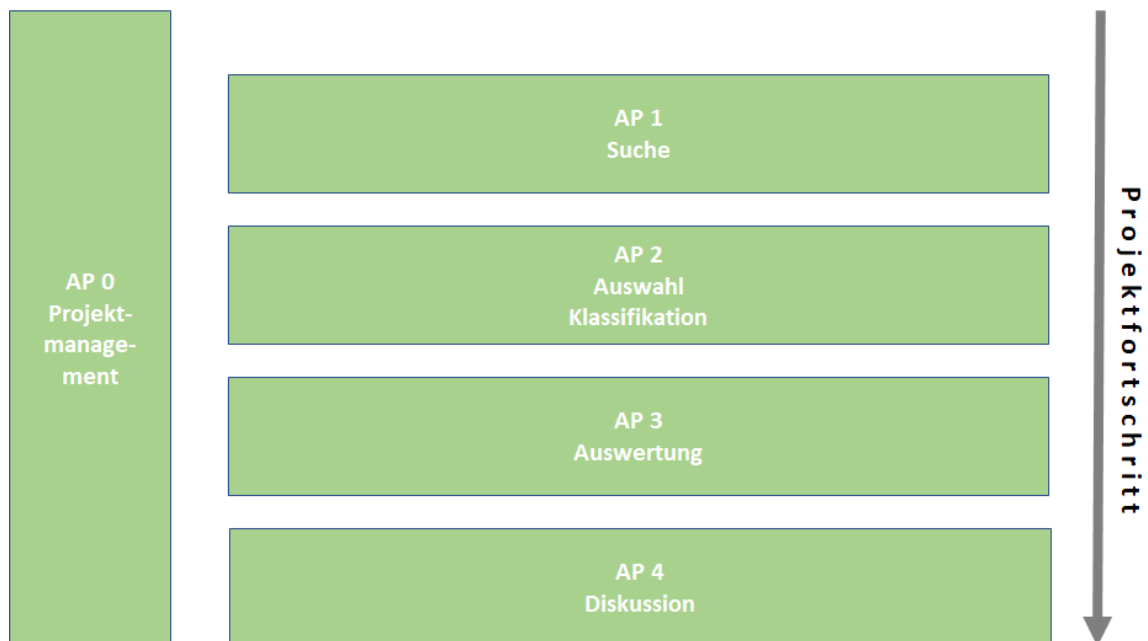


Illustration 1 | Projektstruktur mit Arbeitspaketen (AP).

Das Projektmanagement diente zur Steuerung des Vorhabens. Im Einzelfall beinhaltete dies die Kommunikation mit dem Auftraggeber, die Sicherstellung der Kommunikation zwischen den Mitarbeitern, die Kontrolle des Projektfortschritts sowie die Koordinierung des Projektberichtes. Arbeitspaket 1 befasste sich mit der Suche und Aggregierung relevanter und zu den Fragestellungen der Literaturstudie passenden Publikationen. Im Nachgang wurden in Arbeitspaket 2 relevante Publikationen ausgewählt und nach bestimmten Kriterien klassifiziert. Die Auswertung der ausgewählten Publikationen erfolgte in Arbeitspaket 3 und deren Ergebnisse wurden im abschließenden Arbeitspaket 4 diskutiert. Die genaue Methodik innerhalb der einzelnen Arbeitspakete wird im Folgenden Kapitel erläutert.

2 Methodik

In Kapitel 2 wird das methodische Vorgehen innerhalb der einzelnen Arbeitspakete 1 bis 4 erläutert. Folgendes Flussdiagramm (Illustration 2) zeigt das methodische Vorgehen. Zusätzlich enthält das Flussdiagramm die Ergebnisse zur Literaturanzahl, die in Kap. 3 ausführlich erläutert werden.

ROSES flow diagram

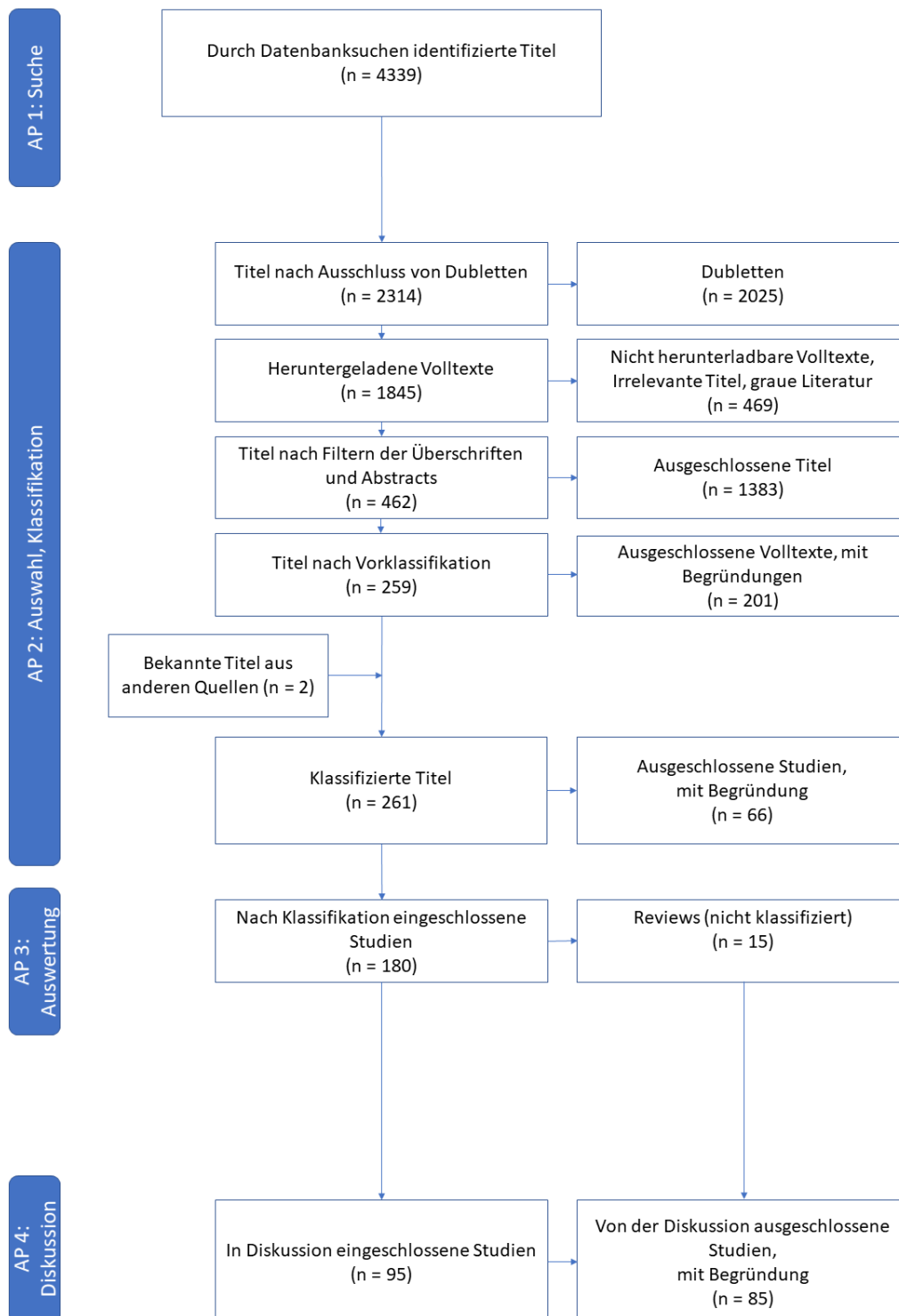


Illustration 2 | Flussdiagramm des methodischen Vorgehens mit Ergebnissen zur Literaturanzahl

2.1 Arbeitspaket 1: Suche

Im Rahmen des ersten Arbeitspakets wurde eine Literaturrecherche durchgeführt, deren Ziel es war, einen möglichst vollständigen Korpus an wissenschaftlichen Publikationen anzulegen, der den aktuellen Kenntnisstand zu den zentralen Fragestellungen des Projekts abbildet. Die Methodik der Literaturrecherche orientierte sich am ROSES - Protokoll („Reporting standards for Systematic Evidence Syntheses“) für systematische Reviews im Umweltbereich (Haddaway et al., 2017) und folgte einem zweiteiligen Suchprotokoll. Im ersten Teil wurden die allgemeinen Suchparameter festgelegt, während im zweiten Teil die Operationalisierung der Suchbegriffe beschrieben wurde.

Im ersten Schritt der Literaturrecherche wurden die allgemeinen Suchparameter definiert. Dazu zählten die Auswahl geeigneter Suchplattformen, die Festlegung des Suchzeitraums sowie die Entwicklung der grundsätzlichen Suchstrategie. Die Recherche erfolgte über drei zentrale wissenschaftliche Datenbanken und Suchplattformen:

1. Web of Science
2. Scopus
3. Google Scholar.

Die Suchabfragen wurden mit Hilfe boolescher Operatoren erstellt und in Web of Science und Scopus auf Titel und Abstracts beschränkt. Bei Google Scholar hingegen wurde eine Volltextsuche durchgeführt, deren Auswertung auf die ersten 100 Treffer begrenzt wurde.

Der ursprüngliche Untersuchungszeitraum umfasste die Jahre 2015 bis 2025, wurde jedoch nach Rücksprache mit dem wissenschaftlichen Beirat rückwirkend auf das Jahr 2003 ausgeweitet. Die Suchanfragen wurden in deutscher und englischer Sprache durchgeführt. Neben den zentralen Schlagworten wurden jeweils auch Synonyme und bedeutungsverwandte Begriffe berücksichtigt.

Primäres Ziel war die Identifikation sogenannter „weißer Literatur“, also peer-reviewter Fachartikel, Monografien und Berichte mit ISBN oder ISSN. In begrenztem Umfang wurden jedoch auch ältere Publikationen sowie ausgewählte Werke der „grauen Literatur“¹ einbezogen – insbesondere dann, wenn sie über Google Scholar oder durch Experteneinschätzungen als relevant identifiziert wurden. Der zweite Teil des Suchprotokolls spezifizierte die Suchbegriffe gemäß den fünf zentralen Fragestellungen der Studie, die sich alle mit der Reaktion mitteleuropäischer Waldökosysteme auf den Klimawandel befassen. Übergreifende Begriffe für

¹ Graue Literatur bezeichnet wissenschaftsnahe Publikationen, die nicht über den regulären Buch- oder Zeitschriftenhandel veröffentlicht werden und nicht durch formale Verlage erscheinen. Sie unterliegt oft keiner oder nur eingeschränkter wissenschaftlicher Begutachtung (Peer Review), ist aber inhaltlich oft sehr wertvoll – besonders in praxisnahen oder interdisziplinären Feldern wie Umwelt-, Sozial- oder Politikwissenschaften.

alle Abfragen waren „Klimawandel“, „Deutschland“ (bzw. „Mitteleuropa“ oder angrenzende Länder) und „Wald“.

Die fünf Fragestellungen lauteten:

1. Wie hat sich der Zustand der Waldökosysteme unter der Einwirkung des Klimawandels entwickelt?
2. Wie vulnerabel sind die Waldökosysteme unter der Einwirkung des Klimawandels?
3. Wie resistent sind die Waldökosysteme unter der Einwirkung des Klimawandels?
4. Wie resilient sind die Waldökosysteme unter der Einwirkung des Klimawandels?
5. Welche Auswirkungen hat das Management auf die Resilienz der Waldökosysteme in Zeiten des Klimawandels?

Jede Fragestellung wurde mit spezifischen Schlüsselbegriffen, sowie deren Synonyme und bedeutungsverwandter Begriffe bearbeitet. Eine detaillierte Übersicht über die Begriffe findet sich in Tabelle 1.

Tabelle 1 | Übersicht über die Schlüsselbegriffe der Fragestellungen

Fragestellung	Suchbegriffe (deutsch)	Suchbegriffe (englisch)
1.	Wachstum; Zuwachs; Produktivität	Growth; Productivity; Fertility; Yield; Abundance
2.	Vulnerabilität, Verwundbarkeit	Vulnerability; Sensitivity; Responsiveness; Susceptibility; Weakness
3.	Resistenz; Widerstandsfähigkeit	Resistance; Tolerance; Hardiness; Stability; Robustness; Persistence
4.	Resilienz	Resilience; Elasticity; Flexibility; Plasticity; Adaptability; Adaptive capacity
5	Management; Bewirtschaftung	Management; Forestry; Silviculture

Ein Beispiel für eine konkrete Abfrage in Scopus lautete: *“forest” AND “resilience” AND “Germany” AND “climate change”*, begrenzt auf den Zeitraum 2003–2025 und auf Treffer in Titel und Abstract. Das vollständige Suchprotokoll ist in **Anhang A** zu finden.

Zusätzlich zu den konventionellen Suchplattformen wurden die KI-gestützten Suchmaschinen Consensus und Research Rabbit verwendet. In Consensus kann wissenschaftliche Literatur durch die Verwendung von Natural Language Processing (NLP) analysiert werden, um gezielt Aussagen, Methoden und Ergebnisse aus peer-reviewten Studien zu extrahieren, die dann evidenzbasierte Antworten auf Forschungsfragen liefern. Die Fragestellungen wurden direkt auf Deutsch und

Englisch eingegeben, abgefragt und im genauen Wortlaut angegeben. Für die Suche wurden folgende Filterkriterien angewendet: Veröffentlichungsjahr ab 2005, Ausschluss von Preprints, methodische Eingrenzung auf Beobachtungsstudien (*observational studies*) und Fallstudien (*case studies*) sowie die geografische Beschränkung auf Deutschland.

Die ersten zehn Treffer der Consensus-Suche wurden anschließend in die Literaturplattform Research Rabbit übertragen. Research Rabbit ist eine KI-gestützte Literaturrecherche- und Visualisierungssoftware, die semantische Analysen nutzt, um thematisch relevante Publikationen zu identifizieren und in Forschungsnetzwerken grafisch darzustellen. Basierend auf diesen Netzwerken werden dann automatisch neue Literaturvorschläge generiert.

Für jede Fragestellung wurde ein eigenes Netzwerk angelegt. In den jeweiligen Netzwerken wurden über die Funktion *Similar Work* thematisch verwandte Arbeiten identifiziert. Aus diesen wurden jene Publikationen ausgewählt, die mindestens 50 Mal zitiert wurden. Bei der Suche wurden keine zeitlichen Filter verwendet, wodurch auch relevante Quellen identifiziert werden konnten, die vor 2003 veröffentlicht wurden. Die identifizierten Arbeiten wurden dann hinsichtlich des Untersuchungslandes (Deutschland) sowie der methodischen Ausrichtung (Beobachtungsstudien und Fallstudien) gefiltert.

Zum Abschluss wurden alle Suchergebnisse in einer eigens angelegten Citavi-Datenbank dokumentiert. Die Datenbankstruktur umfasste die typischen bibliografische Angaben zu Autoren und ggf. Herausgebern, Titel, Jahr, Zeitschrift, Seitenzahl oder Artikelnummer und sofern vorhanden DOI. Des Weiteren wurden Suchbegriff-Treffer (in Titel, Abstract bzw. Volltext), Textart und Forschungsmethodik dokumentiert. Sofern möglich wurden zusätzlich Angaben zum Untersuchungsgebiet, Waldökosystemtyp, Nutzungsform und -intensität, Bestandsalter und Klimaschutz(-maßnahmen) gemacht.

2.2 Arbeitspaket 2: Auswahl und Klassifikation

2.2.1 Auswahl

Die im Folgenden beschriebenen Arbeitsschritte dienen der systematischen Auswahl eines Korpus relevanter, repräsentativer Studien anhand eines definierten Screeningprotokolls (vgl. ROSES-Methode: "Screening strategy"). Die quantitative Dimension dieses Ziels war die Reduktion des Korpus auf 100 - 200 Publikationen, also einen Umfang, der eine detaillierte Auswertung unter limitierter Zeitverfügbarkeit erlauben würde.

Zu diesem Zwecke wurden irrelevante oder vergleichsweise weniger relevante Publikationen aus dem umfassenden, unbereinigten Korpus aus AP 1 aussortiert. Beim Filtern waren verschiedene Beschränkungen zu beachten. Zum ersten schieden Schlagwörter als Filter-Gegenstand aus. Schlagwörter lassen sich nicht aus Scopus, Web of Science und Open Access Theses and Dissertations in Citavi importieren. Beim Import aus Google Scholar werden Abstract bzw.

Zusammenfassung oft nicht gefunden. Da mit Google Scholar zu einem hohen Anteil "graue Literatur" gefunden wird, existiert in nicht wenigen Fällen gar kein Abstract. Eine weitere wichtige Beschränkung bestand darin, dass eine Volltextsuche nur eine sehr geringe Treffsicherheit hat, weil auch im Literaturverzeichnis gesucht wird.

Aus diesen Beschränkungen ergab sich, dass fehlende Abstracts von Treffern aus Google Scholar händisch nachgetragen werden mussten. Wenn kein Abstract vorhanden war, wurde auf die Schlussfolgerungen (Conclusions) ausgewichen. Um den Arbeitsumfang einzugrenzen, wurde damit erst begonnen, nachdem der Korpus anhand von Kriterien, die kein Abstract erforderten, verkleinert worden war.

Mit diesen Vorüberlegungen wurde der aus AP 1 resultierende, unbereinigte Korpus in Citavi in einer Abfolge von Arbeitsschritten bearbeitet und gefiltert:

1. Zuerst werden alle Dubletten eliminiert.
2. Der so bereinigte Korpus wurde aufgetrennt in einen Korpus mit allen Publikationen, für die in Citavi ein Abstract vorhanden war, und einen Korpus mit allen Publikationen ohne Abstract
3. Korpus mit allen Publikationen ohne Abstract:
 - a. Gesichert irrelevante Publikationen wurden durch Inspektion ihrer Titel identifiziert und ausgeschlossen.
 - b. In Google Scholar gefundene Zitationen ohne verfügbaren Volltext wurden ausgeschlossen.
 - c. Im übrig gebliebenen Korpus wurden die Abstracts händisch in Citavi eingepflegt.
4. Beide Korpura wurden wieder zusammengeführt.
5. Der Korpus wurde folgendermaßen gefiltert:
 - a. Reviews und Übersichtsarbeiten wurden ausgeschlossen.
 - b. Publikationen zu städtischen Untersuchungsgebieten wurden ausgeschlossen.
 - c. Publikationen aus Mitteleuropa außerhalb Deutschlands wurden ausgeschlossen.
 - d. Publikationen, die ausschließlich auf Treffer des Suchbegriffs "Management" zurückgehen, wurden ausgeschlossen.
 - e. Publikationen, die Buchen(misch)wälder, Eichen(misch)wälder, Weißtannenwälder, Kiefernwäldern/-forsten, Fichtenwäldern/-forsten oder Douglasienforsten betreffen, wurden identifiziert und der Rest ausgeschlossen.
6. Der Korpus enthielt dann noch 462 Publikationen.

Um die Zielmarke von 100 - 200 Publikationen zu erreichen, wurde eine Vorklassifikation der noch übrigen 462 Publikationen zwischengeschaltet. Dazu wurden zwei für die anschließende Klassifikation zentrale Kategorien herangezogen. Zum ersten wurden die Volltexte inspiziert und geprüft, welche Publikationen sich mit 'alten' Waldbeständen beschäftigen (vgl. DLR, schriftl. in den „Vertragsunterlagen“). Zweitens wurden die Publikationen daraufhin durchgesehen, ob sie Paare von Waldbeständen unterschiedlicher Nutzungsformen beschreiben, die sich hinsichtlich

der Fragestellungen dieser Studie auswerten lassen. Publikationen, die keines oder nur eines der beiden Kriterien erfüllen, wurden ausgeschlossen. Zum ersten Kriterium wird hier angemerkt, dass Publikationen, die sich neben 'alten' Waldbeständen auch mit jüngeren Beständen befassen, nicht ausgeschlossen wurden. Es ergibt sich ein Korpus von Studien, die sowohl alte als auch junge Waldbestände betrachten. Darüber hinaus wurden drittens alle Studien älter als 2015 und viertens solche ohne Untersuchungsgebiete in Deutschland ausgeschlossen.

Im Umgang mit Literatur sind Beschreibungskriterien oft nicht ganz ohne Unschärfen. Solche Unschärfen wurden identifiziert und nach einem transparenten Protokoll beurteilt (Tabelle 2). In Anlehnung an die ROSES-Methode (vergleiche dort 'Consistency checking') diskutierten zwei Reviewer (A. Schick und S. Kreft) alle Zweifelsfälle und entschieden sie gemeinsam.

Tabelle 2 | Umgang mit untypischen Studien

Studientypus	Überlegung	Umgang
Alle Bestände unterhalb des Mindestalters	Wegen des großen Umfangs des Korpus depriorisieren	ausschließen
Auf Landschaftsebene	Bandbreite der Bestandesalter beinhaltet auch alte Wälder in unbekanntem Umfang	(eher) einschließen
Zu anderen Organismen als Bäumen	Wenn betrachtete Taxa geeignete Indikatoren für die Funktionstüchtigkeit von Waldbeständen sind	einschließen
Zu anderen Baumarten	Seltene Baumarten wenig relevant	ausschließen
Erfordert zusätzliche Recherchen (z.B. früheren Artikel)	Im Rahmen der begrenzten Zeit nur bei vielversprechenden Publikationen	Ggf. ausschließen
Mit baumartenunspezifischen Altersangaben	Keine klare Zuordnung von Effekten des Bestandesalters zu Baumarten möglich	ausschließen
Nur manche Bestände oberhalb des Mindestalters	Innerhalb Bandbreite der Bestandesalter beinhaltet auch alte Wälder	einschließen
Nicht zu Deutschland	Bereits in früherem Schritt negativ gefiltert	ausschließen
Zu Deutschland und zu anderen Ländern	In früherem Schritt nicht negativ gefiltert	einschließen
Nur einzelne Bäume untersucht	Manche Untersuchungen können nur an Einzelbäumen getätigt werden	· Mind. 20 Baumindividuen, darunter mehrere alte Bäume und/oder · Mind. 10 alte Baumindividuen
Paläontologie	Keine Zuordnung von Effekten des Managements auf die Funktionstüchtigkeit von Waldbeständen	ausschließen
Ex situ (z.B. Labor, experimentelle Pflanzungen ...)	Ex situ-Studien erlauben nur eingeschränkt Rückschlüsse auf reale Effekte	(eher) ausschließen

Modellierungen	Ähnlich Ex situ-Studien; aber nützlich für die Diskussion der Auswertung von In situ-Studien	Als Modellierungen vorklassifizieren
Vergleiche mit Nicht-Waldökosystemen	Erlauben keine Rückschlüsse auf Effekte des Waldmanagements	ausschließen

Am Ende der Vorklassifikation stand ein Korpus mit 261 Publikationen.

2.2.2 Klassifikation

Im nächsten Schritt wurde eine Klassifikation des aus der Vorklassifikation hervorgegangenen Korpus vorgenommen. Die Klassifikation diente der Beschreibung der Publikationen und als Grundlage für ihre Auswertung. Folgende Informationskategorien wurden klassifiziert und tabellarisiert: Suchbegriff-Treffer, Textart, Lage der Untersuchungsgebiete, angewandte Forschungsmethoden, Nutzungsformen, bestandesdominierende Baumarten und Bestandesalter, Bezug zu Klimaschutz. Die detaillierte Vorgehensweise ist in einem Klassifikationsprotokoll beschrieben (**Anhang B**).

Um den Aufwand weiter einzugrenzen, wurden nur Publikationen klassifiziert, die auf Felderhebungen, Fernerkundungen basieren oder Meta-Analysen darstellen. Modellierungen des Ist-Zustandes und Zukunftsprojektionen wurden demnach ausgeschlossen. Die genaue Inspektion der Publikationen im Zuge der Klassifikation führte nebenbei zu einer weiteren Verkürzung der Auswahlliste (Ausschluss übersehener Reviews etc.).

2.3 Arbeitspaket 3: Auswertung

2.3.1 Befunde der Studien zu Waldzustandsänderung, Vulnerabilität, Resistenz und Resilienz im Vergleich unterschiedlicher Nutzungsformen

An die Klassifikation des Korpus schließt die Auswertung an. Diese fußt auf der Identifikation von 'Vergleichspaaren'. Die Ergebnisse der Studien werden genutzt, um zu einem Befund darüber zu gelangen, welches Glied eines Paares besser und welches schlechter mit dem Klimawandel zurechtkommt.

Die Bildung von Vergleichspaaren ist Voraussetzung für die Bewertung des Einflusses von Waldnutzungsformen auf Waldzustand, Vulnerabilität, Resistenz und Resilienz. Das Konzept der Vergleichspaare soll also an dieser Stelle erläutert werden. Die detaillierte Vorgehensweise ist in einem Auswertungsprotokoll beschrieben (**Anhang C**).

Ein Vergleichspaar sind zwei Bestände unterschiedlicher Nutzungsform (oder auch zwei Gruppen von Beständen). Wenn ein Vergleichspaar gefunden ist, werden die Glieder der Vergleichspaare nach der Systematik von Buchwald (2005) klassifiziert. Diese Systematik teilt Waldökosysteme in 14 Klassen entlang eines Kontinuums von Naturnähe bis Naturferne ein.

Werden in einer Studie zwei Bestände verglichen, die unterschiedlichen Klassen in der Systematik nach Buchwald (2005) zugeordnet werden können (bei ansonsten identischen Einflussfaktoren), lassen sie sich zu einem Vergleichspaar zusammenführen. Dabei ist der Waldbestand, der einer naturnäheren oder extensiveren Nutzung unterliegt, stets das erste Glied und steht also links. Als Beispiel dient hier der Vergleich eines bewirtschafteten Naturwaldes, etwa eines nach dem Dauerwaldprinzip gestalteten Laubmischwaldes, mit einem Douglasienreinbestand:

Beispiel: n2: Exploited natural forest / p2: Exotic plantation.

Auch Nutzungsformen derselben Klasse (sensu Buchwald 2005) können sich in ihrer Naturnähe voneinander unterscheiden. So ist etwa ein Buchenwald der Klasse n2 naturnäher als ein anderer Buchenwald der Klasse n2, dem aber Douglasien beigemischt wurden:

Beispiel: Buchenbestand ohne Douglasienbeimischung / Buchenbestand mit Douglasienbeimischung.

Zuletzt gibt es die Untergruppe der 'abgeleiteten' Vergleichspaare. Dabei handelt es sich im Wesentlichen um Vergleichspaare von Waldbeständen, die nicht von Unterschieden in der Nutzung, sondern von standörtlich bedingten Unterschieden gekennzeichnet sind.

Möglicherweise lässt sich aus dem Einfluss des Standorts auf das Funktionieren von Waldökosystemen etwas für die Waldbewirtschaftung im Klimawandel ableiten.

Nachdem passende Vergleichspaare gebildet worden sind, werden die Vergleichspaare bewertet. Dazu dient eine einfache Bewertungsmatrix (Tabelle 3).

Tabelle 3 | Matrix zur Bewertung des Einflusses von Waldnutzungsformen auf Waldzustand, Vulnerabilität, Resistenz und Resilienz.

VP	EE	E	N	I	II
Vergleichs- paar	Extensivere / naturnähere Nutzung deutlich weniger vulnerabel	Extensivere / naturnähere Nutzung etwas weniger vulnerabel	Kaum erkennbare Unterschiede	Intensivere / naturfernere Nutzung etwas weniger vulnerabel	Intensivere / naturfernere Nutzung deutlich weniger vulnerabel

- „Deutlich geringere Vulnerabilität“ liegt z.B. dann vor, wenn ein Zusammenhang statistisch signifikant ist, „etwas geringere Vulnerabilität“ entsprechend, wenn ein Zusammenhang statistisch nicht signifikant ist.
- Wenn ein Zusammenhang nicht auf statistische Signifikanz getestet wurde, kann eine „deutlich geringere Vulnerabilität“ oder „etwas geringere Vulnerabilität“ anderweitig angezeigt sein. Zum Beispiel kann in der Diskussion einer Studie ‚verbal‘ auf deutliche Unterschiede hingewiesen werden: „We found strong differences ...“ o.ä.
- Wenn der Grad des Unterschiedes in der Vulnerabilität nur indirekt aus der Studie hervorgeht oder schwer einzuschätzen ist, sollte der Zusammenhang („konservativ“) als „etwas geringere Vulnerabilität“ bewertet werden.

- Der Grad des Unterschiedes in der Vulnerabilität ist etwa dann indirekt, wenn ein Zusammenhang mit Waldmanagementoptionen erst noch konstruiert werden muss. Beispiel: Näher am Pol gelegene Bestände könnten kühler und damit resistenter gegenüber Dürren sein; daher könnten Nutzungsformen, die ein kühles Mikroklima begünstigen, ebenso zu höherer Resistenz und Resilienz führen ('abgeleitete' Vergleichspaare).

Die Befunde zu den Vergleichspaaren wurden in aggregierter Form analysiert. Diese Analysen richten sich auf folgende Haupt-Fragestellungen und weitere Fragestellungen:

Fragestellung 1: Wie hat sich der Zustand der Waldökosysteme - im Vergleich von Nutzungsformen - unter der Einwirkung des Klimawandels entwickelt? - Hier wurden die Studien ausgewertet, die eine Zustandsänderung der untersuchten Wälder zum Gegenstand haben.

Fragestellung 2: Wie vulnerabel sind Waldökosysteme - im Vergleich von Nutzungsformen - unter der Einwirkung des Klimawandels? – Es wurden ganz breit Studien einbezogen, die Expositionsänderungen, Resistenz, Resilienz und Anpassungsfähigkeit untersuchen.

Fragestellung 3: Wie resistent sind Waldökosysteme - im Vergleich von Nutzungsformen - unter der Einwirkung des Klimawandels? – Hier wurden Studien mit Bezug zu Fragen der Resilienz gemeinsam ausgewertet.

Fragestellung 4: Wie resilient sind Waldökosysteme - im Vergleich von Nutzungsformen - unter der Einwirkung des Klimawandels? - Hier wurden wiederum Studien mit Bezug zu Fragen der Resilienz gemeinsam ausgewertet.

Befunde zur Wirkung von Nichtnutzung (n4-6) im Vergleich zu Formen der Nutzung – Diese aggregierte Auswertung vergleicht ungenutzte Waldbestände mit bewirtschafteten Beständen.

Befunde zur zeitlichen Entwicklung, Fragestellung 1 – Die Publikationen werden nach ihrem Erscheinungsdatum sortiert und die Gruppe der Publikationen, die bis 2020 erschienen sind, mit den Publikationen, die seit 2021 veröffentlicht wurden, verglichen.

Befunde zur Klimawandelwirkungen im Fokus: Beispiel Dürre – In dieser 'Spotlight'-Analyse werden speziell alle Studien betrachtet, welche die Wirkung von Dürre untersuchen.

Die Befunde werden anhand des Mittelwerts und der Standardabweichung aus den gewichteten Zuordnungen der Likert-Skala sowie aus den Häufigkeiten der Zuordnungen dargestellt. Der Mittelwert zeigt dabei die Tendenz an, in welche Richtung die Aussagen tendieren. Die Standardabweichung zeigt die Streuung der Erkenntnisse und beschreiben somit den Konsens bzw. die Einigkeit der wissenschaftlichen Befunde. Die Häufigkeit zeigt auch, ähnlich wie der Mittelwert, an, welche Aussagen eher eine Zustimmung finden als andere.

Tabelle 4 stellen die Mittelwerte, die Standardabweichungen sowie deren Beschreibungen für die folgende Auswertungen dar.

Tabelle 4 | Mittelwerte und Standardabweichung und deren Interpretation für die Auswertung

Mittelwerte	Beschreibung	Standardabweichung	Beschreibung
-2 bis -1,5	Starke Ablehnung	> 1,0	Geringer Konsens
-1,4 bis -0,5	Leichte Ablehnung	1,0 bis 0,6	Mäßiger Konsens
-0,4 bis +0,4	Neutral / unentschieden	0,5 bis 0	Sehr hoher Konsens
+0,5 bis +1,4	Leichte Zustimmung		
+1,5 bis +2	Starke Zustimmung		

Belastbare Auswertungsergebnisse erfordern einen ausreichend großen Datenpool. Die Grenze wurde zwischen n=20 und n=21 festgelegt. Erst eine Gruppe von 21 oder mehr Vergleichspaaren wird zu Analysen herangezogen.

2.3.2 Überlegungen in den Studien zu No- oder Low-regret-Maßnahmen

In einer weiteren Analyse werden alle (auch implizit formulierten) „Low-regret“ oder „No-regret“-Maßnahmen zusammengetragen. Dazu werden die Schlussfolgerungen in den Diskussionen der ausgewerteten Studien inspiziert. Wenn diese Erörterungen auch Argumente aus forstwirtschaftlicher Perspektive oder auch aus Naturschutz-Perspektive beinhalten, werden diese ebenfalls dokumentiert. Schließlich wird anhand von geeigneten Suchbegriffen nach Erörterungen der Implikationen der Studienergebnisse für den Klimaschutz gesucht. Auch diese Argumente werden dokumentiert (siehe auch Steckbriefe, Anhang E).

3 Ergebnisse

3.1 Arbeitspaket 1: Suche

Ergebnisse dieses Arbeitspakets waren die präzise Festlegung der Suchstrategie und -logik sowie die strukturierte Erfassung aller Quellen in einer durchsuchbaren Literaturdatenbank (Citavi). Das vollständige Suchprotokoll ist in Anhang A dargestellt. Für jeden Arbeitsschritt wurden in Citavi strukturierte Datenbanken angelegt, die alle Veröffentlichungen des jeweiligen Arbeitsschrittes enthalten. Die Literaturlisten der Datenbanken sind im Anhang D aufgelistet. Des Weiteren wurden die RIS-Dateien der Datenbanken diesem Bericht beigelegt. Die Datenbank des Arbeitspakets 1 (DLR_Lit.studie_AP1_Scopus_WoS_OA_Theses+Diss_unbereinigt) umfasst den vollständigen, noch unbereinigten Korpus einschlägiger wissenschaftlicher Literatur.

3.1.1 Anzahl der gefundenen Treffer

Die Literatursuche auf den vier Datenbanken umfasste insgesamt 4928 Titel. Die Veröffentlichungen je Fragestellung und Datenbank sind in Tabelle 5 zusammengestellt. Die Mehrzahl der Veröffentlichungen bezog sich auf die Fragen 1 (30,8 %) und 5 (24,7 %), gefolgt von Veröffentlichungen zu Frage 2 (16,5 %), Frage 4 (14,1 %) und Frage 3 (13,9 %).

Tabelle 5 | Anzahl der Veröffentlichungen (Nr.), die mit den verschiedenen Suchbegriffen (siehe Suchprotokoll im Anhang A für Details) für die jeweilige Fragestellung gefunden wurden, sowie die Gesamtzahl nach Datenbank.

Frage- stellung	SCOPUS	Web of Science	Google Scholar	Open Access Theses and Dissertation	Research Rabbit	Anzahl
Frage 1	385	360	716	15	42	1518
Frage 2	157	193	414	3	45	812
Frage 3	113	101	413	4	53	684
Frage 4	167	171	310	3	46	697
Frage 5	418	337	408	7	47	1217
Gesamt	1240	1162	2261	32	233	4928

Nachdem die Dubletten entfernt wurden, blieben insgesamt 2238 Titel übrig. Aufgrund der ausgesprochen hohen Anzahl an Veröffentlichungen wurde beschlossen, die Ergebnisse aus der Suchanfrage in Research Rabbit (160) nicht in der weiteren Auswertung zu berücksichtigen, da sie durch die undifferenzierte Art der Suchanfragen eine Vielzahl an Veröffentlichungen enthielten, die nicht im direkten Bezug zu den Zielen dieser Literaturstudie standen. Die Literaturliste des Korpus des AP 1 (DLR_Lit.studie_AP1_Scopus_WoS_OA_Theses+Diss) ist in Anhang D zu finden. Die Veröffentlichungen der Research Rabbit Datenbank sind in der RIS-Daten in Anhang D.3 (DLR_Lit.studie_AP1_Consensus+Research.Rabbit) zusammengestellt.

3.2 Arbeitspaket 2: Auswahl und Klassifikation

3.2.1 Auswahl

Nach Entfernung der Dubletten blieben insgesamt 2.238 Titel übrig. Als Resultat einer Abfolge von fünf Filterschritten anhand der Publikationstitel und -abstracts enthielt der Korpus noch 462 Publikationen. Die Vorklassifikation dieser 462 Publikationen reduzierte den Korpus auf 261 Publikationen.

3.2.2 Klassifikation

Im Zuge der gründlicheren Inspektion der Publikationen bei der Klassifizierung verkleinerte sich der Korpus schließlich auf 180. Die Beschreibung des Korpus (Kap. 4.2.3) stellt einen Ausschnitt aus den Ergebnissen der Klassifikation dar. Zur Redundanzvermeidung werden daher die Klassifikationsergebnisse hier nicht gesondert erläutert.

3.3 Arbeitspaket 3: Auswertung

3.3.1 Datenstatistik

Es wurden 95 wissenschaftliche Studien ausgewertet. Die zuvor erhobenen Klassifikationsmerkmale (Kap. 2.2) sind im Folgenden aggregiert aufgeführt. Daraus ergibt sich für jede Studie ein Merkmalsprofil, das in der Form von Steckbriefen zusammengestellt wurde (**Anhang E**). Die höchsten Trefferzahlen - abseits der Suchbegriffe mit Bezug auf die Lage ("Germany" etc.) - im ausgewerteten Korpus erzielten "Growth" sowie der unspezifische Begriff "Management" (Tabelle 6). Alle englischen Suchbegriffe sind im ausgewerteten Korpus mit Treffern repräsentiert (Ausnahme: "Weakness"). Da im Korpus schließlich keine deutschsprachigen Publikationen mehr vertreten sind, spielen die deutschen Suchbegriffe praktisch keine Rolle mehr.

Tabelle 6 | Suchbegriffe mit Anzahl der Treffer im ausgewerteten Korpus

Suchbegriffe	Treffer
Germany	91
Central Europe	20
Growth	60
Productivity	23
Fertility	3
Yield	3
Abundance	13
Wachstum	0
Zuwachs	0
Produktivität	0
Vulnerability	12
Sensitivity	15
Responsiveness	1
Susceptibility	9
Weakness	0
Vulnerabilität	1
Verwundbarkeit	0
Resistance	23
Tolerance	13
Hardiness	0

Stability	5
Robustness	1
Persistence	0
Resistenz	0
Widerstandsfähigkeit	0
Resilience	18
Elasticity	1
Flexibility	1
Plasticity	5
Adaptability	3
Adaptive capacity	3
Resilienz	0
Management	52
Forestry	1
Silviculture	1
Bewirtschaftung	0

Die meisten Publikation beschränken sich auf wissenschaftliche Aufsätze im peer review Verfahren. Drei Texte sind Dissertationen (Tabelle 7).

Tabelle 7 | Suchbegriffe mit Anzahl der Treffer im ausgewerteten Korpus

Textart	Anzahl der Zuordnungen
Aufsatz	92
Buch	0
Bericht	0
Dissertationen	3
Bericht ohne ISSN bzw. DOI	0

Es wurden 190 Untersuchungsgebiete gezählt (Tabelle 8). Die Zahl der Untersuchungsgebiete variiert von Studie zu Studie. Der Anteil der Untersuchungsgebiete nach Bundesland an dieser Gesamtzahl korrespondiert recht eng mit dem Waldanteil der Bundesländer an der gesamten

Waldfläche in Deutschland. Zwölf Mal liegen die Untersuchungsgebiete in den Nachbarländern Deutschlands. Acht Mal sind zudem weitere Länder beteiligt.

Tabelle 8 | Lage der Untersuchungsgebiete

Untersuchungsgebiet	Zahl im Korpus	Anteil am Korpus in %	Anteil an der Waldfläche in Deutschland in %
Baden-Württemberg	28	14,7	12,7
Bayern	36	18,9	23,3
Berlin	2	1,1	0,1
Brandenburg	18	9,5	9,7
Bremen	1	0,5	0,0
Hamburg	1	0,5	0,0
Hessen	12	6,3	7,9
Mecklenburg-Vorpommern	9	4,7	4,6
Niedersachsen	24	12,6	9,7
Nordrhein-Westfalen	10	5,3	7,9
Rheinland-Pfalz	11	5,8	7,5
Saarland	1	0,5	0,8
Sachsen	7	3,7	4,6
Sachsen-Anhalt	5	2,6	4,3
Schleswig-Holstein	6	3,2	1,5
Thüringen	19	10,0	5,1
Deutschland	5	100	100
Nachbarländer	12		
Sonstige	8		

Die weit überwiegende Mehrheit der ausgewerteten Studien sind Felderhebungen (Tabelle 9). Der Anteil von fernerkundlichen Studien liegt bei unter 10 %. Zwei Studien sind Meta-Analysen von Daten aus anderen Veröffentlichungen.

Tabelle 9 | Forschungsmethoden

Forschungsmethoden	Anzahl der Zuordnungen
--------------------	------------------------

Ausschließlich Felderhebung	86
Fernerkundung	7
Sonstiges	2

Naturwälder und Wälder aus Saat oder Pflanzung (die Klassen n1 bis n7 bzw. p1 bis p4; Klassifikationssystem von Buchwald 2005) sind jeweils hälftig unter den Vergleichspaaren vertreten (49,3 % respektive 51,7 %; Tabelle 10). Formen der Nichtnutzung (n4-n7) sind zu 18,5 % vertreten.

Tabelle 10 | Nutzungsformen

Nutzungsform	Zahl im Korpus	Anteil am Korpus in %
n7 – Near virgin forest	1	0,2
n6 – Old-growth forest	3	0,6
n5 – Long untouched forest	11	2,2
n4 – Newly untouched forest	76	15,5
n3 – Specially managed forest	5	1,0
n2 – Exploited natural forest	122	24,9
n1 – Plantation-like natural forest	24	4,9
p4 – Partly-natural planted forest	44	9,0
p3 – Native plantation	112	22,9
p2 – Exotic plantation	92	18,8
p1 – Exotic self sown forest	0	0

Am häufigsten sind Buchenbestände in Reinform oder in Mischformen, seltener auch individuelle Buchen an den Vergleichspaaren beteiligt (Tabelle 11). Mit größerem Abstand folgen Fichten, Kiefern, Douglasien, Eichen und Tannen. Im Vergleich zu ihrem Anteil an den Wäldern in Deutschland (BMEL 2024) sind Buchen und Douglasien stark überrepräsentiert. Demgegenüber sind Eichen, Fichten und vor allem Kiefern unterrepräsentiert. Baumartgemäß fortgeschrittene Baumalter und junge Baumalter sind ähnlich gut vertreten. Ausnahmen bilden die Douglasien(bestände) mit einem deutlichen Übergewicht bei den jüngeren Beständen und die Tannenbestände, die in der Mehrzahl höheren Alters sind.

Tabelle 11 | Baumarten und Bestandes- oder Baumalter

Baumarten und Alter	Anzahl
Buche	229
- Buche > 120	80
- Buche ≤ 120	73
- Buche keine Angaben (k.A.)	122
Eiche	40
- Eiche > 160	17
- Eiche ≤ 160	18
- Eiche k.A.	17
Fichte	86
- Fichte > 80	37
- Fichte ≤ 80	37
- Fichte k.A.	31
Douglasie	50
- Douglasie > 80	15
- Douglasie ≤ 80	36
- Douglasie k.A.	14
Kiefer	69
- Kiefer > 100	21
- Kiefer ≤ 100	28
- Kiefer k.A.	25
Tanne	35
- Tanne > 120	15
- Tanne ≤ 120	10
- Tanne k.A.	18

Die ausgewerteten Studien weisen in ihren Haupt-Fragestellungen am meisten inhaltliche Bezüge zur Gruppe der Expositionsänderungen auf (136; Tabelle 12). Eine viel kleinere, wenn auch nicht zu vernachlässigende Zahl von Studien beschäftigen sich mit anderen Funktionen der Vulnerabilität: Exposition, Sensitivität und Anpassungsfähigkeit. An zweiter Stelle rangiert die Gruppe der Zustandsänderungen (99), auffällig dabei der häufige Bezug auf Dürre (48). Viele Studien befassen sich zudem mit Problemen der Resistenz (51) und der Resilienz (37).

Berechnungen für Waldökosysteme als Kohlenstoffspeicher oder Kohlenstoffsenken treten zahlenmäßig stark zurück.

Tabelle 12 | Bezüge zu Waldzustandsänderung, Vulnerabilität, Resistenz und Resilienz in den Studien

Fragestellung	Haupt-Fragestellung	Neben-Fragestellung
Zustandsänderung: Wachstum, Produktivität	60	5
Zustandsänderung: Verringerte Photosynthese	4	1
Zustandsänderung: Absterben	12	5
Zustandsänderung: Sonstige	23	3
Exposition: Standort	27	6
Expositionsänderung, abiotisch: Temperatur, langfristig	24	15
Expositionsänderung, abiotisch: Hitzewelle	8	4
Expositionsänderung, abiotisch: Kältewelle	1	0
Expositionsänderung, abiotisch: Feuchte, langfristig	23	15
Expositionsänderung, abiotisch: Starkregen	3	0
Expositionsänderung, abiotisch: Dürre	48	13
Expositionsänderung, abiotisch: Waldbrand	2	1
Expositionsänderung, abiotisch: Sturm	2	1
Expositionsänderung, abiotisch: Sonstige	13	1
Expositionsänderung, biotisch: Schaderregerbefall	8	2
Expositionsänderung, biotisch: Sonstige	4	1
Sensitivität: Mikroklimatische Pufferung	15	3
Sensitivität: Sonstige	1	0
Anpassungsfähigkeit	14	6
Resistenz	51	18
Resilienz	37	12
Kohlenstoffspeicher, relativ	4	5
Kohlenstoffspeicher, absolut	5	3
Kohlenstoffsenke, relativ	5	2
Kohlenstoffsenke, absolut	3	2

Siebenunddreißig der insgesamt 95 ausgewerteten Studien stellen Überlegungen zu No- und Low-regret-Maßnahmen an (Tabelle 13).

Tabelle 13 | Überlegungen zu No- und Low-regret Maßnahmen

Überlegungen zu No- und Low-regret Maßnahmen	Anzahl der Zuordnungen
Ja	37
Nein	58

Eine Minderheit von einundzwanzig Studien diskutieren Implikationen ihrer Ergebnisse für den Klimaschutz (Tabelle 14).

Tabelle 14 | Bezug zum Klimaschutz

Erwähnung Klimaschutz	Anzahl der Zuordnungen
Ja	21
Nein	74

3.3.2 Befunde der Studien zu Waldzustandsänderung, Vulnerabilität, Resistenz und Resilienz im Vergleich unterschiedlicher Nutzungsformen

Die Summe aller Vergleichspaare in den 95 ausgewerteten Studien beläuft sich auf 217 Vergleichspaare.

3.3.2.1 Befunde zu Fragestellung 1: Wie hat sich der Zustand der Waldökosysteme - im Vergleich von Nutzungsformen - unter der Einwirkung des Klimawandels entwickelt?

Für die Ergebnisse von Fragestellung 1 konnten 136 Vergleichspaare ausgewertet werden (Tabelle 15 und Illustration 3). Darin enthalten sind auch 23 ‘abgeleitete’ Vergleichspaare (vergleiche Kap. 2.3.1).

Tabelle 15 | Zustand der Waldökosysteme - im Vergleich von Nutzungsformen - unter der Einwirkung des Klimawandels

Bewertung	EE (2)	E (1)	N (0)	I (-1)	II (-2)
Anzahl (136)	30	40	35	18	13
Gewichtet	60	40	0	-18	-26
Mittelwert	0,4	Neutral / unentschieden			
Standardabweichung	1,2	Geringer Konsens			

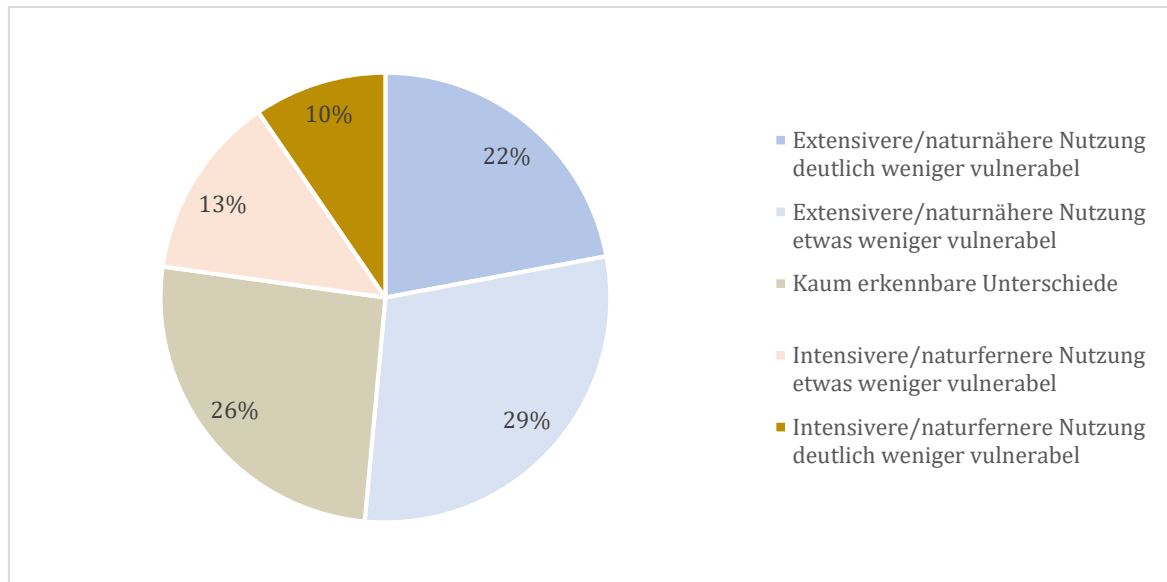


Illustration 3 | zeigt die Häufigkeiten der Bewertungen an

In einem zweiten Durchgang von Fragestellung 1 wurden die 'abgeleiteten' Vergleichspaare ignoriert. Übrig bleibt ein Pool von 113 Vergleichspaaren (Tabelle 16 und Illustration 4).

Tabelle 16 | Zustand der Waldökosysteme - im Vergleich von Nutzungsformen - unter der Einwirkung des Klimawandels

Bewertung	EE (2)	E (1)	N (0)	I (-1)	II (-2)
Anzahl (113)	27	29	28	16	13
Gewichtet	54	29	0	-16	-26
Mittelwert	0,4	Neutral / unentschieden			
Standardabweichung	1,3	Geringer Konsens			

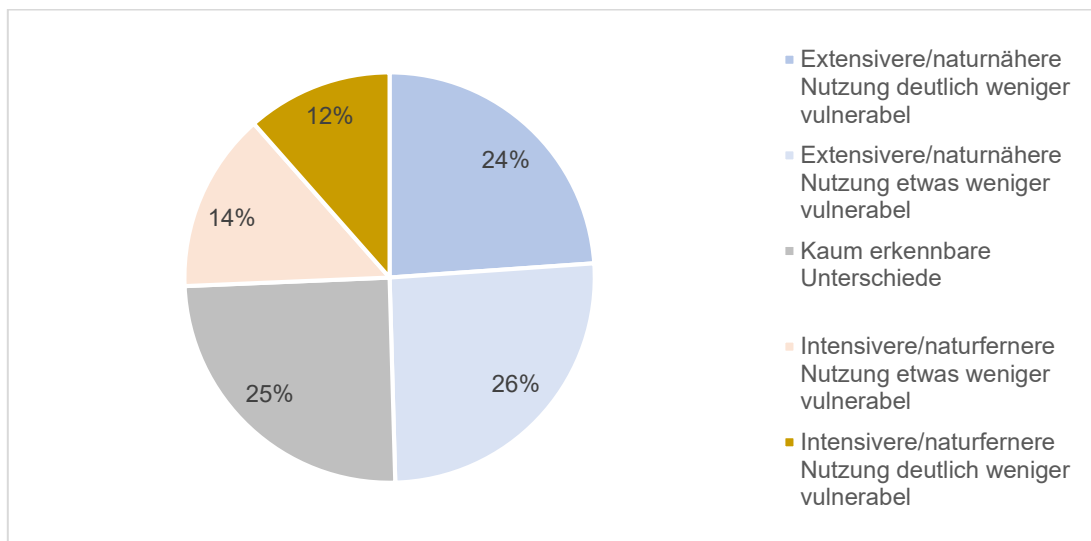


Illustration 4 | zeigt die Häufigkeiten der Bewertungen an

Im letzten Durchgang von Fragestellung 1 wurden ausschließlich die 23 ‘abgeleiteten’ Vergleichspaare ausgewertet (Tabelle 17 und Illustration 5).

