Niedersächsisches Ministerium für Ernährung,
Landwirtschaft und Verbraucherschutz

Waldzustandsbericht 2021

NW-FVA
Nordwestdeutsche
Forstliche Versuchsanstalt

Vorwort

Foto: T. Jaworr

Liebe Leserin, lieber Leser,

der vorliegende Bericht steht weiterhin im Zeichen der Auswirkungen der Wetterextreme auf unseren niedersächsischen Wald. Die Spuren dieser extremen Witterungsbedingungen mit Stürmen, Trockenheit, Insekten- und Pilzbefall sind in den Wäldern vielerorts sichtbar. Obwohl die Bäume gegenüber den Vorjahren besser mit Wasser versorgt waren, haben die Schäden durch Borkenkäfer – insbesondere im Harz – auch 2021 weiter zugenommen.

Der anhaltend schlechte Gesundheitszustand unserer Waldbäume spiegelt sich in den mittel- und langfristigen Durchschnittswerten für die Kronenverlichtung, für den Anteil starker Schäden und für die Absterberate wider. Die mittlere Kronenverlichtung der Waldbäume in Niedersachsen befindet sich seit drei Jahren auf dem Höchststand der 38-jährigen Zeitreihe. Eine leichte Verbesserung der Belaubungsdichte wurde für die Buchen festgestellt. Der Anteil starker Schäden für den gesamten Wald in Niedersachsen ist in diesem Jahr nochmals höher als im Vorjahr. Insbesondere die hohen Absterbe- und Ausfallraten der Fichte in den letzten Jahren machen die Dimensionen der Schäden deutlich. Insgesamt sind etwa 40.000 Hektar Freiflächen entstanden – nahezu ausschließlich ehemalige Fichtenbestände.

Nach der Schadensbewältigung stehen die klimastabile Wiederbewaldung und der Waldumbau ganz oben auf unserer forstlichen Agenda. Die Anpassung der Wälder an den Klimawandel und die nachhaltige Sicherung der Waldfunktionen stellen eine gesamtgesellschaftliche Aufgabe dar. In Niedersachsen wurde bereits vor 30 Jahren das Regierungsprogramm „Langfristige ökologische Waldentwicklung" (LÖWE) als verbindliches Waldbauprogramm für den Landeswald beschlossen. Es ist zudem die Grundlage der waldbaulichen Förderung des Privatwaldes in Niedersachsen. Die Aktualisierung hin zu „LÖWE +" im Jahr 2017 berücksichtigt z. B. neue Erkenntnisse über den Klimawandel.

Beim Aufbau klimaangepasster, stabiler Wälder nehmen unsere heimischen Baumarten auch zukünftig eine zentrale Rolle ein. Hierbei sind genetisch nachhaltige Verjüngungsstrategien von Bedeutung, um die Voraussetzungen für Anpassungsprozesse künftiger Waldgenerationen zu schaffen.

Um die Wirkung veränderter Klimabedingungen auf das Wachstum heimischer Baumarten in verschiedenen Regionen Niedersachsens abschätzen zu können, wurden an der Nordwestdeutschen Forstlichen Versuchsanstalt (NW-FVA) so genannte Standort-Leistungs-Modelle entwickelt.

Intakte Waldmoore haben als Kohlenstoffsenken eine wichtige Klimaschutzfunktion. Gleichzeitig gefährdet der Klimawandel diese sensiblen, auf eine gute Wasserversorgung angewiesenen Standorte mit ihren hochspezialisierten Pflanzen- und Tierarten. Der vorliegende Bericht zeigt, dass zur Renaturierung von Waldmooren umfassende Kartierungen sowie ein begleitendes Monitoring zielführend sind.

Der Boden ist neben dem Klima wichtigster Standortfaktor für unsere Wälder. In der letzten Eiszeit wurden Stäube und Feinsande ‚vom Winde verweht' und bildeten teilweise mächtige Lössablagerungen. Dem Lössboden – Boden des Jahres 2021 – wird in diesem Bericht ein eigenes Kapitel gewidmet.

Die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler der NW-FVA liefern mit der Waldzustandserhebung wichtige Informationen zur Vitalität der Waldbäume unter dem Einfluss sich ändernder Umweltbedingungen. Die NW-FVA bietet allen Forstleuten und Waldbesitzenden mit ihrer praxisorientierten Forschung und Beratung eine verlässliche Unterstützung. Mein Wunsch ist: Lassen Sie uns in turbulenten Zeiten gemeinsam zuversichtlich und konstruktiv in die Zukunft blicken.

Ich wünsche Ihnen eine interessante Lektüre!

Ihre

Barbara Otte-Kinast

Barbara Otte-Kinast
Niedersächsische Ministerin für Ernährung,
Landwirtschaft und Verbraucherschutz

Inhaltsverzeichnis

	Seite
Vorwort	2
Inhaltsverzeichnis	3
Hauptergebnisse	4
Forstliches Umweltmonitoring Ulrike Talkner, Inge Dammann und Uwe Paar	6
WZE-Ergebnisse für alle Baumarten Inge Dammann und Uwe Paar	8
Kiefer	10
Fichte	11
Buche	12
Eiche	14
Andere Laub- und Nadelbäume	16
Witterung und Klima Johannes Sutmöller	18
Insekten und Pilze Martin Rohde, Rainer Hurling, Gitta Langer, Johanna Bußkamp, Pavel Plašil und Ines Graw	23
Stoffeinträge Birte Scheler	27
Anpassungspotenziale heimischer Baumarten Aki Michael Höltken, André Hardtke und Wilfried Steiner	30
Wachstum von Eiche, Buche, Fichte und Kiefer im Klimawandel Matthias Schmidt, Jan Schick und Thorsten Zeppenfeld	34
Waldmoore – Erfassung und Renaturierungsperspektiven Maria Aljes, Philipp Küchler und Marcus Schmidt	38
Lössboden – verweht, verlagert, vergleyt und (fast) der perfekte Waldboden Jan Evers	41
Impressum	44

Foto: J. Evers

Hauptergebnisse

Waldzustandserhebung (WZE)

Die Ergebnisse der Waldzustandserhebung 2021 in Niedersachsen belegen anhaltend hohe Schäden in den Wäldern. Insbesondere die hohen Absterbe- und Ausfallraten der Fichte in den letzten Jahren machen die Dimensionen der Schäden deutlich.

Die mittlere Kronenverlichtung der Waldbäume in Niedersachsen (2021: 22 %) befindet sich seit drei Jahren auf dem Höchststand der 38-jährigen Zeitreihe. Mit Sturmschäden, Trockenstress und Insektenbefall setzte 2018 eine Entwicklung der Schäden in den Wäldern ein, wie sie seit Jahrzehnten nicht beobachtet wurde. Eine leichte Verbesserung der Belaubungsdichte wurde 2021 für die Buchen festgestellt, während für die Kiefern der Kronenverlichtungsgrad leicht zunahm. Die übrigen Baumartengruppen zeigten 2021 kaum Veränderungen gegenüber dem Vorjahr.

Der Anteil starker Schäden für den Gesamtwald in Niedersachsen ist 2021 nochmals höher als im Vorjahr und liegt mit 4,1 % mehr als doppelt so hoch wie das langjährige Mittel (1,6 %). Den mit Abstand höchsten Anteil starker Schäden weisen auch in diesem Jahr die Fichten (15,3 %) auf. Am niedrigsten ist der Anteil starker Schäden bei den Kiefern (1,2 %).

Die Absterberate ist 2021 deutlich niedriger als in den beiden Vorjahren, überschreitet aber weiterhin mit 0,6 % den langjährigen Mittelwert (0,2 %).

Die Ausfallrate (als Schadholz entnommene Bäume) ist 2021 durchschnittlich (0,8 %).

Die Baumartenverteilung in der WZE-Stichprobe in Niedersachsen ergibt für die Kiefer einen Flächenanteil von 38 %, die Ergebnisse der Waldzustandserhebung für den Gesamtwald in Niedersachsen werden daher stark durch die vergleichsweise niedrigen Verlichtungswerte der Kiefer geprägt. Die Fichte ist mit 13 %, die Buche mit 16 % und die Eiche mit 7 % im Kollektiv der Waldzustandserhebung vertreten. Die anderen Laub- und Nadelbäume nehmen zusammen einen Anteil von 26 % ein.