Tabelle 17 | Zustand der Waldökosysteme - im Vergleich von Nutzungsformen - unter der Einwirkung des Klimawandels

Bewertung	EE (2)	E (1)	N (0)	I (-1)	II (-2)
Anzahl (23)	3	11	7	2	0
Gewichtet	6	11	0	-2	0
Mittelwert	0,7	Leichte Zustimmung			
Standardabweichung	0,8	mäßiger Konsens			

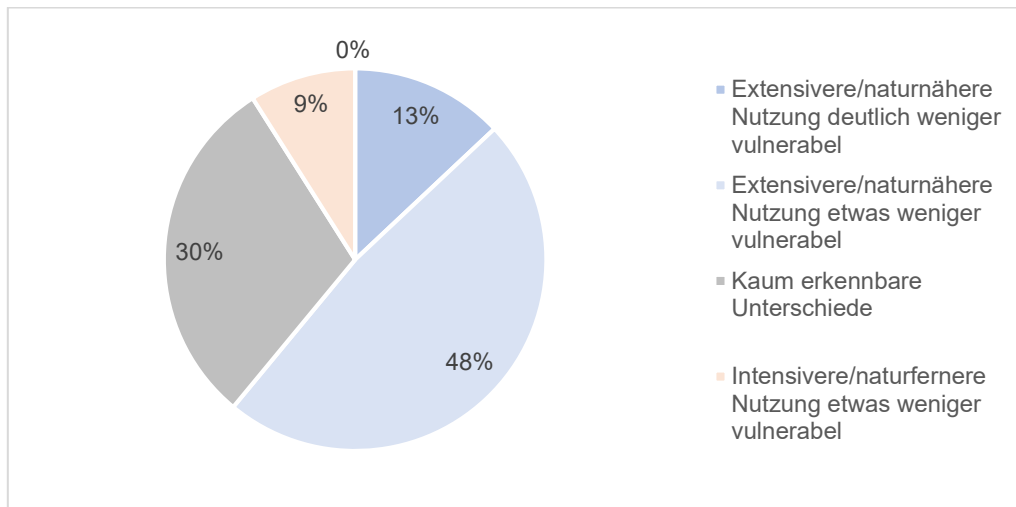


Illustration 5 | zeigt die Häufigkeiten der Bewertungen an

3.3.2.2 Befunde zu Fragestellung 2: Wie vulnerabel sind Waldökosysteme - im Vergleich von Nutzungsformen - unter der Einwirkung des Klimawandels?

Für die Ergebnisse von Fragestellung 2 wurden 210 Vergleichspaare (von insgesamt 217) ausgewertet (Tabelle 18 und Illustration 6).

Tabelle 18 | Wie vulnerabel sind Waldökosysteme - im Vergleich von Nutzungsformen - unter der Einwirkung des Klimawandels

Bewertung	EE (2)	E (1)	N (0)	I (-1)	II (-2)
Anzahl (210)	55	63	44	29	19
Gewichtet	110	63	0	-29	-38
Mittelwert	0,5	leichte Zustimmung			
Standardabweichung	1,3	geringer Konsens			

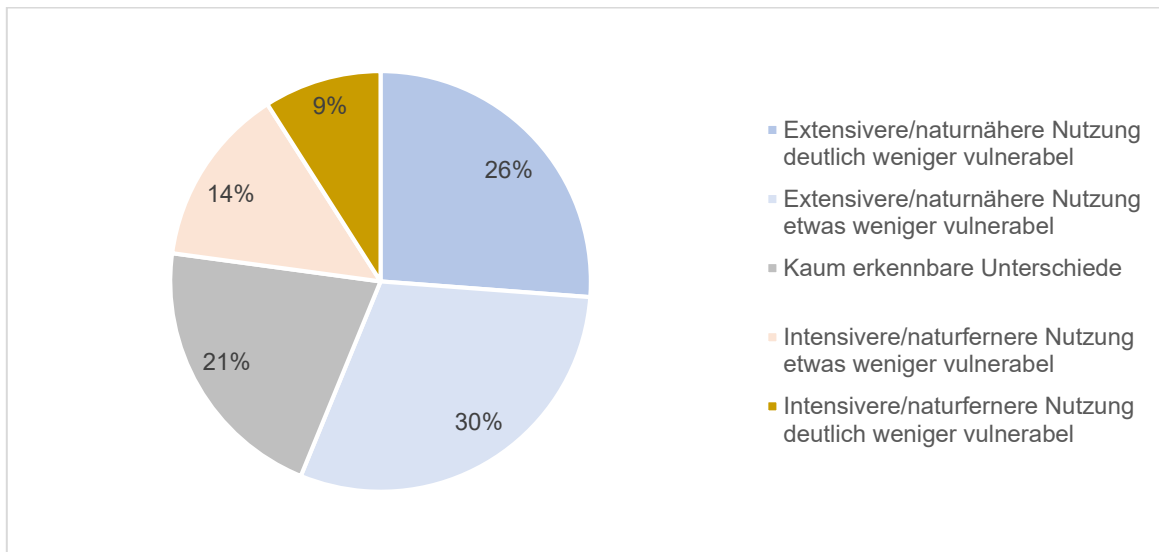


Illustration 6 | zeigt die Häufigkeiten der Bewertungen an

3.3.2.3 Befunde zu Fragestellung 3: Wie resistent sind Waldökosysteme - im Vergleich von Nutzungsformen - unter der Einwirkung des Klimawandels?

Für die Ergebnisse von Fragestellung 3 wurden 158 Vergleichspaare (von insgesamt 217) ausgewertet (Tabelle 19 und Illustration 7).

Tabelle 19 | Wie resistent sind Waldökosysteme - im Vergleich von Nutzungsformen - unter der Einwirkung des Klimawandels

Bewertung	EE (2)	E (1)	N (0)	I (-1)	II (-2)
Anzahl (158)	38	50	31	23	16
Gewichtet	76	50	0	-23	-32
Mittelwert	0,4	Neutral / unentschieden			
Standardabweichung	1,3	Geringer Konsens			

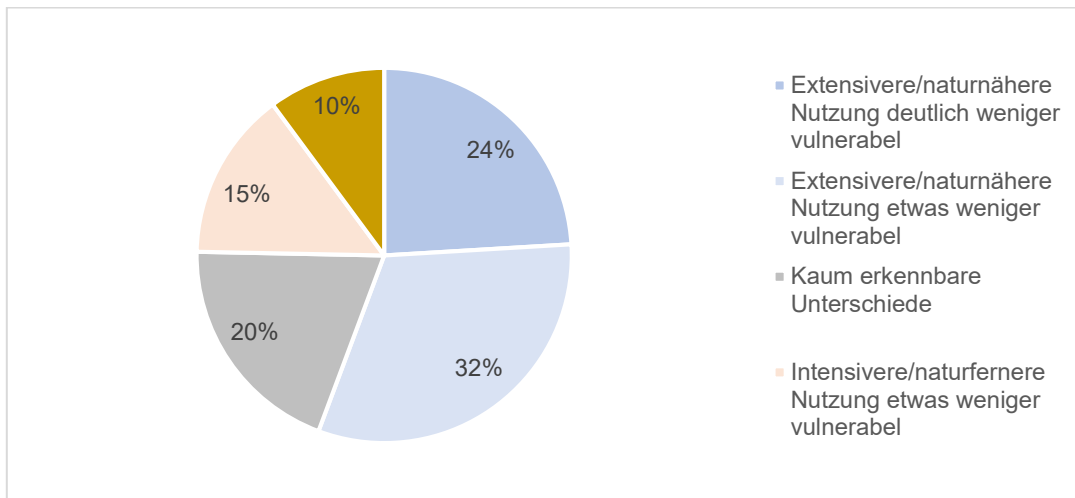


Illustration 7 | zeigt die Häufigkeiten der Bewertungen an

3.3.2.4 Befunde zu Fragestellung 4: Wie resilient sind Waldökosysteme - im Vergleich von Nutzungsformen - unter der Einwirkung des Klimawandels?

Für die Ergebnisse von Fragestellung 3 wurden 122 Vergleichspaare (von insgesamt 217) ausgewertet (Tabelle 20 und Illustration 8).

Tabelle 20 | Wie resilient sind Waldökosysteme - im Vergleich von Nutzungsformen - unter der Einwirkung des Klimawandels

Bewertung	EE (2)	E (1)	N (0)	I (-1)	II (-2)
Anzahl (122)	26	39	32	16	9
Gewichtet	52	39	0	-16	-18
Mittelwert	0,5	Leichte Zustimmung			
Standardabweichung	1,2	Geringer Konsens			

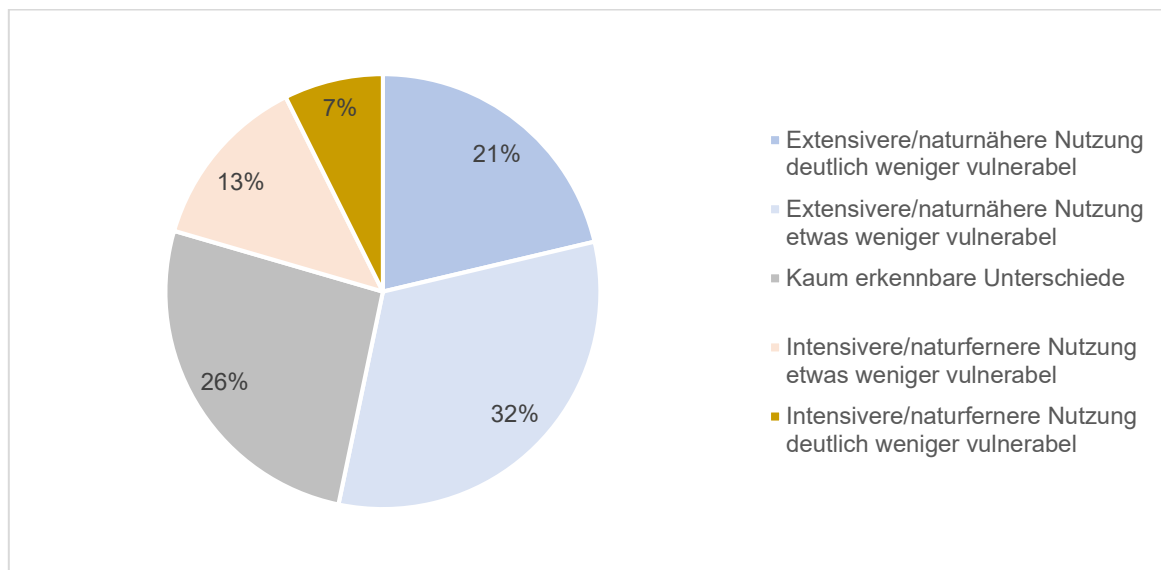


Illustration 8 | zeigt die Häufigkeiten der Bewertungen an

3.3.2.5 Befunde zur Wirkung von Nichtnutzung (n4-6) im Vergleich zu Formen der Nutzung

Für die Ergebnisse von oben genannter Fragestellung wurden 23 Vergleichspaare (von insgesamt 217) ausgewertet werden (Tabelle 21 und Illustration 9).

Tabelle 21 | Wie ist die Wirkung von Nichtnutzung - im Vergleich zu Formen der Nutzung - unter der Einwirkung des Klimawandels

Bewertung	EE (2)	E (1)	N (0)	I (-1)	II (-2)
Anzahl (23)	6	8	7	1	1
Gewichtet	12	8	0	-1	-2
Mittelwert	0,7	Leichte Zustimmung			
Standardabweichung	1,0	Mäßiger Konsens			

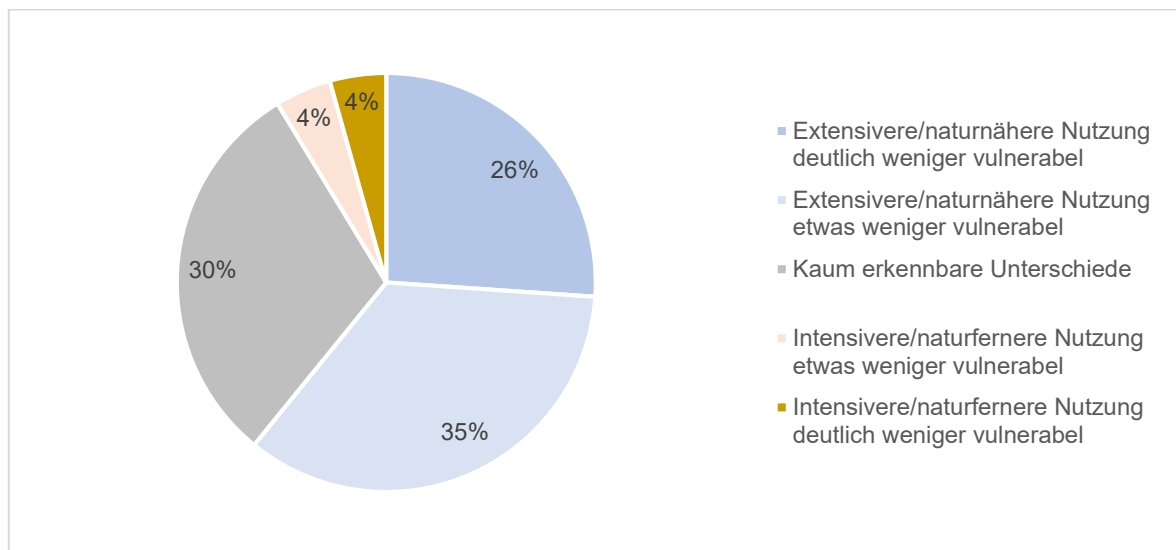


Illustration 9 | zeigt die Häufigkeiten der Bewertungen an

3.3.2.6 Befunde zur zeitlichen Entwicklung. Fragestellung 1 für Publikationen bis einschließlich Jahr 2020

Für die Ergebnisse zur oben genannten Fragestellung wurden 45 Vergleichspaare (von insgesamt 217) ausgewertet (Tabelle 22 und Illustration 10).

Tabelle 22 | Wie ist die zeitliche Entwicklung. Fragestellung 1 für Publikationen bis einschließlich Jahr 2020

Bewertung	EE (2)	E (1)	N (0)	I (-1)	II (-2)
Anzahl (45)	6	12	12	8	7
Gewichtet	12	12	0	-8	-14
Mittelwert	0,0	Neutral / unentschieden			
Standardabweichung	1,3	Geringer Konsens			

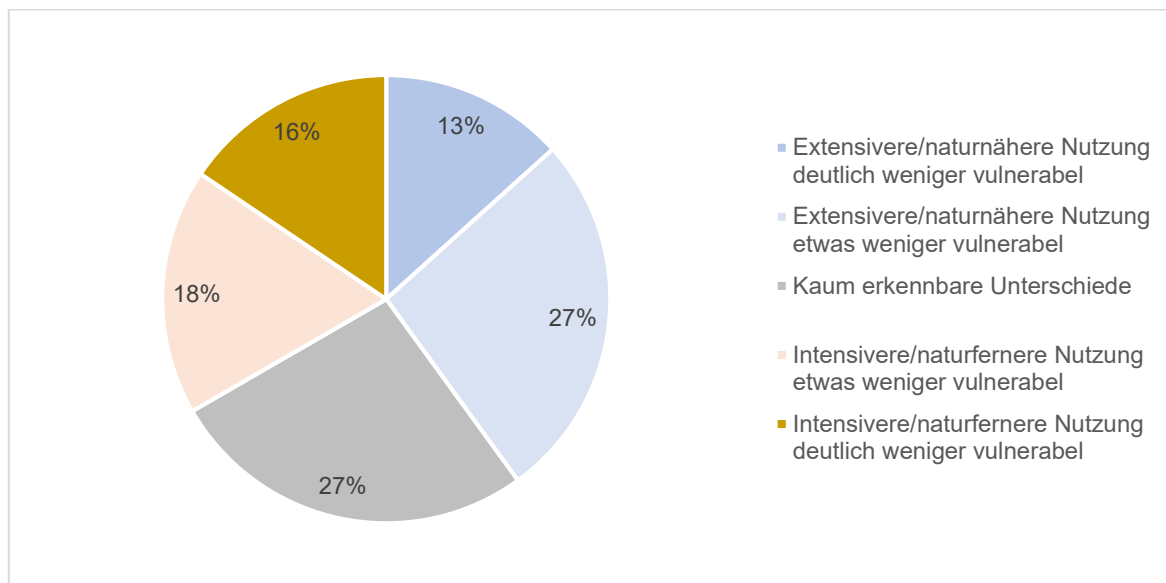


Illustration 10 | zeigt die Häufigkeiten der Bewertungen an

3.3.2.7 Befunde zur zeitlichen Entwicklung. Fragestellung 1 für Publikationen ab dem Jahr 2021

Für die Ergebnisse von oben genannter Fragestellung wurden 91 Vergleichspaare (von insgesamt 217) ausgewertet werden (Tabelle 23 und Illustration 11).

Tabelle 23 | Wie ist die zeitliche Entwicklung. Fragestellung 1 für Publikationen ab dem Jahr 2021

Bewertung	EE (2)	E (1)	N (0)	I (-1)	II (-2)
Anzahl (91)	24	28	23	10	6
Gewichtet	48	28	0	-10	-12
Mittelwert	0,6	Leichte Zustimmung			
Standardabweichung	1,2	Geringer Konsens			

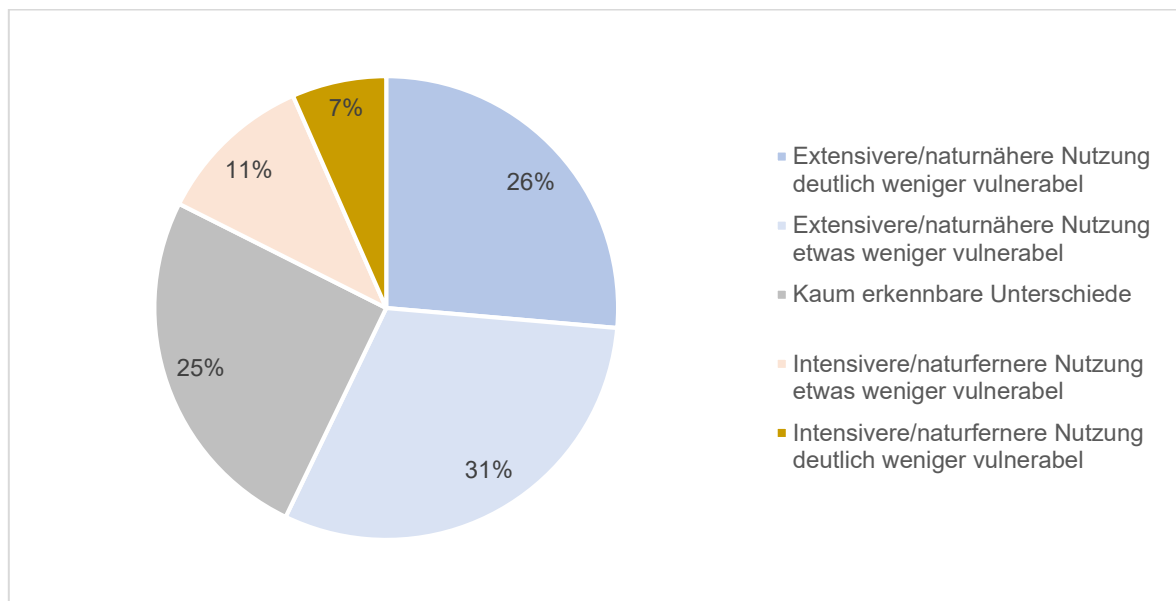


Illustration 11 | zeigt die Häufigkeiten der Bewertungen an

3.3.2.8 Befunde zur Klimawandelwirkungen im Fokus: Beispiel Dürre

Für die Ergebnisse zur oben genannten Fragestellung wurden 115 Vergleichspaare (von insgesamt 217) ausgewertet (Tabelle 24 und Illustration 12).

Tabelle 24 | Wie sind die Klimawandelwirkungen im Fokus am Beispiel der Dürre

Bewertung	EE (2)	E (1)	N (0)	I (-1)	II (-2)
Anzahl (115)	23	43	21	17	11
Gewichtet	46	43	0	-17	-22
Mittelwert	0,4	Neutral / unentschieden			
Standardabweichung	1,2	Geringer Konsens			

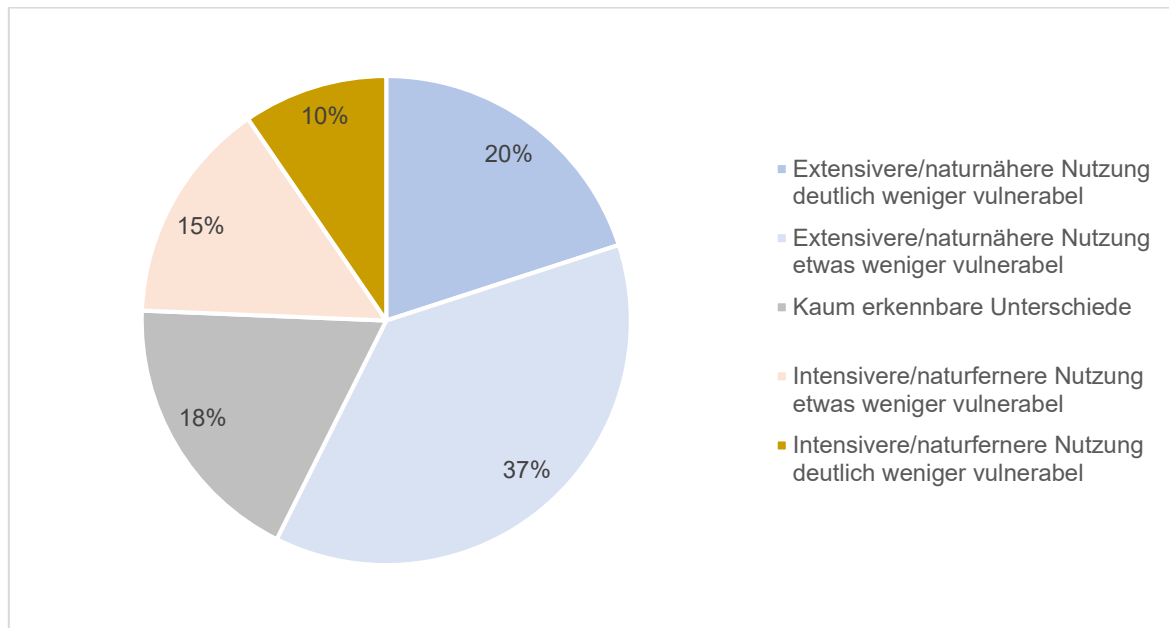


Illustration 12 | zeigt die Häufigkeiten der Bewertungen an

3.3.3 Überlegungen in den Studien zu No- oder Low-regret-Maßnahmen

3.3.3.1 No- oder Low-regret-Maßnahmen: allgemein

Siebenunddreißig Studien, also knapp 40 Prozent der 95 ausgewerteten Studien, stellen Überlegungen zu No- oder Low-regret-Optionen an.

3.3.3.2 No- oder Low-regret-Maßnahmen: Abwägungsentscheidungen

Acht Überlegungen kommen zu dem Schluss, dass im Kontext der jeweils diskutierten Problemstellung keine No- oder Low-regret-Optionen verfügbar sind. Es bleiben nur Abwägungsentscheidungen (Trade-offs).

- Pufferzonen um strukturreiche Naturwälder stehen einerseits ökonomischen Interessen entgegen, andererseits helfen sie, ihre Kühlungsfunktion zu erhalten (Adhikari et al. 2024).
- 1. (Natürliche) Ansaat ist einerseits ökologisch vorteilhaft, andererseits mit Risiken für die kurzfristige forstwirtschaftliche Zielerreichung verbunden. 2. Nicht-Beräumung ist einerseits ökologisch vorteilhaft, andererseits mit Risiken für die kurzfristige forstwirtschaftliche Zielerreichung verbunden (Blumroeder et al. 2022).

- Buchen und Kiefern auf unterschiedliche Weise sowohl vorteilhaft und vulnerabel (Diers 2022).
- Einerseits mehr Naturnähe und Artenreichtum durch Buchenbestände, andererseits Bereitstellung von anderen Ökosystemleistungen besser bei Nadelholzbeständen (Glatthorn et al. 2023).
- Keine Baumartenmischung ist ohne Nachteile (Vitali et al. 2018).
- Einerseits die Konkurrenz zwischen Buchen nicht zu hoch werden lassen und andererseits das Waldmikroklima erhalten (Weigel et al. 2023).
- Besseres Wachstum in stressfreien Jahren einerseits und Vulnerabilität in dürregeprägten Jahren andererseits (Debel et al. 2021).
- Trade-off zwischen Senkenleistung junger Bestände und Resistenz älterer, struktureicherer Bestände durch mikroklimatische Pufferung (Norris et al. 2012).

3.3.3.3 No- oder Low-regret-Maßnahmen: Baumartenwahl

Sechzehn Überlegungen beziehen sich auf vor allem oder ausschließlich die Baumartenwahl.

- Risikostreuung durch Berücksichtigung sowohl von Buchen und von Tannen für den Umbau von Fichtenforsten (Bosela et al. 2018).
- Abwägungsentscheidung: Buchen und Kiefern auf unterschiedliche Weise sowohl vorteilhaft und vulnerabel (Diers 2022)
- Durch Waldumbau von Waldkiefer hin zu der Rotbuche neben verbesserte Kohlenstoffbilanz auch eine Verbesserung weiterer Ökosystemdienstleistungen des Waldes (Erhaltung der Biodiversität, Verhütung Waldbrände, Grundwasserneubildung, ...) (Förster et al. 2021a).
- Abwägungsentscheidung: Einerseits mehr Naturnähe und Artenreichtum durch Buchenbestände, andererseits Bereitstellung von anderen Ökosystemleistungen besser bei Nadelholzbeständen (Glatthorn et al. 2023).
- Bei verringerten Bodenwasserhaushalt weisen Buchenbestände, welchen im begrenzten Maße Douglasien beigemischt sind, eine höhere Resilienz des Wachstums gegenüber Dürreereignissen auf, als Buchenbestände mit einer Beimischung von Fichten (Hackmann et al. 2024).
- Artenreichtum von Spinnen und ihre ökologische Rolle durch Ersatz von Fichten durch Douglasien nicht beeinträchtigt (Matevski 2022).
- Beimischung von Douglasien in Buchenbeständen vorteilhaft und unschädlich (Metz et al. 2016).
- Keine Low/no-regret-Option: Vorteile der Douglasie werden relativiert (Miller et al. 2022).
- Beförderung von Mischwäldern sowohl aus natürlichen Reinbeständen (z.B. Buchenwälder) als auch aus künstlichen Reinbeständen (z.B. Fichten- oder Douglasienforsten). 2. Beförderung von Struktureichtum (Obladen et al. 2021).

- Mischbestände zeigen besseres Wachstum und Dürresistenz als Monokulturen (Schwarz, Bauhus 2019).
- Umbau mit Laubbäumen, Förderung der Bodenbildung; Förderung einer strukturreichen bodennahen Vegetation (Schwenke et al. 2023).
- Förderung mehrschichtiger Eichenbestände als produktiver Bestandteil künftiger Mischwälder (Stimm et al. 2022).
- Erhaltung der Baumartenvielfalt, inkl. nichtstandortheimische Provenienzen und Arten, und der Strukturvielfalt erhöht die Resilienz (Uhl et al. 2021).
- Trockenstresstolerante Baumarten (Douglasie, Weißtanne) sollten Fichten ersetzen, zuerst an trockenstressexponierten Standorten (Vitali et al. 2017).
- Abwägungsentscheidung: keine Baumartenmischung ist ohne Nachteile (Vitali et al. 2018).
- Abwägungsentscheidung: besseres Wachstum von Buchen in stressfreien Jahren einerseits und Vulnerabilität in dürregetressten Jahren andererseits (Debel et al. 2021).

3.3.3.4 No- oder Low-regret-Maßnahmen: Bewirtschaftungspraktiken

Ebenfalls sechzehn Studien erörtern Bewirtschaftungspraktiken als mögliche No- oder Low-regret-Optionen.

- Förderung der Bodenbildung; Förderung einer strukturreichen bodennahen Vegetation (Schwenke et al. 2023).
- Mehrschichtigkeit (Stimm et al. 2022).
- Strukturvielfalt erhöht die Resilienz (Uhl et al. 2021).
- Naturverjüngung (Beloïu et al. 2022).
- 1. (Natürliche) Ansaat; 2. Belassung von Totholz (Blumroeder et al. 2022).
- Totholzbelassung für Gruppe der saproxylischen Insekten ineffektiv (Cours et al. 2021).
- Es sollten ausreichend Bäume unterhalb der herrschenden Schicht von Durchforstungen ausgenommen werden (Mathes et al. 2023).
- Kombination von nicht beräumten Kalamitätsflächen in freier Sukzession und genutzten Kalamitätsflächen (Plath et al. 2025).
- Kombination von nicht beräumten Kalamitätsflächen in freier Sukzession und genutzten Kalamitätsflächen (Plath et al. 2024).
- Extensiveres Management zur Stressreduzierung (Pollierer et al. 2015).
- Ausdünnen, um Resistenz zu erhöhen (Stimm et al. 2021).
- Abwägungsentscheidung: einerseits die Konkurrenz zwischen Buchen nicht zu hoch werden zu lassen und andererseits das Waldmikroklima zu erhalten (Weigel et al. 2023).
- Trade-off zwischen Senkenleistung junger Bestände und Resistenz älterer, strukturreicherer Bestände durch mikroklimatische Pufferung (Norris et al. 2012).

- Anpassung des Kronendachschlusses: Keine Low/no-regret-Option denkbar (Mathes et al. 2023).
- Kiefernwald: Reduzierung der Waldrand-Gesamtstrecke; schonende Behandlung von Waldrändern (Buras et al. 2018).

3.3.3.5 No- oder Low-regret-Maßnahmen: Landschaftsbezogene Maßnahmen

Sechs Studien gehen in ihren Überlegungen über die untersuchten Gebiete hinaus und postulieren, dass auch landschaftsbezogene Maßnahmen in Betracht gezogen werden müssten.

- Kombination von nicht beräumten Kalamitätsflächen in freier Sukzession und genutzten Kalamitätsflächen (Plath et al. 2024, 2025).
- Abwägungsentscheidung: Pufferzonen um strukturreiche Naturwälder stehen einerseits ökonomischen Interessen entgegen, andererseits helfen sie, ihre Kühlungsfunktion zu erhalten (Adhikari et al. 2024).
- Hinweis auf Bedeutung von externen Umweltbelastungen (Stickstoffemissionen) mit Empfehlung an die Politik, dass die Emissionen reduziert werden sollten (Dietrich et al. 2025).
- Verringerung der Grundwassernutzung (Skiadaresis et al. 2019).
- Erhaltung und Beförderung einer Matrix möglichst naturnaher Wälder (Weiss et al. 2024)

3.3.3.6 No- oder Low-regret-Maßnahmen: Abwägung der forstwirtschaftlichen Perspektive und der Naturschutzperspektive

Überlegungen zu No- oder Low-regret-Maßnahmen erfolgen meist nicht in Abwägung der forstwirtschaftlichen Perspektive und der Naturschutz-Perspektive. Jedenfalls erörtern nur fünfzehn Studien Managementoptionen sowohl aus der forstwirtschaftlichen Perspektive als auch aus der Naturschutz-Perspektive. Diese Erörterungen sind im Folgenden nachzulesen.

Blumroeder et al. (2022):

- Überlegungen zu No- und Low-regret-Maßnahmen: Abwägungsentscheidung: 1. (Natürliche) Ansaat ist einerseits ökologisch vorteilhaft, andererseits mit Risiken für die kurzfristige forstwirtschaftliche Zielerreichung verbunden. 2. Nicht-Beräumung ist einerseits ökologisch vorteilhaft, andererseits mit Risiken für die kurzfristige forstwirtschaftliche Zielerreichung verbunden.
- Forstwirtschaftliche Perspektive: Eingriffe nach einem Waldbrand, um Wiederbewaldung zu beschleunigen; 1. Direktsaat ist günstiger und hat geringeren Umwelteinfluss als Pflanzung; 2. Beräumung des Totholzes zur Verringerung des Brandrisikos, Schädlingsbefall verhindern, Sicherheit, Vorbereitung von Wiederbewaldungsmaßnahmen, Verkauf.

- Naturschutz-Perspektive: 1., 2.: Eingriffe können natürliche Prozesse negativ beeinflussen (Biodiversität, nicht-heimische Arten, Entstehung gleicher Bedingungen, wie vor dem Brand) (Naturverjüngung zu bevorzugen); 2. Gegen eine Beräumung des Totholzes spricht das Risiko von Bodenverdichtung und -erosion, Schädigung der Bodenvegetation und Naturverjüngung, Veränderung des Wasserkreislaufs.

Förster et al. (2021a):

- Überlegungen zu No- und Low-regret-Maßnahmen: Durch Waldumbau von Waldkiefer hin zu der Rotbuche neben verbesserte Kohlenstoffbilanz auch eine Verbesserung weiterer Ökosystemdienstleistungen des Waldes (Erhaltung der Biodiversität, Verhütung Waldbrände, Grundwasserneubildung, ...):
- Forstwirtschaftliche Perspektive: Auch unter Dürrebedingungen kann ein Buchenbestand bei gleicher Bestandsgrundfläche mehr Kohlenstoff aufnehmen und in oberirdische Biomasse umwandeln als ein Waldkiefern-Bestand.
- Naturschutz-Perspektive: Mehr Naturnähe und Artenreichtum durch Waldumbau von Kiefern- zu Buchenbeständen

Matevski (2022):

- Überlegungen zu No- und Low-regret-Maßnahmen: Artenreichtum von Spinnen und ihre ökologische Rolle durch Ersatz von Fichten durch Douglasien nicht beeinträchtigt.:
Forstwirtschaftliche Perspektive
- Beimischung von Douglasien in Buchenreinbestände verbessert die Regulation von herbivoren Schaderregern.: Naturschutz-Perspektive
- Artenreichtum von Spinnen und ihre ökologische Rolle durch Ersatz von Fichten durch Douglasien nicht beeinträchtigt.

Diers (2022):

- Überlegungen zu No- und Low-regret-Maßnahmen: Abwägungsentscheidung: Buchen und Kiefern auf unterschiedliche Weise sowohl vorteilhaft und vulnerabel
- Forstwirtschaftliche Perspektive: Buchen und Kiefern auf unterschiedliche Weise vorteilhaft
- Naturschutz-Perspektive: Buchen vorteilhaft, aber vulnerabel

Adhikari et al. (2024):

- Überlegungen zu No- und Low-regret-Maßnahmen: Abwägungsentscheidung: Pufferzonen um strukturreiche Naturwälder stehen einerseits ökonomischen Interessen entgegen, andererseits helfen sie, ihre Kühlungsfunktion zu erhalten.

- Forstwirtschaftliche Perspektive: Das Einführen von Pufferzonen und der Verzicht auf Bewirtschaftung in einigen Gebieten kann zu kurzzeitigen wirtschaftlichen Auswirkungen auf Land- und Forstwirtschaft führen.
- Naturschutz-Perspektive: Langfristig können diese Strategien zu resilienteren Landschaften führen und somit nachhaltige Bewirtschaftung unterstützen.

Budde et al. (2023):

- Überlegungen zu No- und Low-regret-Maßnahmen: Keine no-/low-regret-Option: Gentransfer zwischen Buchenarten riskant
- Forstwirtschaftliche Perspektive: Evtl. Outbreeding Depression
- Naturschutz-Perspektive: verbesserte Resistenz gegenüber Dürre

Stimm et al. (2022):

- Überlegungen zu No- und Low-regret-Maßnahmen: Förderung der mehrschichtiger Eichenbestände als produktiver Bestandteil künftiger Mischwälder
- Forstwirtschaftliche Perspektive: Förderung der Eiche als produktiver Bestandteil künftiger Mischwälder
- Naturschutz-Perspektive: Buche als konkurrierende Mischbaumart wird eingegrenzt

Plath et al. (2024):

- Überlegungen zu No- und Low-regret-Maßnahmen: Kombination von nicht beräumten Kalamitätsflächen in freier Sukzession und genutzten Kalamitätsflächen
- Forstwirtschaftliche Perspektive: Forstwirtschaftliche Risikostreuung
- Naturschutz-Perspektive: Möglichkeit zur unbeeinflussten Entwicklung artenreicher Ökosysteme auf einem Teil der Kalamitätsflächen

Plath et al. (2025):

- Überlegungen zu No- und Low-regret-Maßnahmen: Kombination von nicht beräumten Kalamitätsflächen in freier Sukzession und genutzten Kalamitätsflächen
- Forstwirtschaftliche Perspektive: Forstwirtschaftliche Risikostreuung
- Naturschutz-Perspektive: Möglichkeit zur unbeeinflussten Entwicklung artenreicher Ökosysteme auf einem Teil der Kalamitätsflächen

Krüger et al. (2025):

- Überlegungen zu No- und Low-regret-Maßnahmen: Nichtgenutzte Waldökosysteme könnten die Resistenz und Resilienz der gesamten Waldlandschaft erhöhen.

- Forstwirtschaftliche Perspektive: Nichtgenutzte Wälder erhöhen die Intensität von Störungen in benachbarten, forstwirtschaftlich genutzten Wäldern nicht und verringern sie möglicherweise sogar.
- Naturschutz-Perspektive: Nichtgenutzte Wälder dienen der Erhaltung der biologischen Vielfalt.

Glatthorn et al. (2023):

- Überlegungen zu No- und Low-regret-Maßnahmen: Abwägungsentscheidung: Einerseits mehr Naturnähe und Artenreichtum durch Buchenbestände, andererseits Bereitstellung von anderen Ökosystemleistungen besser bei Nadelholzbeständen.
- Forstwirtschaftliche Perspektive: Räumlich voneinander getrennte reine Buchenbestände und gemischte Nadelholzbestände (heimisch und nicht heimisch), um einen Ausgleich zwischen den verschiedenen Ansprüchen an die Ökystemdienstleistungen des Waldes zu erreichen.
- Naturschutz-Perspektive: Die Diversität der Buchen- und Douglasienreinbestände sind hinsichtlich ihrer spezifischen Artenzusammensetzung nicht vergleichbar. In der Schlussfolge sind Monokulturen der Douglasie nur in ausgewogener Abwechslung mit Buchenbeständen denkbar.

Nagel et al. (2023):

- Überlegungen zu No- und Low-regret-Maßnahmen: Ungenutzte Wälder sind über lange Zeit sowohl effektive C-Senken als auch C-Speicher.
- Forstwirtschaftliche Perspektive: Ungenutzte Wälder sollten in eine "Climate-smart Forestry" integriert werden.
- Naturschutz-Perspektive: "In the light of the efforts to mitigate climate change and the heated discussion about whether to set aside forest to natural development or not, it is important to consider that how we manage forests is not only relevant to climate change, but also to biodiversity, ecosystem functions and cultural values".

Bouriaud et al. (2016):

- Überlegungen zu No- und Low-regret-Maßnahmen: Verkürzung der Umtriebszeit nicht nachteilig für Naturschutzziele; Hinweise auf Schwächung der Speicherleistung von Wäldern und weiterer (nicht genauer benannter) Nachteile
- Forstwirtschaftliche Perspektive: Verkürzung der Umtriebszeiten führt zu höherer Produktivität
- Naturschutz-Perspektive: Ökosystemleistungen könnten beeinträchtigt werden, aber Verkürzung der Umtriebszeiten vereinbar mit Naturschutzzielen

Skiadaresis et al. (2019):

- Überlegungen zu No- und Low-regret-Maßnahmen: Verringerung der Grundwassernutzung
- Forstwirtschaftliche Perspektive: Vermeidung schwächerer Vitalität der Bestände
- Naturschutz-Perspektive: Sicherung der Ökosystemgesundheit

Metz et al. (2016):

- Überlegungen zu No- und Low-regret-Maßnahmen: Beimischung von Douglasien in Buchenbeständen vorteilhaft und unschädlich
- Forstwirtschaftliche Perspektive: Zuwachssteigerung durch Beimischung von Douglasien in Buchenbeständen
- Naturschutz-Perspektive: Beimischung von Douglasien in Buchenbeständen unschädlich für die Artenvielfalt

3.3.3.7 No- oder Low-regret-Maßnahmen: Diskussion der potenziellen Klimaschutzwirkung

Eine kleine Gruppe von Studien entwickelt Überlegungen zu No-/Low-regret-Maßnahmen, wägt die Auswirkungen aus den Perspektiven der Forstwirtschaft und des Naturschutzes ab und schätzt im letzten Schritt auch die potenzielle Klimaschutzwirkung ab oder diskutiert sie zumindest. Diese Diskussionen sind im Folgenden im Zusammenhang nachzulesen.

Blumroeder et al. (2022)

- Überlegungen zu No- und Low-regret-Maßnahmen: Abwägungsentscheidung: 1. (Natürliche) Ansaat ist einerseits ökologisch vorteilhaft, andererseits mit Risiken für die kurzfristige forstwirtschaftliche Zielerreichung verbunden. 2. Belassung des Totholzes ist einerseits ökologisch vorteilhaft, andererseits mit Risiken für die kurzfristige forstwirtschaftliche Zielerreichung verbunden.
- Forstwirtschaftliche Perspektive: Eingriffe nach einem Waldbrand, um Wiederbewaldung zu beschleunigen; 1. Direktsaat ist günstiger und hat geringeren Umwelteinfluss als Pflanzung; 2. Beräumung des Totholzes zur Verringerung des Brandrisikos, Schädlingsbefall verhindern, Sicherheit, Vorbereitung von Wiederbewaldungsmaßnahmen, Verkauf.
- Naturschutz-Perspektive: 1., 2.: Eingriffe können natürliche Prozesse negativ beeinflussen (Biodiversität, nicht-heimische Arten, Entstehung gleicher Bedingungen, wie vor dem Brand)(Naturverjüngung zu bevorzugen); 2. Gegen eine Beräumung des Totholzes spricht das Risiko von Bodenverdichtung und -erosion, Schädigung der Bodenvegetation und Naturverjüngung, Veränderung des Wasserkreislaufs.
- Bezug zu Klimaschutz (Speicherfunktion): "Based on our findings, we cannot recommend establishing or replanting Scots pine stands. This type of forest plantation has already been described as "neither environmental-friendly nor climate smart, given their

enhancement of climate-warming, low climate change mitigation potential, and negative effect on groundwater recharge” (Leuschner et al., 2022).”; "As fire temperatures rise, soil microorganisms, invertebrates, and seeds existing in the upper soil layer are more severely affected (Ne’eman et al., 1997). This might possibly result in a reduction in soil productivity and the survival chances of rejuvenating plants as well as an increase in carbon emissions from soil."; "Uncleared stands also act as carbon pools (Gustafsson et al., 2012; Leverkus et al., 2018)."

Bouriaud et al. (2016)

- Überlegungen zu No- und Low-regret-Maßnahmen: Verkürzung der Umtriebszeit nicht nachteilig für Naturschutzziele; Hinweise auf Schwächung der Speicherleistung von Wäldern und weiterer (nicht genauer benannter) Nachteile
- Forstwirtschaftliche Perspektive: Verkürzung der Umtriebszeiten führt zu höherer Produktivität
- Naturschutz-Perspektive: Ökosystemleistungen könnten beeinträchtigt werden, aber Verkürzung der Umtriebszeiten vereinbar mit Naturschutzzielen
- Bezug zu Klimaschutz (Senkenfunktion): "The value of standing wood volume as a mitigation strategy for climate change versus replacing fossil fuel products by wood remain under debate (Nabuurs et al. 2007; Naudts et al. 2016). Forestry fulfils the social demands for wood, fibre and energy, and therefore is a key component in the climate negotiations. According to Paris protocol, national emissions are balanced by the forest sink including forest products (i.e. the harvested wood). The higher contribution to the wood market in D overtops the higher standing biomass in RO about by factor 2. Thus, the climate mitigation effort via replacing fossil fuel increases with management."; "It is worth considering if the situation in Romania could be changed. The basis for a mitigation policy would be to support “future trees” and reduce stand density in an early stage, since it would improve productivity according to our results. This would provide more wood to the market without depressing the forest stock. However, these objectives cannot be reached by the forest manager without a legal basis. It is mainly the current technical norms that prohibit mitigation in Romania."; "Thus, it is not only the prescriptions upon thinning in the earlier age but also the “freeze” between 100 and 125 years that hinder mitigation. In addition, the management plans should not perpetuate existing growth rates, but be based on achievable growth under best practice of management, and the burden of proof for sustainability needs to be brought by local management and not by the government. In summary mitigation must start at the governmental regulations and constraints. The problems that were presented here for Romanian forests may exist in other regions of the world and may be considered globally in countries with constrained management rules as well as countries having experienced historic over-use."; "Even though our study is based only on two intensively studied sites and on two national inventories, we like to point out that the implications go far beyond Romania and Germany. The “cut and leave”- type of management (Schulze et al. 2014) is

probably true for most of the boreal forest globally, and it is probably true for the tropics. Shortening the rotation will result in concerns on Bouriaud et al. Forest Ecosystems (2016) 3:20 the provision of the ecological services including sequestering carbon."

Förster et al. (2021)

- Überlegungen zu No- und Low-regret-Maßnahmen: Durch Waldumbau von Waldkiefer hin zu der Rotbuche neben verbesserte Kohlenstoffbilanz auch eine Verbesserung weiterer Ökosystemdienstleistungen des Waldes (Erhaltung der Biodiversität, Verhütung Waldbrände, Grundwasserneubildung, ...).
- Forstwirtschaftliche Perspektive: Auch unter Dürrebedingungen kann bei gleicher Bestandsgrundfläche ein Buchenbestand mehr Kohlenstoff aufnehmen und in oberirdische Biomasse umwandeln als ein Waldkiefer-Bestand.
- Naturschutz-Perspektive: Mehr Naturnähe und Artenreichtum durch Waldumbau von Kiefern- zu Buchenbeständen
- Bezug zu Klimaschutz (Speicherfunktion, Senkenfunktion): "This landscape-scale assessment shows that the clearing of the native beech and oak forests centuries ago and their eventual replacement by Scots pine forests was associated with a biomass carbon loss in the magnitude of 70 Mg C ha⁻¹; superior biomass carbon accumulation of European beech is clearly reflected in our study by the 1.1 Mg C ha⁻¹ year⁻¹ higher ANPP of the hardwood compared to the conifer stands; We conclude that large-scale forest conversion to Scots pine forests has decreased the aboveground biomass carbon storage by half and the C sequestration potential with aboveground productivity by ~25%".

Diers (2022)

- Überlegungen zu No- und Low-regret-Maßnahmen: Abwägungsentscheidung: Buchen und Kiefern auf unterschiedliche Weise sowohl vorteilhaft und vulnerabel
- Forstwirtschaftliche Perspektive: Buchen und Kiefern auf unterschiedliche Weise vorteilhaft
- Naturschutz-Perspektive: Buchen vorteilhaft, aber vulnerabel
- Bezug zu Klimaschutz (Speicherfunktion, Senkenfunktion): "Regarding the climate warming mitigation potential of pine and beech forests in the study region, it is an important finding that the SOC stocks are on average larger under pine than beech. However, this must be put in relation to the C stock in the aboveground biomass, which is considerably lower in pine than beech. "; "Currently, no reliable statements can be made about the optimal choice of tree species for the predicted climate. It is diversely discussed which tree species will be the right choice in order to both increase biodiversity as well as the climate change mitigation potential (Ammer et al., 2008; Geßler et al., 2006; Leuschner, 2020; Metz et al., 2020)." (both in Conclusion); "Lower SOC pools under beech than pine match the observation of Prietzel (2004) that planting beech in pine stands reduced C storage in the organic layer over 16 to 83 years and resulted in a 5 %

smaller total SOC pool. Beech and pine forests differ in many aspects, which are relevant for SOC accumulation."; "Summing up the C pools in aboveground biomass and in the soil (without roots) gives on average an about 15 % higher ecosystem C storage in the beech than the pine forests (246 Mg C ha⁻¹ vs. 213 Mg C ha⁻¹). This result may help to quantify the consequences for C sequestration of future changes in Scots pine plantation area in the lowlands of northern Central Europe. According to current forestry planning schemes, the area of pine plantations will shrink in northern Germany in future times to give way to more broad-leaved forests (predominantly beech) and Douglas fir (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco) plantations (Anders et al. 2004), which would increase ecosystem C storage."; "In agreement with other studies, it is evident from this study that tree species effects on soil C relations often are closely linked to forest histories and management regimes, which makes it difficult to disentangle biological effects related to productivity, litter chemistry, and root system properties from management effects. This is even more so in large-scale forest soil inventories, where a strong interaction between tree species and substrate type likely is obscuring tree species effects on soil C storage." (Conclusion); "It is hypothesized that conversion to drought-resistant oak forests will result in a species-specific reduction in aboveground C storage capacity compared to beech forests (Kasper et al., 2021)." (Conclusion)

Nagel et al. (2023)

- Überlegungen zu No- und Low-regret-Maßnahmen: Ungenutzte Wälder sind über lange Zeit sowohl effektive C-Senken als auch C-Speicher.
- Forstwirtschaftliche Perspektive: Ungenutzte Wälder sollten in eine "Climate-smart Forestry" integriert werden.
- Naturschutz-Perspektive: "In the light of the efforts to mitigate climate change and the heated discussion about whether to set aside forest to natural development or not, it is important to consider that how we manage forests is not only relevant to climate change, but also to biodiversity, ecosystem functions and cultural values".
- Bezug zu Klimaschutz (Speicherfunktion, Senkenfunktion): "The coming decades are critical for climate change mitigation. According to the current state of knowledge, unmanaged forests can reliably sequester and store carbon from the atmosphere within a limited timeframe and the constraints of their natural carrying capacity (Keith et al., 2009). Our results suggest, that this timeframe is at least 50 years long. Over time, the sink function diminishes and naturally developing forests become a passive, but stable carbon storage (Nord-Larsen et al., 2019; Stillhard et al., 2022)."; "According to Gleixner et al. (2009), broadleaved forests tend to store a higher fraction of carbon in deeper layers. Nevertheless, this is only an indication toward negative effects from forest management, but not for a persistent carbon sink in the soil of unmanaged forests."; "We found independent effects for both TSA and stand age on carbon storage in even-aged, beech dominated stands. The positive linear relationship of TSA on carbon storage for the first 50 years after the end of forest management is consistent with results based on real

time series (Meyer et al., 2021)."; "The positive effect of an increasing share of beech on carbon storage in living biomass is in line with findings by Meyer et al. (2021), where pure beech stands reached higher levels of biomass as well as higher net increment in biomass than mixed forest types."; "The effect of soil texture (i.e., clay content), was found to have a pronounced effect on carbon storage in the mineral soil (Grüneberg et al., 2019), however these criteria were not determined for our samples. A strong influence of soil type on carbon storage was also documented for primeval beech forests (Pichler et al., 2021)."; "After abandonment, the canopy closes and the mineralization rate decreases, due to lower surface temperatures. In turn, the storage in the organic layer increases, but the input to the mineral soil is reduced and its carbon stock decreases, due to continuing mineralization and carbon leaching."; "However, in paired plot studies (i.e., forest reserve vs. adjacent managed forest) no significant differences regarding carbon storage in the topsoil were found between managed and lately unmanaged (TSA > 40; Mund, 2004; Krueger et al., 2017; Nord-Larsen et al., 2019) or even primeval beech forests"; "We found that aboveground carbon storage increased significantly over time for approximately 50 years."; The descending aboveground carbon storage with high stand age (Table 2; age class 201 – 240 yr.) and the high standard deviation in old stands (stand age + 240 yr.) may indicate the onset of the terminal phase and overmaturing trees, with the associated structural changes."; "Overall, when comparing carbon storage levels of our sites, including the old beech sites, to data from primeval forests it seems reasonable to assume that, after fast initial growth, the carbon stock stabilizes already at early stages of natural forest development (Molina-Valero et al., 2021), at a level relatively close to the site-specific carbon carrying capacity"; "We found a linear increase of the carbon storage over the first 50 years after abandonment."

4 Diskussion

4.1 Befunde der Studien zu Waldzustandsänderung, Vulnerabilität, Resistenz und Resilienz im Vergleich unterschiedlicher Nutzungsformen

Über alle vier Haupt-Fragestellungen hinweg liegen die gewichteten Durchschnittswerte im positiven Bereich (sogenannte 'Zustimmung'). Das bedeutet, dass die Studien mehrheitlich zum Befund gelangen, dass eine naturnähere oder extensivere Bewirtschaftung dem Waldzustand, der Resistenz, der Resilienz und einer Senkung der Vulnerabilität im Klimawandel förderlich ist.

Die relativ stärkste Zustimmung existiert für eine naturnähere oder extensivere Bewirtschaftung zur Senkung der Vulnerabilität von Waldökosystemen im Klimawandel (Fragestellung 2). Sie erreicht als Einzige auch den Wert von 0,5 und damit die Untergrenze für 'leichte Zustimmung'.

Dabei streuen die Befunde für alle Haupt-Fragestellungen stets über die gesamte Bandbreite der möglichen Ergebnisse (sogenannte 'Häufigkeit'). Sie reichen vom statistisch signifikanten, deutlich besseren Abschneiden naturnäherer oder extensiverer Nutzungsformen über schwächere Unterschiede und neutrale Ergebnisse bis zum deutlich besseren Abschneiden von naturferneren oder intensiveren Nutzungsformen. Diese Streuung führt zu hohen Standardabweichungen, die für alle Haupt-Fragestellungen im Bereich eines 'geringen Konsens' liegen.

Der Klimawandel zeigt sich in einer Vielzahl von Phänomenen. In unserer Analyse haben wir diese Vielfalt, die von langfristigen Veränderungen der Temperatur und der Niederschläge bis zu meteorologischen Extremereignissen reicht, erfasst. Zu den bedeutsamen Extremereignissen in Mitteleuropa der letzten drei Jahrzehnte zählten lange und heftige Dürreperioden. Es gibt außerdem Anzeichen einer zunehmenden Häufung dieser Dürreperioden. Vor diesem Hintergrund lohnt sich eine Zusammenschau derjenigen Studien, die sich mit der Wirkung von Dürren auf Waldökosysteme und ihrer Reaktion beschäftigen. Wie zu erwarten, widmet sich ein umfänglicher Teil der Studien dieser Fragestellung (und zwar gut die Hälfte, gemessen am Pool der Vergleichspaare). Im Ergebnis ergibt sich ein schwaches Übergewicht von Befunden zugunsten naturnäherer bzw. extensiverer Nutzungsformen. Dieses Übergewicht ist (verglichen mit den hauptsächlichen Fragestellungen 1-4) höchstens schwach überdurchschnittlich. Auch der Konsenswert ist lediglich 'gering'. Die extremen dürrebedingten Stresssituationen waren also bisher nicht besser als andere klimawandelgetriebene Expositionsänderungen geeignet, Vorteile und Nachteile bestimmter Bewirtschaftungsformen herauszustellen. Hierin könnte ein Hinweis darauf liegen, dass neben der Analyse von Dürrewirkungen andere Betrachtungsweisen keinesfalls vernachlässigt werden sollten.

Im Pool der ausgewerteten Vergleichspaare ist die Untergruppe der 'abgeleiteten' Vergleichspaare enthalten. Diese sollen im Folgenden gesondert betrachtet werden. Dabei handelt es sich im Wesentlichen um Vergleichspaare von Waldbeständen, die von standörtlich bedingten Unterschieden gekennzeichnet sind. Es ergibt sich, dass der gewichtete Durchschnitt der Befunde für abgeleitete Vergleichspaare höher liegt als derjenige für direkte Vergleiche unterschiedlicher Nutzungsformen. Wiederum bezogen auf den Einfluss von Nutzungsformen auf die Vulnerabilität von Waldökosystemen im Klimawandel erreicht die Zustimmung einen Wert, der schon deutlich im Bereich von (leichter) Zustimmung liegt (Fragestellung 2). Ebenfalls anders als bei Aggregationen aus dem gesamten Pool der Vergleichspaare (siehe oben), sind die Standardabweichungen hier geringer und zeigen für alle Fragestellungen immerhin einen 'mäßigen Konsens' an.

Waldbestände, die an vergleichsweise kühlen und feuchten Standorten existieren (etwa an einem Nordhang, in einer Gebirgslage oder im nördlichen Teil des Areals der dominierenden Baumart) schneiden also deutlich besser ab als Bestände auf der gegenüberliegenden Seite des ökologischen Gradienten (Südänge usw.). Dies belegt die allgemeine Bedeutung standörtlicher Faktoren für das Funktionieren von Waldökosystemen. Das gilt auch für ökologische Stresssituationen, wie sie der Klimawandel erzeugt. Faktoren wie das regionale Klima oder Topografie lassen sich durch ein Waldmanagement im Lokalen dabei kaum wirkungsvoll

beeinflussen. Die Möglichkeiten zur Regulierung des Mikroklimas (und teilweise auch des Mesoklimas) durch das Waldmanagement sind jedoch beträchtlich. Dies zeigen auch die Ergebnisse der hier diskutierten Analyse. Waldbewirtschaftende und andere Entscheidungstragende können sich durch die Ergebnisse aus der Betrachtung standörtlich differenzierter Vergleichspaare darin bestärkt sehen, dass konsequentes Bewirtschaften zur Förderung etwa eines kühl-feuchten Mikroklimas zu merklichen Ergebnissen führen kann. Das schließt die Option des Nutzungsverzichts und der Überlassung in die natürliche Entwicklung hin zu alten und strukturreichen Wäldern ein (siehe unten). Andersherum geben diese Ergebnisse einen Hinweis darauf, dass einem Ignorieren des Schicksals von Waldökosystemen an Standorten, die sich im Klimawandel als ungünstig erweisen, Risiken innewohnen. Die Betrachtung der 'abgeleiteten' Vergleichspaare lässt die allgemeinen Lehren aus der angestellten Analyse also noch einmal deutlich hervortreten.

Ein Schwerpunkt der vorliegenden Analyse sind Studien über nicht-bewirtschaftete (und damit weit überwiegend auch alte) Wälder (siehe auch Kap. 3.4: Überlegungen in den Studien zu No- oder Low-regret-Maßnahmen). Nach Maßgabe der Gesamtheit der ausgewerteten Studien entwickelt Nichtnutzung im Vergleich zu Formen der Waldnutzung eine überdurchschnittliche Wirkung auf das fortgesetzte Funktionieren von Waldökosystemen im Klimawandel. Der Zustimmungswert liegt recht deutlich im Bereich (leichter) Zustimmung, bei einem Konsens an der Grenze zwischen 'mäßig' und 'gering'.

Der Klimawandel beschleunigt sich und mit dieser Beschleunigung verstärken sich auch seine Wirkungen. Darum haben wir versucht, mögliche zeitliche Verschiebungen in den Befunden des ausgewerteten Literaturkorpus auszumachen. Tatsächlich deutet sich eine Verschiebung in Richtung günstigerer Ergebnisse für naturnähere oder auch extensivere Nutzungsformen an. Nachdem die Studien der ersten Hälfte des Betrachtungszeitraums (2015-2010) im Durchschnitt zu einem praktisch exakt unentschiedenen Gesamtergebnis gelangen, zeigen die Studien der zweiten Hälfte eine deutlich erkennbare Tendenz, ausgedrückt durch einen Wert (leichter) Zustimmung, zum Vorteil naturnäherer oder auch extensiverer Nutzungsformen. Innerhalb des kurzen Betrachtungszeitraums könnte sich hier eine Wende in den Untersuchungsergebnissen abzeichnen. Der beschriebene Shift könnte sich zum einen daraus erklären, dass sich die Schwerpunkte der unternommenen Untersuchungen verschoben haben. Es sollte zum anderen aber auch in Betracht gezogen werden, dass dieser Shift mit dem Fortschreiten des Klimawandels und seiner Wirkungen auf die Wälder zusammenhängt. Mit der Verschärfung der Klimakrise könnten die Vorteile bestimmter Nutzungsformen nunmehr deutlicher zu Tage treten.

Die voranstehend erörterten Einsichten sollten dazu anregen, das Potenzial des natürlichen Klimaschutzes weiter zu erforschen. Unsere Ergebnisse weisen darauf hin, dass eine Klimaschutzpolitik auf der Grundlage natürlicher Systeme effektiv sein könnte.

4.2 Überlegungen in den Studien zu No- oder Low-regret-Maßnahmen

„No-regret“-Maßnahmen sind solche, die unter Berücksichtigung von bestehenden Unsicherheiten bezüglich der zu erwartenden klimatischen Veränderungen zu möglichst keinen negativen, sondern positiven ökologischen, ökonomischen bzw. gesellschaftlichen Effekten führen, egal welche Szenarien eintreten (Definition: DLR, schriftl. in den „Vertragsunterlagen“). Als „Low-regret“-Maßnahmen könnte man solche Maßnahmen auffassen, für die nur geringfügige negative Effekte eintreten dürften.

Das heißt auch, dass eine Waldmanagementmaßnahme auch dann eine No-regret- oder Low-regret-Option sein kann, wenn sie zu kurzfristigen finanziellen Einbußen, etwa eines Forstbetriebes, führen könnte. No- und Low-regret-Optionen können also mitunter durchaus auf unmittelbare Akzeptanzprobleme stoßen.

Bezogen auf das Waldmanagement im Klimawandel handelt es sich nur dann um No- oder Low-regret-Maßnahmen, wenn sie eine Funktion des Waldökosystems langfristig erhalten, ohne eine andere Funktion langfristig zu gefährden. So könnten bei einer Massnahme z.B. ökonomische Ziele wie die Sicherung der Bereitstellungsfunktion des Waldes (Holznutzung) einhergehen mit der Erhaltung von Biodiversität.

Bei den No- und Low-regret-Maßnahme können aus Sicht der Entscheidenden naheliegenderweise zwei unterschiedliche Perspektiven eingenommen werden: eine forstwirtschaftliche Perspektive, die das Bewirtschaftungsinteresse, meist geknüpft an Holzbereitstellung und ökonomische Ziele wie Zuwachsstörungen und eine möglichst große Senkenleistung für den Klimaschutz, betonen und eine Naturschutzperspektive, mit z.B. einem Interesse an der Erhaltung der biologischen Vielfalt oder des Landschaftswasserhaushaltes.

Beiden Perspektiven ist das Interesse an der Erhaltung der Waldökosysteme an sich als Voraussetzung für die Erreichung der jeweiligen Ziele gemeinsam. Selbstverständlich erkennen die meisten Vertreter der beiden Perspektiven auch die Legitimität der Interessen der jeweils anderen Perspektive grundsätzlich an und unterstützen diese auch, insoweit die eigenen Interessen dadurch nicht gefährdet sind. Daraus folgt auch, dass beide Perspektiven übereinstimmend die Bereitstellung anderer Ökosystemleistungen wie z.B. Erosionsschutz, Trinkwasserreinigung oder Kühlung der Landschaft befürworten. Nicht zuletzt konvergieren beide Perspektiven darin, dass ein effektiver Klimaschutz von vordringlicher Bedeutung ist.

Dass der Fortbestand funktionierender Waldökosysteme und effektiver Klimaschutz aus beiderlei Perspektiven unterstützt wird, bedeutet zwingend auch, dass für einen effektiven Klimaschutz die Speicherleistung und Senkenfunktion der Waldökosysteme gesichert werden muss. Dafür muss ihre Vulnerabilität im Klimawandel möglichst verkleinert werden, ihre Resistenz, Resilienz und Anpassungsfähigkeit an den Klimawandel müssen möglichst gestärkt werden. Auch darüber sind sich Vertreter sowohl der einen als auch der anderen Perspektive einig.

Im Folgenden wird diskutiert, ob und gegebenenfalls wie sich die forstwirtschaftliche Perspektive und die Naturschutz-Perspektive in ihren praktischen Vorstellungen, wie diese Ziele zu erreichen seien, unterscheiden.

4.2.1 No-oder Low-regret-Maßnahmen: allgemein

Knapp 40 Prozent der ausgewerteten Studien stellen Überlegungen zu No- oder Low-regret-Optionen an. Keine einzige der untersuchten Studien verwendet jedoch die Begriffe „no regret“ oder „low regret“. Das Konzept der No- oder Low-regret-Option ist in der Forschung zu Wald im Klimawandel also überraschend wenig gebräuchlich, zumindest nicht systematisch-konzeptionell. Dies ist bedauerlich, wo doch gerade in der Waldbehandlung bzw. Waldbewirtschaftung bereits jetzt teilweise unter Unsicherheit Maßnahmen getroffen werden könnten mit einer langfristig unschädlichen oder zumindest wenig schädlichen Auswirkung auf die Waldökosysteme. Dieser ‘no-bzw. low-regret-Aspekt’ sollte demnach bei der Umsetzung von Maßnahmen zur Erhöhung der Anpassungskapazität und der Verbesserung der Klimaschutzfunktion der Wälder zukünftig stärker Berücksichtigung finden.

4.2.2 No-oder Low-regret-Maßnahmen: Abwägungsentscheidungen

Die hier relevanten Studien zeigen, dass keine Baumartenmischung ohne Nachteile ist (Vitali et al. 2018). Sowohl Buchen als auch Kiefern, um zwei der untersuchten Hauptbaumarten in Deutschland zu nennen, haben sowohl artspezifische positive Eigenschaften als auch Vulnerabilitäten (Bedeutung der so-genannten species identity) (Diers 2022). So zeigen Buchenbestände einerseits mehr Naturnähe und Artenreichtum, fallen jedoch gegenüber Nadelbaumbeständen bei der Bereitstellung von anderen Ökosystemleistungen wie der Senkenleistung durch ein geringeres Wachstum, vor allem in der Jugend- und Optimalphase zurück (Glatthorn et al. 2023). Alle Baumarten zeigen gleichwohl in stressfreien Jahren ein besseres Wachstum im Vergleich zu Dürrejahre (Debel et al. 2021).

Nach Meinung mancher Autoren besteht ein Trade-off zwischen der Förderung der Senkenleistung junger Bestände und der Erhöhung der Resistenz vor allem älterer, strukturreicherer Bestände durch mikroklimatische Pufferung (Norris et al. 2012). Es wird vorgeschlagen, dass das Wachstum von jungen Buchen-Wäldern durch Konkurrenzregelung gefördert werden kann (die Bestände dürfen also nicht zu dicht werden), andererseits kann das Waldmikroklima durch extensive Eingriffe und Schonung in älteren Beständen erhalten werden (Weigel et al. 2023). Dabei fördern naturnahe Bewirtschaftungsmethoden wie die natürliche Ansaat im Verjüngungsstadium und der Verbleib von Hinterlassenschaften des Vorbestandes wie Schlagabraum die Stabilität des Ökosystems, andererseits kann dies zu Effizienzverlusten bei kurzfristigen forstwirtschaftlichen Zielen führen (Blumröder et al. 2022). Alles, was die Kühlungsfunktion des Waldes auf Landschaftsebene erhält (wie Pufferzonen um strukturreiche

Naturwälder), ist zu begrüßen, ist aber mit forstwirtschaftlich-ökonomischen Interessen abzuwägen (Adhikari et al. 2024).

4.2.3 No-oder Low-regret-Maßnahmen: Baumartenwahl

Die Vorteilhaftigkeit einer Baumart für die Anpassung unserer Wälder an den Klimawandel wird häufig unterschiedlich eingeschätzt. Keine Baumart oder Baumartenmischung wird als ohne Nachteile angesehen (Vitali et al. 2018). Eine Ausnahme bildet der Anbau der Fichte, die konsistent als nicht günstige Option angesehen wird. Buchen und Kiefern sind auf unterschiedliche Weise sowohl vorteilhaft und vulnerabel (Diers 2022). So zeigen Buchen in stressfreien Jahren einerseits ein gutes Wachstum, andererseits in Dürrejahre eine ausgeprägte Vulnerabilität (Debel et al. 2021). Buchenbestände sind einerseits naturnäher und artenreicher, andererseits werden spezifische Waldleistungen wie die Verbesserung der Klimaschutzfunktion von Nadelwäldern besser bereitgestellt (Glatthorn et al. 2023).

Die Low- und No-regret-Maßnahme bei der Baumartenwahl beziehen sich vor allem auf die Risikostreuung durch Berücksichtigung von Mischbaumarten (z.B. Buche und Weißtanne) beim Umbau von instabilen, vulnerablen Fichtenwäldern (z.B. Bosela et al. 2018). Im Folgenden werden der Umbau von naturferneren Reinbeständen zu naturnäheren Mischbeständen und der Umbau von naturnahen Reinbeständen zu naturferneren Mischbeständen unterschieden.

Die Empfehlungen zu einem Umbau von künstlich begründeten Reinbeständen aus nicht (standort-) heimischen Koniferen wie Fichte oder Douglasie hin zu Mischwäldern sind eindeutig. Mischbestände zeigen häufig ein besseres Wachstum als Reinbestände (Monokulturen) (Schwarz, Bauhus 2019). Neben der Erhöhung der Baumartenvielfalt (species richness) geht damit meist auch eine Erhöhung der Strukturvielfalt einher (Obladen et al. 2021). Dabei wird durch Beimischung z.B. der Buche in Kiefernwäldern unter anderem durch den so genannten overyielding-Effekt (Zuwachs im Mischwald ist grösser als die Summe der flächengewichteten Baumartenzuwächse) die Kohlenstoffbilanz (Senkenfunktion des Waldes) verbessert als auch zahlreiche andere Ökosystemleistungen des Waldes (wie z.B. Erhaltung der Biodiversität, Verminderung der Auswirkungen von Waldbränden, Verbesserung der Grundwasserneubildung) (Förster et al. 2021).

Zu stark widerstreitenden Befunden kommen die Studien demgegenüber bei der Frage, ob auch natürliche Reinbestände wie z.B. aus Buchen künstlich zu Mischbeständen umgebaut werden sollten. Buchenbestände, denen im begrenzten Maße Douglasien beigemischt sind, zeigen bei verringertem Bodenwasserhaushalt eine höhere Resilienz des Wachstums gegenüber Dürreereignissen als Buchenbestände mit einer Beimischung von Fichten (Hackmann et al. 2024).

Die Beimischung von Douglasien in Buchenbeständen wird vielfach als vorteilhaft und unschädlich gesehen (Metz et al. 2016).

Dabei werden die Vorteile der Douglasie allerdings in der einen oder anderen Studie relativiert (z.B. Miller et al. 2022). Zusätzlich ist anzumerken, dass eine bedeutende Zahl von Studien zu ungünstigen Befunden betreffs des Umbaus natürlicher Reinbestände durch die Beimischung von Koniferen, wie zum Beispiel von Douglasien, gelangen (z.B. Norris et al. 2012, Dziedek et al. 2016, Rais et al. 2020; siehe Steckbriefe). Dass die Beimischung von Douglasien in natürlichen Laubwäldern ohne Einwände als No- oder Low-regret-Empfehlung gelten kann, ist also durch die Auswertung des Literaturkorpus nicht gestützt. Möglicherweise hängen Intensität und auch die Richtung (positive oder eher negative Wirkung) des Einflusses einer Douglasienbeimischung in natürliche Reinbestände vom quantitativen Umfang der Beteiligung dieser Baumart ab.

Die Erhaltung der Baumartenvielfalt, einschließlich nicht-standortheimischer Provenienzen und Arten, und die Strukturvielfalt erhöhen die Resilienz (Uhl et al. 2021). Trockenstresstolerante Baumarten (Douglasie, Weißtanne) sollten Fichten ersetzen, zuerst an trockenstressexponierten Standorten (Vitali et al. 2017). Nach Schwenke et al. (2023) fördert der Umbau mit Laubbäumen vor allem die Bodenbildung und eine strukturreiche bodennahe Vegetation. Auch die Eiche kann ihre produktive Funktion in mehrschichtigen Mischwäldern ausfüllen (Stimm et al. 2022). Der Artenreichtum bestimmter taxonomischer Gruppen wie beispielsweise von Spinnen und ihre ökologische Rolle wird durch den Waldumbau hin zu Laubmischwäldern (also den Ersatz von Fichten durch Laubbäume und Douglasien) nicht beeinträchtigt (Matevski 2022).

4.2.4 No-oder Low-regret-Maßnahmen: Bewirtschaftungspraktiken

Als wichtige Low- bzw. No-regret-Maßnahme zur Resilienzsteigerung wird die generelle Erhöhung der Strukturvielfalt in Wäldern genannt (Uhl et al. 2021) und die Förderung bzw. der Erhalt eines intakten Bodens mit einer strukturreichen bodennahen Vegetation (Schwenke et al. 2023). Zu den strukturfördernden Maßnahmen zählen Mehrschichtigkeit (Stimm et al. 2022), die Belassung von Totholz (Blumroeder et al. 2022; Cours et al. 2021), sowie die Schonung von ausreichend Bäumen unterhalb der durchforsteten herrschenden Schicht (Mathes et al. 2023). Kalamitätsflächen sollen zumindest teilweise nicht beräumt und der freien Sukzession überlassen werden, neben den genutzten Kalamitätsflächen (Plath et al. 2025; Plath et al. 2024).

Weitere low-regret-Maßnahmen sind Naturverjüngung (Beloïu et al. 2022) für einen weitgehend ungestörten Anwuchs der Bäume, was die Wurzel Ausbildung angeht (Blumroeder et al. 2022). Einerseits wird empfohlen, Wälder aktiv zu nutzen (auszudünnen), um deren Resistenz zu erhöhen (Stimm et al. 2021) oder die Senkenleistung durch Wachstumsstimulation zu fördern (Weigel et al. 2023), auf der anderen Seite soll extensives Management Stress generell reduzieren

(Pollierer et al. 2015). Biomassereichere Wälder ermöglichen mikroklimatische Pufferung und damit eine höhere Resistenz (Weigel et al. 2023; Norris et al. 2012). In diesem Zusammenhang spielen weitgehend geschlossene Kronendächer eine wichtige Rolle (Mathes et al. 2023). Auch die Verringerung der Randeffekte und die Waldrandbehandlung könnte helfen, Vulnerabilitäten zu reduzieren (Buras et al. 2018).

4.2.5 No-oder Low-regret-Maßnahmen: Landschaftsbezogene Maßnahmen

Neben den bestandesbezogenen Maßnahme zu Erhöhung der Resistenz / Resilienz können auch Maßnahme auf Landschaftsebene positive Effekte bewirken. Generell befördert eine Matrix möglichst naturnaher Wälder innerhalb von genutzten Wäldern die Diversität und Stabilität auf Landschaftsebene (Weiss et al. 2024).

Die Zonierung grosser Kalamitätsflächen in beräumte Flächen und solche, bei denen Totholz, Dürrständer und Feinreisig auf der Fläche verbleiben und eine natürliche Sukzession befördert wird (Plath et al. 2024, 2025), hilft natürliche Entwicklungen in Gang zu setzen hin zu mehr Resistenz oder auch Resilienz. Auch Pufferzonen um nicht genutzte Wälder können positive Wirkungen auf das Mikroklima entfalten und zur Landschaftskühlung beitragen (Adhikari et al. 2024). Die Verringerung der Grundwassernutzung kann einen Beitrag dazu leisten, den Landschaftswasserhaushalt zu stabilisieren (Skiadaresis et al. 2019).

Eine präventive Massnahme zur Stabilisierung von Waldökosystemen ist sicher auch die Reduktion von externen Umweltbelastungen wie Stickstoffemissionen mit einer entsprechenden Empfehlung an die Politik (Dietrich et al. 2025).

4.2.6 No-oder Low-regret-Maßnahmen: Abwägung der forstwirtschaftlichen Perspektive und der Naturschutz-Perspektive

Indem die Auswirkungen einer Maßnahme in alle Richtungen überdacht werden, ergibt sich die Chance auf gute Umsetzbarkeit (Akzeptanz, Synergien mit anderen Zielen u.ä.). Daher verdienen No- und Low-regret-Maßnahmen, die sowohl aus der forstwirtschaftlichen Perspektive als auch aus der Naturschutz-Perspektive abgewogen werden, besondere Aufmerksamkeit. Im Folgenden soll betrachtet werden, wie sich Studien im Rahmen ihrer Überlegungen zu No- und Low-regret-Maßnahmen diesem Thema annähern.

Die forstwirtschaftliche Perspektive bei der Identifikation von aktiven Bewirtschaftungsmaßnahmen stellt meist Fragen der Wiederbewaldung und der Risikoreduktion sowie des Wachstums in den Fokus, während die Naturschutzperspektive Aspekte der Biodiversität und Resilienz in den Blickpunkt nimmt (Blumröder et al. 2022). Oft lässt sich durch

eine räumlich getrennte Vorgehensweise (etwa im Wege einer Zonierung) eine Optimierung beider Aspekte erreichen, wie bei der unterschiedlichen Bereitstellung von Waldleistungen bei kleinflächiger Mischung der Baumarten Buche und Douglasie (Glatthorn et al. 2023) oder bei der Gestaltung von Pufferzonen um Naturwaldflächen (Adhikari et al. 2024). Auch können durch Belassen von Feinreisig, Totholz und Hinterlassenschaften des Vorbestandes in Kombination mit Räumung einer Teilfläche die Effizienz der Wiederbewaldung verbessert werden und gleichzeitig die Resistenz oder auch Resilienz des Ökosystems gesteigert werden (Plath et al. 2024, 2025). Andere Studien sprechen von einer Zielharmonie zwischen beiden Perspektiven, wenn z.B. durch Beimischung sowohl forstwirtschaftliche, produktivitätsorientierte Ziele erreicht werden bei gleichzeitiger Haltung eines Biodiversitätsniveaus (Metz et al. 2016, am Beispiel der Beimischung von Douglasie in Buche, oder Bouriaud et al. 2016, am Beispiel der Reduktion von Umtriebszeiten). Die Beimischung der Buche in Kiefernbestände sichert sowohl Produktivitätsziele als auch die Erhöhung von Artenvielfalt und Resilienz (Förster et al. 2021a). Ganz ähnlich wird mitunter die Buchenbeimischung in Eiche gesehen (Stimm et al. 2022). Auch bei ungenutzten Naturwäldern kann teilweise von einer Zielharmonie ausgegangen werden, wenn sowohl die Speicher- und Senkenfunktionen des Waldes intakt sind als auch gleichzeitig Biodiversitätsaspekte gut berücksichtigt sind (Nagel et al. 2023) oder wenn Naturwälder angrenzende genutzte Waldflächen nicht beeinträchtigen, sondern sie möglicherweise hinsichtlich Resistenz bzw. Resilienz sogar verbessern (Krüger et al. 2025).

4.2.7 No-oder Low-regret-Maßnahmen: Diskussion der potenziellen Klimaschutzwirkung

Einige der ausgewerteten Studien betrachten entweder ausschließlich die Speicherfunktion oder ausschließlich die Senkenfunktion der Wälder. Mithin diskutieren nur drei Studien sowohl die Kohlenstoffspeicherleistung als auch die Senkenleistung der untersuchten Wälder.

Mehrere Studien schlagen vor, dass die Senkenfunktion von Wäldern und damit die Klimaschutzfunktion häufig positiv beeinflusst wird durch eine Beimischung insbesondere von produktiven Baumarten (zum Beispiel Beimischung von Douglasie in Buche, Metz et al. 2016) oder durch andere forstwirtschaftliche Maßnahmen (wie Reduktion von Umtriebszeiten, Bouriaud et al. 2016). Die Beimischung der Buche in Kiefernbestände trägt über die Produktivitätssteigerung zur Klimaschutzfunktion bei, aber auch zu einer Erhöhung von Artenvielfalt und Resilienz (Förster et al. 2021), ähnlich wie die Buchenbeimischung in Eiche (Stimm et al. 2022). Die Klimaschutzfunktion wird dann insbesondere in jungen Wäldern gesteigert, da diese sich in ihrer optimalen Zuwachssphase befinden (Norris et al. 2012); in den älteren Entwicklungsphasen hingegen rücken Resistenz- und Resilienzfragen in den Vordergrund. Ein weiterer Befund stellt rückblickend fest, dass die Umwandlung von naturnahen Laubwäldern zu Kiefernforsten, vor allem in der Phase der Altersklassenwirtschaft des 20. Jahrhunderts, sowohl die Kohlenstoffspeicherleistung als auch die Senkenleistung stark beeinträchtigt hat (Förster et al. 2021). Auch beim reaktiven Störungsmanagement, z.B. nach Feuer, sollte die

Kohlenstoffspeicherfunktion durch z.B. Anbau von Koniferen nicht mehr im Vordergrund stehen, sondern die Begründung von resilienten (pyrophoben) Waldökosystemen (Blumröder et al. 2022). Zu beachten ist zudem, dass die Kohlenstoffspeicherung je nach Baumart unterschiedlich ist hinsichtlich der oberirdischen und unterirdischen Speicherleistung. So haben Buchenbestände eine im Vergleich zu Kiefernbeständen grössere oberirdische C-Speicherleistung, hingegen jedoch eine kleinere C-Speicherung im Boden (Diers 2022). Dies macht die Baumartenwahl bei der Konzeption von Mischwäldern zu einer nicht trivialen Optimierungsaufgabe.

Außerdem wird darauf hingewiesen, dass Wälder in natürlicher Entwicklung sehr große Kohlenstoffspeicher sind und auch noch einige Jahrzehnte nach der Aufgabe der forstwirtschaftlichen Nutzung effektive Kohlenstoffsinken bleiben. Gleichwohl findet nach einiger Zeit eine Abflachung der Kohlenstoffsequestrierung statt, da mit zunehmender Biomasse auch die Mortalität zunimmt und Naturwälder sich einem steady state-Zustand annähern (Nagel et al. 2023). Auch ungenutzte Wälder könnten so Teil einer sogenannten 'Climate-smart forestry'-Strategie sein.

Die Überlegungen zum Klimaschutz zielen meist darauf ab, die Senkenleistung nicht zu maximieren, wenn dadurch Risiken für die Speicherleistung (Nagel et al. 2023) und die Bereitstellung anderer Ökosystemleistungen entstehen. Es geht also eher um Optimierungsansätze verschiedener Ökosystemleistungen im Sinne eines integrativen Managementansatzes.

Neben der Sicherung und, wenn ohne zusätzliche Risiken möglich, Steigerung der Speicher- und der Senkenleistungen des Waldes finden weder der Produktspeicher noch die Substitution, also die Vermeidung von emissionsintensiveren Materialien durch den Einsatz von Holz, explizit Erwähnung.

5 Fazit

Die Einsichten dieser Studie sollten dazu anregen, das Potenzial des natürlichen Klimaschutzes weiter zu erforschen. Unsere Ergebnisse weisen auf die Effektivität dieses Ansatzes hin.

Zuletzt greifen wir die wichtigsten Ziele dieser Studie noch einmal auf und ziehen ein Fazit aus den hier erzielten Erkenntnissen.

Klimaschutz-Maßnahmen als „Low-regret oder als „No-regret“-Optionen und Unterschiede in den Ergebnissen und Schlussfolgerungen im Kontext von Naturschutz und forstlicher Nutzung

Im Rahmen einer systematischen Literaturanalyse sollen die Studien für sich sprechen. Die Identität der Forschenden in Bezug auf ihre wissenschaftliche Community muss ausgeblendet bleiben. Gleichwohl sind die „Instrumentarien“ der forstlichen Nutzung und des Naturschutzes sicherlich grob unterscheidbar:

Typische Vorgehensweisen der forstlichen Nutzung betreffen Maßnahmen wie die Steuerung der Baumartenzusammensetzung durch Pflanzung oder auch die Beeinflussung des Wachstums mittels Durchforstungen und gezieltem Freistellen. Tatsächlich sind manche der vorgeschlagenen No- oder Low-regret-Optionen typische Maßnahmen der forstlichen Praxis.

Demgegenüber umfassen ‚klassische‘ Instrumente des Naturschutzes unter anderem den Artenschutz, den Gebietsschutz und die Landschaftsplanung. Auch für diese Maßnahmen gilt, dass manche der vorgeschlagenen No- oder Low-regret-Optionen solche klassischen Maßnahmen des Naturschutzes repräsentieren.

Hinzu kommen neuere Naturschutzansätze. Hierzu ließen sich nicht zuletzt der Prozessschutz und das Ökosystemmanagement zählen. Auch unter den vorgeschlagenen No- oder Low-regret-Optionen lassen sich Aspekte des Ökosystemmanagements finden.

Wie gezeigt (Kap. 3.3.3, Kap. 4.2), stellt letztlich nur eine kleine Zahl von Studien Überlegungen zu No- oder Low-regret-Optionen an und diskutiert diese in ihren Implikationen sowohl für den Naturschutz als auch die forstliche Nutzung. Auch wo dies versucht, ist nicht garantiert, dass Vorteile und Nachteile aus der einen Perspektive und die Vorteile und Nachteile aus der anderen Perspektive umfänglich rezipiert und ernsthaft erwogen werden. Nur wenige Studien nehmen beide Perspektiven gleichermaßen ernst. Und gerade dann folgt nicht automatisch der Schluss, dass forstwirtschaftliche und Naturschutzinteressen ohne Weiteres vereinbar sind. Hier deuten sich Akzeptanzprobleme für manche No- oder Low-regret-Optionen an.

Bis auf Weiteres scheinen diejenigen Vorschläge das geringste ‚Regret-Potenzial‘ und gleichzeitig die beste Akzeptanz auf sich zu vereinigen, die auf vorsichtige Maßnahmen (im Sinne von ‚precaution‘) setzen. Beispiele lassen sich unter anderem beim behutsamen Umsteuern in den Bewirtschaftungspraktiken finden (Schonung des Bodens und des Grundwassers, Kronendachschluss und anderes). Eine andere Gruppe umfasst landschaftsbezogene Maßnahmen wie den Gebietsschutz oder die landschaftsplanerische Zonierung der genutzten Landschaft. Während das Einbringen nicht-standortheimischer Bäume in naturnahe Waldbestände an sich als

Low-regret-Option kontrovers diskutiert wird, ist das ‚Regret-Potenzial‘ einigermaßen niedrig und ist die Akzeptanz einigermaßen hoch, solange die naturnahe Baumartenzusammensetzung nur geringfügig verändert wird.

Geographische Schwerpunkte in der Forschung

Die räumliche Verteilung der in unserer Übersichtsarbeit erfassten Untersuchungsgebiete entspricht recht gut der Waldverteilung in Deutschland (aufgeteilt in die Bundesländer; Kap. 3.3.1). Damit ziehen große und walddreiche Bundesländer einen Großteil des Forschungsinteresses auf sich. Das sind in vielen Fällen zugleich Bundesländer mit wichtigen Waldforschungsstandorten (vor allem forstwissenschaftliche Fakultäten, Hochschulen, forstliche Versuchsanstalten). Eine Aufweitung des Literaturkorpus in Verbindung mit einer Analyse der exakten Lage der Untersuchungsgebiete im Vergleich zu verschiedenen relevanten klimatischen oder ökologischen Merkmalen (Lage in Mittelgebirgen, Differenzierung nach Ökoregionen etc.) waren im Rahmen dieser Kurzstudie nicht möglich, wären aber vielleicht lohnenswert.

Schwerpunkte der Waldnutzungsformen in der Forschung

Wälder aus Naturverjüngung und Wälder aus Saat oder Pflanzung spielen in den ausgewerteten Studien gleichrangige Rollen (Kap. 3.3.1). Ungenutzte Wälder (als Teil der Wälder aus Naturverjüngung) machen ein knappes Fünftel aus. Damit sind ungenutzte Wälder im analysierten Literaturkorpus im Verhältnis zu der Fläche, die sie in Deutschland einnehmen, überrepräsentiert. Als natürliche Referenzökosysteme für natürliche Prozesse könnte man sich gleichwohl ein noch größeres Forschungsinteresse wünschen. Die Ausweitung der Fläche ungenutzter Wälder wird intensiv diskutiert. Aber zumindest als Referenzökosysteme für die wissenschaftliche Forschung besteht sicherlich ein Bedarf an mehr und größeren Flächen. Nicht zuletzt gelangt unsere systematische Literaturübersichtsarbeit außerdem zu dem recht klaren Befund, dass die Nichtnutzung Wälder angesichts des sich beschleunigenden Klimawandels in eine vergleichsweise günstige Position bringt (Kap. 3.3.2).

Die Methode der Vergleichspaarbildung ermöglicht eine sehr fein differenzierte Analyse von Nutzungsformen, auch innerhalb der vordefinierten (breiten) Klassen. Tatsächlich reflektieren die Studien eine bedeutende Vielfalt von Waldnutzungsformen. Die Analyse von Nutzungsformen stößt jedoch dort auf Grenzen, wo die Bestandesbeschreibungen in den Studien oberflächlich oder lückenhaft sind. Manche interessanten Fragen müssen so unbeantwortet bleiben. Beispielsweise dokumentieren viele Studien nicht, ob die untersuchten Bestände in Altersklassen oder als Dauerwald bewirtschaftet werden.

6 Literaturverzeichnis

Abdullah, H., Neinavaz, E., Darvishzadeh, R., Huesca, M., Skidmore, A.K., Lindeskog, M. et al, 2025. Integrating process-based vegetation modelling with high-resolution imagery to assess bark beetle infestation and land surface temperature effects on forest net primary productivity. *Remote Sensing Applications: Society and Environment* 37, 101499. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2025.101499>.

Adhikari, Y., Bachstein, N., Gohr, C., Blumröder, J.S., Meier, C., Ibisch, P.L., 2024. Old-growth beech forests in Germany as cool islands in a warming landscape. *Scientific Reports* 14, 30311. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-81209-0>.

Akinyede, R., Taubert, M., Schrumpf, M., Trumbore, S., Küsel, K., 2022. Temperature sensitivity of dark CO₂ fixation in temperate forest soils. *Biogeosciences* 19, 4011–4028. <https://doi.org/10.5194/bg-19-4011-2022>.

Annighöfer, P., Beckschäfer, P., Vor, T., Ammer, C., 2015. Regeneration Patterns of European Oak Species (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl., *Quercus robur* L.) in Dependence of Environment and Neighborhood. *PLoS ONE* 10, e0134935. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0134935>.

Bantis, F., Graap, J., Fruchtenicht, E., Bussotti, F., Radoglou, K., Brüggemann, W., 2021. Field performances of mediterranean oaks in replicate common gardens for future reforestation under climate change in central and southern europe: First results from a four-year study. *Forests* 12, 678. <https://doi.org/10.3390/f12060678>.

Beloïu, M., Stahlmann, R., Beierkuhnlein, C., 2022. Drought impacts in forest canopy and deciduous tree saplings in Central European forests. *Forest Ecology and Management* 509, 120075. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2022.120075>.

Berberich, G.M., Berberich, M.B., 2023. A Re-Inventory after 12 Years—Increase in Red Wood Ant Nests and Woodpecker Cavities in Nests in the West Eifel Volcanic Field despite Climatic Changes. *Forests* 14, 985. <https://doi.org/10.3390/f14050985>.

Blumroeder, J.S., Schmidt, F., Gordon, A., Grosse, S., Ibisch, P.L., 2022. Ecosystemic resilience of a temperate post-fire forest under extreme weather conditions. *Front. For. Glob. Change* 5, 1070958. <https://doi.org/10.3389/ffgc.2022.1070958>.

Borchard, N., Adolphs, T., Beulshausen, F., Ladd, B., Giesselmann, U.C., Hegenberg, D. et al, 2017. Carbon accrual rates, vegetation and nutrient dynamics in a regularly burned coppice woodland in Germany. *GLOBAL CHANGE BIOLOGY BIOENERGY* 9, 1140–1150. <https://doi.org/10.1111/gcbb.12408>.

Bosela, M., Lukac, M., Castagneri, D., Sedmák, R., Biber, P., Carrer, M. et al, 2018. Contrasting effects of environmental change on the radial growth of co-occurring beech and fir trees across Europe. *The Science of the total environment* 615, 1460–1469.

<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.09.092>.

Bouriaud, O., Marin, G., Bouriaud, L., Hessenmöller, D., Schulze, E.D., 2016. Romanian legal management rules limit wood production in Norway spruce and beech forests. *Forest Ecosystems* 3, 20. <https://doi.org/10.1186/s40663-016-0079-2>.

Budde, K.B., Hötzel, S., Müller, M., Samsonidze, N., Papageorgiou, A.C., Gailing, O., 2023. Bidirectional gene flow between *Fagus sylvatica* L. and *F. orientalis* Lipsky despite strong genetic divergence. *Forest Ecology and Management* 537, 120947.

<https://doi.org/10.1016/j.foreco.2023.120947>.

Buras, A., Schunk, C., Zeiträg, C., Herrmann, C., Kaiser, L., Lemme, H. et al, 2018. Are Scots pine forest edges particularly prone to drought-induced mortality? *Environ. Res. Lett.* 13, 25001.

<https://doi.org/10.1088/1748-9326/aaa0b4>.

Cocozza, C., Miguel, M. de, Psidova, E., Ditmarova, L., Marino, S., Maiuro, L. et al, 2016. Variation in Ecophysiological Traits and Drought Tolerance of Beech (*Fagus sylvatica* L.) Seedlings from Different Populations. *Frontiers in Plant Science* 7, 886. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00886>.

Cours, J., Larrieu, L., Lopez-Vaamonde, C., Müller, J., Parmain, G., Thorn, S. et al, 2021. Contrasting responses of habitat conditions and insect biodiversity to pest- or climate-induced dieback in coniferous mountain forests. *Forest Ecology and Management* 482, 118811.

<https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118811>.

Debel, A., Foroozan, Z., Haeusser, M., Raspe, S., Bräuning, A., 2024. Assessing intra-annual growth dynamics in climatically contrasting years, sites, and tree species using dendrometers and wood anatomical data. *Frontiers in Forests and Global Change* 7, 1342413.

<https://doi.org/10.3389/ffgc.2024.1342413>.

Debel, A., Meier, W.-H., Bräuning, A., 2021. Climate signals for growth variations of *f. Sylvatica*, *p. abies*, and *p. sylvestris* in southeast germany over the past 50 years. *Forests* 12, 1433.

<https://doi.org/10.3390/f12111433>.

Diers, M., 2022. Comparing northern German Scots pine plantations with natural beech forests: Soil carbon pools and growth dynamics. *Dissertation, Göttingen*.

Dietrich, V., Lauritz, M., Roggenhofer, M.M., Redlin-Weiss, J., Huber, M., Schulte, J. et al, 2024. Drought effects on growth and density of temperate tree regeneration under different levels of nitrogen deposition. *Forest Ecology and Management* 559, 121825.

<https://doi.org/10.1016/j.foreco.2024.121825>.

Dietrich, V., Niederberger, J., Hauck, M., 2025a. Stable isotope inferred intrinsic water use efficiency and its relation to N sources in temperate tree regeneration with increasing levels of N deposition, precipitation, and temperature. *Environmental and Experimental Botany* 232, 106125. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2025.106125>.

Dietrich, V., Niederberger, J., Patriarca, N.E., Becker, M.E., Müller, S., Lorösch, H. et al, 2025b. Combined Effects of Nitrogen Deposition and Climate on Root-to-Shoot Ratios and Root Morphology in Temperate Tree Regeneration. *Ecosystems* 28, 17. <https://doi.org/10.1007/s10021-025-00962-z>.

Dulamsuren, C., Hauck, M., Kopp, G., Ruff, M., Leuschner, C., 2017. European beech responds to climate change with growth decline at lower, and growth increase at higher elevations in the center of its distribution range (SW Germany). *Trees* 31, 673–686. <https://doi.org/10.1007/s00468-016-1499-x>.

Dziedek, C., Härdtle, W., Oheimb, G. von, Fichtner, A., 2016. Nitrogen addition enhances drought sensitivity of young deciduous tree species. *Frontiers in Plant Science* 7, 1100. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.01100>.

Eckhart, T., Pötzelsberger, E., Koeck, R., Thom, D., Lair, G.J., van Loo, M. et al, 2019. Forest stand productivity derived from site conditions: an assessment of old Douglas-fir stands (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco var. *menziesii*) in Central Europe. *Ann. For. Sci.* 76, 19. <https://doi.org/10.1007/s13595-019-0805-3>.

Enderle, L., Gribbe, S., Muffler, L., Weigel, R., Hertel, D., Leuschner, C., 2024. A warmer climate impairs the growth performance of Central Europe's major timber species in lowland regions. *Science of the Total Environment* 941, 173665. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.173665>.

Engel, M., Hagemann, U., Schröder, J., 2025. Long-Term Growth Trends of 18 Native and Non-Native Tree Species Based on Data from Experimental Plots Since 1878 in Brandenburg, Germany. *Forests* 16, 225. <https://doi.org/10.3390/f16020225>.

Felsmann, K., Baudis, M., Gimbel, K., Kayler, Z.E., Ellerbrock, R., Bruehlheide, H. et al, 2015. Soil bacterial community structure responses to precipitation reduction and forest management in forest ecosystems across Germany. *PLoS ONE* 10, e0122539. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0122539>.

Felsmann, K., Baudis, M., Kayler, Z.E., Puhlmann, H., Ulrich, A., Gessler, A., 2018. Responses of the structure and function of the understory plant communities to precipitation reduction across forest ecosystems in Germany. *Annals of Forest Science* 75, 3. <https://doi.org/10.1007/s13595-017-0681-7>.

Förster, A., Culmsee, H., Leuschner, C., 2021a. Thinned northern German Scots pine forests have a low carbon storage and uptake potential in comparison to naturally developing beech forests. *Forest Ecology and Management* 479, 118575. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118575>.

Förster, A., Hertel, D., Werner, R., Leuschner, C., 2021b. Belowground consequences of converting broadleaf to conifer forest: Comparing the fine root systems of European beech and Scots pine. *Forest Ecology and Management* 496, 119457. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2021.119457>.

Glatthorn, J., Appleby, S., Balkenhol, N., Kriegel, P., Likulunga, L.E., Lu, J.-Z. et al, 2023. Species diversity of forest floor biota in non-native Douglas-fir stands is similar to that of native stands. *Ecosphere* 14, e4609. <https://doi.org/10.1002/ecs2.4609>.

Gossner, M.M., Falck, K., Weisser, W.W., 2019. Effects of management on ambrosia beetles and their antagonists in European beech forests. *Forest Ecology and Management* 437, 126–133. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.01.034>.

Hacket-Pain, A.J., Cavin, L., Friend, A.D., Jump, A.S., 2016. Consistent limitation of growth by high temperature and low precipitation from range core to southern edge of European beech indicates widespread vulnerability to changing climate. *Eur J Forest Res* 135, 897–909. <https://doi.org/10.1007/s10342-016-0982-7>.

Hackmann, C.A., Sennhenn-Reulen, H., Mund, M., Ammer, C., 2024. Local neighborhood affects stem rehydration under drought: evidence from mixtures of European beech with two different conifers. *Tree Physiology* 44, tpae114. <https://doi.org/10.1093/treephys/tpae114>.

Harvey, J.E., Smiljanić, M., Scharnweber, T., Buras, A., Cedro, A., Cruz-García, R. et al, 2020. Tree growth influenced by warming winter climate and summer moisture availability in northern temperate forests. *Global Change Biology* 26, 2505–2518. <https://doi.org/10.1111/gcb.14966>.

Hein, S., Frank, S., Kohnle, U., 2020. Growth and Mortality of Young Douglas-fir [*Pseudotsuga menziesii* (MIRB.) FRANCO]: Effects of Various Treeselters, considering Water Supply, Fencing and Weeding in a Distributed Experiment from Southwestern Germany. *Allgemeine Forst- und Jagdzeitung* 190, 237–252. <https://doi.org/10.23765/afjz0002050>.

Heinrichs, S., Schmidt, W., 2017. Biotic homogenization of herb layer composition between two contrasting beech forest communities on limestone over 50 years. *Applied Vegetation Science* 20, 271–281. <https://doi.org/10.1111/avsc.12255>.

Herbst, M., Mund, M., Tamrakar, R., Knohl, A., 2015. Differences in carbon uptake and water use between a managed and an unmanaged beech forest in central Germany. *Forest Ecology and Management* 355, 101–108. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2015.05.034>.

Korecký, J., Čepl, J., Korolyova, N., Stejskal, J., Turčáni, M., Jakuš, R., 2023. Resistance to Bark Beetle Outbreak in Norway Spruce: Population Structure Analysis and Comparative Genomic Assessment of Surviving (LTS) and Randomly Selected Reference Trees. *Forests* 14, 2074. <https://doi.org/10.3390/f14102074>.

Kraus, C., Zang, C., Menzel, A., 2016. Elevational response in leaf and xylem phenology reveals different prolongation of growing period of common beech and Norway spruce under warming conditions in the Bavarian Alps. *European Journal of Forest Research* 135, 1011–1023. <https://doi.org/10.1007/s10342-016-0990-7>.

Krüger, K., Senf, C., Jucker, T., Pflugmacher, D., Seidl, R., 2024. Gap expansion is the dominant driver of canopy openings in a temperate mountain forest landscape. *Journal of Ecology* 112, 1501–1515. <https://doi.org/10.1111/1365-2745.14320>.

Krüger, K., Senf, C., Hagge, J., Seidl, R., 2025. Setting aside areas for conservation does not increase disturbances in temperate forests. *Journal of Applied Ecology* 62, 1271–1281. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.70036>.

Larysch, E., Stangler, D.F., Nazari, M., Seifert, T., Kahle, H.-P., 2021. Xylem phenology and growth response of european beech, silver fir and scots pine along an elevational gradient during the extreme drought year 2018. *Forests* 12, 75. <https://doi.org/10.3390/f12010075>.

Liepe, K.J., van der Maaten, E., van der Maaten-Theunissen, M., Kormann, J.M., Wolf, H., Liesebach, M., 2024. Ecotypic variation in multiple traits of European beech: selection of suitable provenances based on performance and stability. *European Journal of Forest Research* 143, 831–845. <https://doi.org/10.1007/s10342-024-01656-2>.

Lwila, A.S., Ammer, C., Gailing, O., Leinemann, L., Mund, M., 2024. Root overlap and allocation of above- and belowground growth of European beech in pure and mixed stands of Douglas fir and Norway spruce. *Forest Ecosystems* 11, 100217. <https://doi.org/10.1016/j.fecs.2024.100217>.

Lwila, A.S., Post-Leon, A., Ammer, C., Mund, M., 2023. Site properties, species identity, and species mixture affect fine root production, mortality, and turnover rate in pure and mixed forests of European Beech, Norway spruce, and Douglas-fir. *Ecological Indicators* 147, 109975. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2023.109975>.

Maihoff, F., Friess, N., Hoiss, B., Schmid-Egger, C., Kerner, J., Neumayer, J. et al, 2023. Smaller, more diverse and on the way to the top: Rapid community shifts of montane wild bees within an extraordinary hot decade. *Diversity and Distributions* 29, 272–288. <https://doi.org/10.1111/ddi.13658>.