Foto: J. Evers

Foto: J. Evers

Witterung und Klima

Nach drei sehr trockenen und warmen Jahren fiel im Vegetationsjahr 2020/2021 die Niederschlagsbilanz mit 755 mm im Flächenmittel des Landes ausgeglichen aus. Im Gegensatz zu den vergangenen Jahren kam es zu keiner ausgeprägten Trockenperiode. Während in weiten Teilen von Niedersachsen infolge der überdurchschnittlich feuchten Vegetationszeit die mehrjährige Dürre beendet wurde, haben sich die Bodenwasservorräte im Süden und im äußersten Osten des Landes noch nicht erholt. Auch das Vegetationsjahr 2020/2021 war im Vergleich zur Klimaperiode 1961 bis 1990 zu warm. Die Jahresmitteltemperatur für Niedersachsen lag um 1,3 K über dem langjährigen Wert von 8,6 °C. Besonders das kühle Frühjahr sorgte dafür, dass die Temperaturerhöhung nicht stärker ausfiel.

Insekten und Pilze

Die Schäden durch Borkenkäfer an Fichte haben auch 2021 weiter zugenommen. Obwohl die Fichten gegenüber den Vorjahren besser mit Wasser versorgt und damit abwehrbereiter waren, kam es in den Befallsschwerpunkten zu umfangreichem frischen Stehendbefall nicht nur an besonnten Bestandesrändern, sondern auch im Bestandesinneren. Wo keine besiedelbare Altfichte (mehr) vorhanden war, wichen die Borkenkäfer auf junge Fichten aus.

Absterbeerscheinungen nach Pilzinfektionen durch die Buchen-Vitalitätsschwäche, die Rußrindenerkrankung des Ahorns und das *Diplodia*-Triebsterben der Kiefer werden in den letzten Jahren zunehmend festgestellt.

Stoffeinträge

Aufgrund der Filterwirkung der Baumkronen für Gase und Partikel (trockene Deposition) sind die Einträge luftbürtiger Nähr- und Schadstoffe im Wald höher als im Freiland.

Der Eintrag von Sulfatschwefel sowie von anorganischem Stickstoff hat 2020 im Vergleich zum Mittel der Jahre 2010-2019 weiter abgenommen. Die Abnahme mit der Gesamtdeposition betrug beim Sulfatschwefel zwischen 23 und 53 % und beim anorganischen Stickstoff (Ammonium und Nitrat) zwischen 2 und 40 %. Lediglich in Augustendorf wurde eine

Hauptergebnisse

Foto: M. Delpho

minimale Zunahme beim anorganischen Stickstoffeintrag um 2 % registriert. Ursache hierfür dürften die hohen Niederschläge auf dieser Fläche im Jahr 2020 sein.
2020 betrug der Sulfatschwefeleintrag mit der Gesamtdeposition zwischen 1,9 und 3,2 kg je Hektar. Hier zeigt sich deutlich der Erfolg verschiedener Maßnahmen zur Luftreinhaltung.
Der anorganische Stickstoffeintrag betrug 2020 zwischen 9,5 und 20,3 kg je Hektar.

Anpassungspotenziale heimischer Baumarten

Bei der Klimaanpassung der Wälder kann eine Streuung des ökologischen und ökonomischen Risikos sowohl durch eine Zunahme der Baumartenvielfalt als auch durch die Nutzung des vorhandenen genetischen Potenzials innerhalb der Baumarten erreicht werden.
Beim Aufbau klimaangepasster, stabiler Wälder werden auch künftig heimische Baumarten eine zentrale Rolle einnehmen. Hier sind genetisch nachhaltige Verjüngungsstrategien von Bedeutung, um die Voraussetzungen für Anpassungsprozesse künftiger Waldgenerationen an sich ändernde Umweltbedingungen zu schaffen. Diese Konzepte müssen sowohl die Erhaltung lokal verfügbarer genetischer Vielfalt gewährleisten als auch verschiedene geographische Herkünfte einer Baumart mit unterschiedlichen Anpassungsmustern berücksichtigen.
Ein wichtiges Instrument zur Sicherung der genetischen Vielfalt in den Wäldern sind DNA-Analysen zur Bestimmung der genetischen Vielfalt von Waldbeständen und zur Identifizierung und Prüfung von geeignetem Vermehrungsgut.

Wachstum von Eiche, Buche, Fichte und Kiefer im Klimawandel

Mit an der NW-FVA entwickelten Standort-Leistungs-Modellen lässt sich abschätzen, wie sich das Wachstum der Hauptbaumarten Eiche, Buche, Fichte und Kiefer unter veränderten Klimabedingungen in verschiedenen Regionen in Schleswig-Holstein und Niedersachsen entwickeln wird. Entlang eines Transektes von den Harburger Bergen über die Heide und den Harz bis in den Kaufunger Wald werden die Projektionen der Mittelhöhe und der Leistungsklasse für die Jahre 2000 und 2100 für Niedersachsen gegenübergestellt. In Schleswig-Holstein werden Wälder bei Bad Segeberg und bei Mölln betrachtet.
Die Modellschätzungen projizieren für Niedersachsen bei allen vier Baumarten für 2100 eine Bonitätsverbesserung in den Hochlagen von Kaufunger Wald und Harz und in den mittleren Gebirgslagen im Vergleich zum Jahr 2000. In den tieferen Mittelgebirgslagen und im Tiefland ist für Buche und Fichte häufig eine Bonitätsverschlechterung zu erwarten. Insgesamt zeichnet sich für die Eiche und für zwei Drittel der Kiefernstandorte eine Steigerung der Wuchsleistung ab, während für Buche und Fichte zukünftig auf 45 bzw. 26 % der Standorte von einer Verminderung der Wuchsleistung ausgegangen werden muss.

Waldmoore – Erfassung und Renaturierungsperspektiven

Intakte Waldmoore sind von hohem ökologischen Wert für den Natur- und Klimaschutz. Zu ihrem Erhalt sind sie auf eine gute Wasserversorgung angewiesen. Durch häufig noch vorhandene Entwässerungsgräben und entwässernde Bestockung sowie durch den Klimawandel ist der Bestand dieser sensiblen Standorte mit ihren hochspezialisierten Pflanzen- und Tierarten gefährdet.
Zur Renaturierung von Waldmooren reicht ein Verzicht auf Nutzungsmaßnahmen allein meist nicht aus, vielmehr sind den gesamten Moorkörper umfassende Kartierungen der Torfmächtigkeiten und der Entwässerungssysteme und darauf aufbauende Wiedervernässungsmaßnahmen sowie ein begleitendes Monitoring zielführend.

Lössboden – verweht, verlagert, vergleyt und (fast) der perfekte Waldboden

Lössstandorte sind überwiegend in der letzten Eiszeit durch mit dem Wind angewehte Schluff- und Feinsandablagerungen entstanden, daher ist das Bodengefüge für die Speicherung von Bodenwasser optimal. Als Bodentypen haben sich vor allem Parabraunerden, Pseudogleye und Braunerden entwickelt. Die Streuzersetzung ist meist günstig, auf zwei Drittel der Lösslehmstandorte finden sich die Humusformen Mull oder mullartiger Moder. Je nach Zusammensetzung des angewehten Materials unterscheidet sich das Nährstoffpotenzial der Lösslehme. Die Ergebnisse der BZE II weisen in Sachsen-Anhalt und Hessen für die Mehrzahl der Lösslehmstandorte die Trophiestufen eutroph und gut mesotroph aus, in Niedersachsen überwiegt die Einstufung mesotroph. Auch in der mittleren Basensättigung bestehen Unterschiede: In Sachsen-Anhalt beträgt sie 60 %, in Hessen rund 50 % und in Niedersachsen 30 %. In der Regel zeigt sich auf Lösslehmstandorten ein hervorragendes Baumwachstum.

Typischer Lösslehmboden *Foto: NW-FVA*

Forstliches Umweltmonitoring

Ulrike Talkner, Inge Dammann und Uwe Paar
https://doi.org/10.5281/zenodo.5615183

Das Forstliche Umweltmonitoring hat eine langjährige Geschichte und eröffnet damit einen guten Einblick in die Veränderung der Waldökosysteme. Die Umweltbedingungen haben sich in den vergangenen Jahrzehnten kontinuierlich verändert, aber das Ausmaß und die Geschwindigkeit der aktuellen Klimaveränderungen sind in der Geschichte des Forstlichen Umweltmonitorings einmalig. Die Waldschäden zu Zeiten des sauren Regens waren deutlich zu sehen, doch übertreffen die aktuellen Schäden in bestimmten Regionen und für einige Baumarten das damalige Ausmaß. Seit den 1980er Jahren wurden erfolgreich politische Maßnahmen ergriffen, um die versauernden Einträge in die Wälder zu minimieren. Nun stellt sich die Frage, ob wir auch erfolgreich in der Eindämmung des Klimawandels sein werden. Fest steht, dass die Reduzierung der CO_2-Emissionen notwendig ist, um den menschengemachten Klimawandel abzumildern und damit den Zustand des Waldes zu stabilisieren.