Marini, L., Økland, B., Jönsson, A.M., Bentz, B., Carroll, A., Forster, B. et al, 2017. Climate drivers of bark beetle outbreak dynamics in Norway spruce forests. *Ecography* 40, 1426–1435. <https://doi.org/10.1111/ecog.02769>.

Matevski, D., 2022. Consequences of enriching European beech forests with non-native Douglas fir for generalist arthropod predator diversity, abundance and pest control. Dissertation, Göttingen.

Matevski, D., Foltran, E., Lamersdorf, N., Schuldt, A., 2023. Introduction of non-native Douglas fir reduces leaf damage on beech saplings and mature trees in European beech forests. *Ecological Applications* 33, e2786. <https://doi.org/10.1002/eap.2786>.

Mathes, T., Seidel, D., Annighöfer, P., 2023. Response to extreme events: do morphological differences affect the ability of beech (*Fagus sylvatica* L.) to resist drought stress? *Forestry* 96, 355–371. <https://doi.org/10.1093/forestry/cpac056>.

Mathes, T., Seidel, D., Klemmt, H.-J., Thom, D., Annighöfer, P., 2024. The effect of forest structure on drought stress in beech forests (*Fagus sylvatica* L.). *Forest Ecology and Management* 554, 121667. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2023.121667>.

Mellert, K.H., Canullo, R., Mette, T., Ziche, D., Göttlein, A., 2018. The climatic drought limit of common tree species depend on soil nutrient status. *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen* 169, 323–331. <https://doi.org/10.3188/szf.2018.0323>.

Metz, J., Annighöfer, P., Schall, P., Zimmermann, J., Kahl, T., Schulze, E.D. et al, 2016. Site-adapted admixed tree species reduce drought susceptibility of mature European beech. *Global Change Biology* 22, 903–920. <https://doi.org/10.1111/gcb.13113>.

Meyer, P., Nagel, R., Feldmann, E., 2021. Limited sink but large storage: Biomass dynamics in naturally developing beech (*Fagus sylvatica*) and oak (*Quercus robur*, *Quercus petraea*) forests of north-western Germany. *Journal of Ecology* 109, 3602–3616. <https://doi.org/10.1111/1365-2745.13740>.

Meyer, P., Spînu, A.P., Mölder, A., Bauhus, J., 2022. Management alters drought-induced mortality patterns in European beech (*Fagus sylvatica* L.) forests. *Plant Biology* 24, 1157–1170. <https://doi.org/10.1111/plb.13396>.

Miller, T.W., Stangler, D.F., Larysch, E., Honer, H., Seifert, T., Puhlmann, H. et al, 2022. Longer and faster: Intra-annual growth dynamics of Douglas fir outperform Norway spruce and silver fir over wide climatic gradients. *Agricultural and Forest Meteorology* 321, 108970. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2022.108970>.

Müller, M., Kempen, T., Finkeldey, R., Gailing, O., 2020. Low Population Differentiation but High Phenotypic Plasticity of European Beech in Germany. *Forests* 11, 1354. <https://doi.org/10.3390/f11121354>.

Nagel, R., Meyer, P., Blaschke, M., 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. *Front. For. Glob. Change* 6, 1099558. <https://doi.org/10.3389/ffgc.2023.1099558>.

Norris, C., Hobson, P., Ibisch, P.L., 2012. Microclimate and vegetation function as indicators of forest thermodynamic efficiency. *Journal of Applied Ecology* 49, 562–570. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2011.02084.x>.

Obladen, N., Dechering, P., Skiadaresis, G., Tegel, W., Keßler, J., Höllerl, S. et al, 2021. Tree mortality of European beech and Norway spruce induced by 2018-2019 hot droughts in central Germany. *Agricultural and Forest Meteorology* 307, 108482. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2021.108482>.

Plath, E., Böhme, W., Fischer, D., Griebel, L., Jochims, K., Schreek, K. et al, 2025. Spider diversity in a disturbed forest landscape highlights the importance of management heterogeneity. *Insect Conservation and Diversity*, 1–17. <https://doi.org/10.1111/icad.12815>.

Plath, E., Trauth, C., Gerhards, J., Griebel, L., Fischer, K., 2024. Dieback of managed spruce stands in western Germany promotes beetle diversity. *Journal of Forestry Research* 35, 48. <https://doi.org/10.1007/s11676-024-01695-w>.

Pollierer, M.M., Ferlian, O., Scheu, S., 2015. Temporal dynamics and variation with forest type of phospholipid fatty acids in litter and soil of temperate forests across regions. *Soil Biology and Biochemistry* 91, 248–257. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2015.08.035>.

Prietzl, J., Falk, W., Reger, B., Uhl, E., Pretzsch, H., Zimmermann, L., 2020. Half a century of Scots pine forest ecosystem monitoring reveals long-term effects of atmospheric deposition and climate change. *Global Change Biology* 26, 5796–5815. <https://doi.org/10.1111/gcb.15265>.

Prietzl, J., Weis, W., Bachmann, S., Kern, M., 2023. Effects of Douglas fir cultivation in German forests on soil seepage water quantity and quality. *Forest Ecology and Management* 546, 121379. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2023.121379>.

Rais, A., van de Kuilen, J.W., Pretzsch, H., 2020. Impact of species mixture on the stiffness of European beech (*Fagus sylvatica* L.) sawn timber. *Forest Ecology and Management* 461, 117935. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.117935>.

- Rehsehuh, R., Mette, T., Menzel, A., Buras, A., 2017. Soil properties affect the drought susceptibility of Norway spruce. *Dendrochronologia* 45, 81–89. <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2017.07.003>.
- Römer, P., Del Castillo, E.M., Reinig, F., Torbenson, M.C., Konter, O., Klippel, L. et al, 2025. Growth characteristics and drought vulnerability of southwest German spruce and pine. *European Journal of Forest Research*. <https://doi.org/10.1007/s10342-025-01765-6>.
- Roth, N., Hacker, H.H., Heidrich, L., Friess, N., García-Barros, E., Habel, J.C. et al, 2021. Host specificity and species colouration mediate the regional decline of nocturnal moths in central European forests. *Ecography* 44, 941–952. <https://doi.org/10.1111/ecog.05522>.
- Schäfer, C., Grams, T., Rötzer, T., Feldermann, A., Pretzsch, H., 2017. Drought stress reaction of growth and $\delta^{13}\text{C}$ in tree rings of European beech and Norway spruce in monospecific versus mixed stands along a precipitation gradient. *Forests* 8, 177. <https://doi.org/10.3390/f8060177>.
- Schmied, G., Hilmers, T., Mellert, K.-H., Uhl, E., Buness, V., Ambs, D. et al, 2023. Nutrient regime modulates drought response patterns of three temperate tree species. *Science of the Total Environment* 868, 161601. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.161601>.
- Schwarz, J.A., 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, 79. <https://doi.org/10.3389/ffgc.2019.00079>.
- Schwenke, M.B., Schönau, V., Beierkuhnlein, C., 2023. Tree sapling vitality and recovery following the unprecedented 2018 drought in central Europe. *Forest Ecosystems* 10, 100140. <https://doi.org/10.1016/j.fecs.2023.100140>.
- Skiadaresis, G., Schwarz, J.A., Bauhus, J., 2019. Groundwater Extraction in Floodplain Forests Reduces Radial Growth and Increases Summer Drought Sensitivity of Pedunculate Oak Trees (*Quercus robur* L.). *Frontiers in Forests and Global Change* 2, 5. <https://doi.org/10.3389/ffgc.2019.00005>.
- Sohn, J.A., Hartig, F., Kohler, M., Huss, J., Bauhus, J., 2016. Heavy and frequent thinning promotes drought adaptation in *Pinus sylvestris* forests. *Ecological Applications* 26, 2190–2205. <https://doi.org/10.1002/eap.1373>.
- Stangler, D.F., Miller, T.W., Honer, H., Larysch, E., Puhlmann, H., Seifert, T. et al, 2022. Multivariate drought stress response of Norway spruce, silver fir and Douglas fir along elevational gradients in Southwestern Germany. *Frontiers in Ecology and Evolution* 10, 907492. <https://doi.org/10.3389/fevo.2022.907492>.
- Stimm, K., Heym, M., Uhl, E., Tretter, S., Pretzsch, H., 2021. Height growth-related competitiveness of oak (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl. and *Quercus robur* L.) under climate

change in Central Europe. Is silvicultural assistance still required in mixed-species stands? *Forest Ecology and Management* 482, 118780. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118780>.

Stimm, K., Heym, M., Nagel, R.V., Uhl, E., Pretzsch, H., 2022. Long-Term Productivity of Monospecific and Mixed Oak (*Quercus petraea* [Matt.] Liebl. and *Quercus robur* L.) Stands in Germany: Growth Dynamics and the Effect of Stand Structure. *Forests* 13, 724. <https://doi.org/10.3390/f13050724>.

Stolz, J., 2023. Growth, vitality and stability: Spatio-temporal responses of European beech and Scots pine to climate change. Dissertation, Dresden.

Thom, D., Ammer, C., Annighöfer, P., Aszalós, R., Dittrich, S., Hagge, J. et al, 2023. Regeneration in European beech forests after drought: the effects of microclimate, deadwood and browsing. *European Journal of Forest Research* 142, 259–273. <https://doi.org/10.1007/s10342-022-01520-1>.

Thom, D., Seidl, R., 2022. Accelerating Mountain Forest Dynamics in the Alps. *Ecosystems* 25, 603–617. <https://doi.org/10.1007/s10021-021-00674-0>.

Torresan, C., Hilmers, T., Avdagic, A., Di Giuseppe, E., Klopčič, M., Lévesque, M. et al, 2024. Changes in tree-ring wood density of European beech (*Fagus sylvatica* L.), silver fir (*Abies alba* Mill.), and Norway spruce (*Picea abies* (L.) H. Karst.) in European mountain forests between 1901 and 2016. *Annals of Forest Science* 81, 49. <https://doi.org/10.1186/s13595-024-01264-5>.

Uhl, E., Hilmers, T., Pretzsch, H., 2021. From acid rain to low precipitation: The role reversal of norway spruce, silver fir, and european beech in a selection mountain forest and its implications for forest management. *Forests* 12, 894. <https://doi.org/10.3390/f12070894>.

Unterholzner, L., Stolz, J., van der Maaten-Theunissen, M., Liepe, K., van der Maaten, E., 2024. Site conditions rather than provenance drive tree growth, climate sensitivity and drought responses in European beech in Germany. *Forest Ecology and Management* 572. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2024.122308>.

van Straaten, O., Kulp, L., Martinson, G.O., Zederer, D.P., Talkner, U., 2023. Forest liming in the face of climate change: the implications of restorative liming for soil organic carbon in mature German forests. *SOIL* 9, 39–54. <https://doi.org/10.5194/soil-9-39-2023>.

Virano-Riquelme, V., Feger, K.H., Julich, S., 2024. Insight into the variation of soil hydraulic properties under beech and spruce forest-A case study in the forest of Tharandt, NE Germany. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 187, 545–558. <https://doi.org/10.1002/jpln.202400073>.

Vitali, V., Büntgen, U., Bauhus, J., 2017. Silver fir and Douglas fir are more tolerant to extreme droughts than Norway spruce in south-western Germany. *Global Change Biology* 23, 5108–5119. <https://doi.org/10.1111/gcb.13774>.

Vitali, V., Forrester, D.I., Bauhus, J., 2018. Know Your Neighbours: Drought Response of Norway Spruce, Silver Fir and Douglas Fir in Mixed Forests Depends on Species Identity and Diversity of Tree Neighbourhoods. *Ecosystems* 21, 1215–1229. <https://doi.org/10.1007/s10021-017-0214-0>.

Wang, Y., Rammig, A., Blickensdörfer, L., Zhu, X.X., Buras, A., 2025. Species-specific responses of canopy greenness to the extreme droughts of 2018 and 2022 for four abundant tree species in Germany. *Science of the Total Environment* 958, 177938. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.177938>.

Wei, J., Arx, G. von, Fan, Z., Ibrom, A., Mund, M., Knohl, A. et al, 2024. Drought alters aboveground biomass production efficiency: Insights from two European beech forests. *Science of the Total Environment* 919, 170726. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.170726>.

Weigel, R., Bat-Enerel, B., Dulamsuren, C., Muffler, L., Weithmann, G., Leuschner, C., 2023. Summer drought exposure, stand structure, and soil properties jointly control the growth of European beech along a steep precipitation gradient in northern Germany. *Global Change Biology* 29, 763–779. <https://doi.org/10.1111/gcb.16506>.

Weigel, R., Muffler, L., Klisz, M., Kreyling, J., van der Maaten-Theunissen, M., Wilmking, M. et al, 2018. Winter matters: Sensitivity to winter climate and cold events increases towards the cold distribution margin of European beech (*Fagus sylvatica* L.). *Journal of Biogeography* 45, 2779–2790. <https://doi.org/10.1111/jbi.13444>.

Weiss, F., Winter, S., Pflugmacher, D., Kolling, T., Linde, A., 2024. Evidence for regional-scale declines in carabid beetles in old lowland beech forests following a period of severe drought. *Landscape Ecology* 39, 123. <https://doi.org/10.1007/s10980-024-01920-1>.

Willems, F.M., Scheepens, J.F., Ammer, C., Block, S., Bucharova, A., Schall, P. et al, 2021. Spring understory herbs flower later in intensively managed forests. *Ecological Applications* 31, e02332. <https://doi.org/10.1002/eap.2332>.

Anhang A: Suchprotokoll Arbeitspaket 1

Fragestellung 1: Wie hat sich der Zustand der Waldökosysteme unter der Einwirkung des Klimawandels entwickelt? - Schlüsselbegriffe: Wachstum, Produktivität (sowie Synonyme und bedeutungsverwandte Begriffe)

Zeitraum: 2003-2015

Suchmaschinen: Scopus, WoS

Sprache: Englisch

1. Forest AND Germany AND „Climate Change“ AND **Growth**
(Citavi Schlagwörter: Germany, Growth)
2. Forest AND Germany AND „Climate Change“ AND Productivity
(Citavi Schlagwörter: Germany, Productivity)
3. Forest AND Germany AND „Climate Change“ AND Fertility
(Citavi Schlagwörter: Germany, Fertility)
4. Forest AND „Central Europe“ AND „Climate Change“ AND Fertility
(Citavi Schlagwörter: „Central Europe“, Fertility)
5. Forest AND Germany AND „Climate Change“ AND Yield
(Citavi Schlagwörter: Germany, Yield)
6. Forest AND „Central Europe“ AND „Climate Change“ AND Yield
(Citavi Schlagwörter: „Central Europe“, Yield)
7. Forest AND Germany AND „Climate Change“ AND Abundance
(Citavi Schlagwörter: Germany, Abundance)

Suchmaschinen: Google Scholar

Sprache: Deutsch

Cut-off nach den ersten 100 Treffern je Suchabfrage

1. Wald AND Klimawandel AND Wachstum
(Citavi Schlagwörter: Wachstum)
2. Wald AND Klimawandel AND Zuwachs
(Citavi Schlagwörter: Zuwachs)
3. Wald AND Klimawandel AND Produktivität

(Citavi Schlagwörter: Produktivität)

Suchmaschinen: Google Scholar, Open Access Theses and Dissertations

Sprache: Englisch

1. Forest AND Germany AND „Climate Change“ AND Growth

(Citavi Schlagwörter: Germany, Growth)

2. Forest AND „Central Europe“ AND „Climate Change“ AND Growth

(Citavi Schlagwörter: Central Europe, Growth)

3. Forest AND Germany AND „Climate Change“ AND Productivity

(Citavi Schlagwörter: Germany, Productivity)

4. Forest AND „Central Europe“ AND „Climate Change“ AND Productivity

(Citavi Schlagwörter: Central Europe, Productivity)

Fragestellung 2: Wie vulnerabel sind die Waldökosysteme unter der Einwirkung des Klimawandels?

Suchmaschinen: Scopus, WoS

Sprache: Englisch

1. Forest AND Germany AND „Climate Change“ AND Vulnerability

(Citavi Schlagwörter: Germany, Vulnerability)

2. Forest AND „Central Europe“ AND „Climate Change“ AND Vulnerability

(Citavi Schlagwörter: Central Europe, Vulnerability)

3. Forest AND Germany AND „Climate Change“ AND Sensitivity

(Citavi Schlagwörter: Germany, Sensitivity)

4. Forest AND Germany AND „Climate Change“ AND Responsiveness

(Citavi Schlagwörter: Germany, Responsiveness)

5. Forest AND „Central Europe“ AND „Climate Change“ AND Responsiveness

(Citavi Schlagwörter: „Central Europe“, Responsiveness)

6. Forest AND Germany AND „Climate Change“ AND Susceptibility

(Citavi Schlagwörter: Germany, Susceptibility)

7. Forest AND „Central Europe“ AND „Climate Change“ AND Susceptibility

(Citavi Schlagwörter: „Central Europe“, Susceptibility)

8. Forest AND Germany AND „Climate Change“ AND Weakness

(Citavi Schlagwörter: Germany, Weakness)

9. Forest AND „Central Europe“ AND „Climate Change“ AND Weakness

(Citavi Schlagwörter: „Central Europe“, Weakness)

Suchmaschinen: Google Scholar

Sprache: Deutsch

Cut-off nach den ersten 100 Treffern je Suchabfrage

1. Wald AND Klimawandel AND Vulnerabilität

(Citavi Schlagwörter: Vulnerabilität)

2. Wald AND Klimawandel AND Verwundbarkeit

(Citavi Schlagwörter: Verwundbarkeit)

Suchmaschinen: Google Scholar, Open Access Theses and Dissertations

Sprache: Englisch

Cut-off nach den ersten 100 Treffern je Suchabfrage

1. Forest AND Germany AND „Climate Change“ AND Vulnerability

(Citavi Schlagwörter: Germany, Vulnerability)

2. Forest AND „Central Europe“ AND „Climate Change“ AND Vulnerability

(Citavi Schlagwörter: Central Europe, Vulnerability)

Fragestellung 3: Wie resistent sind die Waldökosysteme unter der Einwirkung des Klimawandels?

Suchmaschinen: Scopus, WoS

Sprache: Englisch

1. Forest AND Germany AND „Climate Change“ AND Resistance
(Citavi Schlagwörter: Germany, Resistance)
2. Forest AND Germany AND „Climate Change“ AND Tolerance
(Citavi Schlagwörter: Germany, Tolerance)
3. Forest AND Germany AND „Climate Change“ AND Hardiness
(Citavi Schlagwörter: Germany, Hardiness)
4. Forest AND „Central Europe“ AND „Climate Change“ AND Hardiness
(Citavi Schlagwörter: „Central Europe“, Hardiness)
5. Forest AND Germany AND „Climate Change“ AND Stability
(Citavi Schlagwörter: Germany, Stability)
6. Forest AND Germany AND „Climate Change“ AND Robustness
(Citavi Schlagwörter: Germany, Robustness)
7. Forest AND Germany AND „Climate Change“ AND Persistence
(Citavi Schlagwörter: Germany, Persistence)

Suchmaschinen: Google Scholar

Sprache: Deutsch

Cut-off nach den ersten 100 Treffern je Suchabfrage

1. Wald AND Klimawandel AND Resistenz
(Citavi Schlagwörter: Resistenz)

2. Wald AND Klimawandel AND Widerstandsfähigkeit

(Citavi Schlagwörter: Widerstandsfähigkeit)

Suchmaschinen: Google Scholar, Open Access Theses and Dissertations

Sprache: Englisch

Cut-off nach den ersten 100 Treffern je Suchabfrage

1. Forest AND Germany AND „Climate Change“ AND Resistance

(Citavi Schlagwörter: Germany, Resistance)

2. Forest AND „Central Europe“ AND „Climate Change“ AND Resistance

(Citavi Schlagwörter: Central Europe, Resistance)

Fragestellung 4: Wie resilient sind die Waldökosysteme unter der Einwirkung des Klimawandels?

Suchmaschinen: Scopus, WoS

Sprache: Englisch

1. Forest AND Germany AND „Climate Change“ AND Resilience

(Citavi Schlagwort: Resilience, Germany)

2. Forest AND „Central Europe“ AND Germany AND „Climate Change“ AND Resilience

(Citavi Schlagwörter: Resilience, Central Europe, Germany)

3. Forest AND Germany AND „Climate Change“ AND Elasticity

Citavi Schlagwörter: Elasticity, Germany)

4. Forest AND „Central Europe“ AND „Climate Change“ AND Elasticity

(Citavi Schlagwörter: Elasticity, Central Europe)

5. Forest AND Germany AND „Climate Change“ AND Flexibility

(Citavi Schlagwörter: Flexibility, Germany)

6. Forest AND „Central Europe“ AND „Climate Change“ AND Flexibility
(Citavi Schlagwörter: Flexibility, Central Europe)
7. Forest AND Germany AND „Climate Change“ AND Plasticity
(Citavi Schlagwörter: Plasticity, Germany)
8. Forest AND „Central Europe“ AND „Climate Change“ AND Plasticity
(Citavi Schlagwörter: Plasticity, Central Europe)
9. Forest AND Germany AND „Climate Change“ AND Adaptability
(Citavi Schlagwörter: Adaptability, Germany)
10. Forest AND „Central Europe“ AND „Climate Change“ AND Adaptability
(Citavi Schlagwörter: Adaptability, „Central Europe“)
11. Forest AND Germany AND „Climate Change“ AND Adaptive Capacity
(Citavi Schlagwörter: Adaptive Capacity, Germany)
12. Forest AND „Central Europe“ AND „Climate Change“ AND Adaptive Capacity
(Citavi Schlagwörter: Adaptive Capacity, „Central Europe“)

Suchmaschinen: Google Scholar

Sprache: Deutsch

Cut-off nach den ersten 100 Treffern je Suchabfrage

1. Wald AND Klimawandel AND Resilienz
(Citavi Schlagwörter: Resilienz)

Suchmaschinen: Google Scholar, Open Access Theses and Dissertations

Sprache: Englisch

Cut-off nach den ersten 100 Treffern je Suchabfrage

1. Forest AND Germany AND „Climate Change“ AND Resilience

(Citavi Schlagwort: Resilience, Germany)

2. Forest AND "Central Europe" AND „Climate Change“ AND Resilience

(Citavi Schlagwort: Central Europe, Resilience)

Fragestellung 5: Welche Auswirkungen hat das Management auf die Resilienz der Waldökosysteme in Zeiten des Klimawandels? - Schlüsselbegriff: Management, Bewirtschaftung, Forstwirtschaft

Suchmaschinen: Scopus, WoS

Sprache: Englisch

1. Forest AND Germany AND „Climate Change“ AND Management

(Citavi Schlagwörter: Germany, Management)

2. Forest AND „Climate Change“ AND Germany AND Forestry AND Ecology

(Citavi Schlagwörter: Germany, Forestry, Ecology)

3. Forest AND Germany AND „Climate Change“ AND Management AND Ecology

(Citavi Schlagwörter: Germany, Management, Ecology)

4. Forest AND Germany AND „Climate Change“ AND Silviculture

(Citavi Schlagwörter: Germany, Silviculture)

5. Forest AND Germany AND „Climate Change“ AND Vulnerability AND Management

(Citavi Schlagwörter: Management, Vulnerability)

6. Forest AND Germany AND „Climate Change“ AND Productivity AND Management

(Citavi Schlagwörter: Germany, Productivity, Management)

7. Forest AND Germany AND „Climate Change“ AND Fertility AND Management

(Citavi Schlagwörter: Germany, Fertility, Management)

8. Forest AND Germany AND „Climate Change“ AND Resistance AND Management

(Citavi Schlagwörter: Germany, Resistance, Management)

9. Forest AND Germany AND „Climate Change“ AND Resilience AND Management

(Citavi Schlagwörter: Germany, Resilience, Management)

Suchmaschinen: Google Scholar

Sprache: Deutsch

Cut-off nach den ersten 100 Treffern je Suchabfrage

1. Wald AND Klimawandel AND Management

(Citavi Schlagwörter: Management)

2. Wald AND Klimawandel AND Bewirtschaftung

(Citavi Schlagwörter: Bewirtschaftung)

Suchmaschinen: Google Scholar, Open Access Theses and Dissertations

Sprache: Englisch

Cut-off nach den ersten 100 Treffern je Suchabfrage

1. Forest AND Germany AND „Climate Change“ AND Management

(Citavi Schlagwörter: Germany, Management)

2. Forest AND „Central Europe“ AND „Climate Change“ AND Management

(Citavi Schlagwörter: Central Europe, Management)

Anhang B: Klassifikationsprotokoll

Klassifikation - Kategorien und Klassen:

1. Begriff: Schlagwörter je Titel in Citavi

- „BEGRIFF“

2. Textart („Weiße“ Literatur)

- „TEXTART“
 - Aufsatz

- Buch
- Bericht
- Sonstiges
- Bericht ohne ISSN und/oder DOI

Hinweise:

- *Wenn ein Bericht keine ISSN und/oder DOI aufweist, kann die Klassifikation abgebrochen werden.*
- *Aufsätze können sich in einer Zeitschrift oder in einem Buch befinden. Gemeinsames Merkmal ist, dass jeder Aufsatz eine spezifische Autor*innenliste hat (anders als ein klassisches Buchkapitel in einem Buch).*

3. Untersuchungsgebiet:

○ „UGEBIET“

- | | |
|--------------------------|----|
| • Baden-Württemberg | BW |
| • Bayern (Freistaat) | BY |
| • Berlin | BE |
| • Brandenburg | BB |
| • Bremen (Hansestadt) | HB |
| • Hamburg (Hansestadt) | HH |
| • Hessen | HE |
| • Mecklenburg-Vorpommern | MV |
| • Niedersachsen | NI |
| • Nordrhein-Westfalen | NW |
| • Rheinland-Pfalz | RP |
| • Saarland | SL |
| • Sachsen (Freistaat) | SN |
| • Sachsen-Anhalt | ST |
| • Schleswig-Holstein | SH |
| • Thüringen (Freistaat) | TH |

Nachbarländer

Hinweis:

Nachbarländer – in der Kommentarspalte rechts daneben das Land oder die Länder angeben

4. Forschungsmethode:

- „FORSCH“
 - Ausschließlich Felderhebung
 - Fernerkundung
 - Projektionen/Szenarien (Zukunft)
 - Sonstiges

5. Waldökosysteme/Baumarten

- „BAUM+ALT“
 - Buche > 120
 - Buche ≤ 120
 - Buche k.A.
 - Eiche ...
 - usw.
 - Andere Taxa

Hinweise:

- *Erst im Zuge der Auswertung klassifizieren; nur diejenigen Waldökosysteme nennen, für die Ergebnisse in die Auswertung eingehen*
- *Andere Taxa – in der Kommentarspalte rechts daneben Taxon/Taxa angeben*

6. Nutzungsform:

- „NUTZ“
 - n7 Near-virgin forest
 - n6 Old-growth forest
 - n5 Long untouched forest
 - n4 Newly untouched forest
 - n3 Specially managed forest
 - n2 Exploited natural forest
 - n1 Plantation-like natural forest
 - p4 Partly-natural planted forest
 - p3 Native plantation
 - p2 Exotic plantation
 - p1 Exotic self-sown forest

Hinweise:

- Nutzungsformen derselben Klasse (sensu Buchwald 2005) können sich in ihrer Naturnähe voneinander unterscheiden. So ist etwa ein nach dem Lübecker Modell bewirtschafteter Wald naturnäher als ein nach ANW-Prinzipien bewirtschafteter Dauerwald. Ein Buchenwald der Klasse n2 ist naturnäher als ein anderer Buchenwald der Klasse n2, dem aber Douglasien beigemischt wurden. In solchen Fällen in der Kommentarspalte etwa so (Beispiele):
 - „Buchenwald > Buchenwald mit Douglasienbeimischung“
 - „Nutzungsverzicht > Femelschlag > extensives Freistellen > intensives Freistellen“
- Beschreibung der Klassen sensu Buchwald (2005):

Kürzel		Beschreibung	Beispiele
n7	<i>Near-virgin forest</i>	Schon lange ohne Management Großflächig (nicht nur einzelner Bestand) Strukturen, Prozesse und Lebensgemeinschaft urwaldähnlich Usw.	Kernzone Bialowieza NLP, Uholka In D nicht vorhanden
n6	<i>Old-growth forest</i>	Mit oder ohne Management Bestand mit: - Großen Bäumen - Hoher Variabilität von Baumgrößen und -verteilung - Viel Totholz - Alternden Bäume (Astbrüche usw.) - Mehreren Kronendachschichten - Natürlichen Öffnungen und heterogener bodennaher Vegetation	Einige Bereiche im NLP Bayerischer Wald Heilige Hallen

n5	Long untouched forest	Seit langer Zeit (z.B. 60-80 Jahren) ohne Management Zeichen früherer Nutzung noch undeutlich erkennbar	Schattin (Stadtwald Lübeck)
n4	Newly untouched forest	Seit < 60 Jahren ohne Management Zeichen früherer Nutzung leicht erkennbar	NWE-Flächen FSC-Referenzflächen
n3	Specially managed forest	Extensiv gemanagt Entweder mit Merkmalen von n6 oder seit Langem unter traditioneller Nutzung	1) [Eher selten] 2) Niederwald Waldweide
n2	Exploited natural forest	Gemanagt Strukturen und Lebensgemeinschaft +/- stark verändert Überwiegend aus Naturverjüngung	Stadtwald Lübeck Reiersdorf Dauerwald nach ANW
n1	Plantation-like natural forest	Intensives Management Struktur ähnelt Altersklassenwald Ziemlich geringe Bestandesalter Baumartenarm Überwiegend aus Naturverjüngung	[Eher selten]
p4	Partly-natural planted forest	Extensiv gemanagt Strukturreich Heimische Baumarten Gepflanzt oder gesät	[Eher selten]

<i>p3</i>	<i>Native plantation</i>	<i>Intensives Management</i> <i>Altersklassenwald</i> <i>Nur 1 oder wenige, heimische Baumarten</i>	<i>Kiefernforst</i>
<i>p2</i>	<i>Exotic plantation</i>	<i>Nicht-heimische Baumarten</i> <i>Gepflanzt oder gesät</i>	<i>Fichtenforst unterhalb 1.000 m</i> <i>Douglasienforst</i>
<i>p1</i>	<i>Exotic self-sown forest</i>	<i>Nicht-heimische Baumarten</i> <i>Überwiegend aus Naturverjüngung</i>	<i>[Spontan entstandener Douglasienwald]</i>

(Aus Buchwald, 2005: A hierarchical terminology for more or less natural forests in relation to sustainable management and biodiversity conservation. App. 2.)

7. Bezug zu Fragestellungen:

○ „FRAGEN“

- Zustandsänder: Wachstum, Produktivität
- Zustandsänder: Verringer Photosynthese
- Zustandsänder: Absterben
- Zustandsänder: Sonstige

(Im Kommentar: Totholzentwicklung, ...)

- Exposition: Standort

(Im Kommentar: Hanglage, Hangneigung, Höhenlage, ...)

- Expos.änder abiot: Temp (lang)
- Expos.änder abiot: Hitzewelle
- Expos.änder abiot: Kältewelle
- Expos.änder abiot: Feuchte (lang)
- Expos.änder abiot: Starkregen
- Expos.änder abiot: Dürre
- Expos.änder abiot: Waldbrand
- Expos.änder abiot: Sturm
- Expos.änder abiot: Sonstige
- Expos.änder biot: Schaderregerbefall
- Expos.änder biot: Sonstige
- Sensitivität: Mikroklimat Pufferung
- Sensitivität: Sonstige
- Anpassungsfähigkeit
- Resistenz
- Resilienz
- C-Speicher: relativ

- C-Speicher: absolut
- C-Senke: relativ
- C-Senke: absolut

Hinweise:

- Spalte „FRAGEN_1“: Hauptbezüge der Studie; hier nur die allerwichtigsten (1-2) Bezüge wählen
- Spalte „FRAGEN_2“: Nebenbezüge der Studie; alle weiteren Bezüge angeben
- Zustandsänder: Sonstige - im Kommentar genauer: Totholzentwicklung, ...
- Exposition: Standort - im Kommentar genauer: Hanglage, Hangneigung, Höhenlage, ...

8. Explizite Erwähnung von Klimaschutz:

„KLIMASCH“

- Ja
- Nein

Hinweise:

- Suche nach „carbon“, „mitigation“, „sink“, „sequest*“, „storage“, „substitution“ in der Diskussion einer Publikation
- Wenn ja: Extraktion (copy-paste) von relevanten Aussagen (Excel: Zeilensprung symbolisiert durch Semikolon)
- 2 Spalten: „KLIMASCH 1“ - Hauptbezug, „KLIMASCH 2“: Nebenbezüge (Mehrfachnennungen je Spalte möglich)

Anhang C: Auswertungsprotokoll

Auswertungsschritte:

1. Vergleichspaare identifizieren
 - Ein Vergleichspaar sind zwei Bestände unterschiedlicher Nutzungsform (oder auch zwei Gruppen von Beständen).
 - Wenn ein Vergleichspaar gefunden ist, werden die Elemente der Vergleichspaare nach der Systematik von Buchwald (2005) klassifiziert.

<i>Kürzel</i>		<i>Beschreibung</i>	<i>Beispiele</i>
<i>n7</i>	<i>Near-virgin forest</i>	Schon lange ohne Management Großflächig (nicht nur einzelner Bestand) Strukturen, Prozesse und Lebensgemeinschaft urwaldähnlich Usw.	Kernzone Bialowieza NLP, Uholka In D nicht vorhanden
<i>n6</i>	<i>Old-growth forest</i>	Mit oder ohne Management Bestand mit: - Großen Bäumen - Hoher Variabilität von Baumgrößen und -verteilung - Viel Totholz - Alternden Bäume (Astbrüche usw.) - Mehreren Kronendachschichten - Natürlichen Öffnungen und heterogener bodennaher Vegetation	Einige Bereiche im NLP Bayerischer Wald Heilige Hallen
<i>n5</i>	<i>Long untouched forest</i>	Seit langer Zeit (z.B. 60-80 Jahren) ohne Management Zeichen früherer Nutzung noch undeutlich erkennbar	Schattin (Stadtwald Lübeck)
<i>n4</i>	<i>Newly untouched forest</i>	Seit < 60 Jahren ohne Management Zeichen früherer Nutzung leicht erkennbar	NWE-Flächen FSC-Referenzflächen

n3	<i>Specially managed forest</i>	<i>Extensiv gemanagt Entweder mit Merkmalen von n6 oder seit Langem unter traditioneller Nutzung</i>	1) [Eher selten] 2) Niederwald Waldweide
n2	<i>Exploited natural forest</i>	<i>Gemanagt Strukturen und Lebensgemeinschaft +/- stark verändert Überwiegend aus Naturverjüngung</i>	Stadtwald Lübeck Reiersdorf Dauerwald nach ANW
n1	<i>Plantation-like natural forest</i>	<i>Intensives Management Struktur ähnelt Altersklassenwald Ziemlich geringe Bestandesalter Baumartenarm Überwiegend aus Naturverjüngung</i>	[Eher selten]
p4	<i>Partly-natural planted forest</i>	<i>Extensiv gemanagt Strukturreich Heimische Baumarten Gepflanzt oder gesät</i>	[Eher selten]
p3	<i>Native plantation</i>	<i>Intensives Management Altersklassenwald Nur 1 oder wenige, heimische Baumarten</i>	Kiefernforst
p2	<i>Exotic plantation</i>	<i>Nicht-heimische Baumarten Gepflanzt oder gesät</i>	Fichtenforst (unterhalb von 1000 m NN) Douglasienforst

p1	Exotic self-sown forest	Nicht-heimische Baumarten Überwiegend aus Naturverjüngung	[Spontan entstandener Douglasienwald]
----	-------------------------	--	---------------------------------------

(Aus Buchwald, 2005: A hierarchical terminology for more or less natural forests in relation to sustainable management and biodiversity conservation. App. 2.)

Hinweise:

- In jeder Spalte „NUTZ_“ sollte nur eine Buchwald-Klasse angewählt sein.
- Wenn es in einem Titel nur ein Vergleichspaar gibt, müssen alle Einträge in den Spalten „NUTZ_2/“ und „NUTZ_3/“ sowie „VGL_2/“ und „VGL_3/“ gelöscht werden.
- Beispiel 1:
 - n2: Exploited natural forest / p2: Exotic plantation
- Dokumentation:
 - Naturnähere Nutzungsform in „VGL_1/1_NUTZ“ und naturfernere Nutzungsform in „VGL_1/2_NUTZ“ eintragen:

NUTZ1/1	VGL_1/1	NUTZ_1/2	VGL_1/2	KOMMENT
n2		p2		

- Beispiel 2:
 - Nutzungsformen derselben Klasse (sensu Buchwald 2005) können sich in ihrer Naturnähe voneinander unterscheiden. So ist etwa ein Buchenwald der Klasse n2 naturnäher als ein anderer Buchenwald der Klasse n2, dem aber Douglasien beigemischt wurden.

NUTZ_1/1	VGL_1/1	NUTZ_1/2	VGL_1/2	KOMMENT
n2	Buchenbestand ohne Douglasien-beimischung	n2	Buchenbestand mit Douglasien-beimischung	

- Beispiel 3:
 - Eine Studie kann mehr als zwei Nutzungsformen betrachten. Dann:
 - Nutzungsformen in der Reihenfolge von naturnah/extensiv genutzt bis naturfern/intensiv genutzt ordnen und
 - In der resultierenden Reihenfolge „benachbarte“ Nutzungsformen paarweise vergleichen
 - Z.B.: Kein Management / "Business as usual" / Entnahme von Überhältern

Weitere Vergleichspaare in rechts anschließende Spalten eintragen:

- Bei mehr als drei Vergleichspaaren: weitere Vergleichspaare in eigenem Tabellenblatt (z.B. Tabellenblatt „Lilli“) notieren
 - Sonderfälle: kein ‚Kochrezept‘, sondern gut überlegen und Überlegung in Kommentarspalte dokumentieren; ggf. erstmal nur „?“:

○ *Beispiel 4 (Untersuchung auf Landschaftsebene):*

Sonstiges: Weiter polwärts gelegene Bestände / Sonstiges: Weiter äquatorwärts gelegene Bestände

NUTZ_1/1	VGL_1/1	NUTZ_1/2	VGL_1/2	KOMMENT
Sonstiges	Weiter polwärts gelegene Bestände	Sonstiges	Weiter äquatorwärts gelegene Bestände	Näher am Pol gelegene Bestände könnten kühler und damit resistenter gegenüber Dürren sein; daher könnten Nutzungsformen, die ein kühles Mikroklima begünstigen, ebenso zu höherer Resistenz und Resilienz führen

○ *Beispiel 5:*

NUTZ_1/1	VGL_1/1	NUTZ_1/2	VGL_1/2	KOMMENT
n2	Basenreicher Boden	n2	Basenarmer Boden	Basenreiche Böden sind günstig für die Nährstoffversorgung unter Stress; daher könnten Nutzungsformen, die Basenreichtum begünstigen, ebenso zu höherer Resistenz und Resilienz führen

2. Identifizierte Vergleichspaare klassifizieren

a. Waldökosysteme/Baumarten

Hinweise:

○ „BAUM+ALT“

- Buche > 120
- Buche ≤ 120
- Buche k.A.
- Eiche ...
- usw.
- Sonstiges

- Bezug auf exakt die beiden Elemente des Vergleichspaares
- Hilfe: (unvollständige) Infos in der Vorklassifikation

b. Fragestellungen

Überprüfung der bisherigen Klassifikation in Bezug auf die paarweisen Vergleiche

Hinweise:

- „FRAGEN_1“: zentrale Fragestellung eng eingrenzen
- „FRAGEN_2“: alle übrigen Fragestellungen hier versammelt dokumentieren
- Typische Kombinationen von Klassen:
 - (Fast) immer ... abiotische Expositionsänderung: Eine Untersuchung zur Wirkung von Management auf den Waldzustand im Klimawandel wird immer eine oder mehrere mögliche abiotische (also klimawandelbedingte) Expositionsänderungen betrachten, sonst ist die Untersuchung für uns irrelevant. Ausnahmen können in Studien bestehen, bei denen standörtliche Unterschiede klimawandelbedingte Veränderungen als Einflussfaktoren ersetzen (Beispiel: Lage entlang des Höhengradienten als *space for time*-Ansatz).
 - Manchmal auch ... Sensitivität, Anpassungsfähigkeit: Zusätzlich zur abiotischen Expositionsänderung können auch diese übrigen beiden Dimensionen der Vulnerabilität eine Rolle spielen.
 - Niemals ... Nutzungsform: Die Nutzungsform (Baumartenzusammensetzung usw.) als Einflussfaktor ist bereits durch die Vergleichspaar-Bildung abgedeckt.
 - Meistens ... Resistenz u/o Resilienz (u/o Anpassungsfähigkeit, siehe vorigen Punkt): Meistens lässt sich die betrachtete Problematik (mindestens) einer dieser drei Ökosystemeigenschaften zuordnen.
 - Häufig ... Exposition (Standort): Meist, wenn auch nicht immer, werden auch standörtliche Bedingungen als Einflussfaktoren analysiert.
 - Häufig ... biotische Expositionsänderung: Zu einer abiotischen Expositionsänderung können auch biotische Expositionsänderungen treten, zum Beispiel Schaderregerbefall.

Matrix mit typischen Zuordnungen von Attributen der Steuerung der Waldökosystemdynamik (Spalten) zu Störungen/Zustandsänderungen in Waldökosystemen (Zeilen)

	Resistenz, z.B. durch - mikrokl. Puff.	Resilienz, z.B. durch - mikrokl. Puff. - Artenvielfalt - genet. Vielfalt - Regeneration (Sukzession)	Anpassungsf., z.B. durch - Artenvielfalt - genet. Vielfalt	Immer: Abiot. Expos.änderung (als grundlegende Dimension der Vulnerab.)
Absterben	X	-	-	X

Zustandsänderung infolge	X	X	-	X
Dürre, Hitzewelle				
Waldbrand	(X: ökosystembasierte Waldbrand-vermeidung)	X: Sukzession nach Waldbrand	-	X
Arealverschiebung	-	-	X	X
Borkenkäfer	X	(x: Sukzession nach Befall)	-	X
Sturm	X	(x: Sukzession nach Sturmwurf)	-	X
Sonstiges	?	?	?	X

○ *Definitionen:*

Resistenz beschreibt die Fähigkeit eines Systems, Störungen standzuhalten. Das Maß an Resistenz beeinflusst also das Schadpotential einer Störung und den Grad an Unversehrtheit innerhalb des Systems. Resilienz ist die Fähigkeit eines Systems, Störungen zu absorbieren und sich während des Veränderungsprozesses so umzustrukturieren, dass Funktionen, Strukturen, Identität und Rückkopplungen im Wesentlichen erhalten bleiben.

Anpassungsfähigkeit beschreibt die Fähigkeit eines Systems, ein grundlegend neues System zu schaffen, wenn die biophysikalischen Bedingungen das bestehende System unhaltbar machen, unter Vermeidung eines abrupten Übergangs.

Angelehnt an: Walker, B., C. S. Holling, S. R. Carpenter, and A. Kinzig. 2004. Resilience, adaptability and transformability in social-ecological systems. *Ecology and Society* 9(2): 5. [online] URL: <http://www.ecologyandsociety.org/vol9/iss2/art5/>

Die Vulnerabilität eines Systems beschreibt seine Anfälligkeit gegenüber den negativen Auswirkungen des Klimawandels sowie die systemimmanenten Grenzen für ihre Bewältigung. Vulnerabilität ist eine Funktion der Art, des Ausmaßes und der Geschwindigkeit der Klimavariation, der das System ausgesetzt ist, und dessen Sensitivität und Anpassungsfähigkeit.

IPCC (2001) *Climate change 2001: Impacts, Adaptation and Vulnerability, Summary for Policymakers*, WMO.

- C-Speicher, C-Senke (relativ, absolut): Ergebnisse (hier nicht Diskussion!) ggf. prüfen und nachtragen
- „Sonstiges“: Taxon/Taxa (also andere/s als die sechs Hauptbaumarten) in der Kommentarspalte rechts daneben angeben und Funktion des Indikators erläutern

○ *Beispiele:*

- Bienen als Indikatoren für mikroklimatische Pufferung
- Nachtfalter(-Färbung) als Indikator für mikroklimatische Pufferung
- Spinnenarten als Indikator für Resistenz gegenüber Schaderregerbefall

3. Vergleichspaare auswerten

Hinweise:

- Bewertung in den Spalten am rechten Tabellenrand dokumentieren:

VP	EE	E	N	I	II
<i>Vergleichs- paar</i>	<i>Extensivere / naturnähere Nutzung deutlich weniger vulnerabel</i>	<i>Extensivere / naturnähere Nutzung etwas weniger vulnerabel</i>	<i>Kaum erkennbare Unterschiede</i>	<i>Intensivere / naturfernere Nutzung etwas weniger vulnerabel</i>	<i>Intensivere / naturfernere Nutzung deutlich weniger vulnerabel</i>

- „Deutlich geringere Vulnerabilität“ liegt z.B. dann vor, wenn ein Zusammenhang statistisch signifikant ist, „etwas geringere Vulnerabilität“ entsprechend, wenn ein Zusammenhang statistisch nicht signifikant ist.
- Wenn ein Zusammenhang nicht auf statistische Signifikanz getestet wurde, kann eine „deutlich geringere Vulnerabilität“ oder „etwas geringere Vulnerabilität“ anderweitig angezeigt sein. Zum Beispiel kann in der Diskussion einer Studie ‚verbal‘ auf deutliche Unterschiede hingewiesen werden: „We found strong differences ...“ o.ä.
- Wenn der Grad des Unterschiedes in der Vulnerabilität nur indirekt aus der Studie hervorgeht oder schwer einzuschätzen ist, sollte der Zusammenhang („konservativ“) als „etwas geringere Vulnerabilität“ bewertet werden.
 - Der Grad des Unterschiedes in der Vulnerabilität ist etwa dann indirekt, wenn ein Zusammenhang mit Waldmanagementoptionen erst noch konstruiert werden muss. Beispiel: Näher am Pol gelegene Bestände könnten kühler und damit resistenter gegenüber Dürren sein; daher könnten Nutzungsformen, die ein kühles Mikroklima begünstigen, ebenso zu höherer Resistenz und Resilienz führen.

- *Beispiel 1:*

n2: Exploited natural forest / p2: Exotic plantation

VP 1	EE	E	N	I	II
		E			

Beispiel 2 (Zuwachs auf Bestandesebene):

n2: Buchenbestand / n2: Buchenbestand mit Douglasienbeimischung					
VP 1	EE	E	N	I	II
				I	

Beispiel 3:

VP 1 - n4: Kein Management / n2: "Business as usual"

VP 2 - n2: "Business as usual" / n2: Entnahme von Überhältern

VP 1	EE	E	N	I	II	VP 2	EE	E	N	I	II
		E							N		

Anhang D: Literaturlisten der Arbeitspakete

Nach jedem Arbeitsschritt wurden die Veröffentlichungen in einer eigenen Datenbank in Citavi gespeichert. Die RIS-Dateien sind diesem Bericht als Anhang beigelegt und enthalten sämtliche bibliographischen Informationen der recherchierten Literatur.

1. AP 1: DLR_Lit.studie_AP1_Scopus_WoS_OA_Theses+Diss_unbereinigt
2. AP 1: DLR_Lit.studie_AP1_Scopus_WoS_OA_Theses+Diss
3. AP 1: DLR_Lit.studie_AP1_Consensus+Research.Rabbit
4. AP 2: DLR_Lit.studie_AP2_gefiltert_ohne_Urwald
5. AP 2: DLR_Lit.studie_AP2_Klassifikation
6. AP 2: DLR_Lit.studie_AP2_Klassifikation_Zusammen
7. AP 3: DLR_Lit.studie_AP3_Auswertung

Anhang E: Steckbriefe der analysierten Publikationen

- Erläuterungen zu den Steckbriefen
- Steckbriefe

[Durchlaufende Steckbriefnummerierung.]

[Vollständige Quellenangabe.]

Klassifikation

Suchbegriffe	[Begriffe, mit denen die Publikation gefunden wurde.]
Textart	[Publikationstyp: Aufsatz oder Dissertation.]
Untersuchungsgebiete	[Nach Bundesländern, Nachbarländern Deutschlands und sonstigen Ländern.]
Forschungsmethode	[Angewandte Methode: Ausschließlich Felderhebung, Fernerkundung, Meta-Analysen (Sonstige).]
Haupt-Fragestellung	[Untersuchte Reaktionen auf Klimawandelwirkungen im Fokus: Zustandsänderungen, Vulnerabilität (Exposition, Expositionsänderungen, Sensitivität und Anpassungsfähigkeit), Resistenz, Resilienz, Kohlenstoffspeicherleistung, Kohlenstoffsinkenleistung.]
Neben-Fragestellung	[Weitere untersuchte Reaktionen auf Klimawandelwirkungen.]
Kommentar	[Kommentare zu den Fragestellungen.]

Befunde

Vergleichspaar	Baumart und Alter	Nutzungsformen	EE	E	N	I	II
VP 1/1	[Baumart mit Altersklasse.]	[Klassifiziert nach Buchwald (2005).]	[Extensivere oder natur-nähere Nutzung deutlich weniger vuln-abel.]	[Extensivere oder natur-nähere Nutzung etwas weniger vuln-abel.]	[Kaum erkennbare Unterschiede.]	[Intensivere oder natur-fernere Nutzung etwas weniger vuln-abel.]	[Intensivere oder natur-fernere Nutzung deutlich weniger vuln-abel.]
Spezifische Angaben	[Zur Unterscheidung der Glieder des VP.]						
VP 1/2	[Baumart mit Altersklasse.]	[Klassifiziert nach Buchwald (2005).]					
Spezifische Angaben	[Zur Unterscheidung der Glieder des VP.]						

Überlegungen zu No-/Low-regret-Maßnahmen	[In den Schlussfolgerungen der Publikation.]
Forstwirtschaftliche Perspektive	[In den Schlussfolgerungen der Publikation.]
Naturschutz-Perspektive	[In den Schlussfolgerungen der Publikation.]
Bezug zu Klimaschutz - Textauszug	[Treffer bei den Suchbegriffen „carbon“, „mitigation“, „sink“, „sequest*“, „storage“, „substitution“ in der Diskussion der Publikation.]

Abdullah, H., Neinavaz, E., Darvishzadeh, R., Huesca, M., Skidmore, A.K., Lindeskog, M. et al, 2025. Integrating process-based vegetation modelling with high-resolution imagery to assess bark beetle infestation and land surface temperature effects on forest net primary productivity. *Remote Sensing Applications: Society and Environment* 37, 101499. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2025.101499>.

Klassifikation

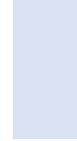
Suchbegriffe	Germany; Management; Productivity
Textart	Aufsatz
Untersuchungsgebiete	Bayern
Forschungsmethode	Fernerkundung
Haupt-Fragestellung	Expositionsänderung, biotisch: Schaderregerbefall Zustandsänderung: Wachstum, Produktivität Zustandsänderung: Absterben
Neben-Fragestellung	Expositionsänderung, abiotisch: Dürre Sensitivität: Mikroklimatische Pufferung Zustandsänderung: Absterben Resistenz Resilienz Expositionsänderung, abiotisch: Feuchte, langfristig Expositionsänderung, abiotisch: Hitzewelle

Befunde

Vergleichspaar	Baumart und Alter	Nutzungsformen	EE	E	N	I	II
VP 1/1	Fichte k.A.	n4 Newly untouched forest					
Spezifische Angaben	Feuchte Böden in Fichtenbeständen.						
VP 1/2	Fichte k.A.	n4 Newly untouched forest		E			
Spezifische Angaben	Trockenere Böden in Fichtenbeständen.						
Kommentar	Fichtenbestände mit feuchten Böden sind weniger anfällig, daher könnten						

Steckbrief Nr. 1

Nutzungsformen, die feuchte Böden
begünstigen zu höherer Resistenz
gegenüber Borkenkäfer Befällen führen.



Bezug zu Klimaschutz

"One critical consequence of bark beetle infestations is the disruption of forest ecosystems, affecting their structure, composition, carbon cycling and biodiversity (Pfeifer et al., 2011; Seidl et al., 2014; Zeppenfeld et al., 2015). Tree mortality and reduced stand density release stored carbon through changes in decomposition and respiration rates (Hlásny et al., 2021). This highlights the importance of considering bark beetle dynamics in policies designed to enhance forest carbon sequestration (Beudert and Gietl, 2015; Seidl et al., 2008)."

Adhikari, Y., Bachstein, N., Gohr, C., Blumröder, J.S., Meier, C., Ibisch, P.L., 2024. Old-growth beech forests in Germany as cool islands in a warming landscape. *Scientific Reports* 14, 30311. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-81209-0>.

Klassifikation

Suchbegriffe	Germany; Growth
Textart	Aufsatz
Untersuchungsgebiete	Thüringen, Hessen, Mecklenburg-Vorpommern, Brandenburg
Forschungsmethode	Fernerkundung
Haupt-Fragestellung	Expositionsänderung, abiotisch: Hitzewelle Sensitivität: Mikroklimatische Pufferung Resilienz Resistenz

Befunde

Vergleichspaar	Baumart und Alter	Nutzungsformen	EE	E	N	I	II
VP 1/1	Buche k.A.	n4 Newly untouched forest					
Spezifische Angaben	Grumsin: Kernzone.						
VP 1/2	Buche k.A.	n2 Exploited natural forest					
Spezifische Angaben	Grumsin: Pufferzone.			E			
Kommentar	Unterschiede in der LST mit kälteren Temperaturen in den Zentrums zeigen einen negativen Einfluss des Managements in den Pufferzonen, welches zu einer Störung in der mikroklimatishcen Pufferung des Waldes führt.						
VP 2/1	Buche k.A.	n4 Newly untouched forest					
Spezifische Angaben	Grumsin: Kernzone.		EE				

Steckbrief Nr. 2

VP 2/2	Buche k.A.	n2 Exploited natural forest	
Spezifische Angaben	Grumsin: 'border zone'		
Kommentar	Unterschiede in der LST mit kälteren Temperaturen im Zentrums zeigen einen negativen Einfluss des Managements in den Grenzzonen, welches zu einer Störung in der mikroklimatischen Pufferung des Waldes führt.		
VP 3/1	Buche k.A.	n4 Newly untouched forest	E
Spezifische Angaben	Hainich: Kernzone.		
VP 3/2	Buche k.A.	n2 Exploited natural forest	
Spezifische Angaben	Hainich: Pufferzone.		
VP 4/1	Buche k.A.	n4 Newly untouched forest	EE
Spezifische Angaben	Hainich: Kernzone.		
VP 4/2	Buche k.A.	n2 Exploited natural forest	
Spezifische Angaben	Hainich: 'border zone'.		
Kommentar	Unterschiede in der LST mit kälteren Temperaturen in den Zentrums zeigen einen negativen Einfluss des Managements in den Grenzzonen, welches zu einer Störung in der mikroklimatishcen Pufferung des Waldes führt.		
VP 5/1	Buche k.A.	n4 Newly untouched forest	EE
Spezifische Angaben	Jasmund: Kernzone.		
VP 5/2	Buche k.A.	n2 Exploited natural forest	
Spezifische Angaben	Jasmund: Pufferzone.		

Steckbrief Nr. 2

Kommentar	Unterschiede in der LST mit kälteren Temperaturen in den Zentrums zeigen einen negativen Einfluss des Managements in den Pufferzonen, welches zu einer Störung in der mikroklimatischen Pufferung des Waldes führt.		
VP 6/1	Buche k.A.	n4 Newly untouched forest	EE
Spezifische Angaben	Jasmund: Kernzone.		
VP 6/2	Buche k.A.	n2 Exploited natural forest	
Spezifische Angaben	Jasmund: 'border zone'.		
VP 7/1	Buche k.A.	n4 Newly untouched forest	E
Spezifische Angaben	Kellerwald: Kernzone.		
VP 7/2	Buche k.A.	n2 Exploited natural forest	
Spezifische Angaben	Kellerwald: Pufferzone.		
Kommentar	Unterschiede in der LST mit kälteren Temperaturen in den Zentrums zeigen einen negativen Einfluss des Managements in den Pufferzonen, welches zu einer Störung in der mikroklimatishcen Pufferung des Waldes führt.		
VP 8/1	Buche k.A.	n4 Newly untouched forest	E
Spezifische Angaben	Kellerwald: Kernzone.		
VP 8/2	Buche k.A.	n2 Exploited natural forest	
Spezifische Angaben	Kellerwald: 'border zone'.		
Kommentar	Unterschiede in der LST mit kälteren Temperaturen in den Zentrums zeigen einen negativen Einfluss des Managements in den Grenzzonen, welches zu einer Störung in der		

Steckbrief Nr. 2

	mikroklimatischen Pufferung des Waldes führt.		
VP 9/1	Buche k.A.	n4 Newly untouched forest	N
Spezifische Angaben	Serrahn: Zentrum.		
VP 9/2	Buche k.A.	n2 Exploited natural forest	
Spezifische Angaben	Serrahn: Pufferzone.		
VP 10/1	Buche k.A.	n4 Newly untouched forest	N
Spezifische Angaben	Serrahn: Kernzone.		
VP 10/2	Buche k.A.	n2 Exploited natural forest	
Spezifische Angaben	Serrahn: 'border zone'.		
Kommentar	Unterschiede in der LST mit kälteren Temperaturen in den Zentrums zeigen einen negativen Einfluss des Managements in den Grenzzonen, welches zu einer Störung in der mikroklimatishcen Pufferung des Waldes führt.		

Überlegungen zu No-/Low-regret-Maßnahmen

Abwägungsentscheidung: Pufferzonen um strukturreiche Naturwälder stehen einerseits ökonomischen Interessen entgegen, andererseits helfen sie, ihre Kühlungsfunktion zu erhalten.

Forstwirtschaftliche Perspektive

Das Einführen von Pufferzonen und der Verzicht auf Bewirtschaftung in einigen Gebieten kann zu kurzzeitigen wirtschaftlichen Auswirkungen auf Land- und Forstwirtschaft führen.

Naturschutz-Perspektive

Langfristig können diese Strategien zu resilienteren Landschaften führen und somit nachhaltige Bewirtschaftung unterstützen.

Akinyede, R., Taubert, M., Schrumpf, M., Trumbore, S., Küsel, K., 2022. Temperature sensitivity of dark CO₂ fixation in temperate forest soils. *Biogeosciences* 19, 4011–4028. <https://doi.org/10.5194/bg-19-4011-2022>.

Klassifikation

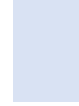
Suchbegriffe	Abundance; Germany; Sensitivity
Textart	Aufsatz
Untersuchungsgebiete	Thüringen
Forschungsmethode	Ausschließlich Felderhebung
Haupt-Fragestellung	Kohlenstoffspeicher, relativ Expositionsänderung, abiotisch: Temperatur, langfristig Kohlenstoffsенke, relativ Expositionsänderung, abiotisch: Feuchte, langfristig Resistenz Resilienz

Befunde

Vergleichspaar	Baumart und Alter	Nutzungsformen	EE	E	N	I	II
VP 1/1	Buche k.A.	p3 Native plantation		E			
Spezifische Angaben	Bodeneigenschaften unter Buchenbestände.						
VP 1/2	Fichte k.A.	p2 Exotic plantation					
Spezifische Angaben	Bodeneigenschaften unter Fichtenbestände.						
Kommentar	In Buchenböden wird ein größerer Anteil des markierten CO ₂ in organischen Bodenkohlenstoff (SOC) eingebunden als in mikrobielle Biomasse, verglichen mit dem Fichtenboden. Dadurch gibt eine stärkere Bildung von mikrobiellen Reststoffen (microbial residue). Buchenböden haben einen höheren Anteil an heterotrophen Organismen. Daher könnten Nutzungsformen, die sich bei der						

Steckbrief Nr. 3

Baumartenwahl auf Buchen an Stelle von
Fichten fokussieren von Vorteil sein.



Bezug zu Klimaschutz

"Hence, the potential for dark CO₂ fixation to recycle or modulate carbon respired from temperate forest soils could decrease under future warming scenarios."; "Furthermore, higher temperature might alter primary production and root exudation, resulting in changes in soil carbon inputs and, consequently, soil pore space CO₂ concentrations and effluxes"; "The proportion of labelled carbon transferred to the SOC pool increased with temperature in both beech and spruce soils and across all depths, indicating higher inputs of microbial residues under warming."

Annighöfer, P., Beckschäfer, P., Vor, T., Ammer, C., 2015. Regeneration Patterns of European Oak Species (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl., *Quercus robur* L.) in Dependence of Environment and Neighborhood. PLoS ONE 10, e0134935. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0134935>.

Klassifikation

Suchbegriffe	Abundance; Fertility; Germany; Growth; Management
Textart	Aufsatz
Untersuchungsgebiete	Bayern
Forschungsmethode	Ausschließlich Felderhebung
Haupt-Fragestellung	Expositionsänderung, abiotisch: Feuchte, langfristig Zustandsänderung: Wachstum, Produktivität Expositionsänderung, abiotisch: Temperatur, langfristig Resistenz Resilienz
Neben-Fragestellung	Expositionsänderung, abiotisch: Waldbrand

Befunde

Vergleichspaar	Baumart und Alter	Nutzungsformen	EE	E	N	I	II
VP 1/1	Alter 0 - 20	n2 Exploited natural forest					
Spezifische Angaben	Dichte obere Baumschicht (Eiche).						
VP 1/2	Alter 0 - 20	n2 Exploited natural forest					
Spezifische Angaben	Weniger dichte obere Baumschicht (Eiche).				N		
Kommentar	Eine dichte obere Baumschicht führt zu besseren Bedingungen für die Verjüngung von Eichen, daher könnten Nutzungsformen, die für eine dichte obere Baumschicht sorgen zu einer begünstigte Naturverjüngung und somit weniger vulnerablen Wäldern führen.						

Steckbrief Nr. 4

VP 2/1	Alter 0 - 20	n2 Exploited natural forest	N
Spezifische Angaben	Hohe Wasserverfügbarkeit.		
VP 2/2	Alter 0 - 20	n2 Exploited natural forest	
Spezifische Angaben	Geringe Wasserverfügbarkeit.		
Kommentar	Hohe Wasserversorgung ist evtl. günstig für die Naturverjüngung, daher könnten Nutzungsformen, die für ein hohes Wasserangebot sorgen, zu einer geringeren Vulnerabilität führen.		

Bantis, F., Graap, J., Fruchtenicht, E., Bussotti, F., Radoglou, K., Brüggemann, W., 2021. Field performances of mediterranean oaks in replicate common gardens for future reforestation under climate change in central and southern europe: First results from a four-year study. *Forests* 12, 678. <https://doi.org/10.3390/f12060678>.

Klassifikation

Suchbegriffe	Germany; Growth; Management
Textart	Aufsatz
Untersuchungsgebiete	Hessen, Sonstiges
Forschungsmethode	Ausschließlich Felderhebung
Haupt-Fragestellung	Expositionsänderung, abiotisch: Temperatur, langfristig Anpassungsfähigkeit Resistenz Expositionsänderung, abiotisch: Feuchte, langfristig Exposition: Standort Zustandsänderung: Wachstum, Produktivität
Neben-Fragestellung	Expositionsänderung, abiotisch: Hitzewelle
Kommentar	Italien, Griechenland.

Befunde

Vergleichspaar	Baumart und Alter	Nutzungsformen	EE	E	N	I	II
VP 1/1	Alter 0 - 20	p3 Native plantation					
Spezifische Angaben	Eichensetzlinge aus Deutschland (Q.robur).						
VP 1/2	Alter 0 - 20	p2 Exotic plantation					
Spezifische Angaben	Eichensetzlinge aus Griechenland + Italien (Quercus ilex, Q. pubescens, Q. frainetto).						
Kommentar	Das Pflanzen von heimischen Setzlingen könnte die Entwicklung der Bäume begünstigen, daher könnte eine Nutzungsform, die heimische Setzlinge						

Steckbrief Nr. 5

verwendet, für resistenter Bestände sorgen.

VP 2/1	Alter 0 - 20	p3 Native plantation	
Spezifische Angaben	Bewirtschaftete Eichen und Kiefern Plantagen ("SWA").		
VP 2/2	Alter 0 - 20	p3 Native plantation	
Spezifische Angaben	Plantation on cleared agricultural field ("RIE").		I
Kommentar	Ein besseres Wachstum auf bewaldeten Flächen würde dafür sprechen, dass Nutzungsformen, die große Freiflächen vermeiden, zu besserer Verjüngung führen und Resilienz und Resistenz des Bestandes fördern.		

Beloiu, M., Stahlmann, R., Beierkuhnlein, C., 2022. Drought impacts in forest canopy and deciduous tree saplings in Central European forests. *Forest Ecology and Management* 509, 120075. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2022.120075>.

Klassifikation

Suchbegriffe	Germany; Productivity; Resilience
Textart	Aufsatz
Untersuchungsgebiete	Bayern
Forschungsmethode	Fernerkundung
Haupt-Fragestellung	Expositionsänderung, abiotisch: Dürre Zustandsänderung: Absterben Resistenz
Neben-Fragestellung	Expositionsänderung, abiotisch: Dürre Zustandsänderung: Wachstum, Produktivität Resilienz

Befunde

Vergleichspaar	Baumart und Alter	Nutzungsformen	EE	E	N	I	II
VP 1/1	Alter 0 - 20	n2 Exploited natural forest					
Spezifische Angaben	Laubwald.						
VP 1/2	Alter 0 - 20	n2 Exploited natural forest					
Spezifische Angaben	Mischwald.			E			
Kommentar	Die Vitalität und Erholungsfähigkeit von Verjüngung in unterschiedlichen Waldtypen könnte Aufschluss geben über Nutzungsformen, die Vitalität und Erholungsfähigkeit von Verjüngung begünstigen und so besserer Resistenz und Resilienz führen.						

Steckbrief Nr. 6

VP 2/1	Alter 0 - 20	n2 Exploited natural forest	EE	
Spezifische Angaben	Laubwald.			
VP 2/2	Alter 0 - 20	n2 Exploited natural forest		
Spezifische Angaben	Nadelwald.			
Kommentar	Die Vitalität und Erholungsfähigkeit von Verjüngung in unterschiedlichen Waldtypen könnte Aufschluss geben über Nutzungsformen, die Vitalität und Erholungsfähigkeit von Verjüngung begünstigen und so besserer Resistenz und Resilienz führen.			
VP 3/1	Alter 0 - 20	n2 Exploited natural forest	E	
Spezifische Angaben	Mischwald.			
VP 3/2	Alter 0 - 20	n2 Exploited natural forest		
Spezifische Angaben	Nadelwald.			

Überlegungen zu No-/Low-regret-Maßnahmen

Naturverjüngung als natürlicher Prozess stärkt die Resistenz und Resilienz.

Bezug zu Klimaschutz

"Tree response to drought has important implications for future forest productivity, carbon cycling, and the future provision of goods and services that we benefit from as a society today. [...] Tree planting is seen as a major climate change mitigation strategy [...]. Our results thus provide valuable information on which species can better withstand the impacts of drought, which can help foresters make decisions that take into account the risks of future drought events on tree survival. The remarkable capacity of deciduous saplings to recover after drought suggest considerable potential for forest management based on natural regeneration and recruitment. Thus, any efforts to increase the resilience of the European forests in the face of climate warming and drought should consider the response of saplings to drought."

Berberich, G.M., Berberich, M.B., 2023. A Re-Inventory after 12 Years—Increase in Red Wood Ant Nests and Woodpecker Cavities in Nests in the West Eifel Volcanic Field despite Climatic Changes. *Forests* 14, 985. <https://doi.org/10.3390/f14050985>.

Klassifikation

Suchbegriffe	Germany
Textart	Aufsatz
Untersuchungsgebiete	Rheinland-Pfalz, Nordrhein-Westfalen
Forschungsmethode	Ausschließlich Felderhebung
Haupt-Fragestellung	Zustandsänderung: Sonstige Exposition: Standort Resistenz
Neben-Fragestellung	Expositionsänderung, biotisch: Schaderregerbefall Anpassungsfähigkeit

Befunde

Vergleichspaar	Baumart und Alter	Nutzungsformen	EE	E	N	I	II
VP 1/1	Fichte > 80	p2 Exotic plantation					
Spezifische Angaben	Alte Bäume 81-140 Jahre.						
VP 1/2	Fichte ≤ 80	p2 Exotic plantation					
Spezifische Angaben	Mittelalte Bäume 41-60 Jahre.						
Kommentar	Vermehrtes Auftreten von Nestern in alten Bäumen könnte für bessere Bedingungen für das Überleben der Roten Waldameisen stehen, daher könnten Nutzungsformen, die das Auftreten alter Bäume begünstigen zu mehr Biodiversität und bessere Resistenz führen.					I	
VP 2/1	Fichte ≤ 80	p2 Exotic plantation					
Spezifische Angaben	Mittelalter Bäume (41 - 80 Jahre).		EE				

Steckbrief Nr. 7

VP 2/2	Fichte ≤ 80	p2 Exotic plantation	
Spezifische Angaben	Young trees (21 - 40 years).		
Kommentar	Vermehrtes Auftreten von Nestern in alten Bäumen könnte für bessere Bedingungen für das Überleben der Roten Waldameisen stehen, daher könnten Nutzungsformen, die das Auftreten alter Bäume begünstigen zu mehr Biodiversität und bessere Resistenz führen.		
VP 3/1	Fichte > 80	p2 Exotic plantation	I
Spezifische Angaben	wenig Durchforstung.		
VP 3/2	Fichte > 80	p2 Exotic plantation	
Spezifische Angaben	Viel Durchforstung.		

Blumroeder, J.S., Schmidt, F., Gordon, A., Grosse, S., Ibisch, P.L., 2022. Ecosystemic resilience of a temperate post-fire forest under extreme weather conditions. *Front. For. Glob. Change* 5, 1070958. <https://doi.org/10.3389/ffgc.2022.1070958>.

Klassifikation

Suchbegriffe	Abundance; Adaptability; Germany; Management; Resilience
Textart	Aufsatz
Untersuchungsgebiete	Brandenburg
Forschungsmethode	Ausschließlich Felderhebung
Haupt-Fragestellung	Resilienz Expositionsänderung, abiotisch: Waldbrand Anpassungsfähigkeit Resistenz
Neben-Fragestellung	Expositionsänderung, abiotisch: Dürre Expositionsänderung, abiotisch: Hitzewelle

Befunde

Vergleichspaar	Baumart und Alter	Nutzungsformen	EE	E	N	I	II
VP 1/1	Alter 0 - 20	n4 Newly untouched forest	EE				
Spezifische Angaben	Keine Eingriffe auf Brandflächen.						
VP 1/2	Alter 0 - 20	p3 Native plantation					
Spezifische Angaben	Teilweise Beräumung von Totholz auf Brandflächen.						
Kommentar	Der Verzicht auf Totholzberäumung auf den Brandflächen könnte zu besseren Überlebenschancen der Verjüngung und einem besseren Mikroklima im Wald führen, daher könnten Nutzungsformen, die auf Eingriffe verzichten zu höherer Resilienz und Resistenz führen.						

Steckbrief Nr. 8

VP 2/1	Alter 0 - 20	p3 Native plantation	E
Spezifische Angaben	Teilweise Beräumung von Totholz auf den Brandflächen.		
VP 2/2	Alter 0 - 20	p3 Native plantation	
Spezifische Angaben	Komplette Beräumung von Totholz auf den Brandflächen + Pflanzung (Kiefer, Roteiche).		
Kommentar	Der Verzicht auf komplette Totholzberäumung auf den Brandflächen könnte zu besseren Überlebenschancen der Verjüngung und einem besseren Mikroklima im Wald führen, daher könnten Nutzungsformen, die auf Eingriffe verzichten zu höherer Resilienz und Resistenz führen.		
Überlegungen zu No-/Low-regret-Maßnahmen	Abwägungsentscheidung: 1. (Natürliche) Ansaat ist einerseits ökologisch vorteilhaft, andererseits mit Risiken für die kurzfristige forstwirtschaftliche Zielerreichung verbunden. 2. Belassung des Totholzes ist einerseits ökologisch vorteilhaft, andererseits mit Risiken für die kurzfristige forstwirtschaftliche Zielerreichung verbunden.		
Forstwirtschaftliche Perspektive	Eingriffe nach einem Waldbrand, um Wiederbewaldung zu beschleunigen; 1. Direktsaat ist günstiger und hat geringeren Umwelteinfluss als Pflanzung; 2. Beräumung des Totholzes zur Verringerung des Brandrisikos, Schädlingsbefall verhindern, Sicherheit, Vorbereitung von Wiederbewaldungsmaßnahmen, Verkauf.		
Naturschutz-Perspektive	1., 2.: Eingriffe können natürliche Prozesse negativ beeinflussen (Biodiversität, nicht-heimische Arten, Entstehung gleicher Bedingungen, wie vor dem Brand)(Naturverjüngung zu bevorzugen); 2. Gegen eine Beräumung des Totholzes spricht das Risiko von Bodenverdichtung und -erosion, Schädigung der Bodenvegetation und Naturverjüngung, Veränderung des Wasserkreislaufs.		
Bezug zu Klimaschutz	"Based on our findings, we cannot recommend establishing or replanting Scots pine stands. This type of forest plantation has already been described as “neither environmental-friendly nor climate smart, given their enhancement of climate-warming, low climate change mitigation potential, and negative effect on groundwater recharge” (Leuschner et al., 2022)."; "As fire temperatures rise, soil microorganisms, invertebrates, and seeds existing in the upper soil layer are more severely affected (Ne’eman et al., 1997). This might		

Steckbrief Nr. 8

possibly result in a reduction in soil productivity and the survival chances of rejuvenating plants as well as an increase in carbon emissions from soil."; "Uncleared stands also act as carbon pools (Gustafsson et al., 2012; Leverkus et al., 2018)."

Borchard, N., Adolphs, T., Beulshausen, F., Ladd, B., Giesselmann, U.C., Hegenberg, D. et al, 2017. Carbon accrual rates, vegetation and nutrient dynamics in a regularly burned coppice woodland in Germany. *GLOBAL CHANGE BIOLOGY BIOENERGY* 9, 1140–1150.
<https://doi.org/10.1111/gcbb.12408>.

Klassifikation

Suchbegriffe	Germany; Management
Textart	Aufsatz
Untersuchungsgebiete	Nordrhein-Westfalen
Forschungsmethode	Ausschließlich Felderhebung
Haupt-Fragestellung	Kohlenstoffspeicher, relativ Expositionsänderung, abiotisch: Waldbrand Zustandsänderung: Wachstum, Produktivität Resilienz
Neben-Fragestellung	Sensitivität: Mikroklimatische Pufferung

Befunde

Vergleichspaar	Baumart und Alter	Nutzungsformen	EE	E	N	I	II
VP 1/1	Buche ≤ 120, Fichte ≤ 80	n4 Newly untouched forest					
Spezifische Angaben	Unbewirtschaftete Wälder.						
VP 1/2	Alter 0 - 20	n2 Exploited natural forest					
Spezifische Angaben	Niederwald nach Brandereignis (sieben Altersklassen nach dem Brand).						
Kommentar	Unbewirtschaftete Wälder könnten für bessere Bodenverhältnisse und Nährstoffversorgung sorgen, daher könnten Nutzungsformen, die auf das Verbrennen verzichten für mehr Resistenz und Resilienz führen.						

Bezug zu Klimaschutz

"In addition, across the succession and regrowth period of <20 years, coppiced woodlands accumulated as much C as nearby unmanaged beech and spruce forest. Measured biomass C in beech and spruce forests was in typical ranges for these forest types (Dieter & Elsasser, 2002; Lecoïnte et al., 2006; Thuille & Schulze, 2006). However, the C storage in the studied (living museum) coppice stands was three to five times higher than for coppice stands described by Bruckman et al. (2011), but different stand densities, stump densities and number of branches per stump may explain differences."; " Moreover, compared to beech forest systems, the studied coppice forest management system increased BC stocks and thereby possibly elevated SOC storage capacity in the mineral soil (Borchard et al., 2014), even if other authors found that added BC could potentially also accelerate litter and SOC decomposition (Wardle et al., 2008)."; "Our case study shows that coppiced forests can have higher biodiversity and accumulate within <20 years as much C as mature beech and spruce forests. These observations imply that it is possible to manage forests to maximize both biodiversity and C sequestration across landscapes."

Bosela, M., Lukac, M., Castagneri, D., Sedmák, R., Biber, P., Carrer, M. et al, 2018. Contrasting effects of environmental change on the radial growth of co-occurring beech and fir trees across Europe. *The Science of the total environment* 615, 1460–1469.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.09.092>.

Klassifikation

Suchbegriffe	Central Europe; Germany; Growth; Management; Productivity; Resilience; Resistance; Sensitivity; Susceptibility; Vulnerability
Textart	Aufsatz
Untersuchungsgebiete	Bayern, Sonstiges, Nachbarländer
Forschungsmethode	Ausschließlich Felderhebung
Haupt-Fragestellung	Zustandsänderung: Wachstum, Produktivität Expositionsänderung, abiotisch: Temperatur, langfristig Expositionsänderung, abiotisch: Feuchte, langfristig Anpassungsfähigkeit Resistenz Resilienz
Neben-Fragestellung	Exposition: Standort
Kommentar	Slowakei, Rumänien, Bosnien-Herzegowina, Italien.

Befunde

Vergleichspaar	Baumart und Alter	Nutzungsformen	EE	E	N	I	II
VP 1/1	Buche k.A.	n4 Newly untouched forest					
Spezifische Angaben	Buche.						
VP 1/2	Tanne k.A.	n4 Newly untouched forest					
Spezifische Angaben	Tanne.						
Kommentar	Eine positive Entwicklung des Buchen-Wachstums könnte auf eine gute Anpassungsfähigkeit an die verändernden Klimabedingungen hinweisen, daher						

Steckbrief Nr. 10

könnten Nutzungsformen, welche vermehrt Buchen einsetzen, zu resistenteren und resilienteren Wäldern führen.

VP 2/1	Buche k.A., Tanne k.A.	n4 Newly untouched forest	N
Spezifische Angaben	Unbewirtschaftet.		
VP 2/2	Buche k.A., Tanne k.A.	n2 Exploited natural forest	
Spezifische Angaben	Managed site.		
Kommentar	Ein stärkeres Wachstum auf der Flächen ohne Management könnte dafür sprechen, dass eine naturnähere Bewirtschaftung zu resistenteren und resilienteren Wäldern führt.		

Überlegungen zu No-/Low-regret-Maßnahmen

Risikostreueung durch Berücksichtigung von Buchen und von Tannen für den Umbau von Fichtenforsten.

Bouriaud, O., Marin, G., Bouriaud, L., Hessenmöller, D., Schulze, E.D., 2016. Romanian legal management rules limit wood production in Norway spruce and beech forests. *Forest Ecosystems* 3, 20. <https://doi.org/10.1186/s40663-016-0079-2>.

Klassifikation

Suchbegriffe	Central Europe; Fertility; Germany; Growth; Management; Productivity
Textart	Aufsatz
Untersuchungsgebiete	Bayern, Thüringen, Sonstiges
Forschungsmethode	Ausschließlich Felderhebung
Haupt-Fragestellung	Zustandsänderung: Wachstum, Produktivität Resistenz Resilienz
Kommentar	Rumänien.

Befunde

Vergleichspaar	Baumart und Alter	Nutzungsformen	EE	E	N	I	II
VP 1/1	Fichte > 80	p2 Exotic plantation					
Spezifische Angaben	Geringe Pflege/Durchforstung (Rumänien).						
VP 1/2	Fichte > 80	p2 Exotic plantation					
Spezifische Angaben	Starke Pflege/Durchforstung (Deutschland).						
Kommentar	Bestände mit weniger starker Durchforstung und Pflege könnten für höhere Produktivität stehen, daher könnten Nutzungsformen mit geringer/keiner Durchforstung für mehr Resistenz/Resilienz sorgen.						
Überlegungen zu No-/Low-regret-Maßnahmen	Verkürzung der Umtriebszeit nicht nachteilig für Naturschutzziele; Hinweise auf Schwächung der Speicherleistung von Wäldern und weiterer (nicht genauer benannter) Nachteile.						

Steckbrief Nr. 11

Forstwirtschaftliche Perspektive	Verkürzung der Umtriebszeiten führt zu höherer Produktivität.
Naturschutz-Perspektive	Ökosystemleistungen könnten beeinträchtigt werden, aber Verkürzung der Umtriebszeiten vereinbar mit Naturschutzziele.
Bezug zu Klimaschutz	"The value of standing wood volume as a mitigation strategy for climate change versus replacing fossil fuel products by wood remain under debate (Nabuurs et al. 2007; Naudts et al. 2016). Forestry fulfils the social demands for wood, fibre and energy, and therefore is a key component in the climate negotiations. According to Paris protocol, national emissions are balanced by the forest sink including forest products (i.e. the harvested wood). The higher contribution to the wood market in D overtops the higher standing biomass in RO about by factor 2. Thus, the climate mitigation effort via replacing fossil fuel increases with management."; "It is worth considering if the situation in Romania could be changed. The basis for a mitigation policy would be to support "future trees" and reduce stand density in an early stage, since it would improve productivity according to our results. This would provide more wood to the market without depressing the forest stock. However, these objectives cannot be reached by the forest manager without a legal basis. It is mainly the current technical norms that prohibit mitigation in Romania."; "Thus, it is not only the prescriptions upon thinning in the earlier age but also the "freeze" between 100 and 125 years that hinder mitigation. In addition, the management plans should not perpetuate existing growth rates, but be based on achievable growth under best practice of management, and the burden of proof for sustainability needs to be brought by local management and not by the government. In summary mitigation must start at the governmental regulations and constraints. The problems that were presented here for Romanian forests may exist in other regions of the world and may be considered globally in countries with constrained management rules as well as countries having experienced historic over-use."; "Even though our study is based only on two intensively studied sites and on two national inventories, we like to point out that the implications go far beyond Romania and Germany. The "cut and leave" - type of management (Schulze et al. 2014) is probably true for most of the boreal forest globally, and it is probably true for the tropics. Shortening the rotation will result in concerns on Bouriaud et al. Forest Ecosystems (2016) 3:20 the provision of the ecological services including sequestering carbon."

Budde, K.B., Hötzel, S., Müller, M., Samsonidze, N., Papageorgiou, A.C., Gailing, O., 2023. Bidirectional gene flow between *Fagus sylvatica* L. and *F. orientalis* Lipsky despite strong genetic divergence. *Forest Ecology and Management* 537, 120947. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2023.120947>.

Klassifikation

Suchbegriffe	Abundance; Germany; Growth; Management; Resistance; Tolerance
Textart	Aufsatz
Untersuchungsgebiete	Niedersachsen
Forschungsmethode	Ausschließlich Felderhebung
Haupt-Fragestellung	Zustandsänderung: Sonstige Zustandsänderung: Wachstum, Produktivität

Befunde

Vergleichspaar	Baumart und Alter	Nutzungsformen	EE	E	N	I	II
VP 1/1	Buche ≤ 120	p4 Partly-natural planted forest					
Spezifische Angaben	<i>Fagus sylvatica</i> .						
VP 1/2	Buche ≤ 120	p4 Partly-natural planted forest					
Spezifische Angaben	<i>Fagus orientalis</i>						

Überlegungen zu No-/Low-regret-Maßnahmen	Keine no-/low-regret-Option: Gentransfer zwischen Buchenarten riskant.
Forstwirtschaftliche Perspektive	evtl. Outbreeding Depression
Naturschutz-Perspektive	Verbesserte Resistenz gegenüber Dürre.

Buras, A., Schunk, C., Zeiträg, C., Herrmann, C., Kaiser, L., Lemme, H. et al, 2018. Are Scots pine forest edges particularly prone to drought-induced mortality? *Environ. Res. Lett.* 13, 25001. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aaa0b4>.

Klassifikation

Suchbegriffe	Germany; Growth; Management; Vulnerability
Textart	Aufsatz
Untersuchungsgebiete	Bayern
Forschungsmethode	Fernerkundung
Haupt-Fragestellung	Expositionsänderung, abiotisch: Dürre Zustandsänderung: Absterben Exposition: Standort Zustandsänderung: Wachstum, Produktivität Expositionsänderung, abiotisch: Hitzewelle Resistenz
Neben-Fragestellung	Kohlenstoffspeicher, relativ

Befunde

Vergleichspaar	Baumart und Alter	Nutzungsformen	EE	E	N	I	II
VP 1/1	Kiefer > 100	p3 Native plantation	EE				
Spezifische Angaben	Waldinneres.						
VP 1/2	Kiefer > 100	p3 Native plantation					
Spezifische Angaben	Waldrand.						

Überlegungen zu No-/Low-regret-Maßnahmen	Kiefernwald: Reduzierung der Waldrand-Gesamtstrecke; schonende Behandlung von Waldrändern.
Forstwirtschaftliche Perspektive	Vermeidung von dürrebedingten Verlusten in Kiefernbeständen.

Cocozza, C., Miguel, M. de, Psidova, E., Ditmarova, L., Marino, S., Maiuro, L. et al, 2016.
 Variation in Ecophysiological Traits and Drought Tolerance of Beech (*Fagus sylvatica* L.)
 Seedlings from Different Populations. *Frontiers in Plant Science* 7, 886.
<https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00886>.

Klassifikation

Suchbegriffe	Germany; Growth; Tolerance
Textart	Aufsatz
Untersuchungsgebiete	Niedersachsen, Nachbarländer, Sonstiges
Forschungsmethode	Ausschließlich Felderhebung
Haupt-Fragestellung	Expositionsänderung, abiotisch: Dürre Expositionsänderung, abiotisch: Hitzewelle Exposition: Standort Zustandsänderung: Verringerte Photosynthese Zustandsänderung: Wachstum, Produktivität Anpassungsfähigkeit Resistenz
Kommentar	Dänemark, Frankreich, Rumänien, Bosnia, Spanien, Italien.

Befunde

Vergleichspaar	Baumart und Alter	Nutzungsformen	EE	E	N	I	II
VP 1/1	Alter 0 - 20	p3 Native plantation					
Spezifische Angaben	Lokale Provenienzen.						
VP 1/2	Alter 0 - 20	p3 Native plantation					
Spezifische Angaben	Andere Provenienzen.						

Cours, J., Larrieu, L., Lopez-Vaamonde, C., Müller, J., Parmain, G., Thorn, S. et al, 2021.
 Contrasting responses of habitat conditions and insect biodiversity to pest- or climate-induced dieback in coniferous mountain forests. *Forest Ecology and Management* 482, 118811.
<https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118811>.

Klassifikation

Suchbegriffe	Abundance; Germany; Management
Textart	Aufsatz
Untersuchungsgebiete	Bayern, Nachbarländer
Forschungsmethode	Ausschließlich Felderhebung
Haupt-Fragestellung	Expositionsänderung, biotisch: Schaderregerbefall Expositionsänderung, abiotisch: Dürre Zustandsänderung: Absterben Resistenz Resilienz
Kommentar	Frankreich.

Befunde

Vergleichspaar	Baumart und Alter	Nutzungsformen	EE	E	N	I	II
VP 1/1	Fichte > 80	n4 Newly untouched forest					
Spezifische Angaben	Nicht beerntete, gestörte Wälder (Fichte).						
VP 1/2	Fichte > 80	p2 Exotic plantation					
Spezifische Angaben	Beerntete, gestörte Wälder (Fichte).						
Kommentar	Eine positive Waldentwicklung bei einem Verzicht auf die Entnahme des Holzes könnte dafür sprechen, dass diese Nutzungsform zu einem resistenteren und resilienteren Wald führt.						
VP 2/1	Tanne k.A.	n4 Newly untouched forest					
					N		

Steckbrief Nr. 15

Spezifische Angaben	Nicht beerntete, gestörte Wälder (Tanne).	
VP 2/2	Tanne k.A.	p2 Exotic plantation
Spezifische Angaben	Beerntete, gestörte Wälder (Tanne).	
Kommentar	Eine positive Waldentwicklung bei einem Verzicht auf die Entnahme des Holzes könnte dafür sprechen, dass diese Nutzungsform zu einem resistenteren und resilienteren Wald führt.	

Überlegungen zu No-/Low-regret-Maßnahmen

Keine no-/low-regret-Option: Totholzbelassung ineffektiv.

Debel, A., Foroozan, Z., Haeusser, M., Raspe, S., Bräuning, A., 2024. Assessing intra-annual growth dynamics in climatically contrasting years, sites, and tree species using dendrometers and wood anatomical data. *Frontiers in Forests and Global Change* 7, 1342413. <https://doi.org/10.3389/ffgc.2024.1342413>.

Klassifikation

Suchbegriffe	Germany; Growth
Textart	Aufsatz
Untersuchungsgebiete	Bayern
Forschungsmethode	Ausschließlich Felderhebung
Haupt-Fragestellung	Exposition: Standort Zustandsänderung: Wachstum, Produktivität Expositionsänderung, abiotisch: Dürre Resistenz Resilienz
Kommentar	"... the western part of the study area has a rather oceanic climate with mild and wet winters, whereas the eastern part of Bavaria is more continental, with colder winters".

Befunde

Vergleichspaar	Baumart und Alter	Nutzungsformen	EE	E	N	I	II
VP 1/1	Buche k.A., Kiefer k.A.	Sonstiges					
Spezifische Angaben	Obere Höhenlage.						
VP 1/2	Buche k.A., Kiefer k.A.	Sonstiges					
Spezifische Angaben	Untere Höhenlage.			E			
Kommentar	Obere Hanglagen sind kühler und feuchter; Nutzungsformen in unteren Höhenlagen), die ein kühl-feuchtes Mikroklima begünstigen, könnten das wärmere und trockenere Klima teilweise abmildern.						

Steckbrief Nr. 16

Bezug zu Klimaschutz

"In particular, European beech and Scots pine at low-elevation sites revealed the lowest radial growth in the dry and warm growing seasons, implying that climate change will lead to a lower carbon sink capacity of these tree species."

Debel, A., Meier, W.-H., Bräuning, A., 2021. Climate signals for growth variations of *f. Sylvatica*, *p. abies*, and *p. sylvestris* in southeast germany over the past 50 years. *Forests* 12, 1433. <https://doi.org/10.3390/f12111433>.

Klassifikation

Suchbegriffe	Germany; Growth; Sensitivity
Textart	Aufsatz
Untersuchungsgebiete	Bayern
Forschungsmethode	Ausschließlich Felderhebung
Haupt-Fragestellung	Exposition: Standort Zustandsänderung: Wachstum, Produktivität Expositionsänderung, abiotisch: Dürre Resistenz Resilienz

Befunde

Vergleichspaar	Baumart und Alter	Nutzungsformen	EE	E	N	I	II
VP 1/1	Buche k.A., Kiefer k.A.	Sonstiges		E			
Spezifische Angaben	Buchen.						
VP 1/2	Kiefer k.A., Fichte k.A.	Sonstiges					
Spezifische Angaben	Fichte.						
Kommentar	Baumindividuen untersucht.						
VP 2/1	Buche k.A.	Sonstiges			N		
Spezifische Angaben	Buchen.						
VP 2/2	Kiefer k.A.	Sonstiges					
Spezifische Angaben	Kiefer.						
Kommentar	Baumindividuen untersucht.						

Steckbrief Nr. 17

Überlegungen zu No-/Low-regret-Maßnahmen

Abwägungsentscheidung: besseres Wachstum in stressfreien Jahren einerseits und Vulnerabilität in dürregestresssten Jahren andererseits.

Forstwirtschaftliche Perspektive

Besseres Wachstum in stressfreien Jahren, aber Vulnerabilität in dürregestresssten Jahren.

Diers, M., 2022. Comparing Nordenern German Scots pine plantations with natural beech forests: Soil carbon pools and growth dynamics. Dissertation, Göttingen.

Klassifikation

Suchbegriffe	Germany; Growth
Textart	Dissertation
Untersuchungsgebiete	Niedersachsen, Sachsen-Anhalt, Mecklenburg-Vorpommern, Sachsen, Brandenburg, Bremen
Forschungsmethode	Ausschließlich Felderhebung
Haupt-Fragestellung	Zustandsänderung: Wachstum, Produktivität Expositionsänderung, abiotisch: Temperatur, langfristig Expositionsänderung, abiotisch: Feuchte, langfristig Expositionsänderung, abiotisch: Dürre Resistenz Resilienz
Neben-Fragestellung	Exposition: Standort Kohlenstoffspeicher, relativ Kohlenstoffspeicher, absolut
Kommentar	"Along a gradient from an oceanic to a sub-continental climate".

Befunde

Vergleichspaar	Baumart und Alter	Nutzungsformen	EE	E	N	I	II
VP 1/1	Buche > 120, Buche ≤ 120	n2 Exploited natural forest					
Spezifische Angaben	Buchenbestände.				N		
VP 1/2	Kiefer ≤ 100	p3 Native plantation					
Spezifische Angaben	Kiefernbestände.						

Überlegungen zu No-/Low-regret-Maßnahmen Abwägungsentscheidung: Buchen und Kiefern auf unterschiedliche Weise sowohl vorteilhaft und vulnerabel.

Steckbrief Nr. 18

Forstwirtschaftliche Perspektive	Buchen und Kiefern auf unterschiedliche Weise vorteilhaft.
Naturschutz-Perspektive	Buchen vorteilhaft, aber vulnerabel.
Bezug zu Klimaschutz	"Regarding the climate warming mitigation potential of pine and beech forests in the study region, it is an important finding that the SOC stocks are on average larger under pine than beech. However, this must be put in relation to the C stock in the aboveground biomass, which is considerably lower in pine than beech. "; "Currently, no reliable statements can be made about the optimal choice of tree species for the predicted climate. It is diversely discussed which tree species will be the right choice in order to both increase biodiversity as well as the climate change mitigation potential (Ammer et al., 2008; Geßler et al., 2006; Leuschner, 2020; Metz et al., 2020)." (both in Conclusion); "Lower SOC pools under beech than pine match the observation of Prietzel (2004) that planting beech in pine stands reduced C storage in the organic layer over 16 to 83 years and resulted in a 5 % smaller total SOC pool. Beech and pine forests differ in many aspects, which are relevant for SOC accumulation."; "Summing up the C pools in aboveground biomass and in the soil (without roots) gives on average an about 15 % higher ecosystem C storage in the beech than the pine forests (246 Mg C ha⁻¹ vs. 213 Mg C ha⁻¹). This result may help to quantify the consequences for C sequestration of future changes in Scots pine plantation area in the lowlands of Nordenern Central Europe. According to current forestry planning schemes, the area of pine plantations will shrink in Nordenern Germany in future times to give way to more broad-leaved forests (predominantly beech) and Douglas fir (<i>Pseudotsuga menziesii</i> (Mirb.) Franco) plantations (Anders et al. 2004), which would increase ecosystem C storage."; "In agreement with other studies, it is evident from this study that tree species effects on soil C relations often are closely linked to forest histories and management regimes, which makes it difficult to disentangle biological effects related to productivity, litter chemistry, and root system properties from management effects. This is even more so in large-scale forest soil inventories, where a strong interaction between tree species and substrate type likely is obscuring tree species effects on soil C storage." (Conclusion); "It is hypothesized that conversion to drought-resistant oak forests will result in a species-specific reduction in aboveground C storage capacity compared to beech forests (Kasper et al., 2021)." (Conclusion)

Dietrich, V., Lauritz, M., Roggenhofer, M.M., Redlin-Weiss, J., Huber, M., Schulte, J. et al, 2024. Drought effects on growth and density of temperate tree regeneration under different levels of nitrogen deposition. *Forest Ecology and Management* 559, 121825. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2024.121825>.

Klassifikation

Suchbegriffe	Germany; Growth; Productivity; Tolerance
Textart	Aufsatz
Untersuchungsgebiete	Niedersachsen, Brandenburg, Bayern, Nordrhein-Westfalen, Rheinland-Pfalz, Hessen, Baden-Württemberg, Thüringen, Sachsen-Anhalt
Forschungsmethode	Ausschließlich Felderhebung
Haupt-Fragestellung	Expositionsänderung, abiotisch: Dürre Zustandsänderung: Wachstum, Produktivität Zustandsänderung: Absterben Expositionsänderung, abiotisch: Sonstige Resistenz Sensitivität: Mikroklimatische Pufferung

Befunde

Vergleichspaar	Baumart und Alter	Nutzungsformen	EE	E	N	I	II
VP 1/1	Alter 0 - 20, Buche k.A., Eiche k.A., Tanne k.A.	n2 Exploited natural forest, p4 Partly-natural planted forest	EE				
Spezifische Angaben	Buche, Eiche, Tanne.						
VP 1/2	Alter 0 - 20, Douglasie k.A.	n2 Exploited natural forest, p2 Exotic plantation					
Spezifische Angaben	Douglasie.						
Kommentar	Längenwachstum und/oder Dichten von Verjüngung.						

Steckbrief Nr. 19

VP 2/1	Alter 0 - 20, Buche k.A.	n2 Exploited natural forest, p4 Partly-natural planted forest	E
Spezifische Angaben	Buche: geschlossener Bestand.		
VP 2/2	Alter 0 - 20, Buche k.A.	n2 Exploited natural forest, p4 Partly-natural planted forest	
Spezifische Angaben	Buche: unter geöffnetem Kronendach.		E
Kommentar	Längenwachstum und/oder Dichten von Verjüngung.		
VP 3/1	Alter 0 - 20, Tanne k.A.	n2 Exploited natural forest, p4 Partly-natural planted forest	
Spezifische Angaben	Tanne: dichter Bestand.		E
VP 3/2	Alter 0 - 20, Tanne k.A.	n2 Exploited natural forest, p4 Partly-natural planted forest	
Spezifische Angaben	Tanne: lichter Bestand.		
VP 4/1	Alter 0 - 20, Buche k.A.	n2 Exploited natural forest, p4 Partly-natural planted forest	EE
Spezifische Angaben	Buche: niedrigere Stickstoffdeposition.		
VP 4/2	Alter 0 - 20, Buche k.A.	n2 Exploited natural forest, p4 Partly-natural planted forest	
Spezifische Angaben	Buche: höhere Stickstoffdeposition.		EE
Kommentar	Hohe Stickstoffdepositionen beeinträchtigen die Trockenresistenz; daher könnten Nutzungsformen, die helfen, Stickstoffdepositionen zu vermeiden, zu höherer Resistenz und Resilienz führen.		
VP 5/1	Alter 0 - 20, Tanne k.A.	n2 Exploited natural forest, p4 Partly-natural planted forest	EE

Steckbrief Nr. 19

Spezifische Angaben	Tanne: hohe Stickstoffdeposition.	
VP 5/2	Alter 0 - 20, Tanne k.A.	n2 Exploited natural forest, p4 Partly-natural planted forest
Spezifische Angaben	Douglasie: hohe Stickstoffdeposition.	

Dietrich, V., Niederberger, J., Hauck, M., 2025. Stable isotope inferred intrinsic water use efficiency and its relation to N sources in temperate tree regeneration with increasing levels of N deposition, precipitation, and temperature. *Environmental and Experimental Botany* 232, 106125. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2025.106125>.

Klassifikation

Suchbegriffe	Central Europe; Germany; Growth; Productivity; Resistance
Textart	Aufsatz
Untersuchungsgebiete	Brandenburg, Baden-Württemberg, Bayern, Hessen, Niedersachsen, Nordrhein-Westfalen, Rheinland-Pfalz, Sachsen, Sachsen-Anhalt, Thüringen
Forschungsmethode	Ausschließlich Felderhebung
Haupt-Fragestellung	Zustandsänderung: Sonstige Expositionsänderung, abiotisch: Dürre Anpassungsfähigkeit
Neben-Fragestellung	Zustandsänderung: Sonstige Exposition: Standort Expositionsänderung, abiotisch: Dürre

Befunde

Vergleichspaar	Baumart und Alter	Nutzungsformen	EE	E	N	I	II
VP 1/1	Alter 0 - 20, Buche k.A., Eiche k.A., Tanne k.A.	n2 Exploited natural forest					
Spezifische Angaben	Buche.						
VP 1/2	Alter 0 - 20, Douglasie k.A.	p2 Exotic plantation				I	
Spezifische Angaben	Douglasie.						
Kommentar	Beeinträchtigung der Wasserregulation (Respiration) durch Stickstoffdeposition bei Dürren.						

Dietrich, V., Niederberger, J., Patriarca, N.E., Becker, M.E., Müller, S., Lorösch, H. et al, 2025.
 Combined Effects of Nitrogen Deposition and Climate on Root-to-Shoot Ratios and Root
 Morphology in Temperate Tree Regeneration. *Ecosystems* 28, 17.
<https://doi.org/10.1007/s10021-025-00962-z>.

Klassifikation

Suchbegriffe	Abundance; Germany; Growth; Tolerance
Textart	Aufsatz
Untersuchungsgebiete	Brandenburg, Niedersachsen, Sachsen-Anhalt, Nordrhein-Westfalen, Hessen, Thüringen, Bayern, Baden-Württemberg, Rheinland-Pfalz
Forschungsmethode	Ausschließlich Felderhebung
Haupt-Fragestellung	Expositionsänderung, abiotisch: Feuchte, langfristig Expositionsänderung, abiotisch: Dürre Zustandsänderung: Wachstum, Produktivität Anpassungsfähigkeit Exposition: Standort

Befunde

Vergleichspaar	Baumart und Alter	Nutzungsformen	EE	E	N	I	II
VP 1/1	Alter 0 - 20, Buche k.A.	n2 Exploited natural forest					
Spezifische Angaben	Buche.						
VP 1/2	Alter 0 - 20, Douglasie k.A.	p2 Exotic plantation					II
Spezifische Angaben	Douglasie.						
Kommentar	Wurzel-Spross-Verhältnis von Verjüngung.						

Überlegungen zu No-/Low-regret-Maßnahmen	Hinweis auf Bedeutung von externen Umweltbelastungen (Stickstoffemissionen) mit Empfehlung an die Politik, dass die Emissionen reduziert werden sollten.
--	--

Steckbrief Nr. 21

Naturschutz-Perspektive

Reduzierung von N-Depositionen vorteilhaft.

Dulamsuren, C., Hauck, M., Kopp, G., Ruff, M., Leuschner, C., 2017. European beech responds to climate change with growth decline at lower, and growth increase at higher elevations in the center of its distribution range (SW Germany). *Trees* 31, 673–686.
<https://doi.org/10.1007/s00468-016-1499-x>.

Klassifikation

Suchbegriffe	Central Europe; Germany; Growth; Management; Productivity; Resilience; Resistance; Sensitivity; Vulnerabilität
Textart	Aufsatz
Untersuchungsgebiete	Baden-Württemberg
Forschungsmethode	Ausschließlich Felderhebung
Haupt-Fragestellung	Zustandsänderung: Wachstum, Produktivität Exposition: Standort Expositionsänderung, abiotisch: Dürre Resilienz Resistenz Expositionsänderung, abiotisch: Temperatur, langfristig Expositionsänderung, abiotisch: Feuchte, langfristig

Befunde

Vergleichspaar	Baumart und Alter	Nutzungsformen	EE	E	N	I	II
VP 1/1	Buche > 120	n2 Exploited natural forest		E			
Spezifische Angaben	1230 S (Schönau) mit 1230 m a.s.l..						
VP 1/2	Buche > 120	n2 Exploited natural forest					
Spezifische Angaben	640 H (Hausach) mit 640 m a.s.l.						
Kommentar	Höhere Lagen kühler und feuchter.						
VP 2/1	Buche > 120	n2 Exploited natural forest			N		
Spezifische Angaben	640 H (Hausach) with 640 m a.s.l.						