Das Forstliche Umweltmonitoring ist aus der Waldökosystemforschung entstanden. Die Ergebnisse der Untersuchungen dienen der Erarbeitung von Entscheidungshilfen für die forstliche Praxis und der Beratung der Politik auf fachlicher Grundlage.

Grundsätzlich werden im Forstlichen Umweltmonitoring folgende Kategorien unterschieden:

- Level I: waldflächenrepräsentative Übersichtserhebungen auf einem systematischen Stichprobenraster (Waldzustands- und Bodenzustandserhebung),
- Level II: Untersuchung von ausgewählten Waldökosystemen mit erhöhter Messintensität (Intensives Forstliches Umweltmonitoring)
- Level III: Erforschung der Auswirkungen von Waldbewirtschaftungsmaßnahmen auf den Nährstoffhaushalt von Wäldern (Experimentalflächen)

Die Verknüpfung und Kombination von Level I und II eröffnet die Möglichkeit der Übertragung von Ergebnissen aus dem Forstlichen Umweltmonitoring auf Waldflächen ohne Beobachtungen (Regionalisierung). Für die Beantwortung von komplexen forst- und umweltpolitischen Fragen ist die Vernetzung aller drei Kategorien des Forstlichen Umweltmonitorings zweckmäßig.

Die methodischen Instrumente des Forstlichen Umweltmonitorings sind europaweit nach den Grundsätzen des ICP Forests (2016) harmonisiert. Die Waldzustandserhebung (WZE)

Kamera zur Erfassung der Phänologie *Foto: M. Spielmann*

Elektronische Zuwachsmessung *Foto: J. Weymar*

liefert als Übersichtserhebung Informationen zur Vitalität der Waldbäume unter dem Einfluss sich ändernder Umweltbedingungen. Das Stichprobenraster der Waldzustandserhebung ist darauf ausgelegt, die gegenwärtige Situation des Waldes landesweit repräsentativ abzubilden. Das Ergebnis ist das Gesamtbild des Waldzustandes für das Bundesland. Die Stichprobe der Waldzustandserhebung vermittelt ein zahlenmäßiges Bild zu dem Einfluss von Stürmen, Witterungsextremen sowie Insekten- und Pilzbefall. Lokale Befunde, wie sturmgefallene Bäume oder ein extremer Befall der Kiefer durch Pilze, können allerdings von dem landesweiten Ergebnis abweichen. Verschiedene Auswertungen belegen eine hohe Repräsentativität des Rasternetzes für verschiedene Fragestellungen.

Waldzustandserhebung – Methodik und Durchführung

Aufnahmeumfang

Die Waldzustandserhebung erfolgt auf mathematisch-statistischer Grundlage. Die Rasterweite des landesweiten Stichprobennetzes beträgt seit 2005 8 km x 8 km, für Buche und Eiche werden zusätzliche Erhebungspunkte im 4 km x 4 km-Raster durchgeführt, wenn 2004 mindestens 6 Buchen oder Eichen am WZE-Punkt vorhanden waren. Nach einer Rasterüberprüfung im Frühjahr 2020 wurden 12 weitere WZE-Punkte in das 8 km x 8 km-Raster integriert, sodass jetzt 312 Erhebungspunkte zum Stichprobenkollektiv gehören, von denen in diesem Jahr 293 Erhebungspunkte in die Inventur einbezogen werden konnten. Dieser Aufnahmeumfang ermöglicht repräsentative Aussagen zum Waldzustand auf Landesebene sowie Zeitreihen für die Baumarten Buche, Eiche, Fichte, Kiefer und die Gruppen der anderen Laub- und Nadelbäume. Die Aufnahmen zur Waldzustandserhebung erfolgten im Juli und August 2021. Sie sind mit qualitätssichernden Maßnahmen sorgfältig überprüft.

Für den Parameter mittlere Kronenverlichtung zeigt die Tabelle Seite 7 die 95 %-Konfidenzintervalle (= Vertrauensbereiche) für die Baumarten und Altersgruppen der WZE-Stichprobe 2021. Je weiter der Vertrauensbereich, desto unschärfer sind die Aussagen. Die Weite des Vertrauensbereiches wird im

Forstliches Umweltmonitoring

Wesentlichen beeinflusst durch die Anzahl der Stichprobenpunkte in der jeweiligen Auswerteeinheit und die Streuung der Kronenverlichtungswerte. Für relativ homogene Auswerteeinheiten mit relativ gering streuenden Kronenverlichtungen (z. B. Kiefer bis 60 Jahre) sind enge Konfidenzintervalle auch bei einer geringen Stichprobenanzahl sehr viel leichter zu erzielen als für heterogene Auswerteeinheiten, die sowohl in der Altersstruktur als auch in den Kronenverlichtungswerten ein breites Spektrum umfassen (z. B. Fichte bis 60 Jahre).

Aufnahmeparameter

Bei der Waldzustandserhebung erfolgt eine visuelle Beurteilung des Kronenzustandes der Waldbäume, denn Bäume reagieren auf Umwelteinflüsse u. a. mit Änderungen in der Belaubungsdichte und der Verzweigungsstruktur. Wichtigstes Merkmal ist die Kronenverlichtung der Waldbäume, deren Grad in 5 %-Stufen für jeden Stichprobenbaum erfasst wird. Die Kronenverlichtung wird unabhängig von den Ursachen bewertet, lediglich mechanische Schäden (z. B. das Abbrechen von Kronenteilen durch Wind) gehen nicht in die Berechnung der Ergebnisse der Waldzustandserhebung ein. Die Kronenverlichtung ist ein unspezifisches Merkmal, aus dem nicht unmittelbar auf die Wirkung von einzelnen Stressfaktoren geschlossen werden kann. Sie ist daher geeignet, allgemeine Belastungsfaktoren der Wälder aufzuzeigen. Bei der Bewertung der Ergebnisse stehen nicht die absoluten Verlichtungswerte im Vordergrund, sondern die mittel- und langfristigen Trends der Kronenentwicklung. Zusätzlich zur Kronenverlichtung werden weitere sichtbare Merkmale an den Probebäumen wie der Vergilbungsgrad der Nadeln und Blätter, die aktuelle Fruchtbildung sowie Insekten- und Pilzbefall erfasst.

95 %-Konfidenzintervalle für die Kronenverlichtung der Baumartengruppen und Altersgruppen der Waldzustandserhebung 2021 in Niedersachsen. Das 95 %-Konfidenzintervall (= Vertrauensbereich) gibt den Bereich an, in dem der wahre Mittelwert mit einer Wahrscheinlichkeit von 95 % liegt.

Baumartengruppe	Altersgruppe	Anzahl Bäume	Anzahl Plots	Raster	95%-Konfidenzintervall (+/-)
Buche	alle Alter	2267	154	4x4 km	2,3
	bis 60 Jahre	320	26	4x4 km	1,8
	über 60 Jahre	1947	134	4x4 km	2,2
Eiche	alle Alter	1031	113	4x4 km	3,0
	bis 60 Jahre	170	26	4x4 km	2,7
	über 60 Jahre	861	94	4x4 km	2,4
Fichte	alle Alter	496	48	8x8 km	8,6
	bis 60 Jahre	150	18	8x8 km	23,9
	über 60 Jahre	346	33	8x8 km	7,8
Kiefer	alle Alter	1522	84	8x8 km	1,4
	bis 60 Jahre	310	19	8x8 km	2,6
	über 60 Jahre	1212	69	8x8 km	1,4
andere Laubbäume	alle Alter	643	75	8x8 km	3,9
	bis 60 Jahre	330	37	8x8 km	3,7
	über 60 Jahre	313	42	8x8 km	6,5
andere Nadelbäume	alle Alter	411	46	8x8 km	4,1
	bis 60 Jahre	176	19	8x8 km	5,8
	über 60 Jahre	235	28	8x8 km	6,5
alle Baumarten	alle Alter	4008	167	8x8 km	1,9
	bis 60 Jahre	1130	60	8x8 km	3,9
	über 60 Jahre	2878	135	8x8 km	1,9

WZE-Aufnahmeteams bei der Schulung im Juli 2021 Foto: M. Spielmann

Mittlere Kronenverlichtung

Die mittlere Kronenverlichtung ist der arithmetische Mittelwert der in 5 %-Stufen erhobenen Kronenverlichtung der Einzelbäume.

Starke Schäden

Unter den starken Schäden werden Bäume mit Kronenverlichtungen über 60 % (inkl. abgestorbener Bäume) sowie Bäume mittlerer Verlichtung (30-60 %), die zusätzlich Vergilbungen über 25 % aufweisen, zusammengefasst.