Steckbrief Nr. 22

VP 2/2 Buche $\leq$ 120 n2 Exploited natural forest

Spezifische Angaben 110 K (Karlsruhe) & 300 W (Weinheim).

Forstwirtschaftliche Perspektive Forstpolitisches Interesse an Nutzung von dürregefährdeten Tieflandwäldern.

Naturschutz-Perspektive Waldpolitisches Interesse an naturnäheren (pnV), aber auch klimawandelstabileren Buchenwäldern im Tiefland.

"These results may conflict with the intention of forestry politics in many countries to increase the share of beech in production forests owing to its dominant role in the natural forest vegetation (e.g., Rennenberg et al. 2004; Bayerische Staatsforsten 2011; Niedersächsische Landesforsten 2011)."

Dziedek, C., Härdtle, W., Oheimb, G. von, Fichtner, A., 2016. Nitrogen addition enhances drought sensitivity of young deciduous tree species. *Frontiers in Plant Science* 7, 1100. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.01100>.

Klassifikation

Suchbegriffe	Germany; Growth; Management; Productivity; Resistance; Sensitivity; Stability; Tolerance
Textart	Aufsatz
Untersuchungsgebiete	Niedersachsen
Forschungsmethode	Ausschließlich Felderhebung
Haupt-Fragestellung	Zustandsänderung: Wachstum, Produktivität Expositionsänderung, abiotisch: Dürre Resilienz Resistenz Expositionsänderung, abiotisch: Sonstige

Befunde

Vergleichspaar	Baumart und Alter	Nutzungsformen	EE	E	N	I	II
VP 1/1	Alter 0 - 20	n1 Plantation-like natural forest					
Spezifische Angaben	Buschen - Eichen Mischung.						
VP 1/2	Alter 0 - 20	p2 Exotic plantation					II
Spezifische Angaben	Buchen - Douglasien Mischung.						
Kommentar	Buche-Eiche ist naturnäher als eine Beimischung von Douglasie zur Buche.						
VP 2/1	Alter 0 - 20	p2 Exotic plantation					
Spezifische Angaben	Buchen - Eichen - Douglasien Mischung.						II
VP 2/2	Alter 0 - 20	p2 Exotic plantation					
Spezifische Angaben	Buchen - Douglasien Mischung.						

Steckbrief Nr. 23

VP 1/1	Alter 0 - 20	n1 Plantation-like natural forest	I
Spezifische Angaben	Buschen - Eichen Mischung.		
VP 1/2	Alter 0 - 20	p2 Exotic plantation	
Spezifische Angaben	Buchen - Douglasien Mischung.		
Kommentar	Buche-Eiche ist naturnäher als eine Beimischung von Douglasie zur Buche.		
VP 2/1	Alter 0 - 20	p2 Exotic plantation	E
Spezifische Angaben	Buchen - Eichen - Dougalsien Mischung.		
VP 2/2	Alter 0 - 20	p2 Exotic plantation	
Spezifische Angaben	Buchen - Douglasien Mischung.		
VP 1/1	Alter 0 - 20	n1 Plantation-like natural forest	II
Spezifische Angaben	Buschen - Eichen Mischung.		
VP 1/2	Alter 0 - 20	p2 Exotic plantation	
Spezifische Angaben	Buchen - Douglasien Mischung.		
Kommentar	Buche-Eiche ist naturnäher als eine Beimischung von Douglasie zur Buche.		
VP 2/1	Alter 0 - 20	p2 Exotic plantation	E
Spezifische Angaben	Buchen - Eichen - Dougalsien Mischung.		
VP 2/2	Alter 0 - 20	p2 Exotic plantation	
Spezifische Angaben	Buchen - Douglasien Mischung.		

Forstwirtschaftliche Perspektive

Eine Berücksichtigung der Baumartenwahl im Sinne eines 'trait portfolio' kann die Produktivität eines Forstes unter den Bedingungen von Dürre und Stickstoffexposition aufrechterhalten. Eine ohnehin schon managementintensive Baumartenmischung von Buche & Eiche kann sich unter den Bedingungen von Dürre und Stickstoffexposition in seiner Dürre-resistenz verschlechtern.

Naturschutz-Perspektive

Die Bevorzugung standortheimischer Baumartenmischungen (bspw. Eiche & Buche) kann u.U. eine geringere Resilienz gegenüber dem

kombinierten Einfluss auf Dürre haben, als eine standortfremde, nicht gebietsheimische Baumartenmischung (Buche-Douglasie).

"We found evidence that the magnitude and direction of combined global change driver effects depend on species identity and neighborhood composition (i.e., trait combination) rather than the level of tree species richness. Thus, species diversity might not mitigate per se the impact of drought and increasing N deposition in long-living plant communities. Instead, the occurrence of certain trait combinations ('trait portfolio') in diverse communities might act as an 'insurance' for the mitigation of global change effects on ecosystem functions. This suggests that the quality of trait composition ('lock-and-key principle') is a main component of the ecological insurance hypothesis."

Eckhart, T., Pötzelsberger, E., Koeck, R., Thom, D., Lair, G.J., van Loo, M. et al, 2019. Forest stand productivity derived from site conditions: an assessment of old Douglas-fir stands (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco var. *menziesii*) in Central Europe. Ann. For. Sci. 76, 19. <https://doi.org/10.1007/s13595-019-0805-3>.

Klassifikation

Suchbegriffe	Adaptability; Central Europe; Germany; Growth; Management; Productivity
Textart	Aufsatz
Untersuchungsgebiete	Baden-Württemberg, Bayern, Nachbarländer
Forschungsmethode	Ausschließlich Felderhebung
Haupt-Fragestellung	Zustandsänderung: Wachstum, Produktivität Expositionsänderung, abiotisch: Sonstige Expositionsänderung, abiotisch: Temperatur, langfristig Expositionsänderung, abiotisch: Feuchte, langfristig
Neben-Fragestellung	Resistenz
Kommentar	Österreich.
Kommentar	Österreich.
Kommentar	Österreich.

Befunde

Vergleichspaar	Baumart und Alter	Nutzungsformen	EE	E	N	I	II
VP 1/1	Douglasie ≤ 80	p2 Exotic plantation		E			
Spezifische Angaben	Douglasienbestände mit Durchschnittstemperatur im Sommer unter 18 °C.						
VP 1/2	Douglasie ≤ 80	p2 Exotic plantation					
Spezifische Angaben	Douglasienbestände mit Durchschnittstemperatur im Sommer über 18 °C.						
Kommentar	Die Temperatur hat Einfluss auf die Produktivität eines Bestands. Ein						

Steckbrief Nr. 24

	Waldmanagement, das auf die Regulierung des Mikroklimas abzielt, könnte die Produktivität in analoger Weise zumindest teilweise beeinflussen.		
VP 1/1	Douglasie ≤ 80	p2 Exotic plantation	
Spezifische Angaben	Douglasienbestände mit Durchschnittssommerniederschlag von über 270 mm.		
VP 1/2	Douglasie ≤ 80	p2 Exotic plantation	
Spezifische Angaben	Douglasienbestände mit Durchschnittssommerniederschlag von unter 270 mm.		EE
Kommentar	Der Niederschlag hat Einfluss auf die Produktivität eines Bestands. Ein Waldmanagement, das auf die Regulierung des Mikroklimas abzielt, könnte die Produktivität in analoger Weise zumindest teilweise beeinflussen.		
VP 1/1	Douglasie ≤ 80	p2 Exotic plantation	
Spezifische Angaben	Douglasienbestände mit Wasserkapazität des Bodens über 300 mm.		
VP 1/2	Douglasie ≤ 80	p2 Exotic plantation	EE
Spezifische Angaben	Douglasienbestände mit Wasserkapazität des Bodens unter 300 mm.		

Forstwirtschaftliche Perspektive

Auch wenn die Douglasie u.U. als dürreresistenter als heimische Baumarten gilt, kann ihre Produktivität aufgrund hoher Sommertemperaturen ($>18\text{ °C}$) trotzdem sinken;
 "Even though planting this non-native tree species is suggested as a viable strategy to improve adaptiveness of European forests to a more extreme climate and to assure future productivity, the expected temperature increase may induce a decline in forest stand productivity for Douglas-fir in already warm and dry regions"
 "Even though the nonnative tree species Douglas-fir is more drought resistant than our main native species, the expected temperature

Steckbrief Nr. 24

increase (e.g., higher summer temperatures) will also induce a decline in forest stand productivity for Douglas-fir."

Naturschutz-Perspektive

Eine erhöhte Dürresistenz der gebietsfremden Douglasie bedeutet nicht ohne weiteres eine erhöhte (Wachstums-)stabilität von Wäldern.

nicht unbedingt mit einer erhöhten Stabilität

Enderle, L., Gribbe, S., Muffler, L., Weigel, R., Hertel, D., Leuschner, C., 2024. A warmer climate impairs the growth performance of Central Europe's major timber species in lowland regions. *Science of the Total Environment* 941, 173665.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.173665>.

Klassifikation

Suchbegriffe	Central Europe; Germany; Growth; Sensitivity; Vulnerability
Textart	Aufsatz
Untersuchungsgebiete	Niedersachsen, Baden-Württemberg, Rheinland-Pfalz
Forschungsmethode	Ausschließlich Felderhebung
Haupt-Fragestellung	Zustandsänderung: Wachstum, Produktivität Expositionsänderung, abiotisch: Hitzewelle Expositionsänderung, abiotisch: Dürre Expositionsänderung, abiotisch: Temperatur, langfristig Sensitivität: Mikroklimatische Pufferung Anpassungsfähigkeit Resistenz Resilienz
Neben-Fragestellung	Expositionsänderung, abiotisch: Temperatur, langfristig Expositionsänderung, abiotisch: Feuchte, langfristig Expositionsänderung, abiotisch: Dürre Anpassungsfähigkeit Zustandsänderung: Wachstum, Produktivität Resistenz Resilienz

Befunde

Vergleichspaar	Baumart und Alter	Nutzungsformen	EE	E	N	I	II
VP 1/1	Buche > 120, Buche ≤ 120	n2 Exploited natural forest					
Spezifische Angaben	Buche (Norden).					I	
VP 1/2	Buche ≤ 120	n2 Exploited natural forest					

Steckbrief Nr. 25

Spezifische Angaben	Buche (Süden).		
VP 1/1	Buche > 120, Buche ≤ 120	n2 Exploited natural forest	
Spezifische Angaben	Buche (Norden).		E
VP 1/2	Buche ≤ 120	n2 Exploited natural forest	
Spezifische Angaben	Buche (Süden).		
VP 1/1	Eiche > 160, Eiche ≤ 160	p3 Native plantation	
Spezifische Angaben	Eiche (Norden).		E
VP 1/2	Eiche ≤ 160	p3 Native plantation	
Spezifische Angaben	Eiche (Süden).		E
Kommentar	Wird als p3 angenommen aufgrund der Angabe "monospecific forest stands" ohne Hinweis auf Baumartenmischung oder Verjüngung.		
VP 1/1	Kiefer ≤ 100	p3 Native plantation	
Spezifische Angaben	Kiefer (Norden).		
VP 1/2	Kiefer ≤ 100	p3 Native plantation	
Spezifische Angaben	Kiefer (Süden).		E
Kommentar	Wird als p3 angenommen aufgrund der Angabe "monospecific forest stands" ohne Hinweis auf Baumartenmischung oder Verjüngung.		
VP 1/1	Kiefer ≤ 100	p3 Native plantation	
Spezifische Angaben	Kiefer (Norden).		
VP 1/2	Kiefer ≤ 100	p3 Native plantation	
Spezifische Angaben	Kiefer (Süden).		N
Kommentar	Wird als p3 angenommen aufgrund der Angabe "monospecific forest stands" ohne		

Steckbrief Nr. 25

	Hinweis auf Baumartenmischung oder Verjüngung.		
VP 1/1	Douglasie ≤ 80 p2 Exotic plantation		
Spezifische Angaben	Nördlich gelegener Teil des allochthonen Areal.		
VP 1/2	Douglasie ≤ 80 p2 Exotic plantation		
Spezifische Angaben	Südlich gelegener Teil des allochthonen Areal.		
VP 1/1	Douglasie ≤ 80 p2 Exotic plantation		
Spezifische Angaben	Nördlich gelegener Teil des allochthonen Areal.		
VP 1/2	Douglasie ≤ 80 p2 Exotic plantation		
Spezifische Angaben	Südlich gelegener Teil des allochthonen Areal.		
VP 1/1	Buche > 120, Buche ≤ 120 n2 Exploited natural forest		
Spezifische Angaben	Buche (Norden).		
VP 1/2	Buche ≤ 120 n2 Exploited natural forest		
Spezifische Angaben	Buche (Süden).		
VP 1/1	Kiefer ≤ 100 p3 Native plantation		
Spezifische Angaben	Kiefer (Norden).		
VP 1/2	Kiefer ≤ 100 p3 Native plantation		
Spezifische Angaben	Kiefer (Süden.)		
Kommentar	Wird als p3 angenommen aufgrund der Angabe "monospecific forest stands" ohne Hinweis auf Baumartenmischung oder Verjüngung.		
VP 1/1	Douglasie ≤ 80 p2 Exotic plantation		
Spezifische Angaben	Nördlich gelegener Teil des allochthonen Areal.		

Steckbrief Nr. 25

VP 1/2	Douglasie ≤ 80	p2 Exotic plantation	E
Spezifische Angaben	Südlich gelegener Teil des allochthonen Areal.		
VP 1/1	Kiefer ≤ 100	p3 Native plantation	
Spezifische Angaben	Kiefer (Norden).		
VP 1/2	Kiefer ≤ 100	p3 Native plantation	
Spezifische Angaben	Kiefer (Süden).		
Kommentar	Wird als p3 angenommen aufgrund der Angabe "monospecific forest stands" ohne Hinweis auf Baumartenmischung oder Verjüngung.		
VP 1/1	Douglasie ≤ 80	p2 Exotic plantation	N
Spezifische Angaben	Nördlich gelegener Teil des allochthonen Areal.		
VP 1/2	Douglasie ≤ 80	p2 Exotic plantation	
Spezifische Angaben	Südlich gelegener Teil des allochthonen Areal.		

Forstwirtschaftliche Perspektive

Aufruf zu Berücksichtigung von hitze- & dürreresistenteren Baumarten (Traubeneiche, "minor hardwood species"; "Norway maple, little-leaved linden and hornbeam") im Tielfand, bzw. Vorsicht vor klimawandelbedingten Verlusten von Buche, Kiefer und Douglasie. "Except for regions near the coast, foresters planning production forests should consider more drought- and heatresistant tree species such as sessile oak and several minor hardwood timber species (including Norway maple, little-leaved linden and hornbeam) that are more stress-tolerant than beech, pine and Douglas fir."; "Oak was the best-performing species in both regions, even though its higher drought sensitivity in the warmer region is pointing at growing climate change vulnerability in the future."

Engel, M., Hagemann, U., Schröder, J., 2025. Long-Term Growth Trends of 18 Native and Non-Native Tree Species Based on Data from Experimental Plots Since 1878 in Brandenburg, Germany. *Forests* 16, 225. <https://doi.org/10.3390/f16020225>.

Klassifikation

Suchbegriffe	Adaptability; Ecology; Germany; Growth; Management; Productivity
Textart	Aufsatz
Untersuchungsgebiete	Brandenburg
Forschungsmethode	Ausschließlich Felderhebung
Haupt-Fragestellung	Zustandsänderung: Wachstum, Produktivität Resilienz Resistenz Expositionsänderung, abiotisch: Temperatur, langfristig

Befunde

Vergleichspaar	Baumart und Alter	Nutzungsformen	EE	E	N	I	II
VP 1/1	Eiche k.A.	n4 Newly untouched forest					
Spezifische Angaben	Traubeneiche (<i>Quercus petraea</i>).				N		
VP 1/2	Kiefer k.A.	n4 Newly untouched forest					
Spezifische Angaben	Kiefer.						
VP 1/1	Eiche > 160, Eiche ≤ 160	Sonstiges					
Spezifische Angaben	Eiche.						
VP 1/2	Kiefer > 100, Kiefer ≤ 100	Sonstiges					
Spezifische Angaben	Kiefer.				N		
Kommentar	Bewirtschaftet, aber keine Angabe zur Intensität.						

Steckbrief Nr. 26

VP 2/1	Kiefer > 100, Kiefer ≤ 100	Sonstiges	N
Spezifische Angaben	Kiefer.		
VP 2/2	Douglasie > 80, Douglasie ≤ 80	p2 Exotic plantation	
Spezifische Angaben	Douglasie.		
Kommentar	Bewirtschaftet, aber keine Informationen über Intensität.		
VP 1/1	Eiche > 160, Eiche ≤ 160	Sonstiges	N
Spezifische Angaben	Eiche.		
VP 1/2	Kiefer > 100, Kiefer ≤ 100	Sonstiges	
Spezifische Angaben	Kiefer.		
Kommentar	Bewirtschaftet, sonst k.A.		
VP 2/1	Kiefer > 100	Sonstiges	N
Spezifische Angaben	Kiefer.		
VP 2/2	Douglasie > 80, Douglasie ≤ 80	p2 Exotic plantation	
Spezifische Angaben	Douglasie.		
Kommentar	Bewirtschaftet, aber keine Informationen über Intensität.		

Naturschutz-Perspektive Die Ergebnisse der Studie stellt Annahme einer besseren Anpassung gebietsfremder Baumarten unter den Bedingungen des Klimawandels in Frage und unterstreicht die Bedeutung von Baumherkünften, assisted migration und der Berücksichtigung lokaler Standortbedingungen bei der Baumartenwahl. - "assisted migration aimed at promoting climate change adaptation should not solely focus on tree species, but rather on species provenances and their adaptability to local site conditions."; "Our results question the widespread narrative that non-native tree species can be superior to native species in future climate-adaptive forests. In fact, current forest management programs should be re-evaluated and incorporate current findings on

assisted migration and the importance of species provenance and local site conditions on tree growth".

Felsmann, K., Baudis, M., Gimbel, K., Kayler, Z.E., Ellerbrock, R., Bruehlheide, H. et al, 2015.
 Soil bacterial community structure responses to precipitation reduction and forest
 management in forest ecosystems across Germany. *PLoS ONE* 10, e0122539.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0122539>.

Klassifikation

Suchbegriffe	Germany; Growth; Management; Resistance
Textart	Aufsatz
Untersuchungsgebiete	Baden-Württemberg, Thüringen, Brandenburg
Forschungsmethode	Ausschließlich Felderhebung
Haupt-Fragestellung	Expositionsänderung, biotisch: Sonstige Expositionsänderung, abiotisch: Dürre

Befunde

Vergleichspaar	Baumart und Alter	Nutzungsformen	EE	E	N	I	II
VP 1/1	Buche k.A.	n5 Long untouched forest					
Spezifische Angaben	„plot unmanaged for at least 60 years (bu), dominated by <i>Fagus sylvatica</i> L., the understorey of which represents the potential natural vegetation“.						
VP 1/2	Buche k.A.	n2 Exploited natural forest					
Spezifische Angaben	"managed plot (bm), dominated by <i>F. sylvatica</i> ".				N		
Kommentar	Plots in diversen Klassen; n5 ("plot unmanaged for at least 60 years (bu), dominated by <i>Fagus sylvatica</i> L."); n2 "managed plot (bm), dominated by <i>F. sylvatica</i> " ; p3 "intensively managed plot (cm), dominated by conifers; <i>Picea abies</i> at Schwäbische Alb and Hainich or <i>Pinus sylvestris</i> L. at Schorfheide (Table 1)"						

VP 2/1	Buche k.A.	n2 Exploited natural forest	E
Spezifische Angaben	"managed plot (bm), dominated by F. sylvatica".		
VP 2/2	Tanne k.A., Kiefer k.A.	p3 Native plantation, p2 Exotic plantation	
Spezifische Angaben	"Intensively managed plot (cm), dominated by conifers; Picea abies at Schwäbische Alb and Hainich or Pinus sylvestris L. at Schorfheide".		

Naturschutz-Perspektive

Stärker als erwartbare Dürreereignisse ist der Einfluss der Baumartenwahl und damit einhergehenden Veränderung des Unterholzbewuchses für das Bodenleben.

Nicht die forstwirtschaftliche Nutzung per-se beeinflusst das Bodenleben, sondern die Art der Nutzung ("the main overstorey tree species—and thus the specific forest management favouring conifer replacement—together with the understorey plant community")

Unter dem Strich argumentieren die Autor*innen mit ihren Ergebnissen aber für eine ausreichende Dürresistenz des Bodenlebens (Bakterien).

"Our results show that a rainfall reduction with a return interval of 40 years, which might occur more frequently in future [1], resulted in significant effects on the active soil bacterial community. However, the strength of the effect was rather low, especially in comparison to the strong evidence that both the different soil characteristics and the overstorey tree species together with the understorey vegetation, mainly drive the bacterial community structure. The effect of the moderate drought treatment during six months differed between the studied plots, but we could not identify specific parameters such as forest management or understorey plant community, that might modify the resistance of the bacterial community toward the moderate drought. The fact that a decrease in precipitation started to affect the active but not the total bacterial community points to an adequate resistance of the soil microbial system during drought periods occurring within a single growing season."

Felsmann, K., Baudis, M., Kayler, Z.E., Puhmann, H., Ulrich, A., Gessler, A., 2018. Responses of the structure and function of the understory plant communities to precipitation reduction across forest ecosystems in Germany. *Annals of Forest Science* 75, 3.
<https://doi.org/10.1007/s13595-017-0681-7>.

Klassifikation

Suchbegriffe	Germany; Management; Plasticity; Stability; Tolerance
Textart	Aufsatz
Untersuchungsgebiete	Baden-Württemberg, Thüringen, Brandenburg
Forschungsmethode	Ausschließlich Felderhebung
Haupt-Fragestellung	Zustandsänderung: Wachstum, Produktivität Zustandsänderung: Sonstige Expositionsänderung, abiotisch: Dürre Resilienz Resistenz Expositionsänderung, abiotisch: Sonstige Sensitivität: Mikroklimatische Pufferung Zustandsänderung: Verringerte Photosynthese

Befunde

Vergleichspaar	Baumart und Alter	Nutzungsformen	EE	E	N	I	II
VP 1/1	Buche k.A.	n5 Long untouched forest					
Spezifische Angaben					N		
VP 1/2	Buche k.A.	n2 Exploited natural forest					
Spezifische Angaben							
VP 2/1	Buche k.A.	n2 Exploited natural forest					
Spezifische Angaben					N		

Steckbrief Nr. 28

VP 2/2	Kiefer k.A.	p3 Native plantation, p2 Exotic plantation	N
Spezifische Angaben			
VP 3/1	Kiefer k.A.	p3 Native plantation, p2 Exotic plantation	
Spezifische Angaben			
VP 3/2	Fichte k.A.	p2 Exotic plantation	N
Spezifische Angaben			

Förster, A., Culmsee, H., Leuschner, C., 2021. Thinned Nordenern German Scots pine forests have a low carbon storage and uptake potential in comparison to naturally developing beech forests. *Forest Ecology and Management* 479, 118575.
<https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118575>.

Klassifikation

Suchbegriffe	Germany; Growth; Management; Productivity
Textart	Aufsatz
Untersuchungsgebiete	Schleswig-Holstein, Mecklenburg-Vorpommern, Niedersachsen, Sachsen, Nordrhein-Westfalen
Forschungsmethode	Ausschließlich Felderhebung
Haupt-Fragestellung	Kohlenstoffspeicher, absolut Kohlenstoffsенke, absolut Zustandsänderung: Wachstum, Produktivität Sensitivität: Mikroklimatische Pufferung

Befunde

Vergleichspaar	Baumart und Alter	Nutzungsformen	EE	E	N	I	II
VP 1/1	Buche k.A., Eiche k.A., Kiefer k.A.	n4 Newly untouched forest	EE				
Spezifische Angaben	Natürlich entstandene Eichen und Buchen Bestände.						
VP 1/2	Kiefer > 100	n4 Newly untouched forest					
Spezifische Angaben	Natürlich entstandene Kiefern Bestände.						
Kommentar	n4: "... last thinning operations happened 6 to 41 years ago and the forests are currently developing without further forestry impact".						
VP 2/1	Kiefer > 100	n4 Newly untouched forest					II

Steckbrief Nr. 29

Spezifische Angaben	Natürlich entstandene Kiefernbestände.		
VP 2/2	Kiefer ≤ 100	p4 Partly-natural planted forest, n4 Newly untouched forest, p3 Native plantation	
Spezifische Angaben	Alte Kiefernbestände.		N
VP 3/1	Kiefer ≤ 100	p3 Native plantation	
Spezifische Angaben	Alte Kiefernbestände.		
VP 3/2	Kiefer ≤ 100	p3 Native plantation	
Spezifische Angaben	Junge Kiefernbestände.		EE
VP 4/1	Buche k.A., Eiche k.A., Kiefer k.A.	n4 Newly untouched forest	
Spezifische Angaben	Natürlich entstandene Eichen und Buchen Bestände.		
VP 4/2	Kiefer > 100	n4 Newly untouched forest	
Spezifische Angaben	Natürlich entstandene Kiefern Bestände.		
Kommentar	n4: "... last thinning operations happened 6 to 41 years ago and the forests are currently developing without further forestry impact".		
VP 5/1	Kiefer > 100	n4 Newly untouched forest	II
Spezifische Angaben	Natürlich entstandene Kiefernbestände.		
VP 5/2	Kiefer ≤ 100	p3 Native plantation	
Spezifische Angaben	Junge Kiefernbestände.		

Überlegungen zu No-/Low-regret-Maßnahmen

Durch Waldumbau von Waldkiefer hin zu der Rotbuche; neben verbesserter Kohlenstoffbilanz auch eine Verbesserung weiterer Ökosystemdienstleistungen des Waldes (Erhaltung der Biodiversität, Verhütung Waldbrände, Grundwasserneubildung, ...).

Forstwirtschaftliche
Perspektive

Auch unter Dürrebedingungen kann bei gleicher Bestandsgrundfläche ein Buchenbestand mehr Kohlenstoff aufnehmen und in oberirdische Biomasse umwandeln als ein Waldkiefer-Bestand.

"The superior biomass carbon accumulation of European beech is clearly reflected in our study by the 1.1 Mg C ha⁻¹ year⁻¹ higher ANPP of the hardwood compared to the conifer stands. Even though European beech is often characterized as a drought-sensitive species (Geßler et al. 2007), the ANPP of the ND stands increased in the warm and dry growing season of 2016. In the beech stands, the decrease in wood production was more than compensated by the high fruit production, indicating no drought-induced decrease of carbon gain."

Naturschutz-Perspektive

Mehr Naturnähe und Artenreichtum durch Waldumbau von Kiefern- zu Buchenbeständen.

Bezug zu Klimaschutz

"This landscape-scale assessment shows that the clearing of the native beech and oak forests centuries ago and their eventual replacement by Scots pine forests was associated with a biomass carbon loss in the magnitude of 70 Mg C ha⁻¹; superior biomass carbon accumulation of European beech is clearly reflected in our study by the 1.1 Mg C ha⁻¹ year⁻¹ higher ANPP of the hardwood compared to the conifer stands; We conclude that large-scale forest conversion to Scots pine forests has decreased the aboveground biomass carbon storage by half and the C sequestration potential with aboveground productivity by ~25%".

Förster, A., Hertel, D., Werner, R., Leuschner, C., 2021. Belowground consequences of converting broadleaf to conifer forest: Comparing the fine root systems of European beech and Scots pine. *Forest Ecology and Management* 496, 119457. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2021.119457>.

Klassifikation

Suchbegriffe	Fertility; Germany; Susceptibility
Textart	Aufsatz
Untersuchungsgebiete	Mecklenburg-Vorpommern, Niedersachsen
Forschungsmethode	Ausschließlich Felderhebung
Haupt-Fragestellung	Zustandsänderung: Wachstum, Produktivität Zustandsänderung: Sonstige Expositionsänderung, abiotisch: Sonstige Anpassungsfähigkeit Resistenz Resilienz Kohlenstoffsенke, relativ

Befunde

Vergleichspaar	Baumart und Alter	Nutzungsformen	EE	E	N	I	II
VP 1/1	Buche > 120	n4 Newly untouched forest, p3 Native plantation		E			
Spezifische Angaben	Buche.						
VP 1/2	Kiefer ≤ 100	n4 Newly untouched forest, p3 Native plantation					
Spezifische Angaben	Kiefer.						
VP 1/1	Buche > 120	n4 Newly untouched forest, p3 Native plantation				I	
Spezifische Angaben	Buche.						

Steckbrief Nr. 30

VP 1/2	Kiefer ≤ 100	n4 Newly untouched forest, p3 Native plantation	
Spezifische Angaben	Kiefer.		
Naturschutz-Perspektive	Aufgrund der historische Umwandlung von ursprünglichen Buchenbeständen zu Waldkiefer-Beständen ist es möglich, dass die Dürreanfälligkeit und Klimawandelresistenz der Wälder durch die Veränderung der Beschaffenheit des Wurzelsystems erhöht worden ist. "We conclude that the conversion of broadleaf (beech) to coniferous (pine) forest is accompanied by marked root system changes, notably the reduction of standing fine root biomass and productivity and an apparently contrasting belowground responsiveness to climatic and edaphic changes, with possible consequences for the trees' susceptibility to climate-warming and drought."		
Bezug zu Klimaschutz	"The about 1.9 fold higher fine root production of the beech than pine stands matches a higher ANPP, which exceeds that of the pine stands by 2.1 Mg ha⁻¹ y⁻¹ (Foerster et al. 2021). Even though pine fine roots are turned over nearly three times faster, the beech fine root system consumes more C (and nutrients) in absolute terms and thus transfers more C to the SOC pool upon root death."		

Glatthorn, J., Appleby, S., Balkenhol, N., Kriegel, P., Likulunga, L.E., Lu, J.-Z. et al, 2023. Species diversity of forest floor biota in non-native Douglas-fir stands is similar to that of native stands. *Ecosphere* 14, e4609. <https://doi.org/10.1002/ecs2.4609>.

Klassifikation

Suchbegriffe	Abundance; Germany; Management; Resilience
Textart	Aufsatz
Untersuchungsgebiete	Niedersachsen
Forschungsmethode	Ausschließlich Felderhebung
Haupt-Fragestellung	Zustandsänderung: Sonstige Resilienz

Befunde

Vergleichspaar	Baumart und Alter	Nutzungsformen	EE	E	N	I	II
VP 1/1	Buche k.A.	n2 Exploited natural forest					
Spezifische Angaben							
VP 1/2	Buche k.A., Fichte k.A., Douglasie k.A.	p2 Exotic plantation			N		
Spezifische Angaben							
VP 2/1	Buche k.A., Fichte k.A., Douglasie k.A.	p2 Exotic plantation					
Spezifische Angaben	Gemischte (und reine) Buchenbestände.				N		
VP 2/2	Fichte k.A., Douglasie k.A.	p2 Exotic plantation					
Spezifische Angaben	Reine Nadelholzbestände.						

Steckbrief Nr. 31

Überlegungen zu No-/Low-regret-Maßnahmen	Abwägungsentscheidung: Einerseits mehr Naturnähe und Artenreichtum durch Buchenbestände, andererseits Bereitstellung von anderen Ökosystemleistungen besser bei Nadelholzbeständen.
Forstwirtschaftliche Perspektive	Räumlich voneinander getrennte reine Buchenbestände und gemischte Nadelholzbestände (heimisch und nicht heimisch), um einen Ausgleich zwischen den verschiedenen Ansprüchen an die Ökystemdienstleistungen des Waldes zu erreichen.
Naturschutz-Perspektive	Die Diversität der Buchen- und Douglasienreinbestände sind hinsichtlich ihrer spezifischen Artenzusammensetzung nicht vergleichbar. In der Schlussfolge sind Monokulturen der Douglasie nur in ausgewogener Abwechslung mit Buchenbeständen denkbar.

Gossner, M.M., Falck, K., Weisser, W.W., 2019. Effects of management on ambrosia beetles and their antagonists in European beech forests. *Forest Ecology and Management* 437, 126–133. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.01.034>.

Klassifikation

Suchbegriffe	Abundance; Germany; Management
Textart	Aufsatz
Untersuchungsgebiete	Baden-Württemberg, Thüringen, Brandenburg
Forschungsmethode	Ausschließlich Felderhebung
Haupt-Fragestellung	Zustandsänderung: Sonstige Expositionsänderung, biotisch: Schaderregerbefall

Befunde

Vergleichspaar	Baumart und Alter	Nutzungsformen	EE	E	N	I	II
VP 1/1	Buche k.A.	n4 Newly untouched forest					
Spezifische Angaben	Buche, unbewirtschaftet (20-70 Jahre).					I	
VP 1/2	Buche k.A.	n2 Exploited natural forest					
Spezifische Angaben	Buche, bewirtschaftet.						
VP 2/1	Buche k.A.	n2 Exploited natural forest					
Spezifische Angaben	Buche, bewirtschaftet.						
VP 2/2	Fichte k.A., Kiefer k.A.	p2 Exotic plantation, p3 Native plantation					
Spezifische Angaben	Bewirtschaftete Nadelholzbestände (Fichte und Kiefer).					I	

Naturschutz-Perspektive	Das Fehlen von natürlichen Feinden der Ambrosia-Borkenkäfer in totholzarmen, stark genutzten Nadelholzbeständen kann eine erhöhte
-------------------------	---

Vulnerabilität für Kalamitäten durch Schädlingsbefall zur Folge haben, wenn es zu einem plötzlichen und starken Anstieg an Totholz (bspw. Windwurf) kommt.; "For *T. domesticum*, greater availability of suitable breeding substrate at the forest stand scale, e.g. after wind throws, seems to promote higher population densities and attack rates. This might lead to a greater risk of pest outbreaks in managed forests where pest control is reduced at the breeding system scale owing to a lack of specialised parasitoids and reduced beetle predator populations because of reduced host diversity."

Hacket-Pain, A.J., Cavin, L., Friend, A.D., Jump, A.S., 2016. Consistent limitation of growth by high temperature and low precipitation from range core to southern edge of European beech indicates widespread vulnerability to changing climate. *Eur J Forest Res* 135, 897–909. <https://doi.org/10.1007/s10342-016-0982-7>.

Klassifikation

Suchbegriffe	Germany; Vulnerability
Textart	Aufsatz
Untersuchungsgebiete	Deutschland, Nachbarländer, Sonstiges
Forschungsmethode	Sonstiges
Haupt-Fragestellung	Expositionsänderung, biotisch: Sonstige Expositionsänderung, abiotisch: Feuchte, langfristig Expositionsänderung, abiotisch: Sonstige Expositionsänderung, abiotisch: Dürre Expositionsänderung, abiotisch: Temperatur, langfristig Resistenz Resilienz Zustandsänderung: Wachstum, Produktivität Exposition: Standort
Kommentar	Gesamte natürliche Verbreitung von <i>Fagus sylvatica</i> .
Kommentar	Gesamte natürliche Verbreitung von <i>Fagus sylvatica</i> .

Befunde

Vergleichspaar	Baumart und Alter	Nutzungsformen	EE	E	N	I	II
VP 1/1	Buche k.A.	Sonstiges					
Spezifische Angaben	Weiter nördlich gelegene Bestände.				N		
VP 1/2	Buche k.A.	Sonstiges					
Spezifische Angaben	Weiter südlich gelegene Bestände.						
VP 1/1	Buche k.A.	Sonstiges					
Spezifische Angaben	Alte Buchenbestände.					I	

Steckbrief Nr. 33

VP 1/2	Buche k.A.	Sonstiges
Spezifische Angaben	Jüngere Buchenbeständen.	

Naturschutz-Perspektive	Die Ergebnisse der Studie weisen darauf hin, dass Buchen im Kerngebiet ihrer Verbreitung eine vergleichbare Sensitivität des Wachstums gegenüber heißen und trockenen Sommern haben wie in an den Rändern des Verbreitungsgebietes. Klimawandelbedingte Dürren und Hitzewellen werden demnach auch im Kerngebiet der Buche zu Risiken ihre Vitalität werden können.
-------------------------	---

"Surprisingly, our results indicate that these geographically marginal forests are not significantly more sensitive to summer drought than populations in the core of the distribution, although we have shown that trees growing in climatically marginal areas (warmer and more arid climate) are more likely to have significant summer precipitation limitation on growth."

Hackmann, C.A., Sennhenn-Reulen, H., Mund, M., Ammer, C., 2024. Local neighborhood affects stem rehydration under drought: evidence from mixtures of European beech with two different conifers. *Tree Physiology* 44, tpae114. <https://doi.org/10.1093/treephys/tpae114>.

Klassifikation

Suchbegriffe	Germany; Growth; Management
Textart	Aufsatz
Untersuchungsgebiete	Niedersachsen
Forschungsmethode	Ausschließlich Felderhebung
Haupt-Fragestellung	Zustandsänderung: Wachstum, Produktivität Zustandsänderung: Sonstige Expositionsänderung, abiotisch: Dürre Sensitivität: Mikroklimatische Pufferung Resistenz

Befunde

Vergleichspaar	Baumart und Alter	Nutzungsformen	EE	E	N	I	II
VP 1/1	Fichte ≤ 80, Buche > 120, Buche ≤ 120	n2 Exploited natural forest	EE				
Spezifische Angaben							
VP 1/2	Fichte > 80	p2 Exotic plantation					
Spezifische Angaben							
VP 2/1	Fichte > 80	p2 Exotic plantation		E			
Spezifische Angaben	Fichte.						
VP 2/2	Douglasie ≤ 80, Douglasie > 80	p2 Exotic plantation					
Spezifische Angaben	Douglasie.						
VP 1/1	Buche k.A.	n2 Exploited natural forest				I	

Steckbrief Nr. 34

Spezifische Angaben	Buchenreinbestände.		
VP 1/2	Buche k.A., Fichte k.A.	p2 Exotic plantation	
Spezifische Angaben	Buchen-Fichten-Bestände.		
VP 1/1	Buche k.A.	n2 Exploited natural forest	
Spezifische Angaben			
VP 1/2	Buche k.A., Fichte k.A.	p2 Exotic plantation	
Spezifische Angaben			
VP 1/1	Buche k.A.	n2 Exploited natural forest	
Spezifische Angaben			
VP 1/2	Buche k.A., Douglasie k.A.	p2 Exotic plantation	
Spezifische Angaben			

Überlegungen zu No-/Low-regret-Maßnahmen

Bei verringertem Bodenwasserhaushalt weisen Buchenbestände, welchen im begrenzten Maße Douglasien beigemischt sind, eine höhere Resilienz des Wachstums gegenüber Dürreereignissen auf, als Buchenbestände mit einer Beimischung von Fichten.

Harvey, J.E., Smiljanić, M., Scharnweber, T., Buras, A., Cedro, A., Cruz-García, R. et al, 2020.
 Tree growth influenced by warming winter climate and summer moisture availability in
 Norderern temperate forests. *Global Change Biology* 26, 2505–2518.
<https://doi.org/10.1111/gcb.14966>.

Klassifikation

Suchbegriffe	Central Europe; ohne Deutschland; Susceptibility; vor 2015
Textart	Aufsatz
Untersuchungsgebiete	Brandenburg, Hessen, Mecklenburg-Vorpommern, Niedersachsen, Nordrhein-Westfalen, Nachbarländer
Forschungsmethode	Sonstiges
Haupt-Fragestellung	Zustandsänderung: Wachstum, Produktivität Exposition: Standort Expositionsänderung, abiotisch: Temperatur, langfristig Expositionsänderung, abiotisch: Feuchte, langfristig Expositionsänderung, abiotisch: Dürre Resistenz Resilienz
Kommentar	Ostseeanrainerstaaten: Schweden, Dänemark, Polen.

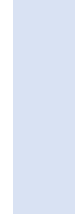
Befunde

Vergleichspaar	Baumart und Alter	Nutzungsformen	EE	E	N	I	II
VP 1/1	Eiche k.A., Kiefer k.A., Alter 0 - 20	Sonstiges					
Spezifische Angaben	Eichen- und Kiefernbestände im Nordosten der untersuchten Region (außerhalb Deutschlands).						
VP 1/2	Eiche k.A., Kiefer k.A., Alter 0 - 20	Sonstiges		E			
Spezifische Angaben	Eichen- und Kiefernbestände im Südwesten der untersuchten Region (i.e., in Nordostdeutschland).						

Steckbrief Nr. 35

Kommentar

Der nördliche Arealteil ist kühler, der südliche Arealteil wärmer; analog begünstigen bestimmte Nutzungsformen entweder ein kühles oder ein wärmeres Lokal- und Mikroklima.



Forstwirtschaftliche Perspektive

Je nach Region (der Ostsee-Anrainerstaaten) muss die Bewirtschaftung der Wälder die räumlich-spezifischen klimatischen Sensitivitäten berücksichtigen. Da diese, wie in der Studie dargestellt, sich je nach Region über die Jahrzehnte des beginnenden Klimawandels schon verändert haben, gilt es die Verschiebung zu überwachen und bei der Bewirtschaftung zu berücksichtigen.

Hein, S., Frank, S., Kohnle, U., 2020. Growth and Mortality of Young Douglas-fir [*Pseudotsuga menziesii* (MIRB.) FRANCO]: Effects of Various Treeshelters, considering Water Supply, Fencing and Weeding in a Distributed Experiment from Southwestern Germany. Allgemeine Forst- und Jagdzeitung 190, 237–252. <https://doi.org/10.23765/afjz0002050>.

Klassifikation

Suchbegriffe	Germany; Growth; Stability
Textart	Aufsatz
Untersuchungsgebiete	Baden-Württemberg
Forschungsmethode	Ausschließlich Felderhebung
Haupt-Fragestellung	Zustandsänderung: Wachstum, Produktivität Expositionsänderung, biotisch: Sonstige Expositionsänderung, abiotisch: Feuchte, langfristig Expositionsänderung, abiotisch: Sonstige
Neben-Fragestellung	Expositionsänderung, abiotisch: Sturm

Befunde

Vergleichspaar	Baumart und Alter	Nutzungsformen	EE	E	N	I	II
VP 1/1	Douglasie ≤ 80	p2 Exotic plantation					
Spezifische Angaben	Douglasie, ohne Wuchshülle.						
VP 1/2	Douglasie ≤ 80	p2 Exotic plantation					
Spezifische Angaben	Douglasie, mit Wuchshülle.						

Heinrichs, S., Schmidt, W., 2017. Biotic homogenization of herb layer composition between two contrasting beech forest communities on limestone over 50 years. *Applied Vegetation Science* 20, 271–281. <https://doi.org/10.1111/avsc.12255>.

Klassifikation

Suchbegriffe	Germany; Growth; Management; Susceptibility
Textart	Aufsatz
Untersuchungsgebiete	Niedersachsen
Forschungsmethode	Ausschließlich Felderhebung
Haupt-Fragestellung	Zustandsänderung: Sonstige Sensitivität: Mikroklimatische Pufferung Expositionsänderung, abiotisch: Dürre Expositionsänderung, abiotisch: Temperatur, langfristig

Befunde

Vergleichspaar	Baumart und Alter	Nutzungsformen	EE	E	N	I	II
VP 1/1	k.A.	n4 Newly untouched forest, n2 Exploited natural forest					
Spezifische Angaben	HFall: n2 - n4: ("four stands of the HFall were located within strict forest nature reserves (unmanaged since 1970-1995)") but also ("Among the 21 regularly managed stands of the HFall six stands have been recently (13 yr before the survey) thinned, six stands of the resurvey").			E			
VP 1/2	k.A.	n3 Specially managed forest					
Spezifische Angaben	CFprim: "nature conservation management is predominant for most of CFprim stands today", "ten stands were unmanaged between 1970 and 1990. Today, management of these and three other stands is limited to nature conservation measures."						

Herbst, M., Mund, M., Tamrakar, R., Knohl, A., 2015. Differences in carbon uptake and water use between a managed and an unmanaged beech forest in central Germany. *Forest Ecology and Management* 355, 101–108. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2015.05.034>.

Klassifikation

Suchbegriffe	Ecology; Forestry; Germany; Growth; Management
Textart	Aufsatz
Untersuchungsgebiete	Thüringen
Forschungsmethode	Ausschließlich Felderhebung

Befunde

Vergleichspaar	Baumart und Alter	Nutzungsformen	EE	E	N	I	II
VP 1/1	Buche k.A.	n4 Newly untouched forest, n2 Exploited natural forest					
Spezifische Angaben	Buche, nicht bewirtschaftet.						
VP 1/2	Buche > 120	p3 Native plantation, n2 Exploited natural forest					
Spezifische Angaben	Buche, bewirtschaftet.						
Kommentar	Zwischen n4 und n5 im Nationalpark Hainich; "From 1965 to 1997 it was part of a military training area and only single, very valuable trees were cut. Since December 1997 no management activities at all have taken place. Regarding to its highly diverse horizontal and vertical structure the forest can be characterised as an old-growth forest with tree ages varying between 0 and 250 years"; n2 for Leinefelde site with regular thinning applied on even-aged beech stands					I	

Bezug zu Klimaschutz

"hypothesis number one (regarding differences in the average exchange rates) was only true for water vapour but not for carbon dioxide if both fluxes are considered at ecosystem scale"; "hypothesis number two (regarding the enhanced interannual variability of gas exchange in the managed forest) could be confirmed"; "annual net carbon exchange, i.e. net ecosystem productivity (NEP), with the atmosphere varied less from year to year at the unmanaged forest stand (standard deviation (SD) = 70 g C m² a⁻¹) than it did at the managed site (SD = 119 g C m² a⁻¹); "forest management in terms of regular thinning and the establishment of even-aged, homogenous stands thus appears to have reduced the unproductive components of evapotranspiration, in particular interception evaporation, but have increased the interannual variability of carbon fluxes"

Korecký, J., Čepl, J., Korolyova, N., Stejskal, J., Turčáni, M., Jakuš, R., 2023. Resistance to Bark Beetle Outbreak in Norway Spruce: Population Structure Analysis and Comparative Genomic Assessment of Surviving (LTS) and Randomly Selected Reference Trees. *Forests* 14, 2074. <https://doi.org/10.3390/f14102074>.

Klassifikation

Suchbegriffe	Germany; Resilience; Resistance
Textart	Aufsatz
Untersuchungsgebiete	Bayern, Nachbarländer
Forschungsmethode	Ausschließlich Felderhebung
Haupt-Fragestellung	Resistenz Zustandsänderung: Absterben Expositionsänderung, biotisch: Schaderregerbefall
Kommentar	Tschechien, Österreich (Böhmerwald).

Befunde

Vergleichspaar	Baumart und Alter	Nutzungsformen	EE	E	N	I	II
VP 1/1	Fichte > 80	n5 Long untouched forest, Sonstiges	EE				
Spezifische Angaben	Bestand seit langer Zeit ununterbrochen sich natürlich verjüngend.						
VP 1/2	Fichte > 80	n5 Long untouched forest, Sonstiges					
Spezifische Angaben	Bestand (vor längerer Zeit) gepflanzt.						

Kraus, C., Zang, C., Menzel, A., 2016. Elevational response in leaf and xylem phenology reveals different prolongation of growing period of common beech and Norway spruce under warming conditions in the Bavarian Alps. *European Journal of Forest Research* 135, 1011–1023. <https://doi.org/10.1007/s10342-016-0990-7>.

Klassifikation

Suchbegriffe	Germany; Growth
Textart	Aufsatz
Untersuchungsgebiete	Bayern
Forschungsmethode	Ausschließlich Felderhebung
Haupt-Fragestellung	Exposition: Standort Expositionsänderung, abiotisch: Temperatur, langfristig Expositionsänderung, abiotisch: Feuchte, langfristig Zustandsänderung: Sonstige

Befunde

Vergleichspaar	Baumart und Alter	Nutzungsformen	EE	E	N	I	II
VP 1/1	Buche k.A.	Sonstiges					
Spezifische Angaben	Buchen.			E			
VP 1/2	Fichte k.A.	Sonstiges					
Spezifische Angaben	Fichten.						

Krüger, K., Senf, C., Hagge, J., Seidl, R., 2025. Setting aside areas for conservation does not increase disturbances in temperate forests. *Journal of Applied Ecology* 62, 1271–1281. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.70036>.

Klassifikation

Textart	Aufsatz
Untersuchungsgebiete	Deutschland
Forschungsmethode	Fernerkundung
Haupt-Fragestellung	Resistenz Expositionsänderung, abiotisch: Sturm Expositionsänderung, biotisch: Schaderregerbefall Expositionsänderung, abiotisch: Dürre Resilienz

Befunde

Vergleichspaar	Baumart und Alter	Nutzungsformen	EE	E	N	I	II
VP 1/1	Buche > 120, Buche ≤ 120, Fichte ≤ 80, Fichte > 80	n4 Newly untouched forest	EE				
Spezifische Angaben	Unbewirtschaftet.						
VP 1/2	Buche > 120, Buche ≤ 120, Fichte > 80, Fichte ≤ 80	n3 Specially managed forest					
Spezifische Angaben	Bewirtschaftet.						

Überlegungen zu No-/Low-regret-Maßnahmen	Nichtgenutzte Waldökosysteme könnten die Resistenz und Resilienz der gesamten Waldlandschaft erhöhen.
Forstwirtschaftliche Perspektive	Nichtgenutzte Wälder erhöhen die Intensität von Störungen in benachbarten, forstwirtschaftlich genutzten Wäldern nicht und verringern sie möglicherweise sogar.
Naturschutz-Perspektive	Nichtgenutzte Wälder dienen der Erhaltung der biologischen Vielfalt.

Krüger, K., Senf, C., Jucker, T., Pflugmacher, D., Seidl, R., 2024. Gap expansion is the dominant driver of canopy openings in a temperate mountain forest landscape. *Journal of Ecology* 112, 1501–1515. <https://doi.org/10.1111/1365-2745.14320>.

Klassifikation

Suchbegriffe	Germany; Growth; Management; Plasticity; Resilience
Textart	Aufsatz
Untersuchungsgebiete	Bayern
Forschungsmethode	Fernerkundung
Haupt-Fragestellung	Zustandsänderung: Sonstige Zustandsänderung: Wachstum, Produktivität Exposition: Standort

Befunde

Vergleichspaar	Baumart und Alter	Nutzungsformen	EE	E	N	I	II
VP 1/1	Buche > 120	n4 Newly untouched forest	EE				
Spezifische Angaben	Buchenwälder.						
VP 1/2	Tanne > 120	n4 Newly untouched forest					
Spezifische Angaben	Fichte-Tanne-Buchen.						
VP 2/1	Buche > 120	n4 Newly untouched forest	EE				
Spezifische Angaben	Buchenwälder.						
VP 2/2	Kiefer > 100	n4 Newly untouched forest					
Spezifische Angaben	Lärche-Zirbe-Kiefernwälder.						
VP 3/1	Buche > 120	n4 Newly untouched forest	EE				

Steckbrief Nr. 42

Spezifische Angaben	Buchenwälder.	
VP 3/2	Fichte > 80	n4 Newly untouched forest
Spezifische Angaben	Fichtenwälder.	

Larysch, E., Stangler, D.F., Nazari, M., Seifert, T., Kahle, H.-P., 2021. Xylem phenology and growth response of european beech, silver fir and scots pine along an elevational gradient during the extreme drought year 2018. *Forests* 12, 75. <https://doi.org/10.3390/f12010075>.