Absterberate

Die Absterberate ergibt sich aus den Bäumen, die zwischen der Erhebung im Vorjahr und der aktuellen Erhebung abgestorben sind und noch am Stichprobenpunkt stehen. Durch Windwurf und Durchforstung ausgefallene Bäume gehen nicht in die Absterberate, sondern in die Ausfallrate ein.

Ausfallrate

Das Inventurverfahren der WZE ist darauf ausgelegt, die aktuelle Situation der Waldbestände unter realen (Bewirtschaftungs-) Bedingungen abzubilden. Daher scheidet in jedem Jahr ein Teil der Stichprobenbäume aus dem Aufnahmekollektiv aus. Der Ausfallgrund wird für jeden Stichprobenbaum dokumentiert. Gründe für den Ausfall sind u. a. Durchforstungsmaßnahmen, methodische Gründe (z. B. wenn der Stichprobenbaum nicht mehr zu den Baumklassen 1-3 gehört), Sturmschäden oder außerplanmäßige Nutzung aufgrund von Insektenschäden.
Dort, wo an den WZE-Punkten Stichprobenbäume ausfallen, werden nach objektiven Vorgaben Ersatzbäume ausgewählt. Sind aufgrund großflächigen Ausfalls der Stichprobenbäume keine geeigneten Ersatzbäume vorhanden, ruht der WZE-Punkt, bis eine Wiederbewaldung vorhanden ist.
Die im Bericht aufgeführte Ausfallrate ergibt sich aus den infolge von Sturmschäden, Trockenheit und Insekten- oder Pilzbefall (insbesondere durch Borkenkäfer) am Stichprobenpunkt entnommenen Bäumen.

Literatur

ICP Forests (2016): Manual on methods and criteria for harmonized sampling, assessment, monitoring and analysis of the effects of air pollution on forests. UNECE, ICP Forests, Hamburg

WZE-Ergebnisse für alle Baumarten

Inge Dammann und Uwe Paar
https://doi.org/10.5281/zenodo.5615263

Nach den extremen Witterungsbedingungen der Jahre 2018-2020 belegen die Ergebnisse der Waldzustandserhebung 2021 einen anhaltend schlechten Vitalitätszustand der Wälder in Niedersachsen.

Mittlere Kronenverlichtung

Die Waldzustandserhebung 2021 weist als Gesamtergebnis für die Waldbäume in Niedersachsen (alle Baumarten, alle Alter) eine mittlere Kronenverlichtung von 22 % aus. Seit drei Jahren befinden sich die Verlichtungswerte auf dem höchsten Niveau in der Zeitreihe seit 1984. In den jüngeren (bis 60-jährigen) Beständen ist die mittlere Kronenverlichtung stärker angestiegen als in der Altersgruppe der über 60-jährigen Bestände.
Die Kronenverlichtung der älteren Buchen hat sich 2021 gegenüber dem Vorjahr leicht verbessert (3 Prozentpunkte), die der älteren Kiefern hat sich etwas verschlechtert (2 Prozentpunkte). Die Verlichtungswerte der anderen Baumartengruppen zeigen keine nennenswerte Veränderung.
Insgesamt wird der Verlauf der mittleren Kronenverlichtung für den Gesamtwald ganz wesentlich durch die Kiefer geprägt, die als häufigste Baumart in Niedersachsen maßgeblich das Gesamtergebnis mit relativ konstanten niedrigen Verlichtungswerten beeinflusst. Auch die anderen Laub- und Nadelbäume, die an der WZE-Stichprobe einen Anteil von 26 % einnehmen, wirken – trotz erhöhter Verlichtung seit 2018 – mit vergleichsweise niedrigen Verlichtungswerten ausgleichend auf die höheren Verlichtungswerte von Fichte, Buche und Eiche.

Mittlere Kronenverlichtung in %

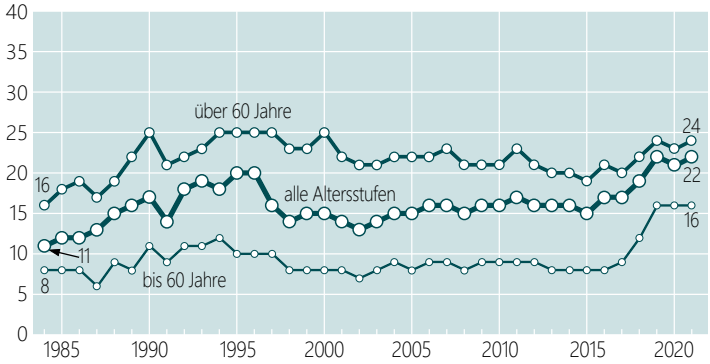


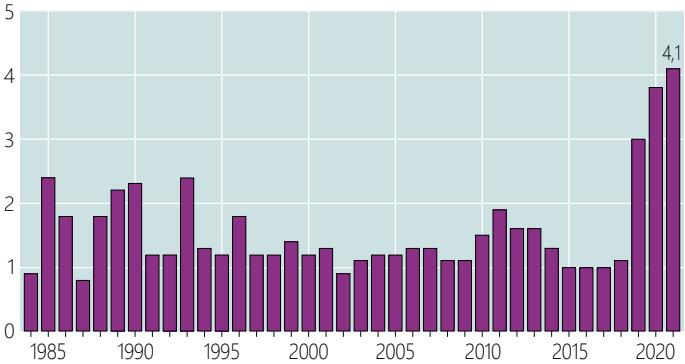
Foto: J. Evers

Foto: J. Evers

Anteil starker Schäden

Der Anteil starker Schäden liegt im Mittel der Zeitreihe (1984-2021) bei 1,6 %. Seit 2019 wird dieser Mittelwert deutlich überschritten. 2021 ist der Anteil starker Schäden im Vergleich zum Vorjahr nochmals angestiegen (4,1 %). Die Spanne der starken Schäden reicht in diesem Jahr von 1,2 % (Kiefer) bis 15,3 % (Fichte).
Mit einer Kronenverlichtung über 60 % sind im Vergleich zu einer vollbelaubten Baumkrone Begrenzungen der Versorgung der Bäume mit Wasser und Energie verbunden. Das Vermögen der Bäume, sich an wechselnde Bedingungen anzupassen, wird eingeschränkt.

Anteil starker Schäden (inkl. abgestorbener Bäume), alle Baumarten, alle Alter in %



WZE-Ergebnisse für alle Baumarten

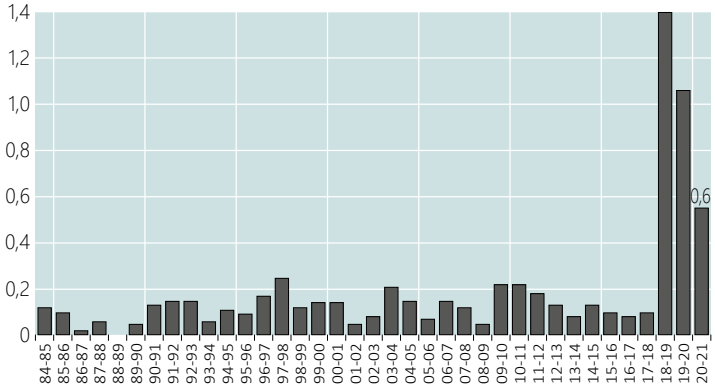
Absterberate

Zur Absterberate werden Bäume gezählt, die zum Zeitpunkt der Erhebung noch stehen, aber neu abgestorben sind. Die Absterberate (alle Bäume, alle Alter) ist 2021 mit 0,6 % niedriger als im Vorjahr, übersteigt aber das langjährige Mittel um das Dreifache. Bei allen Baumarten(gruppen) liegen die aktuellen Absterberaten über den Durchschnittswerten.