Klassifikation

Suchbegriffe	Germany; Growth; Productivity
Textart	Aufsatz
Untersuchungsgebiete	Baden-Württemberg
Forschungsmethode	Ausschließlich Felderhebung
Haupt-Fragestellung	Exposition: Standort Expositionsänderung, abiotisch: Dürre Zustandsänderung: Sonstige Zustandsänderung: Wachstum, Produktivität Expositionsänderung, abiotisch: Temperatur, langfristig Expositionsänderung, abiotisch: Feuchte, langfristig Expositionsänderung, abiotisch: Starkregen Expositionsänderung, abiotisch: Hitzewelle

Befunde

Vergleichspaar	Baumart und Alter	Nutzungsformen	EE	E	N	I	II
VP 1/1	Buche > 120, Buche ≤ 120	Sonstiges					
Spezifische Angaben	Buchen: Obere Höhenlagen.						
VP 1/2	Buche ≤ 120	Sonstiges					
Spezifische Angaben	Buchen: Untere Höhenlagen.			E			
Kommentar	Obere Hanglagen sind kühler und feuchter; Nutzungsformen in unteren Höhenlagen), die ein kühl-feuchtes Mikroklima begünstigen, könnten das wärmere und trockenere Klima teilweise abmildern.						
VP 2/1	Tanne ≤ 120	Sonstiges			N		

Steckbrief Nr. 43

Spezifische Angaben	Tannen: Obere Höhenlagen.	
VP 2/2	Tanne ≤ 120	Sonstiges
Spezifische Angaben	Tannen: Untere Höhenlagen.	
Kommentar	Obere Hanglagen sind kühler und feuchter; Nutzungsformen in unteren Höhenlagen), die ein kühl-feuchtes Mikroklima begünstigen, könnten das wärmere und trockenere Klima teilweise abmildern.	



Liepe, K.J., van der Maaten, E., van der Maaten-Theunissen, M., Kormann, J.M., Wolf, H., Liesebach, M., 2024. Ecotypic variation in multiple traits of European beech: selection of suitable provenances based on performance and stability. *European Journal of Forest Research* 143, 831–845. <https://doi.org/10.1007/s10342-024-01656-2>.

Klassifikation

Suchbegriffe	Central Europe; Germany; Management; Plasticity; Stability
Textart	Aufsatz
Untersuchungsgebiete	Sachsen, Schleswig-Holstein, Nordrhein-Westfalen
Forschungsmethode	Ausschließlich Felderhebung
Haupt-Fragestellung	Zustandsänderung: Absterben Expositionsänderung, abiotisch: Temperatur, langfristig Expositionsänderung, abiotisch: Feuchte, langfristig Exposition: Standort Zustandsänderung: Wachstum, Produktivität

Befunde

Vergleichspaar	Baumart und Alter	Nutzungsformen	EE	E	N	I	II
VP 1/1	Alter 0 - 20	p3 Native plantation					
Spezifische Angaben	Lokale Provenienzen.					I	
VP 1/2	Alter 0 - 20	p3 Native plantation					
Spezifische Angaben	Andere Provenienzen.						

Lwila, A.S., Ammer, C., Gailing, O., Leinemann, L., Mund, M., 2024. Root overlap and allocation of above- and belowground growth of European beech in pure and mixed stands of Douglas fir and Norway spruce. *Forest Ecosystems* 11, 100217.
<https://doi.org/10.1016/j.fecs.2024.100217>.

Klassifikation

Suchbegriffe	Germany; Growth; Productivity
Textart	Aufsatz
Untersuchungsgebiete	Niedersachsen
Forschungsmethode	Ausschließlich Felderhebung
Haupt-Fragestellung	Zustandsänderung: Wachstum, Produktivität Exposition: Standort Expositionsänderung, abiotisch: Feuchte, langfristig Expositionsänderung, abiotisch: Starkregen Expositionsänderung, abiotisch: Dürre Anpassungsfähigkeit

Befunde

Vergleichspaar	Baumart und Alter	Nutzungsformen	EE	E	N	I	II
VP 1/1	Buche k.A., Fichte k.A.	n2 Exploited natural forest					
Spezifische Angaben	Buche neben Fichte.						
VP 1/2	Fichte k.A.	p2 Exotic plantation		E			
Spezifische Angaben	Fichte neben Fichte.						
Kommentar	Räumliche Aufteilung zwischen Feinwurzeln; Kombinationen benachbarter Baumindividuen.						
VP 2/1	Buche k.A., Douglasie k.A.	n2 Exploited natural forest		E			
Spezifische Angaben	Buche neben Douglasie.						

Steckbrief Nr. 45

VP 2/2	Douglasie k.A.	p2 Exotic plantation
Spezifische Angaben	Douglasie neben Douglasie.	
Kommentar	Räumliche Aufteilung zwischen Feinwurzeln; Kombinationen benachbarter Baumindividuen.	
Forstwirtschaftliche Perspektive	Douglasie als Beimischung in Buchenbeständen empfehlenswerter als Fichte.	

Lwila, A.S., Post-Leon, A., Ammer, C., Mund, M., 2023. Site properties, species identity, and species mixture affect fine root production, mortality, and turnover rate in pure and mixed forests of European Beech, Norway spruce, and Douglas-fir. *Ecological Indicators* 147, 109975. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2023.109975>.

Klassifikation

Suchbegriffe	Germany; Growth; Productivity
Textart	Aufsatz
Untersuchungsgebiete	Niedersachsen
Forschungsmethode	Ausschließlich Felderhebung
Haupt-Fragestellung	Zustandsänderung: Wachstum, Produktivität Exposition: Standort Expositionsänderung, abiotisch: Feuchte, langfristig Expositionsänderung, abiotisch: Starkregen Expositionsänderung, abiotisch: Dürre Anpassungsfähigkeit

Befunde

Vergleichspaar	Baumart und Alter	Nutzungsformen	EE	E	N	I	II
VP 1/1	Buche k.A., Fichte k.A.	n1 Plantation-like natural forest					
Spezifische Angaben	Buche neben Fichte.						
VP 1/2	Fichte k.A.	p2 Exotic plantation		E			
Spezifische Angaben	Fichte neben Fichte.						
Kommentar	Volumenwachstum von Feinwurzeln; Kombinationen benachbarter Baumindividuen						
VP 2/1	Buche k.A., Douglasie k.A.	n1 Plantation-like natural forest		E			
Spezifische Angaben	Buche neben Douglasie.						

Steckbrief Nr. 46

VP 2/2	Douglasie k.A.	p2 Exotic plantation	E
Spezifische Angaben	Douglasie neben Douglasie.		
Kommentar	Volumenwachstum von Feinwurzeln; Kombinationen benachbarter Baumindividuen.		
VP 1/1	Buche k.A.	n1 Plantation-like natural forest	E
Spezifische Angaben	Buche neben Buche.		
VP 1/2	Buche k.A., Fichte k.A.	n1 Plantation-like natural forest	
Spezifische Angaben	Buche neben Fichte.		E
Kommentar	Volumenwachstum von Feinwurzeln; Kombinationen benachbarter Baumindividuen		
VP 2/1	Buche k.A.	n1 Plantation-like natural forest	
Spezifische Angaben	Buche neben Buche.		E
VP 2/2	Buche k.A., Douglasie k.A.	n1 Plantation-like natural forest	
Spezifische Angaben	Buche neben Douglasie.		
Kommentar	Volumenwachstum von Feinwurzeln; Kombinationen benachbarter Baumindividuen.		
Forstwirtschaftliche Perspektive	Douglasie als Beimischung in Buchenbeständen empfehlenswerter als Fichte.		

Maihoff, F., Friess, N., Hoiss, B., Schmid-Egger, C., Kerner, J., Neumayer, J. et al, 2023. Smaller, more diverse and on the way to the top: Rapid community shifts of montane wild bees within an extraordinary hot decade. *Diversity and Distributions* 29, 272–288.
<https://doi.org/10.1111/ddi.13658>.

Klassifikation

Suchbegriffe	Abundance; Germany
Textart	Aufsatz
Untersuchungsgebiete	Bayern
Forschungsmethode	Ausschließlich Felderhebung
Haupt-Fragestellung	Expositionsänderung, abiotisch: Temperatur, langfristig Sensitivität: Mikroklimatische Pufferung Anpassungsfähigkeit Exposition: Standort Zustandsänderung: Sonstige

Befunde

Vergleichspaar	Baumart und Alter	Nutzungsformen	EE	E	N	I	II
VP 1/1		n4 Newly untouched forest					
Spezifische Angaben	(Wildbienen des Waldes).						
VP 1/2		n4 Newly untouched forest		E			
Spezifische Angaben	(Wildbienen des Offenlandes).						
Kommentar	Bienen als Indikatoren für mikroklimatische Pufferung.						

Marini, L., Økland, B., Jönsson, A.M., Bentz, B., Carroll, A., Forster, B. et al, 2017. Climate drivers of bark beetle outbreak dynamics in Norway spruce forests. *Ecography* 40, 1426–1435. <https://doi.org/10.1111/ecog.02769>.

Klassifikation

Suchbegriffe	Germany; Resistance
Textart	Aufsatz
Untersuchungsgebiete	Niedersachsen, Sachsen, Thüringen, Rheinland-Pfalz, Baden-Württemberg, Nachbarländer, Sonstiges
Forschungsmethode	Ausschließlich Felderhebung
Haupt-Fragestellung	Zustandsänderung: Absterben Expositionsänderung, abiotisch: Dürre Expositionsänderung, biotisch: Schaderregerbefall Expositionsänderung, abiotisch: Sturm Expositionsänderung, abiotisch: Hitzewelle Resistenz
Neben-Fragestellung	Zustandsänderung: Absterben Exposition: Standort
Kommentar	Schweden, Norwegen, Belgien, Frankreich, Schweiz, Österreich, Italien.

Befunde

Vergleichspaar	Baumart und Alter	Nutzungsformen	EE	E	N	I	II
VP 1/1	Fichte k.A.	p3 Native plantation, p2 Exotic plantation	EE				
Spezifische Angaben	Kühler nördlicher Arealteil.						
VP 1/2	Fichte k.A.	p3 Native plantation, p2 Exotic plantation					
Spezifische Angaben	Wärmerer südlicher Arealteil.						
Kommentar	Der nördliche Arealteil ist kühler, der südliche Arealteil wärmer; analog begünstigen bestimmte Nutzungsformen						

Steckbrief Nr. 48

entweder ein kühles oder ein wärmeres
Lokal- und Mikroklima.



Forstwirtschaftliche
Perspektive

Kalamitätsholz nicht auf der Fläche belassen.

Matevski, D., 2022. Consequences of enriching European beech forests with non-native Douglas fir for generalist arthropod predator diversity, abundance and pest control. Dissertation, Göttingen.

Klassifikation

Suchbegriffe	Central Europe; Susceptibility
Textart	Dissertation
Untersuchungsgebiete	Niedersachsen
Forschungsmethode	Ausschließlich Felderhebung
Haupt-Fragestellung	Exposition: Standort Expositionsänderung, biotisch: Schaderregerbefall Resistenz

Befunde

Vergleichspaar	Baumart und Alter	Nutzungsformen	EE	E	N	I	II
VP 1/1	Buche > 120, Buche ≤ 120	n2 Exploited natural forest					
Spezifische Angaben	Buchenreinbestand.						
VP 1/2	Buche > 120, Buche ≤ 120, Fichte > 80, Fichte ≤ 80	n2 Exploited natural forest					II
Spezifische Angaben	Buchenbestand mit Fichtenbeimischung.						
VP 2/1	Buche > 120, Buche ≤ 120	n2 Exploited natural forest					
Spezifische Angaben	Buchenreinbestand.						
VP 2/2	Buche > 120, Buche ≤ 120, Douglasie ≤ 80, Douglasie > 80	n2 Exploited natural forest				I	
Spezifische Angaben	Buchenbestand mit Douglasienbeimischung.						

Steckbrief Nr. 49

VP 3/1	Buche > 120, Buche ≤ 120, Fichte > 80, Fichte ≤ 80	n2 Exploited natural forest	II
Spezifische Angaben	Buchenbestand mit Fichtenbeimischung.		
VP 3/2	Buche > 120, Buche ≤ 120, Douglasie ≤ 80, Douglasie > 80	n2 Exploited natural forest	
Spezifische Angaben	Buchenbestand mit Douglasienbeimischung.		

Überlegungen zu No-/Low-regret-Maßnahmen

Artenreichtum von Spinnen und ihre ökologische Rolle durch Ersatz von Fichten durch Douglasien nicht beeinträchtigt.

Forstwirtschaftliche Perspektive

Beimischung von Douglasien in Buchenreinbestände verbessert die Regulation von herbivoren Schaderregern.

Naturschutz-Perspektive

Artenreichtum von Spinnen und ihre ökologische Rolle durch Ersatz von Fichten durch Douglasien nicht beeinträchtigt.

Matevski, D., Foltran, E., Lamersdorf, N., Schuldt, A., 2023. Introduction of non-native Douglas fir reduces leaf damage on beech saplings and mature trees in European beech forests. *Ecological Applications* 33, e2786. <https://doi.org/10.1002/eap.2786>.

Klassifikation

Suchbegriffe	Central Europe; Growth
Textart	Aufsatz
Untersuchungsgebiete	Niedersachsen, Thüringen
Forschungsmethode	Ausschließlich Felderhebung
Haupt-Fragestellung	Exposition: Standort Expositionsänderung, biotisch: Schaderregerbefall Resistenz

Befunde

Vergleichspaar	Baumart und Alter	Nutzungsformen	EE	E	N	I	II
VP 1/1	Buche > 120, Buche ≤ 120	n2 Exploited natural forest					
Spezifische Angaben	Buchenreinbestand.						
VP 1/2	Buche > 120, Buche ≤ 120, Fichte > 80, Fichte ≤ 80	n2 Exploited natural forest					II
Spezifische Angaben	Buchenbestand mit Fichtenbeimischung.						
VP 2/1	Buche > 120, Buche ≤ 120	n2 Exploited natural forest					
Spezifische Angaben	Buchenreinbestand.						
VP 2/2	Buche > 120, Buche ≤ 120, Douglasie ≤ 80, Douglasie > 80	n2 Exploited natural forest					II
Spezifische Angaben	Buchenbestand mit Douglasienbeimischung.						

Steckbrief Nr. 50

VP 3/1	Buche > 120, Buche ≤ 120, Fichte > 80, Fichte ≤ 80	n2 Exploited natural forest	II
Spezifische Angaben	Buchenbestand mit Fichtenbeimischung.		
VP 3/2	Buche > 120, Buche ≤ 120, Douglasie ≤ 80, Douglasie > 80	n2 Exploited natural forest	
Spezifische Angaben	Buchenbestand mit Douglasienbeimischung.		
VP 4/1	Buche > 120, Buche ≤ 120	n2 Exploited natural forest	EE
Spezifische Angaben	Buchenreinbestand.		
VP 4/2	Buche > 120, Buche ≤ 120, Fichte > 80, Fichte ≤ 80	n2 Exploited natural forest	
Spezifische Angaben	Buchenbestand mit Fichtenbeimischung.		
VP 5/1	Buche > 120, Buche ≤ 120	n2 Exploited natural forest	EE
Spezifische Angaben	Buchenreinbestand.		
VP 5/2	Buche > 120, Buche ≤ 120, Douglasie ≤ 80, Douglasie > 80	n2 Exploited natural forest	
Spezifische Angaben	Buchenbestand mit Douglasienbeimischung.		
VP 6/1	Buche > 120, Buche ≤ 120, Fichte > 80, Fichte ≤ 80	n2 Exploited natural forest	EE
Spezifische Angaben	Buchenbestand mit Fichtenbeimischung.		
VP 6/2	Buche > 120, Buche ≤ 120, Douglasie ≤ 80, Douglasie > 80	n2 Exploited natural forest	

Steckbrief Nr. 50

Spezifische Angaben Buchenbestand mit Douglasienbeimischung.



Forstwirtschaftliche
Perspektive

Empfehlung, in Buchenbeständen Douglasien oder Fichten
beizumischen.

Mathes, T., Seidel, D., Annighöfer, P., 2023. Response to extreme events: do morphological differences affect the ability of beech (*Fagus sylvatica* L.) to resist drought stress? *Forestry* 96, 355–371. <https://doi.org/10.1093/forestry/cpac056>.

Klassifikation

Suchbegriffe	Ecology; Germany; Growth; Resistance; Silviculture
Textart	Aufsatz
Untersuchungsgebiete	Bayern
Forschungsmethode	Ausschließlich Felderhebung
Haupt-Fragestellung	Zustandsänderung: Wachstum, Produktivität Expositionsänderung, abiotisch: Dürre Resistenz Resilienz
Neben-Fragestellung	Zustandsänderung: Sonstige Exposition: Standort Resistenz

Befunde

Vergleichspaar	Baumart und Alter	Nutzungsformen	EE	E	N	I	II
VP 1/1	Buche k.A.	n2 Exploited natural forest		E			
Spezifische Angaben	Dichter Bestand.						
VP 1/2	Buche k.A.	n2 Exploited natural forest					
Spezifische Angaben	Aufgelockerter Bestand.						
VP 2/1	Buche k.A.	n2 Exploited natural forest	EE				
Spezifische Angaben	Subdominante und dominante Bäume.						
VP 2/2	Buche k.A.	n2 Exploited natural forest					

Steckbrief Nr. 51

Spezifische Angaben

Nur dominante Bäume.



Überlegungen zu No-/Low-regret-Maßnahmen

Es sollten ausreichend Bäume unterhalb der herrschenden Schicht von Durchforstungen ausgenommen werden.

Mathes, T., Seidel, D., Klemmt, H.-J., Thom, D., Annighöfer, P., 2024. The effect of forest structure on drought stress in beech forests (*Fagus sylvatica* L.). *Forest Ecology and Management* 554, 121667. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2023.121667>.

Klassifikation

Suchbegriffe	Adaptive capacity; Central Europe; Germany; Growth; Management; Resistance; Responsiveness; Vulnerability
Textart	Aufsatz
Untersuchungsgebiete	Bayern
Forschungsmethode	Ausschließlich Felderhebung
Haupt-Fragestellung	Zustandsänderung: Wachstum, Produktivität Expositionsänderung, abiotisch: Dürre Resistenz Resilienz
Neben-Fragestellung	Zustandsänderung: Sonstige Expositionsänderung, abiotisch: Dürre Resistenz

Befunde

Vergleichspaar	Baumart und Alter	Nutzungsformen	EE	E	N	I	II
VP 1/1	Buche k.A.	n2 Exploited natural forest					
Spezifische Angaben	Wenig geöffnetes Kronendach.			E			
VP 1/2	Buche k.A.	n2 Exploited natural forest					
Spezifische Angaben	Stark geöffnetes Kronendach.						
VP 2/1	Buche k.A.	n2 Exploited natural forest					
Spezifische Angaben	Mehrschichtige Bestände.			E			
VP 2/2	Buche k.A.	n2 Exploited natural forest					

Steckbrief Nr. 52

Spezifische Angaben

Einschichtige Bestände.



Überlegungen zu No-/Low-regret-Maßnahmen

Kein Low/no-regret-Option denkbar.

Mellert, K.H., Canullo, R., Mette, T., Ziche, D., Göttlein, A., 2018. The climatic drought limit of common tree species depend on soil nutrient status. *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen* 169, 323–331. <https://doi.org/10.3188/szf.2018.0323>.

Klassifikation

Suchbegriffe	Germany; Resistance; Tolerance
Textart	Aufsatz
Untersuchungsgebiete	Deutschland
Forschungsmethode	Ausschließlich Felderhebung
Haupt-Fragestellung	Exposition: Standort Expositionsänderung, abiotisch: Temperatur, langfristig Anpassungsfähigkeit Zustandsänderung: Sonstige

Befunde

Vergleichspaar	Baumart und Alter	Nutzungsformen	EE	E	N	I	II
VP 1/1	Buche k.A., Eiche k.A., Fichte k.A., Kiefer k.A., Tanne k.A.	Sonstiges					
Spezifische Angaben	Buchen: basenreicher Boden.						
VP 1/2	Buche k.A., Eiche k.A., Fichte k.A., Kiefer k.A., Tanne k.A.	Sonstiges		E			
Spezifische Angaben	Buchen: basenarmer Boden.						
Kommentar	Basenreiche Böden sind günstig für die Nährstoffversorgung unter Trockenstress; daher könnten Nutzungsformen, die Basenreichtum begünstigen, ebenso zu höherer Resistenz und Resilienz führen.						

Metz, J., Annighöfer, P., Schall, P., Zimmermann, J., Kahl, T., Schulze, E.D. et al, 2016. Site-adapted admixed tree species reduce drought susceptibility of mature European beech. *Global Change Biology* 22, 903–920. <https://doi.org/10.1111/gcb.13113>.

Klassifikation

Suchbegriffe	Germany; Growth; Resistance; Sensitivity; Stability; Susceptibility
Textart	Aufsatz
Untersuchungsgebiete	Thüringen, Baden-Württemberg, Brandenburg
Forschungsmethode	Ausschließlich Felderhebung
Haupt-Fragestellung	Zustandsänderung: Wachstum, Produktivität Expositionsänderung, abiotisch: Dürre Resistenz Exposition: Standort

Befunde

Vergleichspaar	Baumart und Alter	Nutzungsformen	EE	E	N	I	II
VP 1/1	k.A.	n2 Exploited natural forest, n4 Newly untouched forest					
Spezifische Angaben	Buchenreinbestand.						II
VP 1/2	k.A.	n2 Exploited natural forest, n4 Newly untouched forest					
Spezifische Angaben	Buchenbestand mit Kiefernbeimischung.						
VP 2/1	k.A.	n2 Exploited natural forest, n4 Newly untouched forest					
Spezifische Angaben	Buchenreinbestand.					I	
VP 2/2	k.A.	n2 Exploited natural forest, n4 Newly untouched forest					

Steckbrief Nr. 54

Spezifische Angaben Buchenbestand mit Fichtenbeimischung.



Überlegungen zu No-/Low-regret-Maßnahmen

Beimischung von Douglasien in Buchenbeständen vorteilhaft und unschädlich.

Forstwirtschaftliche Perspektive

Zuwachssteigerung durch Beimischung von Douglasien in Buchenbeständen.

Naturschutz-Perspektive

Beimischung von Douglasien in Buchenbeständen unschädlich für die Artenvielfalt.

Meyer, P., Nagel, R., Feldmann, E., 2021. Limited sink but large storage: Biomass dynamics in naturally developing beech (*Fagus sylvatica*) and oak (*Quercus robur*, *Quercus petraea*) forests of Norden-western Germany. *Journal of Ecology* 109, 3602–3616.
<https://doi.org/10.1111/1365-2745.13740>.

Klassifikation

Suchbegriffe	Germany; Growth
Textart	Aufsatz
Untersuchungsgebiete	Niedersachsen
Forschungsmethode	Ausschließlich Felderhebung
Neben-Fragestellung	Kohlenstoffspeicher, absolut Kohlenstoffspeicher, relativ Zustandsänderung: Wachstum, Produktivität Kohlenstoffsенke, relativ Kohlenstoffsенke, absolut Expositionsänderung, abiotisch: Temperatur, langfristig

Befunde

Vergleichspaar	Baumart und Alter	Nutzungsformen	EE	E	N	I	II
VP 1/1	Buche > 120, Eiche > 160	n4 Newly untouched forest					
Spezifische Angaben	Buchendominierte Bestände, Buchenmischbestände, Eichenmischbestände: Ca. 40 Jahre nach Nutzungsaufgabe.						
VP 1/2	Buche > 120, Buche ≤ 120, Eiche > 160, Eiche ≤ 160	n4 Newly untouched forest	EE				
Spezifische Angaben	Buchendominierte Bestände, Buchenmischbestände, Eichenmischbestände: Deutlich unter 40 Jahre nach Nutzungsaufgabe.						

Steckbrief Nr. 55

VP 2/1	Buche > 120, Eiche > 160	n4 Newly untouched forest, n5 Long untouched forest	N
Spezifische Angaben	Buchenmischbestände, Eichenmischbestände: Deutlich über 40 Jahre nach Nutzungsaufgabe.		
VP 2/2	Buche > 120, Eiche > 160	n4 Newly untouched forest	
Spezifische Angaben	Buchenmischbestände, Eichenmischbestände: Ca. 40 Jahre nach Nutzungsaufgabe.		
VP 3/1	Buche > 120	n4 Newly untouched forest	EE
Spezifische Angaben	Buchendominierte Bestände: Ca. 50 Jahre nach Nutzungsaufgabe.		
VP 3/2	Buche > 120	n4 Newly untouched forest	
Spezifische Angaben	Buchendominierte Bestände: Deutlich unter 50 Jahre nach Nutzungsaufgabe.		

Bezug zu Klimaschutz

"Although biomass, and thus carbon, acquisition per hectare seems to be limited in naturally developing broadleaved forests, the storage capacity of these forests was shown to be substantial. Accordingly, forests that are allowed to develop naturally are likely to play important roles in carbon storage and sequestration (Keith et al., 2010). Apart from their above-- ground carbon storage, SFRs and other naturally developing forests have the potential to store additional carbon in the soil (James & Harrison, 2016; Mayer et al., 2020; Zhou et al., 2006)."

Meyer, P., Spînu, A.P., Mölder, A., Bauhus, J., 2022. Management alters drought-induced mortality patterns in European beech (*Fagus sylvatica* L.) forests. *Plant Biology* 24, 1157–1170. <https://doi.org/10.1111/plb.13396>.

Klassifikation

Suchbegriffe	Germany; Management; Plasticity; Resistance
Textart	Aufsatz
Untersuchungsgebiete	Hessen
Forschungsmethode	Ausschließlich Felderhebung
Haupt-Fragestellung	Zustandsänderung: Absterben Expositionsänderung, abiotisch: Temperatur, langfristig Expositionsänderung, abiotisch: Feuchte, langfristig Expositionsänderung, abiotisch: Dürre Resistenz
Neben-Fragestellung	Zustandsänderung: Absterben Expositionsänderung, abiotisch: Temperatur, langfristig Expositionsänderung, abiotisch: Feuchte, langfristig Expositionsänderung, abiotisch: Dürre Resistenz Exposition: Standort

Befunde

Vergleichspaar	Baumart und Alter	Nutzungsformen	EE	E	N	I	II
VP 1/1	Buche k.A.	n4 Newly untouched forest					
Spezifische Angaben							
VP 1/2	Buche k.A.	n2 Exploited natural forest		E			
Spezifische Angaben	Hochdurchforstung, dann Zielstärkennutzung.						

Steckbrief Nr. 56

VP 2/1	Buche k.A.	n4 Newly untouched forest, n2 Exploited natural forest	I
Spezifische Angaben	Feuchtere Standorte.		
VP 2/2	Buche k.A.	n4 Newly untouched forest, n2 Exploited natural forest	
Spezifische Angaben	Trockenere Standorte.		

Miller, T.W., Stangler, D.F., Larysch, E., Honer, H., Seifert, T., Puhmann, H. et al, 2022. Longer and faster: Intra-annual growth dynamics of Douglas fir outperform Norway spruce and silver fir over wide climatic gradients. *Agricultural and Forest Meteorology* 321, 108970. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2022.108970>.

Klassifikation

Suchbegriffe	Adaptive capacity; Germany; Growth
Textart	Aufsatz
Untersuchungsgebiete	Baden-Württemberg
Forschungsmethode	Ausschließlich Felderhebung
Haupt-Fragestellung	Anpassungsfähigkeit Zustandsänderung: Wachstum, Produktivität Expositionsänderung, abiotisch: Temperatur, langfristig Expositionsänderung, abiotisch: Feuchte, langfristig

Befunde

Vergleichspaar	Baumart und Alter	Nutzungsformen	EE	E	N	I	II
VP 1/1	Fichte > 80, Fichte ≤ 80	p3 Native plantation, p2 Exotic plantation			N		
Spezifische Angaben	Fichtendominierte Bestände.						
VP 1/2	Douglasie > 80, Douglasie ≤ 80	p3 Native plantation, p2 Exotic plantation					
Spezifische Angaben	Douglasiendominierte Bestände.						
VP 2/1	Tanne > 120, Tanne ≤ 120	p3 Native plantation, p2 Exotic plantation			N		
Spezifische Angaben	Tannendominierte Bestände.						
VP 2/2	Douglasie > 80, Douglasie ≤ 80	p3 Native plantation, p2 Exotic plantation					
Spezifische Angaben	Douglasiendominierte Bestände.						

Steckbrief Nr. 57

Überlegungen zu No-/Low-regret-Maßnahmen

Keine Low/no-regret-Option: Vorteile der Douglasie werden relativiert.

Forstwirtschaftliche Perspektive

Hohe Wachstumsrate, hohe Dürresistenz.

Müller, M., Kempen, T., Finkeldey, R., Gailing, O., 2020. Low Population Differentiation but High Phenotypic Plasticity of European Beech in Germany. *Forests* 11, 1354.
<https://doi.org/10.3390/f11121354>.

Klassifikation

Suchbegriffe	Germany; Growth; Plasticity; Tolerance
Textart	Aufsatz
Untersuchungsgebiete	Brandenburg, Thüringen, Baden-Württemberg
Forschungsmethode	Ausschließlich Felderhebung
Haupt-Fragestellung	Expositionsänderung, abiotisch: Dürre Anpassungsfähigkeit Zustandsänderung: Wachstum, Produktivität

Befunde

Vergleichspaar	Baumart und Alter	Nutzungsformen	EE	E	N	I	II
VP 1/1	Alter 0 - 20, Buche > 120	n4 Newly untouched forest					
Spezifische Angaben							
VP 1/2	Alter 0 - 20, Buche k.A.	n2 Exploited natural forest		E			
Spezifische Angaben	Oder p4: "Partly-natural planted forest".						
Kommentar	"... three are managed and three are unmanaged populations".						
VP 2/1	Alter 0 - 20, Buche > 120, Buche ≤ 120	n4 Newly untouched forest, n2 Exploited natural forest					
Spezifische Angaben	Lokale Provenienz.						
VP 2/2	Alter 0 - 20, Buche > 120, Buche ≤ 120	n4 Newly untouched forest, n2 Exploited natural forest		E			
Spezifische Angaben	Andere Provenienz.						

Nagel, R., Meyer, P., Blaschke, M., 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. *Front. For. Glob. Change* 6, 1099558. <https://doi.org/10.3389/ffgc.2023.1099558>.

Klassifikation

Suchbegriffe	Germany; Management
Textart	Aufsatz
Untersuchungsgebiete	Brandenburg, Schleswig-Holstein, Niedersachsen, Nordrhein-Westfalen, Rheinland-Pfalz, Baden-Württemberg, Bayern, Thüringen, Mecklenburg-Vorpommern, Hessen
Forschungsmethode	Ausschließlich Felderhebung
Haupt-Fragestellung	Kohlenstoffspeicher, absolut Kohlenstoffspeicher, relativ Zustandsänderung: Wachstum, Produktivität Kohlenstoffsенke, relativ Kohlenstoffsенke, absolut Sensitivität: Mikroklimatische Pufferung Resistenz Resilienz
Neben-Fragestellung	Kohlenstoffspeicher, absolut Kohlenstoffspeicher, relativ Zustandsänderung: Wachstum, Produktivität Kohlenstoffsенke, relativ Kohlenstoffsенke, absolut Expositionsänderung, abiotisch: Temperatur, langfristig

Befunde

Vergleichspaar	Baumart und Alter	Nutzungsformen	EE	E	N	I	II
VP 1/1	Buche > 120	n4 Newly untouched forest	EE				
Spezifische Angaben	Ca. 50 Jahre nach Nutzungsaufgabe.						

Steckbrief Nr. 59

VP 1/2	Buche > 120, Buche ≤ 120	n4 Newly untouched forest	
Spezifische Angaben	Deutlich unter 50 Jahre nach Nutzungsaufgabe.		
VP 2/1	Buche > 120	n4 Newly untouched forest, n5 Long untouched forest	
Spezifische Angaben	Deutlich über 50 Jahre nach Nutzungsaufgabe.		N
VP 2/2	Buche > 120	n4 Newly untouched forest	
Spezifische Angaben	Ca. 50 Jahre nach Nutzungsaufgabe.		

Überlegungen zu No-/Low-regret-Maßnahmen Ungenutzte Wälder sind über lange Zeit sowohl effektive C-Senken als auch C-Speicher.

Forstwirtschaftliche Perspektive Ungenutzte Wälder sollten in eine "Climate-smart Forestry" integriert werden.

Naturschutz-Perspektive "In the light of the efforts to mitigate climate change and the heated discussion about whether to set aside forest to natural development or not, it is important to consider that how we manage forests is not only relevant to climate change, but also to biodiversity, ecosystem functions and cultural values".

Bezug zu Klimaschutz "The coming decades are critical for climate change mitigation. According to the current state of knowledge, unmanaged forests can reliably sequester and store carbon from the atmosphere within a limited timeframe and the constraints of their natural carrying capacity (Keith et al., 2009). Our results suggest, that this timeframe is at least 50 years long. Over time, the sink function diminishes and naturally developing forests become a passive, but stable carbon storage (Nord-Larsen et al., 2019; Stillhard et al., 2022)."; "According to Gleixner et al. (2009), broadleaved forests tend to store a higher fraction of carbon in deeper layers. Nevertheless, this is only an indication toward negative effects from forest management, but not for a persistent carbon sink in the soil of unmanaged forests."; "We found independent effects for both TSA and stand age on carbon storage in even-aged, beech dominated stands. The positive linear relationship of TSA on carbon storage for the first 50 years after the end of forest management is consistent with results based on real

time series (Meyer et al., 2021)."; "The positive effect of an increasing share of beech on carbon storage in living biomass is in line with findings by Meyer et al. (2021), where pure beech stands reached higher levels of biomass as well as higher net increment in biomass than mixed forest types."; "The effect of soil texture (i.e., clay content), was found to have a pronounced effect on carbon storage in the mineral soil (Grüneberg et al., 2019), however these criteria were not determined for our samples. A strong influence of soil type on carbon storage was also documented for primeval beech forests (Pichler et al., 2021)."; "After abandonment, the canopy closes and the mineralization rate decreases, due to lower surface temperatures. In turn, the storage in the organic layer increases, but the input to the mineral soil is reduced and its carbon stock decreases, due to continuing mineralization and carbon leaching."; "However, in paired plot studies (i.e., forest reserve vs. adjacent managed forest) no significant differences regarding carbon storage in the topsoil were found between managed and lately unmanaged (TSA > 40; Mund, 2004; Krueger et al., 2017; Nord-Larsen et al., 2019) or even primeval beech forests"; "We found that aboveground carbon storage increased significantly over time for approximately 50 years."; The descending aboveground carbon storage with high stand age (Table 2; age class 201 – 240 yr.) and the high standard deviation in old stands (stand age + 240 yr.) may indicate the onset of the terminal phase and overmaturing trees, with the associated structural changes."; "Overall, when comparing carbon storage levels of our sites, including the old beech sites, to data from primeval forests it seems reasonable to assume that, after fast initial growth, the carbon stock stabilizes already at early stages of natural forest development (Molina-Valero et al., 2021), at a level relatively close to the site-specific carbon carrying capacity"; "We found a linear increase of the carbon storage over the first 50 years after abandonment."

Norris, C., Hobson, P., Ibisch, P.L., 2012. Microclimate and vegetation function as indicators of forest thermodynamic efficiency. *Journal of Applied Ecology* 49, 562–570.
<https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2011.02084.x>.

Klassifikation

Suchbegriffe	Ecology; Germany; Growth; Management; Resilience; vor 2015
Textart	Aufsatz
Untersuchungsgebiete	Brandenburg
Forschungsmethode	Ausschließlich Felderhebung
Haupt-Fragestellung	Expositionsänderung, abiotisch: Sonstige Sensitivität: Mikroklimatische Pufferung Resistenz
Kommentar	UK, Ukraine.

Befunde

Vergleichspaar	Baumart und Alter	Nutzungsformen	EE	E	N	I	II
VP 1/1	Buche > 120	n1 Plantation-like natural forest					
Spezifische Angaben	Plot G1: Buchenreinbestand bis 140 Jahre.						
VP 1/2	Buche ≤ 120, Kiefer ≤ 100	n1 Plantation-like natural forest					II
Spezifische Angaben	Plot G2: Bestand aus Buchen (82 Jahre) und Kiefern (49 Jahre).						
Kommentar	Plots in Deutschland.						
VP 2/1	Buche ≤ 120, Kiefer ≤ 100	n1 Plantation-like natural forest					
Spezifische Angaben	Plot G2: Bestand aus Buchen (82 Jahre) und Kiefern (49 Jahre).		EE				
VP 2/2	Kiefer ≤ 100	p3 Native plantation					

Steckbrief Nr. 60

Spezifische Angaben	Plot G3: Kiefernreinbestand ca. 60 Jahre.		
Kommentar	Plots in Deutschland.		
VP 3/1	Buche > 120	n7 Near-virgin forest	EE
Spezifische Angaben	Plot U1.		
VP 3/2	Buche > 120	n3 Specially managed forest	
Spezifische Angaben	Plot U2.		

Überlegungen zu No-/Low-regret-Maßnahmen

Trade-off zwischen Senkenleistung junger Bestände und Resistenz älterer, struktureicherer Bestände durch mikroklimatische Pufferung.

Bezug zu Klimaschutz

"Old-growth forests subject to minimal disturbance with higher levels of biomass storage demonstrate attenuated temperature regimes ... Over time, enhanced rates of energy loss result in the build-up of high entropy wastes and reduced resilience (Odum 1969). Even in young plantation stands (S2, G3) that have high rates of carbon sequestration as they develop towards maturity, temperature patterns are more indicative of a stand undergoing simplification through disturbance. ... The apparent effectiveness in carbon sequestration is overridden as far as thermodynamic efficiency is concerned by a relative lack of complexity and information in system structure."

Obladen, N., Dechering, P., Skiadaresis, G., Tegel, W., Keßler, J., Höllerl, S. et al, 2021. Tree mortality of European beech and Norway spruce induced by 2018-2019 hot droughts in central Germany. *Agricultural and Forest Meteorology* 307, 108482.
<https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2021.108482>.

Klassifikation

Suchbegriffe	Germany; Growth; Management; Sensitivity
Textart	Aufsatz
Untersuchungsgebiete	Bayern
Forschungsmethode	Ausschließlich Felderhebung
Haupt-Fragestellung	Zustandsänderung: Wachstum, Produktivität Expositionsänderung, abiotisch: Dürre Expositionsänderung, abiotisch: Hitzewelle Resistenz Resilienz
Neben-Fragestellung	Zustandsänderung: Absterben Expositionsänderung, abiotisch: Dürre Expositionsänderung, abiotisch: Hitzewelle Resistenz

Befunde

Vergleichspaar	Baumart und Alter	Nutzungsformen	EE	E	N	I	II
VP 1/1	Buche ≤ 120	n2 Exploited natural forest	EE				
Spezifische Angaben	Buchendominierte Bestände.						
VP 1/2	Fichte > 80	p2 Exotic plantation					
Spezifische Angaben	Fichtendominierte Bestände.						

Überlegungen zu No-/Low-regret-Maßnahmen

1. Beförderung von Mischwäldern sowohl aus natürlichen Reinbeständen (z.B. Buchenwälder), als auch aus künstlichen

Steckbrief Nr. 61

Reinbeständen (z.B. Fichten- oder Douglasienforsten). 2. Beförderung von Strukturreichtum.

Forstwirtschaftliche
Perspektive

Forstwirtschaftliche Risikostreuung.

Plath, E., Böhme, W., Fischer, D., Griebel, L., Jochims, K., Schreek, K. et al, 2025. Spider diversity in a disturbed forest landscape highlights the importance of management heterogeneity. *Insect Conservation and Diversity*, 1–17. <https://doi.org/10.1111/icad.12815>.

Klassifikation

Suchbegriffe	Abundance; Germany; Management
Textart	Aufsatz
Untersuchungsgebiete	Rheinland-Pfalz
Forschungsmethode	Ausschließlich Felderhebung
Haupt-Fragestellung	Resilienz Sensitivität: Mikroklimatische Pufferung Zustandsänderung: Sonstige

Befunde

Vergleichspaar	Baumart und Alter	Nutzungsformen	EE	E	N	I	II
VP 1/1	Fichte ≤ 80, Alter 0 - 20	p2 Exotic plantation, n4 Newly untouched forest	EE				
Spezifische Angaben	Nach Kalamität: Keine Fällung, keine Beräumung.						
VP 1/2	Fichte ≤ 80, Alter 0 - 20	p2 Exotic plantation, n4 Newly untouched forest					
Spezifische Angaben	Nach Kalamität: Vollständige Beräumung.						
Kommentar	Die ehemaligen Fichtenbestände, die 2008 abgestorben sind und sich seither in freier Sukzession befinden, werden hier nicht betrachtet.						
Überlegungen zu No-/Low-regret-Maßnahmen	Kombination von nicht beräumten Kalamitätsflächen in freier Sukzession und genutzten Kalamitätsflächen.						
Forstwirtschaftliche Perspektive	Forstwirtschaftliche Risikostreuung.						

Steckbrief Nr. 62

Naturschutz-Perspektive

Möglichkeit zur unbeeinflussten Entwicklung artenreicher Ökosysteme auf einem Teil der Kalamitätsflächen.

Plath, E., Trauth, C., Gerhards, J., Griebel, L., Fischer, K., 2024. Dieback of managed spruce stands in western Germany promotes beetle diversity. *Journal of Forestry Research* 35, 48. <https://doi.org/10.1007/s11676-024-01695-w>.

Klassifikation

Suchbegriffe	Germany; Management
Textart	Aufsatz
Untersuchungsgebiete	Rheinland-Pfalz
Forschungsmethode	Ausschließlich Felderhebung
Haupt-Fragestellung	Resilienz Sensitivität: Mikroklimatische Pufferung Zustandsänderung: Sonstige

Befunde

Vergleichspaar	Baumart und Alter	Nutzungsformen	EE	E	N	I	II
VP 1/1	Alter 0 - 20, Fichte ≤ 80	p2 Exotic plantation, n4 Newly untouched forest	EE				
Spezifische Angaben	Nach Kalamität: Keine Beräumung.						
VP 1/2	Alter 0 - 20, Fichte ≤ 80	p2 Exotic plantation, n4 Newly untouched forest					
Spezifische Angaben	Nach Kalamität: Beräumung.						
Kommentar	Die reifen Fichtenbestände und solche, die 1990 geworfen und sich seither in freier Sukzession befinden, werden hier nicht betrachtet.						
Überlegungen zu No-/Low-regret-Maßnahmen	Kombination von nicht beräumten Kalamitätsflächen in freier Sukzession und genutzten Kalamitätsflächen.						
Forstwirtschaftliche Perspektive	Forstwirtschaftliche Risikostreuung.						

Steckbrief Nr. 63

Naturschutz-Perspektive

Möglichkeit zur unbeeinflussten Entwicklung artenreicher Ökosysteme auf einem Teil der Kalamitätsflächen.

Pollierer, M.M., Ferlian, O., Scheu, S., 2015. Temporal dynamics and variation with forest type of phospholipid fatty acids in litter and soil of temperate forests across regions. *Soil Biology and Biochemistry* 91, 248–257. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2015.08.035>.

Klassifikation

Suchbegriffe	Abundance; Germany; Management; Susceptibility
Textart	Aufsatz
Untersuchungsgebiete	Baden-Württemberg, Brandenburg, Thüringen
Forschungsmethode	Ausschließlich Felderhebung
Haupt-Fragestellung	Zustandsänderung: Sonstige
Neben-Fragestellung	Expositionsänderung, abiotisch: Feuchte, langfristig Kohlenstoffspeicher, relativ Resilienz

Befunde

Vergleichspaar	Baumart und Alter	Nutzungsformen	EE	E	N	I	II
VP 1/1	Buche ≤ 120	n5 Long untouched forest					
Spezifische Angaben	Seit 60 Jahren unbewirtschafteter Buchenwald (Alter ~ 120 Jahre).						
VP 1/2	Buche > 120	p3 Native plantation			N		
Spezifische Angaben	Bewirtschafteter Buchenwald (~ 70 Jahre).						
Kommentar	"... mature beech stands that were left unmanaged for at least 60 years (age ~ 120 years)".						
VP 2/1	Buche > 120	p3 Native plantation					
Spezifische Angaben	Junge, bewirtschaftete Buchen: junge Buchenaltersklasse (Alter ~ 30 Jahre).		EE				
VP 2/2	Fichte k.A., Kiefer k.A.	p2 Exotic plantation					

Steckbrief Nr. 64

Spezifische Angaben Nadelwälder (Picea abies - BW + TH und
Pinus sylvestris BB).



Überlegungen zu No-/Low- Extensiveres Management zur Stressreduzierung.
regret-Maßnahmen

Prietzl, J., Falk, W., Reger, B., Uhl, E., Pretzsch, H., Zimmermann, L., 2020. Half a century of Scots pine forest ecosystem monitoring reveals long-term effects of atmospheric deposition and climate change. *Global Change Biology* 26, 5796–5815.
<https://doi.org/10.1111/gcb.15265>.

Klassifikation

Suchbegriffe	Germany; Growth; Management; Yield
Textart	Aufsatz
Untersuchungsgebiete	Bayern
Forschungsmethode	Ausschließlich Felderhebung
Haupt-Fragestellung	Zustandsänderung: Wachstum, Produktivität Zustandsänderung: Sonstige Resistenz
Neben-Fragestellung	Expositionsänderung, abiotisch: Feuchte, langfristig Expositionsänderung, abiotisch: Temperatur, langfristig Expositionsänderung, abiotisch: Sonstige

Befunde

Vergleichspaar	Baumart und Alter	Nutzungsformen	EE	E	N	I	II
VP 1/1	Kiefer > 100	p3 Native plantation					
Spezifische Angaben	Weniger degradierter Boden.						
VP 1/2	Kiefer > 100	p3 Native plantation					
Spezifische Angaben	Stärker degradierter Boden.						

Bezug zu Klimaschutz	Storage; Veränderung von Wachstum und Speicherung im Boden
----------------------	--

Prietzl, J., Weis, W., Bachmann, S., Kern, M., 2023. Effects of Douglas fir cultivation in German forests on soil seepage water quantity and quality. Forest Ecology and Management 546, 121379. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2023.121379>.

Klassifikation

Suchbegriffe	Central Europe; Germany; Management; Resilience; Tolerance
Textart	Aufsatz
Untersuchungsgebiete	Bayern
Forschungsmethode	Ausschließlich Felderhebung
Haupt-Fragestellung	Zustandsänderung: Sonstige
Neben-Fragestellung	Resistenz

Befunde

Vergleichspaar	Baumart und Alter	Nutzungsformen	EE	E	N	I	II
VP 1/1	Buche > 120	p3 Native plantation	EE				
Spezifische Angaben	Buche.						
VP 1/2	Fichte > 80, Fichte ≤ 80	p3 Native plantation	EE				
Spezifische Angaben	Fichte.						
VP 2/1	Buche > 120		EE				
Spezifische Angaben							
VP 2/2	Douglasie > 80, Douglasie ≤ 80		EE				
Spezifische Angaben							
VP 3/1	Buche > 120		EE				
Spezifische Angaben							

VP 3/2

Douglasie > 80,
Douglasie ≤ 80,
Buche > 120



Spezifische Angaben

Forstwirtschaftliche
Perspektive

"Concerning seepage water quantity and quality, mixed Douglas fir–beech stands are a promising option for producing conifer timber and avoiding increased disturbance risks of monocultures under a warmer and drier climate (Bolte et al., 2009; Messier et al., 2019), which are associated with seepage water NO₃ – and base cation leaching peaks (Mellert et al., 1996; Huber, 2005). Our seepage water results corroborate the recommendation for cultivation of mixed Douglas fir–beech stands in European forestry."; "Our seepage water results corroborate the recommendation for cultivation of mixed Douglas fir–beech stands in European forestry. Such stands balance well various targets of modern multifunctional forestry: Seepage water quantity and quality (this study), ecosystem stability and resilience (Schütz and Pommerening, 2013; Lwila et al., 2023), timber production (Thurm and Pretzsch, 2016), soil C sequestration and quality (Cremer et al., 2016; Cremer and Prietzel, 2017; Dawud et al., 2017), as well as biodiversity (Wildermuth et al., 2023)."

Bezug zu Klimaschutz

Storage; Soil C storage: "Carbon sequestration and storage are increased due to the faster growth and higher standing stocks compared with the past. As the level of the self-thinning line was fertilization-invariant we found no additional storage capacity beyond this acceleration effect."

Rais, A., van de Kuilen, J.W., Pretzsch, H., 2020. Impact of species mixture on the stiffness of European beech (*Fagus sylvatica* L.) sawn timber. *Forest Ecology and Management* 461, 117935. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.117935>.

Klassifikation

Suchbegriffe	Central Europe; Elasticity; Germany; Growth; Productivity; Yield
Textart	Aufsatz
Untersuchungsgebiete	Bayern
Forschungsmethode	Ausschließlich Felderhebung
Haupt-Fragestellung	Zustandsänderung: Sonstige
Neben-Fragestellung	Resistenz

Befunde

Vergleichspaar	Baumart und Alter	Nutzungsformen	EE	E	N	I	II
VP 1/1	Buche ≤ 120	p3 Native plantation	E	E			
Spezifische Angaben	Buche.						
VP 1/2	Buche ≤ 120, Kiefer ≤ 100	p3 Native plantation, p2 Exotic plantation					
Spezifische Angaben	Buche + Kiefer.		E	E			
VP 2/1	Buche ≤ 120	p3 Native plantation					
Spezifische Angaben	Buche.						
VP 2/2	Buche ≤ 120, Fichte ≤ 80	p3 Native plantation, p2 Exotic plantation	EE	E			
Spezifische Angaben	Buche + Fichte.						
VP 1/1	Buche ≤ 120	p3 Native plantation					
Spezifische Angaben	Buche.		EE				
VP 1/2	Buche ≤ 120, Douglasie ≤ 80	p3 Native plantation, p2 Exotic plantation					

Steckbrief Nr. 67

Spezifische Angaben Buche + Douglasie



Forstwirtschaftliche
Perspektive

"The present transformation of forests into mixed forests affects the quality of the wood. Future research should focus on the dependencies between varying growth conditions—also caused by climate change—and wood formation."

Bezug zu Klimaschutz

Studie hat keinen direkten Bezug zu Klimawandel, befasst sich mit den Auswirkungen der Artenzusammensetzung auf die Holzqualität, ggf. für Diskussion

Rehshuh, R., Mette, T., Menzel, A., Buras, A., 2017. Soil properties affect the drought susceptibility of Norway spruce. *Dendrochronologia* 45, 81–89.
<https://doi.org/10.1016/j.dendro.2017.07.003>.

Klassifikation

Suchbegriffe	Germany; Growth; Management; Sensitivity; Susceptibility; Yield
Textart	Aufsatz
Untersuchungsgebiete	Bayern
Forschungsmethode	Ausschließlich Felderhebung
Haupt-Fragestellung	Expositionsänderung, abiotisch: Dürre Exposition: Standort
Neben-Fragestellung	Zustandsänderung: Wachstum, Produktivität Resistenz

Befunde

Vergleichspaar	Baumart und Alter	Nutzungsformen	EE	E	N	I	II
VP 1/1	Fichte ≤ 80	p3 Native plantation					
Spezifische Angaben	Tiefgründiger Boden (FP).						
VP 1/2	Fichte ≤ 80	p3 Native plantation					
Spezifische Angaben	Sandiger Boden (SG).			E			
Kommentar	Die Wasserhaltefähigkeit von Böden unterscheiden sich. Mit geeigneten Managementoptionen könnte sich die natürliche Wasserhaltefähigkeit von Böden beeinflussen lassen.						

Forstwirtschaftliche Perspektive	"Consequently, soil type and particularly plant available water capacities should be considered in the context of management activities to avoid economic risks. Foresters should focus on appropriate soil management, e.g. by adding other species with a favorable litter decomposition and soil rooting to the stand.
----------------------------------	---

Steckbrief Nr. 68

Depending on the soil type the selection of more suitable tree species being more resistant to drought may be preferred over presumably faster growing tree species, since the latter are likely to express reduced growth and are at higher risk of drought induced dieback."