Ausfallrate

Die Ausfallrate ist das Ergebnis der infolge von Sturmwurf, Trockenheit, Insekten- und Pilzbefall (z. B. Borkenkäferbefall) am Stichprobenpunkt entnommenen Bäume. Die jährlichen

Jährliche Absterberate (stehende Bäume), alle Baumarten, alle Alter in %



Jährliche Ausfallrate (als Schadholz entnommene Bäume), alle Baumarten, alle Alter in %

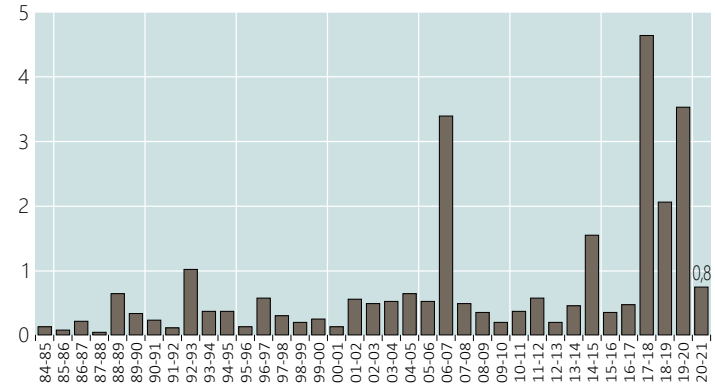


Foto: J. Evers

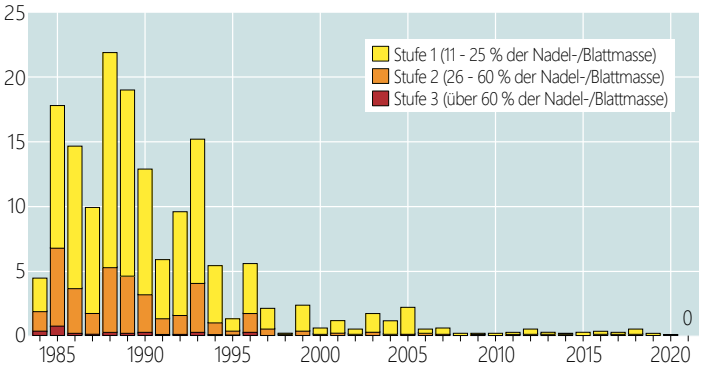
Foto: J. Evers

Ausfallraten bilden die Auswirkungen der Stürme „Kyrill" (2007) und „Friederike" (2018) deutlich ab. In beiden Jahren waren Sturmschäden die Hauptausfallursache. 2019 bis 2021 ist dagegen Borkenkäferbefall der Hauptausfallgrund. Die durchschnittliche Ausfallrate beträgt 0,7 %, 2021 sind 0,8 % der Stichprobenbäume ausgefallen.

Vergilbungen

Vergilbungen der Nadeln und Blätter sind häufig ein Indiz für Magnesiummangel in der Nährstoffversorgung der Waldbäume. Bis Mitte der 1990er Jahre waren Vergilbungen häufig beobachtet worden, seither ist die Vergilbungsrate merklich zurückgegangen. Im Jahr 2021 ist dieses Merkmal nicht aufgetreten. Die von den Waldbesitzern und Forstbetrieben durchgeführten Waldkalkungen mit magnesiumhaltigen Kalken und der Rückgang der Schwefelemissionen haben dazu beigetragen, das Auftreten dieser Mangelerscheinung zu reduzieren.

Anteil an den Vergilbungsstufen, alle Baumarten, alle Alter in %



Fazit

Die Nachwirkungen von Stürmen, Hitze- und Trockenperioden sowie Insektenbefall seit 2018 sind auch 2021 in den Wäldern unübersehbar. Die Ergebnisse der Waldzustandserhebung zeigen ab 2019 die höchsten Anteile an stark geschädigten und abgestorbenen Bäumen in der Zeitreihe. In diesen Jahren sind strukturelle Störungen in Form von Blößen und Freiflächen entstanden. Die Krise der Wälder hält weiter an, Folgeschäden werden vermutlich auch in den nächsten Jahren noch festzustellen sein.

Kiefer

Die WZE-Ergebnisse für die Kiefern zeigen eine moderate Reaktion auf das Witterungsgeschehen der letzten Jahre. Schadensausmaß und -intensität sind bei der Kiefer geringer als bei Fichten, Buchen und Eichen. Gleichwohl gibt es auch bei der Kiefer lokale Schäden durch Sturm, Pilzbefall und Trockenheit.

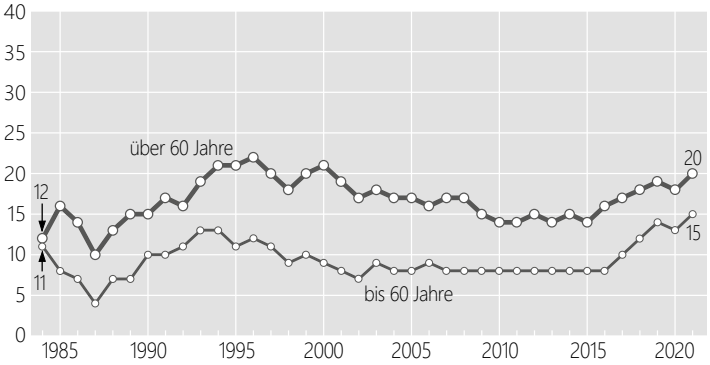
Ältere Kiefer

Die älteren Kiefern weisen über den gesamten Erhebungszeitraum einen stabilen, vergleichsweise niedrigen Kronenverlichtungsgrad auf. Die Verlichtungswerte der älteren Kiefern bleiben durchgehend unter denen von älteren Fichten, Buchen und Eichen. Die mittlere Kronenverlichtung der älteren Kiefern ist 2021 gegenüber dem Vorjahr um 2 Prozentpunkte auf 20 % angestiegen.

Jüngere Kiefer

Die Unterschiede im Kronenverlichtungsgrad zwischen den Altersgruppen sind bei der Kiefer im Vergleich zu den anderen Hauptbaumarten nur gering ausgeprägt. Die mittlere Kronenverlichtung der jüngeren Kiefern hat sich in den letzten Jahren erhöht (2021: 15 %).

Mittlere Kronenverlichtung in %



Anteil starker Schäden (inkl. abgestorbener Bäume), alle Alter in %

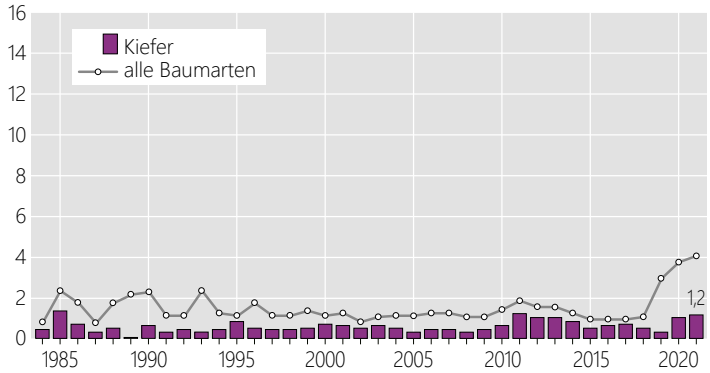


Foto: J. Evers

Foto: J. Evers

Starke Schäden

Auch bei den starken Schäden heben sich die Ergebnisse der Kiefer von denen der anderen Baumarten ab. Im Erhebungszeitraum treten nur geringe Schwankungen auf. Der Anteil an starken Schäden ist bei den jüngeren und älteren Kiefern etwa gleich. Im langjährigen Mittel liegt der Anteil starker Schäden unter 1 %. 2021 sind 1,2 % der Kiefern stark geschädigt.

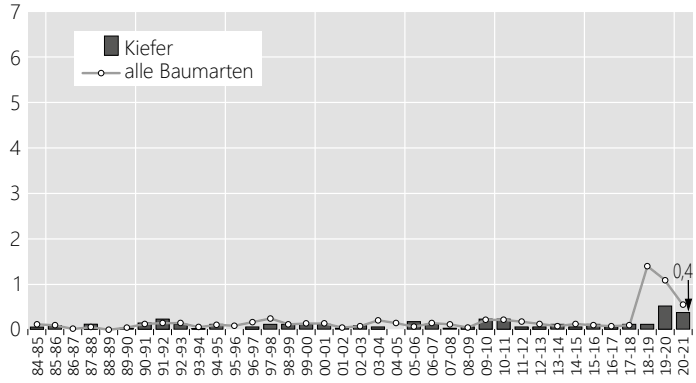
Absterberate

Die Absterberate der Kiefer lag bis 2019 ebenfalls bemerkenswert niedrig (0-0,3 %). 2020 und 2021 ist die Absterberate überdurchschnittlich (2021: 0,4 %).

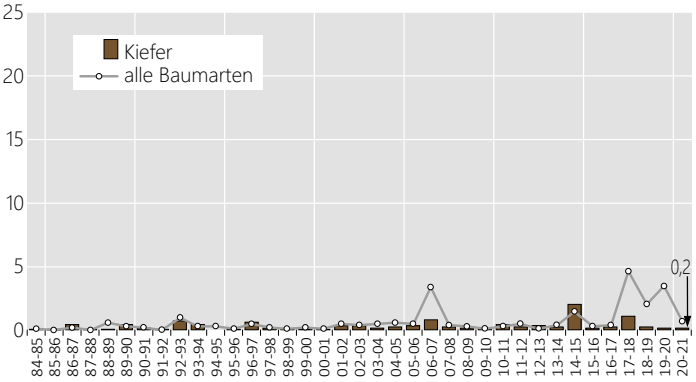
Ausfallrate

Jährlich fallen im Durchschnitt 0,4 % der Kiefern aufgrund außerplanmäßiger Nutzung (als Schadholz entnommene Bäume) aus. Auch 2021 bleibt die Ausfallrate gering (0,2 %).

Jährliche Absterberate (stehende Bäume), alle Alter in %



Jährliche Ausfallrate (als Schadholz entnommene Bäume), alle Alter in %



Fichte

Die Vitalitätsverschlechterung der Fichte in den letzten Jahren ist die stärkste seit Jahrzehnten. Die Dimension der Schäden zeigt sich insbesondere in den außerordentlich hohen Anteilen starker Schäden, Absterbe- und Ausfallraten. Die Stabilität der Fichtenbestände ist erheblich beeinträchtigt.

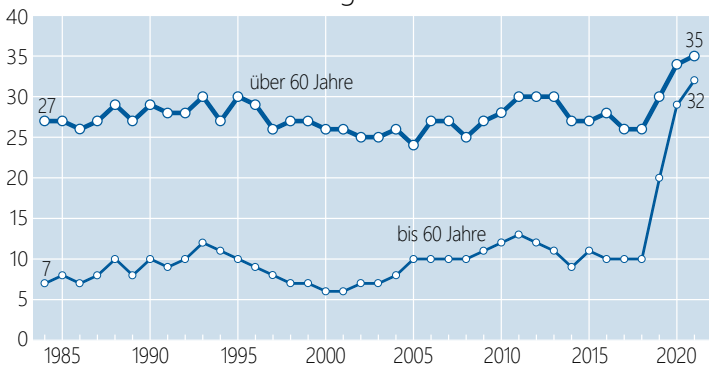
Ältere Fichte

Im gesamten Beobachtungszeitraum werden für die älteren Fichten anhaltend hohe Kronenverlichtungswerte zwischen 24 und 30 % festgestellt. 2021 erreicht die mittlere Kronenverlichtung mit 35 % ein Maximum in der Zeitreihe der Waldzustandserhebung.

Jüngere Fichte

Für die Fichte war bis 2018 ein deutlicher Alterstrend festzustellen. Die mittlere Kronenverlichtung der jüngeren Fichten lag weit unter den Werten der älteren Fichten. Nach einem starken Schadanstieg bei den jüngeren Fichten zwischen 2018 und 2021 haben sich die Werte angenähert und das Schadniveau beider Altersgruppen ist jetzt fast gleich hoch.

Mittlere Kronenverlichtung in %



Anteil starker Schäden (inkl. abgestorbener Bäume), alle Alter in %

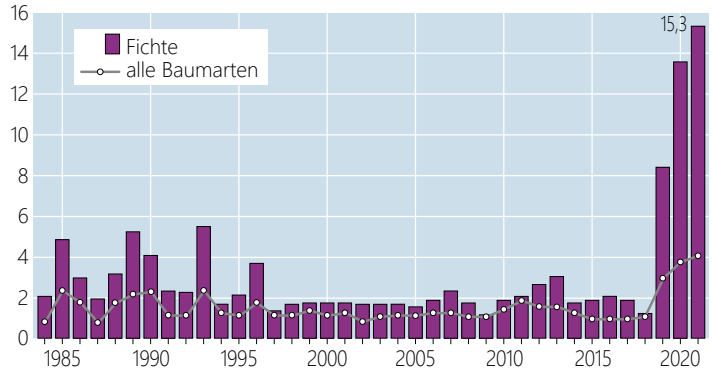


Foto: J. Weymar

Starke Schäden

Für die Fichten wurden bis 1996 wiederholt erhöhte Anteile an starken Schäden (bis 5,5 %) festgestellt. Bis Mitte der 1990er Jahre haben mittlere und starke Vergilbungen von >25 % der Nadelmasse, die zur Einstufung in die nächsthöhere Schadstufe führen, eine bedeutsame Rolle gespielt. Mit dem Rückgang der Vergilbung gingen bei der Fichte auch die Anteile an starken Schäden zurück. Zwischen 1997 und 2018 sind dann nur leichte Schwankungen aufgetreten. Anschließend zeigt sich ein grundlegend anderes Bild: 2019 stieg der Anteil starker Schäden auf 8,4 % und 2020 wurde ein neuer Höchststand mit einem Anteil von 13,6 % erreicht. 2021 ist der Anteil stark geschädigter Fichten nochmals angestiegen (15,3 %).

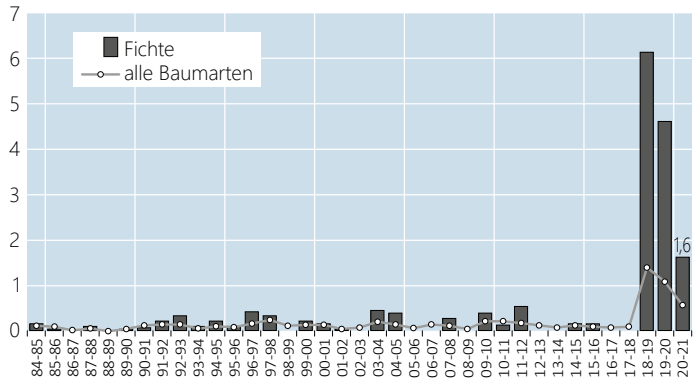
Absterberate

Die Absterberate der Fichte (alle Alter) schwankt im Erhebungszeitraum bis 2018 nur wenig (0-0,5 %). 2019 und 2020 sind viele Fichten abgestorben (6,1 % bzw. 4,6 %). 2021 ist die Absterberate mit 1,6 % geringer als in den beiden Vorjahren, aber gegenüber dem Mittel der Zeitreihe (0,5 %) um das Dreifache erhöht.

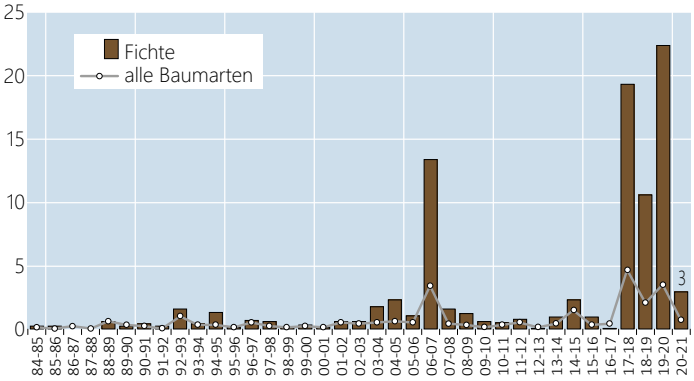
Ausfallrate

Der Anteil als Schadholz entnommener Fichten liegt im Mittel der Beobachtungsjahre bei jährlich 2,5 %. Im Zeitraum 2018-2020 mussten aufgrund von Sturmschäden und Borkenkäferbefall sehr viele Fichten außerplanmäßig genutzt werden. 2021 ist die Ausfallrate fast durchschnittlich (3 %). 2018 überwogen die Ausfälle durch Sturmschäden, 2019 bis 2021 sind die meisten Fichten aufgrund von Borkenkäferbefall entnommen worden.

Jährliche Absterberate (stehende Bäume), alle Alter in %



Jährliche Ausfallrate (als Schadholz entnommene Bäume), alle Alter in %



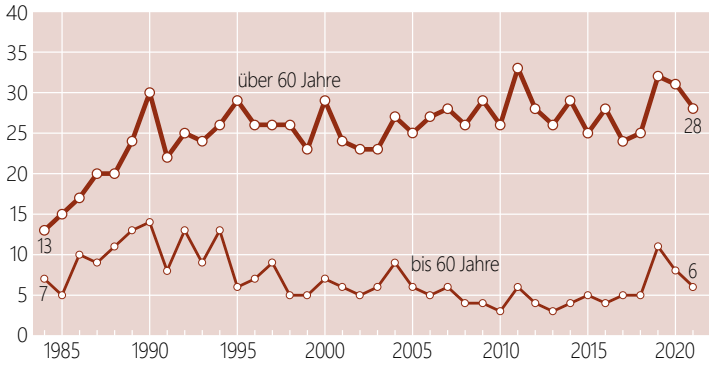
Buche

Nach zwei Jahren mit erhöhten Verlichtungswerten zeichnet sich für die Buche 2021 eine Verbesserung des Vitalitätszustandes ab.