Bezug zu Klimaschutz

Senke; geringeres Wachstum und damit Verbund CO₂ Bindung durch Dürre

Römer, P., Del Castillo, E.M., Reinig, F., Torbenson, M.C., Konter, O., Klippel, L. et al, 2025.
Growth characteristics and drought vulnerability of southwest German spruce and pine.
 European Journal of Forest Research. <https://doi.org/10.1007/s10342-025-01765-6>.

Klassifikation

Suchbegriffe	Germany; Growth; Management; Vulnerability
Textart	Aufsatz
Untersuchungsgebiete	Baden-Württemberg, Hessen, Rheinland-Pfalz
Forschungsmethode	Ausschließlich Felderhebung
Haupt-Fragestellung	Zustandsänderung: Wachstum, Produktivität Exposition: Standort
Neben-Fragestellung	Expositionsänderung, abiotisch: Temperatur, langfristig Expositionsänderung, abiotisch: Feuchte, langfristig Expositionsänderung, abiotisch: Dürre Resistenz Resilienz Anpassungsfähigkeit

Befunde

Vergleichspaar	Baumart und Alter	Nutzungsformen	EE	E	N	I	II
VP 1/1	Kiefer > 100, Kiefer ≤ 100	p3 Native plantation					
Spezifische Angaben	Kiefernmonokultur.						
VP 1/2	Fichte > 80, Fichte ≤ 80	p2 Exotic plantation				I	
Spezifische Angaben	Fichtenmonokultur.						
Kommentar	Keine genauen Angaben, vermutlich eine typische Mischung an Nutzwäldern.						

Forstwirtschaftliche Perspektive	"Our results provide new insights into the growth performance of southwest German spruce and pines under recent climate change,
----------------------------------	---

Steckbrief Nr. 69

which call for a change in planting strategies towards more drought-resistant tree species and may help refine future projections for temperate forests."

Bezug zu Klimaschutz

Aber indirekt über Wachstum.

Roth, N., Hacker, H.H., Heidrich, L., Friess, N., García-Barros, E., Habel, J.C. et al, 2021. Host specificity and species colouration mediate the regional decline of nocturnal moths in central European forests. *Ecography* 44, 941–952. <https://doi.org/10.1111/ecog.05522>.

Klassifikation

Suchbegriffe	Abundance; Germany; Management; Robustness
Textart	Aufsatz
Untersuchungsgebiete	Bayern
Forschungsmethode	Ausschließlich Felderhebung
Haupt-Fragestellung	Expositionsänderung, abiotisch: Temperatur, langfristig Expositionsänderung, abiotisch: Sonstige Resistenz Resilienz
Neben-Fragestellung	Anpassungsfähigkeit Resistenz Resilienz Sensitivität: Mikroklimatische Pufferung

Befunde

Vergleichspaar	Baumart und Alter	Nutzungsformen	EE	E	N	I	II
VP 1/1	Eiche k.A.	n2 Exploited natural forest	EE				
Spezifische Angaben	Hochwald.						
VP 1/2	Eiche k.A.	Sonstiges					
Spezifische Angaben	Niederwald.						
Kommentar	Nachtfalter(-Färbung) als Indikator für mikroklimatische Pufferung; Nutzungsform: keine genauen Angaben.						

Naturschutz-Perspektive	"... the trends in coppiced oak forests indicate that maintaining complex and diverse forest ecosystems through active management
-------------------------	---

may be a promising conservation strategy in order to counteract negative trends in biodiversity, alongside rewilding approaches."

" Coppicing might be a way to emulate natural disturbance in order to maintain diversities. Note that rewilding and the abandonment of management may be alternative or complementary approaches to create structural heterogeneity in forests for insect conservation (Müller et al. 2010, Merckx and Pereira 2015, Dantas de Miranda et al. 2019)."

Schäfer, C., Grams, T., Rötzer, T., Feldermann, A., Pretzsch, H., 2017. Drought stress reaction of growth and $\delta^{13}\text{C}$ in tree rings of European beech and Norway spruce in monospecific versus mixed stands along a precipitation gradient. *Forests* 8, 177.
<https://doi.org/10.3390/f8060177>.

Klassifikation

Suchbegriffe	Germany; Growth; Productivity; Resilience; Resistance; Susceptibility
Textart	Aufsatz
Untersuchungsgebiete	Bayern
Forschungsmethode	Ausschließlich Felderhebung
Haupt-Fragestellung	Zustandsänderung: Wachstum, Produktivität Expositionsänderung, abiotisch: Feuchte, langfristig Exposition: Standort Resistenz Resilienz
Neben-Fragestellung	Expositionsänderung, abiotisch: Dürre

Befunde

Vergleichspaar	Baumart und Alter	Nutzungsformen	EE	E	N	I	II
VP 1/1	Buche > 120	p3 Native plantation	EE				
Spezifische Angaben	Buche.						
VP 1/2	Fichte > 80	p3 Native plantation					
Spezifische Angaben	Fichte.						

Forstwirtschaftliche Perspektive	"During drought events, beech trees are facilitated in mixture with spruce with a higher resistance on moist sites. On dry sites, monospecific beech trees are favored. "
Bezug zu Klimaschutz	Aber indirekt über Wachstum.

Schmied, G., Hilmers, T., Mellert, K.-H., Uhl, E., Bunes, V., Ambs, D. et al, 2023. Nutrient regime modulates drought response patterns of three temperate tree species. Science of the Total Environment 868, 161601. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.161601>.

Klassifikation

Suchbegriffe	Germany; Management; Resilience; Resistance
Textart	Aufsatz
Untersuchungsgebiete	Baden-Württemberg, Bayern, Sachsen, Thüringen
Forschungsmethode	Ausschließlich Felderhebung
Haupt-Fragestellung	Expositionsänderung, abiotisch: Dürre Zustandsänderung: Wachstum, Produktivität Exposition: Standort Resistenz Resilienz

Befunde

Vergleichspaar	Baumart und Alter	Nutzungsformen	EE	E	N	I	II
VP 1/1	Buche $\leq$ 120, Buche $>$ 120	Sonstiges					
Spezifische Angaben	Buche.						
VP 1/2	Buche $>$ 120, Buche $\leq$ 120, Fichte $>$ 80, Fichte $\leq$ 80, Tanne $>$ 120, Tanne $\leq$ 120	Sonstiges					II
Spezifische Angaben	Buchen-Tannen-Fichten.						
VP 2/1	Buche $>$ 120, Buche $\leq$ 120, Fichte $>$ 80, Fichte $\leq$ 80, Tanne $>$ 120, Tanne $\leq$ 120		EE				

Steckbrief Nr. 72

Spezifische Angaben	Buchen-Tannen-Fichten.	
VP 2/2	Tanne > 120, Tanne ≤ 120	
Spezifische Angaben	Tanne.	
VP 3/1	Tanne > 120, Tanne ≤ 120, Buche > 120, Buche ≤ 120, Fichte ≤ 80, Fichte > 80	Sonstiges
Spezifische Angaben	Fichte gemischt.	
VP 3/2	Fichte > 80, Fichte ≤ 80	Sonstiges
Spezifische Angaben	Fichte.	

EE

Forstwirtschaftliche
Perspektive

"These findings might be especially relevant for monitoring, scenario analyses, and forest ecosystem management."

Schwarz, J.A., 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, 79.
<https://doi.org/10.3389/ffgc.2019.00079>.

Klassifikation

Suchbegriffe	Ecology; Germany; Growth; Management; Productivity; Resilience; Resistance; Tolerance
Textart	Aufsatz
Untersuchungsgebiete	Baden-Württemberg, Sonstiges
Forschungsmethode	Ausschließlich Felderhebung
Haupt-Fragestellung	Zustandsänderung: Wachstum, Produktivität Expositionsänderung, abiotisch: Dürre Resistenz Resilienz
Neben-Fragestellung	Zustandsänderung: Verringerte Photosynthese
Kommentar	Kroatien.

Befunde

Vergleichspaar	Baumart und Alter	Nutzungsformen	EE	E	N	I	II
VP 1/1	Buche ≤ 120, Buche > 120	p3 Native plantation, n1 Plantation-like natural forest					
Spezifische Angaben	Buche.						
VP 1/2	Buche ≤ 120, Tanne > 120, Buche > 120, Tanne ≤ 120	p3 Native plantation, n1 Plantation-like natural forest					II
Spezifische Angaben	Buchen + Tanne.						

Steckbrief Nr. 73

VP 2/1	Buche $\leq$ 120, Tanne $>$ 120, Buche $>$ 120, Tanne $\leq$ 120	p3 Native plantation, n1 Plantation-like natural forest	E
Spezifische Angaben	Tanne + Buche.		
VP 2/2	Tanne $>$ 120, Tanne $\leq$ 120	p3 Native plantation, n1 Plantation-like natural forest	
Spezifische Angaben	Tanne.		

Überlegungen zu No-/Low-regret-Maßnahmen

Mischbestände zeigen besseres Wachstum und Dürresistenz als Monokulturen.

Forstwirtschaftliche Perspektive

Mischbestände zeigen besseres Wachstum und Dürresistenz als Monokulturen.

Schwenke, M.B., Schönlau, V., Beierkuhnlein, C., 2023. Tree sapling vitality and recovery following the unprecedented 2018 drought in central Europe. *Forest Ecosystems* 10, 100140. <https://doi.org/10.1016/j.fecs.2023.100140>.

Klassifikation

Suchbegriffe	Central Europe; Germany; Growth; Management; Resilience; Resistance
Textart	Aufsatz
Untersuchungsgebiete	Bayern
Forschungsmethode	Ausschließlich Felderhebung
Haupt-Fragestellung	Expositionsänderung, abiotisch: Dürre Resistenz Resilienz Zustandsänderung: Absterben

Befunde

Vergleichspaar	Baumart und Alter	Nutzungsformen	EE	E	N	I	II
VP 1/1	Buche k.A., Eiche k.A.	p4 Partly-natural planted forest, p3 Native plantation, n2 Exploited natural forest, n1 Plantation-like natural forest					
Spezifische Angaben	Laubwald.						
VP 1/2	Buche k.A., Eiche k.A., Fichte k.A., Kiefer k.A.	p4 Partly-natural planted forest, p3 Native plantation, n2 Exploited natural forest, n1 Plantation-like natural forest				I	
Spezifische Angaben	Laub-Nadel-Mischwald.						
Kommentar	Keine genauen Angaben, aber vermutlich in diesem Spektrum.						

Steckbrief Nr. 74

VP 2/1	Buche k.A., Eiche k.A.	p4 Partly-natural planted forest, p3 Native plantation, n2 Exploited natural forest, n1 Plantation-like natural forest	I
Spezifische Angaben	Laubwald.		
VP 2/2	Fichte k.A., Kiefer k.A.	p4 Partly-natural planted forest, p3 Native plantation, n2 Exploited natural forest, n1 Plantation-like natural forest	
Spezifische Angaben	Nadelwald.		
Kommentar	Keine genauen Angaben, aber vermutlich in diesem Spektrum.		
VP 3/1	Kiefer k.A., Fichte k.A., Buche k.A.	p4 Partly-natural planted forest, p3 Native plantation, n2 Exploited natural forest, n1 Plantation-like natural forest	I
Spezifische Angaben	Mischwald.		
VP 3/2	Fichte k.A., Kiefer k.A.	p4 Partly-natural planted forest, p3 Native plantation, n2 Exploited natural forest, n1 Plantation-like natural forest	
Spezifische Angaben	Nadelwald.		

Überlegungen zu No-/Low-regret-Maßnahmen

Umbau mit Laubbäumen, Förderung der Bodenbildung; Förderung einer strukturreichen bodennahen Vegetation.

Forstwirtschaftliche Perspektive

Verbesserung des Wachstums, der Resistenz und der Resilienz.

Skiadareisis, G., Schwarz, J.A., Bauhus, J., 2019. Groundwater Extraction in Floodplain Forests Reduces Radial Growth and Increases Summer Drought Sensitivity of Pedunculate Oak Trees (*Quercus robur* L.). *Frontiers in Forests and Global Change* 2, 5. <https://doi.org/10.3389/ffgc.2019.00005>.

Klassifikation

Suchbegriffe	Germany; Growth; Sensitivity
Textart	Aufsatz
Untersuchungsgebiete	Hessen, Baden-Württemberg
Forschungsmethode	Ausschließlich Felderhebung
Haupt-Fragestellung	Expositionsänderung, abiotisch: Dürre Zustandsänderung: Wachstum, Produktivität Exposition: Standort
Neben-Fragestellung	Expositionsänderung, abiotisch: Temperatur, langfristig Expositionsänderung, abiotisch: Feuchte, langfristig Resistenz Resilienz

Befunde

Vergleichspaar	Baumart und Alter	Nutzungsformen	EE	E	N	I	II
VP 1/1	Eiche > 160, Eiche ≤ 160	n2 Exploited natural forest	EE				
Spezifische Angaben	Ohne Wasserentnahme.						
VP 1/2	Eiche > 160, Eiche ≤ 160	n2 Exploited natural forest					
Spezifische Angaben	Mit Wasserentnahme.						
Kommentar	Keine genauen Angaben, aber vermutlich in diesem Spektrum.						
VP 2/1	Eiche > 160, Eiche ≤ 160	n2 Exploited natural forest			N		

Steckbrief Nr. 75

Spezifische Angaben	Ohne Wasserentnahme.		
VP 2/2	Eiche > 160, Eiche ≤ 160	n2 Exploited natural forest	
Spezifische Angaben	Hochlandwald.		
Kommentar	Keine genauen Angaben.		
VP 3/1	Eiche > 160, Eiche ≤ 160	n2 Exploited natural forest	EE
Spezifische Angaben	Hochlandwald.		
VP 3/2	Eiche > 160, Eiche ≤ 160	n2 Exploited natural forest	
Spezifische Angaben	Mit Wasserentnahme.		

Überlegungen zu No-/Low-regret-Maßnahmen	Verringerung der Grundwassernutzung.
Forstwirtschaftliche Perspektive	Vermeidung schwächerer Vitalität der Bestände.
Naturschutz-Perspektive	Sicherung der Ökosystemgesundheit.

Sohn, J.A., Hartig, F., Kohler, M., Huss, J., Bauhus, J., 2016. Heavy and frequent thinning promotes drought adaptation in *Pinus sylvestris* forests. *Ecological Applications* 26, 2190–2205. <https://doi.org/10.1002/eap.1373>.

Klassifikation

Suchbegriffe	Germany; Growth; Resistance; Tolerance
Textart	Aufsatz
Untersuchungsgebiete	Baden-Württemberg, Bayern, Niedersachsen
Forschungsmethode	Ausschließlich Felderhebung
Haupt-Fragestellung	Expositionsänderung, abiotisch: Temperatur, langfristig Expositionsänderung, abiotisch: Feuchte, langfristig Expositionsänderung, abiotisch: Dürre Zustandsänderung: Wachstum, Produktivität
Neben-Fragestellung	Resistenz Resilienz

Befunde

Vergleichspaar	Baumart und Alter	Nutzungsformen	EE	E	N	I	II
VP 1/1	Kiefer > 100, Alter 0 - 20	p3 Native plantation					
Spezifische Angaben	Keine Durchforstung.					I	
VP 1/2	Kiefer > 100, Alter 0 - 20	p3 Native plantation					
Spezifische Angaben	Moderate Durchforstung.						
VP 2/1	Kiefer > 100, Alter 0 - 20	p3 Native plantation					
Spezifische Angaben	Moderate Durchforstung.						II
VP 2/2	Kiefer > 100, Alter 0 - 20	p3 Native plantation					
Spezifische Angaben	Starke Durchforstung.						

Steckbrief Nr. 76

VP 3/1	Kiefer > 100, Alter 0 - 20	p3 Native plantation	II
Spezifische Angaben	Keine Durchforstung.		
VP 3/2	Kiefer > 100, Alter 0 - 20	p3 Native plantation	
Spezifische Angaben	starke Durchforstung.		

Forstwirtschaftliche Perspektive

"... our results indicate that shorter thinning intervals are better suited due to the observed decline of recovery with time since last intervention"; "... the higher recovery of trees in heavily thinned stands is of high relevance, because these trees are likely less susceptible to secondary pests and pathogens (Mattson and Haack 1987, Desprez-Loustau et al. 2006, Dobbartin et al. 2007). In addition to accelerating the short-term growth recovery following drought, thinning may also provide long-term benefits such as avoiding the age-related decline in growth recovery following drought, which was observed in unthinned stands."

Stangler, D.F., Miller, T.W., Honer, H., Larysch, E., Puhmann, H., Seifert, T. et al, 2022. Multivariate drought stress response of Norway spruce, silver fir and Douglas fir along elevational gradients in Southwestern Germany. *Frontiers in Ecology and Evolution* 10, 907492. <https://doi.org/10.3389/fevo.2022.907492>.

Klassifikation

Suchbegriffe	Germany; Growth; Management; Resilience; Resistance; Sensitivity; Tolerance
Textart	Aufsatz
Untersuchungsgebiete	Baden-Württemberg
Forschungsmethode	Ausschließlich Felderhebung
Haupt-Fragestellung	Expositionsänderung, abiotisch: Dürre Zustandsänderung: Wachstum, Produktivität Resistenz Resilienz
Neben-Fragestellung	Expositionsänderung, abiotisch: Temperatur, langfristig Expositionsänderung, abiotisch: Feuchte, langfristig

Befunde

Vergleichspaar	Baumart und Alter	Nutzungsformen	EE	E	N	I	II
VP 1/1	Tanne > 120	p3 Native plantation	EE				
Spezifische Angaben	Tanne.						
VP 1/2	Fichte > 80, Fichte ≤ 80	p2 Exotic plantation					
Spezifische Angaben	Fichte.						
VP 2/1	Tanne > 120	p3 Native plantation					II
Spezifische Angaben	Tanne.						
VP 2/2	Douglasie > 80, Douglasie ≤ 80	p2 Exotic plantation					
Spezifische Angaben	Douglasie.						

Steckbrief Nr. 77

VP 3/1	Fichte > 80, Fichte ≤ 80	p3 Native plantation, p2 Exotic plantation	II
Spezifische Angaben	Fichte.		
VP 3/2	Douglasie > 80, Douglasie ≤ 80	p2 Exotic plantation	
Spezifische Angaben	Douglasie.		

Stimm, K., Heym, M., Nagel, R.V., Uhl, E., Pretzsch, H., 2022. Long-Term Productivity of Monospecific and Mixed Oak (*Quercus petraea* [Matt.] Liebl. and *Quercus robur* L.) Stands in Germany: Growth Dynamics and the Effect of Stand Structure. *Forests* 13, 724. <https://doi.org/10.3390/f13050724>.

Klassifikation

Suchbegriffe	Central Europe; Germany; Growth; Management; Resistance
Textart	Aufsatz
Untersuchungsgebiete	Baden-Württemberg, Bayern, Hessen, Niedersachsen, Nordrhein-Westfalen, Rheinland-Pfalz, Saarland, Schleswig-Holstein, Nachbarländer
Forschungsmethode	Ausschließlich Felderhebung
Haupt-Fragestellung	Zustandsänderung: Wachstum, Produktivität Resistenz
Kommentar	Schweiz (Angaben in Pretzsch, H., Bielak, K., Block, J., Bruchwald, A., Dieler, J., Ehrhart, H. P., ... & Zingg, A. (2013). Productivity of mixed versus pure stands of oak (<i>Quercus petraea</i> (M att.) L ieb l. and <i>Quercus robur</i> L.) and European beech (<i>Fagus sylvatica</i> L.) along an ecological gradient. <i>European Journal of Forest Research</i> , 132, 263-280. Online Resource 1.).

Befunde

Vergleichspaar	Baumart und Alter	Nutzungsformen	EE	E	N	I	II
VP 1/1	Eiche > 160, Eiche ≤ 160, Kiefer > 100, Kiefer ≤ 100, Buche ≤ 120, Buche > 120	n5 Long untouched forest, n4 Newly untouched forest, p3 Native plantation	EE				
Spezifische Angaben	Gemischte Bestände.						
VP 1/2	Eiche > 160, Eiche ≤ 160	n5 Long untouched forest, n4 Newly untouched forest, p3 Native plantation					
Spezifische Angaben	Reine Eichenbestände.						

Steckbrief Nr. 78

Kommentar

Naturwaldreservate + Experimentelle
Bestände



Überlegungen zu No-/Low-
regret-Maßnahmen

Förderung mehrschichtiger Eichenbestände als produktiver
Bestandteil künftiger Mischwälder.

Forstwirtschaftliche
Perspektive

Förderung der Eiche als produktiver Bestandteil künftiger
Mischwälder.

Naturschutz-Perspektive

Buche als konkurrierende Mischbaumart wird eingegrenzt.

Stimm, K., Heym, M., Uhl, E., Tretter, S., Pretzsch, H., 2021. Height growth-related competitiveness of oak (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl. and *Quercus robur* L.) under climate change in Central Europe. Is silvicultural assistance still required in mixed-species stands? *Forest Ecology and Management* 482, 118780. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118780>.

Klassifikation

Suchbegriffe	Flexibility; Germany; Growth; Management; Productivity
Textart	Aufsatz
Untersuchungsgebiete	Bayern
Forschungsmethode	Ausschließlich Felderhebung
Haupt-Fragestellung	Zustandsänderung: Wachstum, Produktivität
Neben-Fragestellung	Expositionsänderung, abiotisch: Temperatur, langfristig Expositionsänderung, abiotisch: Feuchte, langfristig

Befunde

Vergleichspaar	Baumart und Alter	Nutzungsformen	EE	E	N	I	II
VP 1/1	Eiche > 160	p3 Native plantation	EE				
Spezifische Angaben	Eiche + Buche.						
VP 1/2	Eiche > 160, Buche ≤ 120	p3 Native plantation					
Spezifische Angaben	Eiche.						

Überlegungen zu No-/Low-regret-Maßnahmen	Ausdünnen, um Resistenz zu erhöhen.
Forstwirtschaftliche Perspektive	Förderung der (hochwertigen) Eiche.

Stolz, J., 2023. Growth, vitality and stability: Spatio-temporal responses of European beech and Scots pine to climate change. Dissertation, Dresden.

Klassifikation

Suchbegriffe	Central Europe; Germany; Growth; Management; Productivity
Textart	Dissertation
Untersuchungsgebiete	Mecklenburg-Vorpommern
Forschungsmethode	Ausschließlich Felderhebung
Haupt-Fragestellung	Zustandsänderung: Wachstum, Produktivität Expositionsänderung, abiotisch: Dürre
Neben-Fragestellung	Expositionsänderung, abiotisch: Temperatur, langfristig Expositionsänderung, abiotisch: Feuchte, langfristig Resistenz Resilienz

Befunde

Vergleichspaar	Baumart und Alter	Nutzungsformen	EE	E	N	I	II
VP 1/1	Buche k.A.	p3 Native plantation					
Spezifische Angaben	Buche.					I	
VP 1/2	Kiefer k.A.	p3 Native plantation					
Spezifische Angaben	Kiefer.						

Forstwirtschaftliche Perspektive	nur indirekt: "Following that, it is not enough to understand how different tree species adapt to current and future climate; we must also study the forest's vitality and production in its current state. By doing so, we can adapt forest management as efficiently as possible and, ideally, make adjustments before noticeable damage to the forest occurs. In this way, we may build a vital and productive forest capable of performing the essential economic and ecological services to the greatest extent possible."
----------------------------------	---

Thom, D., Ammer, C., Annighöfer, P., Aszalós, R., Dittrich, S., Hagge, J. et al, 2023.
 Regeneration in European beech forests after drought: the effects of microclimate, deadwood
 and browsing. *European Journal of Forest Research* 142, 259–273.
<https://doi.org/10.1007/s10342-022-01520-1>.

Klassifikation

Suchbegriffe	Central Europe; Germany; Management; Resilience
Textart	Aufsatz
Untersuchungsgebiete	Bayern
Forschungsmethode	Ausschließlich Felderhebung
Haupt-Fragestellung	Expositionsänderung, abiotisch: Sonstige Expositionsänderung, biotisch: Sonstige Sensitivität: Mikroklimatische Pufferung Resistenz Resilienz Zustandsänderung: Absterben
Neben-Fragestellung	Expositionsänderung, biotisch: Sonstige

Befunde

Vergleichspaar	Baumart und Alter	Nutzungsformen	EE	E	N	I	II
VP 1/1	Alter 0 - 20, Buche k.A.	p4 Partly-natural planted forest					
Spezifische Angaben	Buchenwald - Totholz: Unbehandelt					I	
VP 1/2	Alter 0 - 20, Buche k.A.	p4 Partly-natural planted forest					
Spezifische Angaben	Buchenwald - Totholz: Verteilt.						
VP 2/1	Alter 0 - 20, Buche k.A.	p4 Partly-natural planted forest		E			
Spezifische Angaben	Buchenwald - Totholz: Unbehandelt.						

Steckbrief Nr. 81

VP 2/2	Alter 0 - 20, Buche k.A.	p4 Partly-natural planted forest	
Spezifische Angaben	Buchenwald - Totholz: Aggregiert.		
VP 3/1	Alter 0 - 20, Buche k.A.	p4 Partly-natural planted forest	
Spezifische Angaben	Buchenwald - Totholz: Verteilt.		E
VP 3/2	Alter 0 - 20, Buche k.A.	p4 Partly-natural planted forest	
Spezifische Angaben	Buchenwald - Totholz: Aggregiert.		
VP 4/1	Alter 0 - 20, Buche k.A.	p4 Partly-natural planted forest	
Spezifische Angaben	Buchenwald - Totholz: Unbehandelt.		E
VP 4/2	Alter 0 - 20, Buche k.A.	p4 Partly-natural planted forest	
Spezifische Angaben	Buchenwald - Totholz: Entfernt.		
VP 5/1	Alter 0 - 20, Buche k.A.	p4 Partly-natural planted forest	
Spezifische Angaben	Buchenwald - Totholz: Unbehandelt.		E
VP 5/2	Alter 0 - 20, Buche k.A.	p4 Partly-natural planted forest	
Spezifische Angaben	Buchenwald - Totholz: Liegend.		
VP 6/1	Alter 0 - 20, Buche k.A.	p4 Partly-natural planted forest	
Spezifische Angaben	Buchenwald - Totholz: Unbehandelt.		N
VP 6/2	Alter 0 - 20, Buche k.A.	p4 Partly-natural planted forest	
Spezifische Angaben	Buchenwald - Totholz: Stehend.		
VP 7/1	Alter 0 - 20, Buche k.A.	p4 Partly-natural planted forest	
Spezifische Angaben	Buchenwald - Totholz: Unbehandelt.		N

Steckbrief Nr. 81

VP 7/2	Alter 0 - 20, Buche k.A.	p4 Partly-natural planted forest	
Spezifische Angaben	Buchenwald - Totholz: Totholz: Liegend + Stehend.		
VP 8/1	Alter 0 - 20, Buche k.A.	p4 Partly-natural planted forest	E
Spezifische Angaben	Buchenwald - Totholz: Entfernt.		
VP 8/2	Alter 0 - 20, Buche k.A.	p4 Partly-natural planted forest	E
Spezifische Angaben	Buchenwald - Totholz: Liegend.		
VP 9/1	Alter 0 - 20, Buche k.A.	p4 Partly-natural planted forest	E
Spezifische Angaben	Buchenwald - Totholz: Entfernt.		
VP 9/2	Alter 0 - 20, Buche k.A.	p4 Partly-natural planted forest	E
Spezifische Angaben	Buchenwald - Totholz: Stehend.		
VP 10/1	Alter 0 - 20, Buche k.A.	p4 Partly-natural planted forest	E
Spezifische Angaben	Buchenwald - Totholz: Entfernt.		
VP 10/2	Alter 0 - 20, Buche k.A.	p4 Partly-natural planted forest	E
Spezifische Angaben	Buchenwald - Totholz: Liegend + Stehend.		
VP 11/1	Alter 0 - 20, Buche k.A.	p4 Partly-natural planted forest	E
Spezifische Angaben	Buchenwald - Totholz: Liegend.		
VP 11/2	Alter 0 - 20, Buche k.A.	p4 Partly-natural planted forest	E
Spezifische Angaben	Buchenwald - Totholz: Stehend.		
VP 12/1	Alter 0 - 20, Buche k.A.	p4 Partly-natural planted forest	N
Spezifische Angaben	Buchenwald - Totholz: Stehend.		

Steckbrief Nr. 81

VP 12/2	Alter 0 - 20, Buche k.A.	p4 Partly-natural planted forest	
Spezifische Angaben	Buchenwald - Totholz: Liegend + Stehend.		
VP 13/1	Alter 0 - 20, Buche k.A.	p4 Partly-natural planted forest	
Spezifische Angaben	Buchenwald - Totholz: Stehend.		
VP 13/2	Alter 0 - 20, Buche k.A.	p4 Partly-natural planted forest	E
Spezifische Angaben	Buchenwald - Totholz: Liegend + Stehend.		

Forstwirtschaftliche Perspektive

"Aggregated canopy openings alter microclimatic conditions significantly more than distributed disturbances (Table 2).";
 "Conclusively, gaps of 625m² (i.e., a disturbance size similar to typical group-selection cuts in Central Europe) might not be large enough to endanger regeneration of beech-dominated forests even under drought. "; "Our study indicates that irregular cuts (cf. our aggregated disturbance treatment) could promote tree diversity over classical, regular shelterwood cuts (cf. our distributed disturbance treatment), and thus help to increase
 the response diversity and resilience to climate change (Mori et al. 2013; Silva Pedro et al. 2015). "; "Assuming that weather conditions will become increasingly challenging for tree regeneration, managing additional stressors such as browsing could play an even bigger role in the future than it does today. We have observed a very high browsing pressure in our study sites, which is common in many regions of Central Europe (Schulze et al. 2014)."

Naturschutz-Perspektive

"We thus call for more holistic ecosystem management approaches to safeguard future forest regeneration in order to sustain the provisioning of ecosystem services and biodiversity in a changing world."

Thom, D., Seidl, R., 2022. Accelerating Mountain Forest Dynamics in the Alps. *Ecosystems* 25, 603–617. <https://doi.org/10.1007/s10021-021-00674-0>.

Klassifikation

Suchbegriffe	Adaptive capacity; Germany; Management; Vulnerability
Textart	Aufsatz
Untersuchungsgebiete	Bayern
Forschungsmethode	Ausschließlich Felderhebung
Haupt-Fragestellung	Expositionsänderung, abiotisch: Temperatur, langfristig Expositionsänderung, abiotisch: Feuchte, langfristig Zustandsänderung: Sonstige Resistenz
Neben-Fragestellung	Expositionsänderung, biotisch: Schaderregerbefall

Befunde

Vergleichspaar	Baumart und Alter	Nutzungsformen	EE	E	N	I	II
VP 1/1	Buche > 120, Fichte > 80, Tanne > 120	n4 Newly untouched forest, n3 Specially managed forest	EE				
Spezifische Angaben	Späte Waldentwicklungsphasen.						
VP 1/2	Buche > 120, Fichte > 80, Tanne > 120	n4 Newly untouched forest, n3 Specially managed forest					
Spezifische Angaben	Frühere Waldentwicklungsphasen.						
Kommentar	NP Berchtesgaden.						
Überlegungen zu No-/Low-regret-Maßnahmen	Natürliche Entwicklung zu naturnahen Beständen puffert klimawandelbedingte Beschleunigung ökosystemarer Prozesse ab.						
Naturschutz-Perspektive	Bedeutung des Naturschutzinstruments Gebietsschutz für ungenutzte Wälder.						

Torresan, C., Hilmers, T., Avdagic, A., Di Giuseppe, E., Klopčič, M., Lévesque, M. et al, 2024. Changes in tree-ring wood density of European beech (*Fagus sylvatica* L.), silver fir (*Abies alba* Mill.), and Norway spruce (*Picea abies* (L.) H. Karst.) in European mountain forests between 1901 and 2016. *Annals of Forest Science* 81, 49. <https://doi.org/10.1186/s13595-024-01264-5>.

Klassifikation

Suchbegriffe	Germany; Growth
Textart	Aufsatz
Untersuchungsgebiete	Bayern, Nachbarländer, Sonstiges
Forschungsmethode	Ausschließlich Felderhebung
Haupt-Fragestellung	Zustandsänderung: Wachstum, Produktivität
Neben-Fragestellung	Expositionsänderung, abiotisch: Dürre
Kommentar	Schweiz + weitere europäische Länder.

Befunde

Vergleichspaar	Baumart und Alter	Nutzungsformen	EE	E	N	I	II
VP 1/1	Buche > 120	n2 Exploited natural forest	EE				
Spezifische Angaben	Buche.						
VP 1/2	Tanne > 120	n2 Exploited natural forest					
Spezifische Angaben	Tanne.						
VP 2/1	Buche > 120	n2 Exploited natural forest	EE				
Spezifische Angaben	Buche.						
VP 2/2	Fichte > 80	n2 Exploited natural forest					
Spezifische Angaben	Fichte.						

Steckbrief Nr. 83

VP 3/1	Tanne > 120	n2 Exploited natural forest	N
Spezifische Angaben	Tanne.		
VP 3/2	Fichte > 80	n2 Exploited natural forest	
Spezifische Angaben	Fichte.		

Forstwirtschaftliche Perspektive

Es werden keine spezifischen forstwirtschaftlichen Maßnahmen oder Empfehlungen gemacht. Es wird aber darauf hingewiesen, dass waldbauliche Maßnahmen (wie die Beibehaltung höherer Bestandsdichten und Mischstände) dazu beitragen können, den Rückgang der Holzdichte abzumildern.

Bezug zu Klimaschutz

Aber nur mit Verweis, dass beim Kohlenstoffberechnungen die Dichte des Holzes mitberücksichtigt werden sollte.

Uhl, E., Hilmers, T., Pretzsch, H., 2021. From acid rain to low precipitation: The role reversal of norway spruce, silver fir, and european beech in a selection mountain forest and its implications for forest management. *Forests* 12, 894. <https://doi.org/10.3390/f12070894>.

Klassifikation

Suchbegriffe	Germany; Management
Textart	Aufsatz
Untersuchungsgebiete	Bayern
Forschungsmethode	Ausschließlich Felderhebung
Haupt-Fragestellung	Zustandsänderung: Wachstum, Produktivität Expositionsänderung, abiotisch: Temperatur, langfristig Expositionsänderung, abiotisch: Feuchte, langfristig Expositionsänderung, abiotisch: Dürre Expositionsänderung, abiotisch: Sonstige
Neben-Fragestellung	Resistenz Resilienz

Befunde

Vergleichspaar	Baumart und Alter	Nutzungsformen	EE	E	N	I	II
VP 1/1	Buche k.A.	p3 Native plantation					
Spezifische Angaben	Buche.						
VP 1/2	Tanne k.A.	p3 Native plantation			N		
Spezifische Angaben	Tanne.						
Kommentar	Nicht ganz klar, ob es sich um Pflanzung oder Naturwald handelt.						
VP 2/1	Buche k.A.	p3 Native plantation					
Spezifische Angaben	Buche.		EE				
VP 2/2	Fichte k.A.	p3 Native plantation					
Spezifische Angaben	Fichte.						

Steckbrief Nr. 84

Kommentar	Nicht ganz klar, ob es sich um Pflanzung oder Naturwald handelt.		EE
VP 3/1	Tanne k.A.	p3 Native plantation	
Spezifische Angaben	Tanne.		
VP 3/2	Fichte k.A.	p3 Native plantation	
Spezifische Angaben	Fichte.		

Überlegungen zu No-/Low-regret-Maßnahmen	Erhaltung der Baumartenvielfalt, inkl. nichtstandortheimische Provenienzen und Arten, und der Strukturvielfalt erhöht die Resilienz.
Forstwirtschaftliche Perspektive	Stabile Produktivität, mehr Flexibilität bei der Wahl der Bestandesdichte.
Bezug zu Klimaschutz	Eher indirekt, mit Empfehlungen für Climate Smart Forestry.

Unterholzner, L., Stolz, J., van der Maaten-Theunissen, M., Liepe, K., van der Maaten, E., 2024. Site conditions rather than provenance drive tree growth, climate sensitivity and drought responses in European beech in Germany. *Forest Ecology and Management* 572. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2024.122308>.

Klassifikation

Suchbegriffe	Central Europe; Germany; Growth; Resilience; Resistance; Sensitivity; Vulnerability
Textart	Aufsatz
Untersuchungsgebiete	Schleswig-Holstein, Hessen, Baden-Württemberg
Forschungsmethode	Ausschließlich Felderhebung
Haupt-Fragestellung	Zustandsänderung: Wachstum, Produktivität Zustandsänderung: Absterben
Neben-Fragestellung	Expositionsänderung, abiotisch: Temperatur, langfristig Expositionsänderung, abiotisch: Feuchte, langfristig Expositionsänderung, abiotisch: Dürre
Kommentar	Keine genauen Angaben, aber Karte im Text.

Befunde

Vergleichspaar	Baumart und Alter	Nutzungsformen	EE	E	N	I	II
VP 1/1	Alter 0 - 20	p3 Native plantation					
Spezifische Angaben	Buche SH, vverschiedene Provenienzen.				N		
VP 1/2	Alter 0 - 20	p3 Native plantation					
Spezifische Angaben	Buche HE, verschiedene Provenienzen.						
VP 2/1	Alter 0 - 20	p3 Native plantation					
Spezifische Angaben	Buche HE, versch Prov.				N		
VP 2/2	Alter 0 - 20	p3 Native plantation					
Spezifische Angaben	Buche BW, versch. Prov.						
Bezug zu Klimaschutz	Discussion of assisted migration potentials.						

van Straaten, O., Kulp, L., Martinson, G.O., Zederer, D.P., Talkner, U., 2023. Forest liming in the face of climate change: the implications of restorative liming for soil organic carbon in mature German forests. SOIL 9, 39–54. <https://doi.org/10.5194/soil-9-39-2023>.

Klassifikation

Suchbegriffe	Germany; Management; Productivity
Textart	Aufsatz
Untersuchungsgebiete	Deutschland
Forschungsmethode	Ausschließlich Felderhebung
Haupt-Fragestellung	Kohlenstoffspeicher, absolut

Befunde

Vergleichspaar	Baumart und Alter	Nutzungsformen	EE	E	N	I	II
VP 1/1	Buche k.A., Eiche k.A., Fichte k.A., Kiefer k.A.	p2 Exotic plantation, p3 Native plantation					
Spezifische Angaben	Heimische Baumarten und Roteiche, nicht gekalkt.						
VP 1/2	Buche k.A., Eiche k.A., Fichte k.A., Kiefer k.A.	p2 Exotic plantation, p3 Native plantation					
Spezifische Angaben	Heimische Baumarten und Roteiche, gekalkt.						

Bezug zu Klimaschutz Soil Carbon Stocks (Auflage und mineral soil).

Virano-Riquelme, V., Feger, K.H., Julich, S., 2024. Insight into the variation of soil hydraulic properties under beech and spruce forest-A case study in the forest of Tharandt, NE Germany. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 187, 545–558.
<https://doi.org/10.1002/jpln.202400073>.

Klassifikation

Suchbegriffe	Germany; Vulnerability
Textart	Aufsatz
Untersuchungsgebiete	Sachsen
Forschungsmethode	Ausschließlich Felderhebung
Haupt-Fragestellung	Expositionsänderung, abiotisch: Sonstige

Befunde

Vergleichspaar	Baumart und Alter	Nutzungsformen	EE	E	N	I	II
VP 1/1	Buche ≤ 120, Fichte ≤ 80	p2 Exotic plantation, p3 Native plantation					
Spezifische Angaben	Heimische Buche.						
VP 1/2	Buche ≤ 120, Fichte ≤ 80	p2 Exotic plantation, p3 Native plantation			N		
Spezifische Angaben	Fichte.						
Kommentar	Fichte steht hier für weniger naturnah.						
Bezug zu Klimaschutz	Soil Hydraulic Properties.						

Vitali, V., Büntgen, U., Bauhus, J., 2017. Silver fir and Douglas fir are more tolerant to extreme droughts than Norway spruce in south-western Germany. *Global Change Biology* 23, 5108–5119. <https://doi.org/10.1111/gcb.13774>.

Klassifikation

Suchbegriffe	Germany; Growth; Management
Textart	Aufsatz
Untersuchungsgebiete	Baden-Württemberg
Forschungsmethode	Ausschließlich Felderhebung
Haupt-Fragestellung	Zustandsänderung: Wachstum, Produktivität Expositionsänderung, abiotisch: Dürre
Neben-Fragestellung	Expositionsänderung, abiotisch: Temperatur, langfristig Expositionsänderung, abiotisch: Feuchte, langfristig

Befunde

Vergleichspaar	Baumart und Alter	Nutzungsformen	EE	E	N	I	II
VP 1/1	Tanne k.A.	p2 Exotic plantation, p3 Native plantation					
Spezifische Angaben	Tanne.			E			
VP 1/2	Douglasie k.A.	p2 Exotic plantation, p3 Native plantation					
Spezifische Angaben	Douglasie.						

Überlegungen zu No-/Low-regret-Maßnahmen	Trockenstresstolerante Baumarten (Douglasie, Weißtanne) sollten Fichten ersetzen, zuerst an trockenstressexponierten Standorten.
Forstwirtschaftliche Perspektive	Wünschenswert ist eine Mischung aus Koniferen und Laubbäumen, als Beitrag zu Leistungsfähigkeit und Klimaschutz.

Vitali, V., Forrester, D.I., Bauhus, J., 2018. Know Your Neighbours: Drought Response of Norway Spruce, Silver Fir and Douglas Fir in Mixed Forests Depends on Species Identity and Diversity of Tree Neighbourhoods. *Ecosystems* 21, 1215–1229.
<https://doi.org/10.1007/s10021-017-0214-0>.

Klassifikation

Suchbegriffe	Central Europe; Germany; Growth; Management; Productivity; Resilience; Resistance; Tolerance
Textart	Aufsatz
Untersuchungsgebiete	Baden-Württemberg
Forschungsmethode	Ausschließlich Felderhebung
Haupt-Fragestellung	Zustandsänderung: Wachstum, Produktivität Expositionsänderung, abiotisch: Dürre
Neben-Fragestellung	Expositionsänderung, abiotisch: Temperatur, langfristig Expositionsänderung, abiotisch: Feuchte, langfristig

Befunde

Vergleichspaar	Baumart und Alter	Nutzungsformen	EE	E	N	I	II
VP 1/1	Tanne k.A.	p2 Exotic plantation, p3 Native plantation					
Spezifische Angaben	Tanne.			E			
VP 1/2	Douglasie k.A.	p2 Exotic plantation, p3 Native plantation					
Spezifische Angaben	Douglasie.						

Überlegungen zu No-/Low-regret-Maßnahmen	Abwägungsentscheidung: keine Baumartenmischung ist ohne Nachteile.
Forstwirtschaftliche Perspektive	Schaffung bestimmter Baumartenmischungen positiv für Produktivität und für die Resilienz.

Wang, Y., Rammig, A., Blickensdörfer, L., Zhu, X.X., Buras, A., 2025. Species-specific responses of canopy greenness to the extreme droughts of 2018 and 2022 for four abundant tree species in Germany. *Science of the Total Environment* 958, 177938.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.177938>.

Klassifikation

Suchbegriffe	Central Europe; Ecology; Germany; Management; Resilience; Sensitivity; Vulnerability
Textart	Aufsatz
Untersuchungsgebiete	Deutschland
Forschungsmethode	Fernerkundung
Haupt-Fragestellung	Zustandsänderung: Verringerte Photosynthese Expositionsänderung, abiotisch: Dürre Resistenz

Befunde

Vergleichspaar	Baumart und Alter	Nutzungsformen	EE	E	N	I	II
VP 1/1	Buche k.A.	Sonstiges	E				
Spezifische Angaben	Buchen (-bestände).						
VP 1/2	Fichte k.A.	Sonstiges					
Spezifische Angaben	Fichten (-bestände).						
VP 2/1	Eiche k.A.	Sonstiges	EE				
Spezifische Angaben	Eichen (-bestände).						
VP 2/2	Kiefer k.A.	Sonstiges					
Spezifische Angaben	Kiefern (-bestände).						

Wei, J., Arx, G. von, Fan, Z., Ibrom, A., Mund, M., Knohl, A. et al, 2024. Drought alters aboveground biomass production efficiency: Insights from two European beech forests. *Science of the Total Environment* 919, 170726. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.170726>.

Klassifikation

Suchbegriffe	Germany; Growth; Productivity
Textart	Aufsatz
Untersuchungsgebiete	Thüringen, Nachbarländer
Forschungsmethode	Ausschließlich Felderhebung
Haupt-Fragestellung	Zustandsänderung: Wachstum, Produktivität Expositionsänderung, abiotisch: Dürre
Kommentar	Dänemark.

Befunde

Vergleichspaar	Baumart und Alter	Nutzungsformen	EE	E	N	I	II
VP 1/1	Buche > 120, Buche ≤ 120	n6 Old-growth forest, n1 Plantation-like natural forest					
Spezifische Angaben					N		
VP 1/2	Buche > 120, Buche ≤ 120	n1 Plantation-like natural forest					
Spezifische Angaben							

Bezug zu Klimaschutz AGB Storage, Senkenwirkung durch Trockenheit beeinträchtigt.

Weigel, R., Bat-Enerel, B., Dulamsuren, C., Muffler, L., Weithmann, G., Leuschner, C., 2023. Summer drought exposure, stand structure, and soil properties jointly control the growth of European beech along a steep precipitation gradient in Nordenern Germany. *Global Change Biology* 29, 763–779. <https://doi.org/10.1111/gcb.16506>.

Klassifikation

Suchbegriffe	Germany; Growth; Sensitivity; Vulnerability
Textart	Aufsatz
Untersuchungsgebiete	Hamburg, Mecklenburg-Vorpommern, Niedersachsen, Sachsen-Anhalt, Schleswig-Holstein, Brandenburg, Berlin
Forschungsmethode	Ausschließlich Felderhebung
Haupt-Fragestellung	Zustandsänderung: Wachstum, Produktivität Expositionsänderung, abiotisch: Dürre
Neben-Fragestellung	Expositionsänderung, abiotisch: Temperatur, langfristig Expositionsänderung, abiotisch: Feuchte, langfristig

Befunde

Vergleichspaar	Baumart und Alter	Nutzungsformen	EE	E	N	I	II
VP 1/1	Buche > 120, Buche ≤ 120	p3 Native plantation					
Spezifische Angaben	Dichte Bestände.					I	
VP 1/2	Buche > 120, Buche ≤ 120	p3 Native plantation					
Spezifische Angaben	Mäßig dichte Bestände.						
VP 2/1	Buche > 120, Buche ≤ 120	p3 Native plantation					
Spezifische Angaben	Mäßig dichte Bestände.			E			
VP 2/2	Buche > 120, Buche ≤ 120	p3 Native plantation					
Spezifische Angaben	Lichte Bestände.						

Steckbrief Nr. 92

Überlegungen zu No-/Low-regret-Maßnahmen

Abwägungsentscheidung, einerseits die Konkurrenz zwischen Buchen nicht zu hoch werden zu lassen und andererseits das Waldmikroklima zu erhalten.

Bezug zu Klimaschutz

Aber indirekt über Wachstum.

Weigel, R., Muffler, L., Klisz, M., Kreyling, J., van der Maaten-Theunissen, M., Wilmking, M. et al, 2018. Winter matters: Sensitivity to winter climate and cold events increases towards the cold distribution margin of European beech (*Fagus sylvatica* L.). *Journal of Biogeography* 45, 2779–2790. <https://doi.org/10.1111/jbi.13444>.

Klassifikation

Suchbegriffe	Germany; Growth; Productivity; Resistance; Sensitivity
Textart	Aufsatz
Untersuchungsgebiete	Mecklenburg-Vorpommern, Nachbarländer
Forschungsmethode	Ausschließlich Felderhebung
Haupt-Fragestellung	Zustandsänderung: Wachstum, Produktivität Expositionsänderung, abiotisch: Kältewelle Expositionsänderung, abiotisch: Dürre
Kommentar	Polen.

Befunde

Vergleichspaar	Baumart und Alter	Nutzungsformen	EE	E	N	I	II
VP 1/1	Buche k.A.	Sonstiges					
Spezifische Angaben	Kühlere Gebiete.						
VP 1/2	Buche k.A.	Sonstiges					
Spezifische Angaben	Wärmere Gebiete.				N		
Kommentar	Arealteile unterscheiden sich in den durchschnittlichen Temperaturen; analog begünstigen bestimmte Nutzungsformen entweder ein kühles oder ein wärmeres Lokal- und Mikroklima.						

Weiss, F., Winter, S., Pflugmacher, D., Kolling, T., Linde, A., 2024. Evidence for regional-scale declines in carabid beetles in old lowland beech forests following a period of severe drought. *Landscape Ecology* 39, 123. <https://doi.org/10.1007/s10980-024-01920-1>.

Klassifikation

Suchbegriffe	Abundance; Germany; Growth
Textart	Aufsatz
Untersuchungsgebiete	Brandenburg, Berlin
Forschungsmethode	Ausschließlich Felderhebung
Haupt-Fragestellung	Expositionsänderung, abiotisch: Dürre Zustandsänderung: Sonstige

Befunde

Vergleichspaar	Baumart und Alter	Nutzungsformen	EE	E	N	I	II	
VP 1/1	Buche > 120	n6 Old-growth forest, n5 Long untouched forest	EE					
Spezifische Angaben	Großflächige Waldmatrix.							
VP 1/2	Buche > 120	n6 Old-growth forest, n5 Long untouched forest						
Spezifische Angaben	Kleinflächige Waldmatrix.							

Überlegungen zu No-/Low-regret-Maßnahmen	Erhaltung und Beförderung einer Matrix möglichst naturnaher Wälder.
Naturschutz-Perspektive	Lokale Naturschutzmaßnahmen nur von begrenzter Wirkung; sie müssten durch Verbesserungen des Erhaltungszustandes in der Region und eine Erhöhung des Waldanteils ergänzt werden.

Willems, F.M., Scheepens, J.F., Ammer, C., Block, S., Bucharova, A., Schall, P. et al, 2021.
 Spring understory herbs flower later in intensively managed forests. *Ecological Applications*
 31, e02332. <https://doi.org/10.1002/eap.2332>.

Klassifikation

Suchbegriffe	Germany; Management; Vulnerability
Textart	Aufsatz
Untersuchungsgebiete	Baden-Württemberg, Thüringen
Forschungsmethode	Ausschließlich Felderhebung
Haupt-Fragestellung	Zustandsänderung: Sonstige Sensitivität: Mikroklimatische Pufferung Exposition: Standort

Befunde

Vergleichspaar	Baumart und Alter	Nutzungsformen	EE	E	N	I	II
VP 1/1	Buche > 120, Buche ≤ 120, Fichte > 80, Fichte ≤ 80	n4 Newly untouched forest, n2 Exploited natural forest, p2 Exotic plantation					
Spezifische Angaben	Nordhänge.						
VP 1/2	Buche > 120, Buche ≤ 120, Fichte > 80, Fichte ≤ 80	n4 Newly untouched forest, n2 Exploited natural forest, p2 Exotic plantation					
Spezifische Angaben	Südihänge.			E			
Kommentar	Nordhänge sind kühler und feuchter und Frühblüher blühen dort später; daher könnten Nutzungsformen, die ein kühl-feuchtes Mikroklima begünstigen, das immer frühere Einsetzen der Blüte von Frühblühern (teilweise) ausgleichen, mit günstigen Auswirkungen auf das trophische Netz des Waldökosystems.						

Steckbrief Nr. 95

Naturschutz-Perspektive

Das Waldmanagement verändert die Waldstruktur und damit auch das Mikroklima; Waldmanagement hat langfristige Auswirkungen auf den Zustand, die Stabilität und Evolution in Waldökosystemen.