Ältere Buche

Bei den älteren Buchen beträgt die mittlere Kronenverlichtung in diesem Jahr 28 % und liegt damit um 3 Prozentpunkte unter dem Vorjahreswert.
Auffällig sind bei der Buche die Schwankungen von Jahr zu Jahr. Eine Ursache für die zunehmende Variabilität der Verlichtungswerte der älteren Buchen ist die Intensität der Fruchtbildung. In Jahren mit intensiver Fruchtbildung steigen die Kronenverlichtungswerte an, in den Folgejahren ohne Fruchtbildung weisen die Buchen dann wieder eine dichtere Belaubung auf.

Mittlere Kronenverlichtung in %



Jüngere Buche

Bei der Buche sind die Unterschiede in der Belaubungsdichte zwischen jüngeren und älteren Beständen besonders stark ausgeprägt. Die jüngeren Buchen weisen seit 1995 ein geringes Kronenverlichtungsniveau auf. Nach einer kurzfristigen Erhöhung 2019 und 2020 ist die mittlere Kronenverlichtung 2021 mit 6 % wieder auf dem niedrigen Niveau vor Beginn der Trockenjahre angekommen.

Starke Schäden

Auch beim Anteil starker Schäden treten bei den Buchen im Beobachtungszeitraum Schwankungen auf. Seit 2019 wird das langjährige Mittel (2,1 %) überschritten. 2021 sind 3,3 % der Buchen stark geschädigt.

Anteil starker Schäden (inkl. abgestorbener Bäume), alle Alter in %

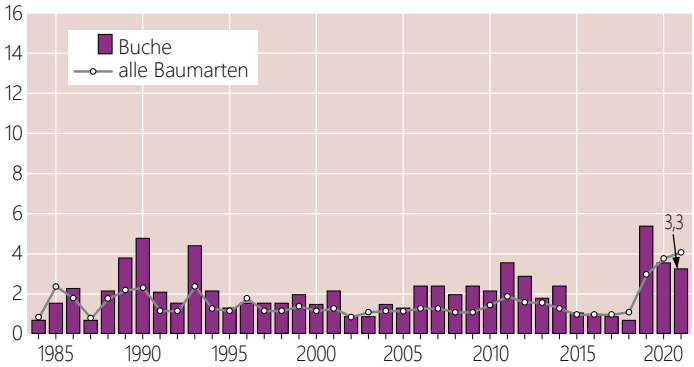


Foto: J. Evers

Buche

Foto: J. Evers

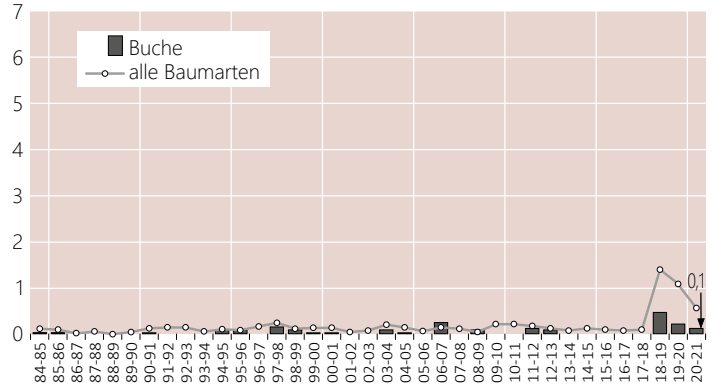
Absterberate

Die Buche weist eine auffallend niedrige Absterberate auf. Im Mittel der Zeitreihe liegt die Absterberate der Buche bei nur 0,06 %. 2019 bis 2021 sind mehr Buchen abgestorben. Gerade weil in den letzten Jahrzehnten kaum Buchen abgestorben sind, sind die Absterbeerscheinungen der letzten Jahre besonders auffällig.

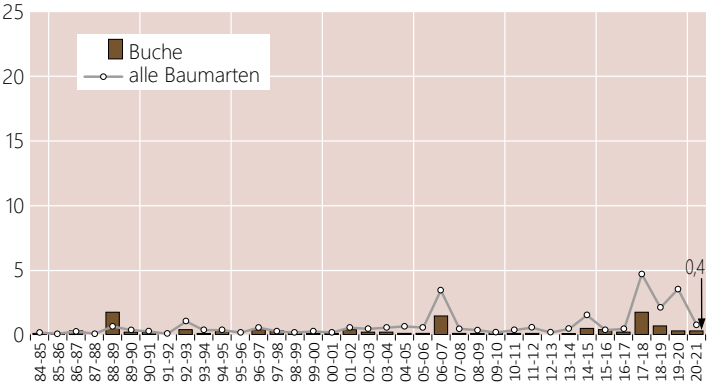
Ausfallrate

Die durchschnittliche Ausfallrate der Buche ist niedrig (0,3 %). 2021 sind 0,4 % der Buchen als Schadholz entnommen worden.

Jährliche Absterberate (stehende Bäume), alle Alter in %



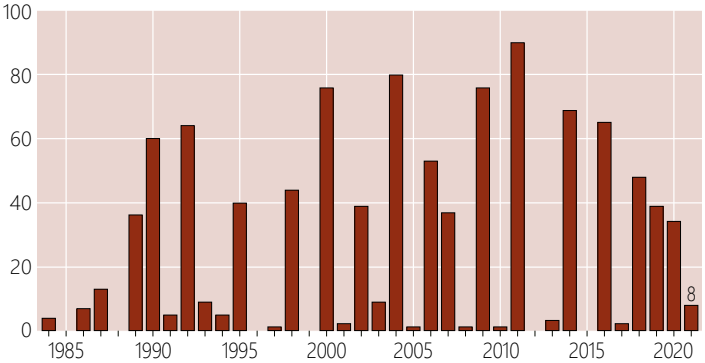
Jährliche Ausfallrate (als Schadholz entnommene Bäume), alle Alter in %



Fruchtbildung

Die Ergebnisse zur Fruchtbildung im Rahmen der Waldzustandserhebung zeigen die Tendenz, dass die Buchen in kurzen Abständen und vielfach intensiv fruktifizieren. Dies steht im Zusammenhang mit einer Häufung warmer Jahre sowie einer erhöhten Stickstoffversorgung der Bäume. Geht man davon aus, dass eine starke Mast erreicht wird, wenn ein Drittel der älteren Buchen mittel oder stark fruktifiziert, ergibt sich rechnerisch für den Beobachtungszeitraum der Waldzustandserhebung 1984-2021 alle 2,2 Jahre eine starke Mast. Literaturrecherchen hingegen ergaben für den Zeitraum 1839-1987 Abstände zwischen zwei starken Masten für 20-Jahresintervalle zwischen 3,3 und 7,1 Jahren.
In den Jahren 2018 bis 2020 zeigte sich erstmals im Beobachtungszeitraum eine Aneinanderreihung von drei Jahren mit intensiver Fruchtbildung.

Anteil mittel und stark fruktifizierender älterer Buchen in %



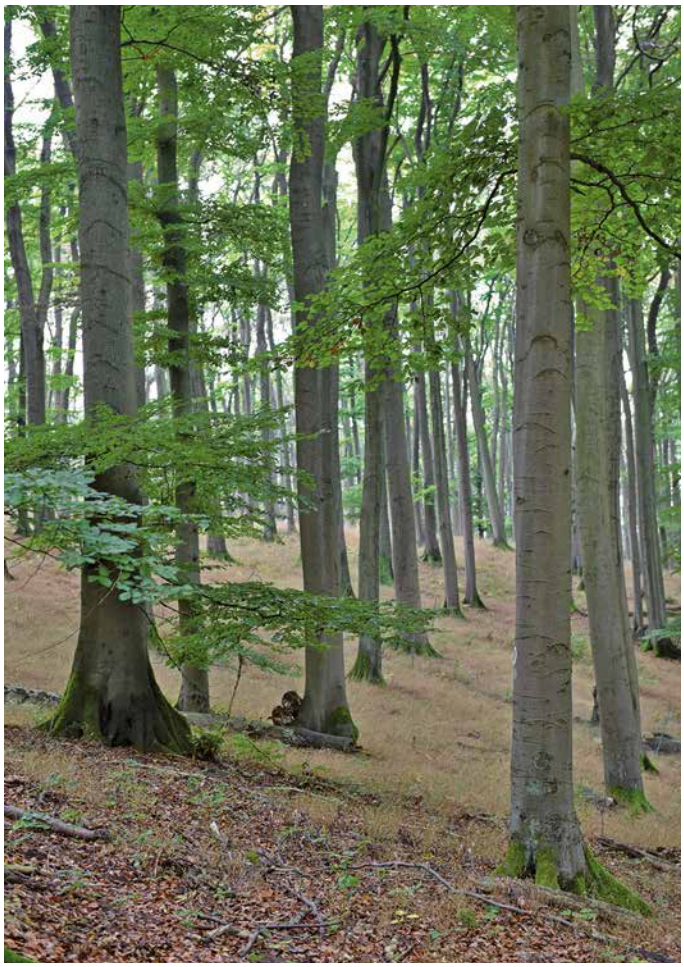


Foto: J. Evers

Eiche

Bei der Eiche war nach 2018 keine abrupte Vitalitätsverschlechterung festzustellen. Die Kronenverlichtung befindet sich seit sechs Jahren auf erhöhtem Niveau.

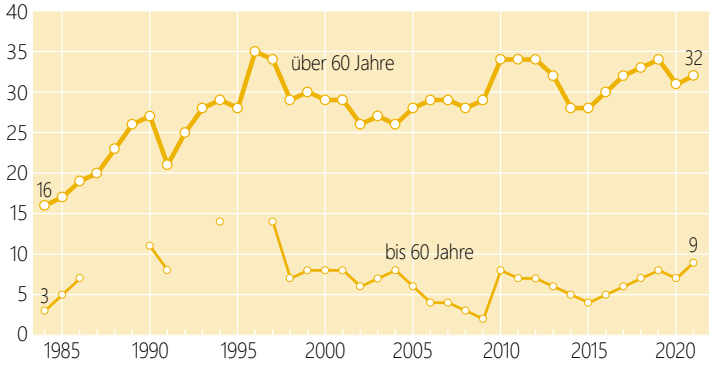
Ältere Eiche

In der Zeitreihe der mittleren Kronenverlichtung der älteren Eichen treten die höchsten Verlichtungswerte (>30 %) in den Jahren 1996-1997 und 2010-2013 unter dem Einfluss von Insekten- und Pilzbefall auf. Für den allmählichen Anstieg der Verlichtung seit 2015 spielt die Eichenfraßgesellschaft allerdings keine Rolle, da in diesem Zeitraum nur moderate Fraßschäden beobachtet wurden. 2021 liegt die mittlere Kronenverlichtung weiterhin über 30 % (32 %).

Jüngere Eiche

Die Kronenentwicklung der Eichen in der Altersstufe bis 60 Jahre zeigt einen sehr viel günstigeren Verlauf als die Entwicklung der älteren Eichen. Mit einer mittleren Kronenverlichtung von 9 % wird für die jüngeren Eichen 2021 – trotz gestiegener Werte in den letzten Jahren – weiterhin ein niedriger Kronenverlichtungswert festgestellt.

Mittlere Kronenverlichtung in %



In den Jahren 1987-1989, 1992-1993 und 1995-1996 sind aufgrund des Stichprobenumfanges keine Aussagen für die Eiche bis 60 Jahre möglich.

Foto: F. Reinbold

Starke Schäden

Parallel zu den erhöhten Kronenverlichtungswerten in den Jahren 1996-1997 und 2010-2013 waren in diesen Phasen auch erhöhte Anteile starker Schäden zu verzeichnen. Im Durchschnitt der Zeitreihe sind 2,2 % der Eichen als stark geschädigt eingestuft worden. Der diesjährige Anteil stark geschädigter Eichen (2,7 %) ist nicht durch Insektenfraß bedingt.

Anteil starker Schäden (inkl. abgestorbener Bäume), alle Alter in %

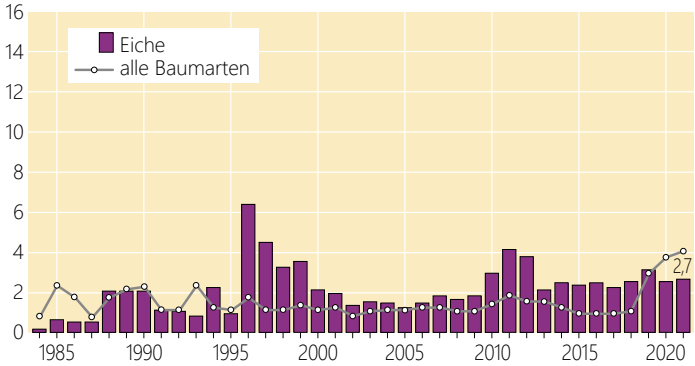


Foto: J. Weymar

Eiche

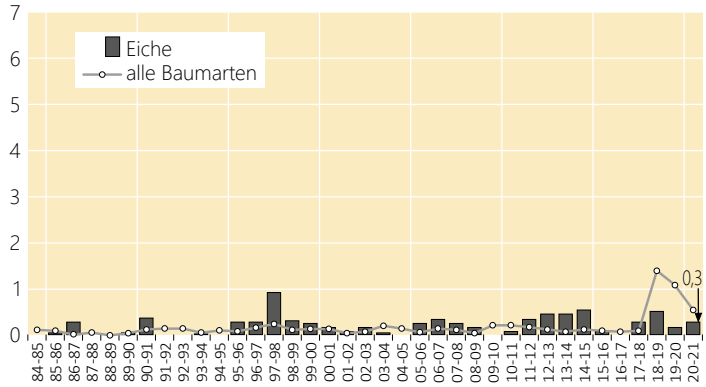
Absterberate

Die Absterberate der Eiche liegt im Mittel der Jahre 1984-2021 bei 0,2 %. Überdurchschnittliche Absterberaten wurden jeweils im Anschluss an starken Insektenfraß ermittelt. Am höchsten war die Absterberate 1998 (0,9 %). Im Jahr 2021 ist die Absterberate (0,3 %) etwas höher als der Durchschnittswert.

Ausfallrate

In allen Erhebungsjahren ist die Ausfallrate der Eiche sehr gering, im Mittel liegt sie bei 0,3 %. Nach einer Erhöhung 2018 und 2019 (1,1 %) ist die aktuelle Ausfallrate niedriger (0,3 %).

Jährliche Absterberate (stehende Bäume), alle Alter in %



Jährliche Ausfallrate (als Schadholz entnommene Bäume), alle Alter in %

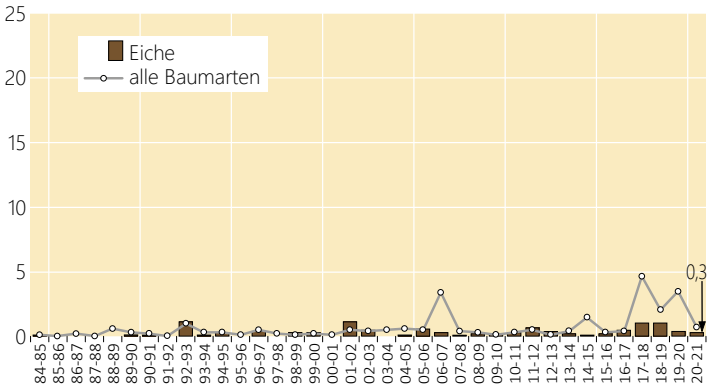


Foto: J. Evers

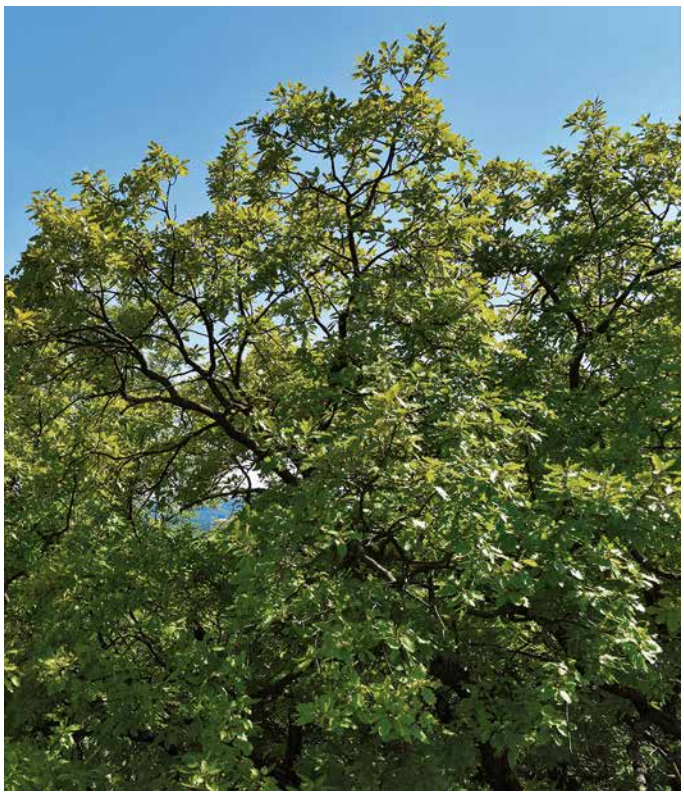
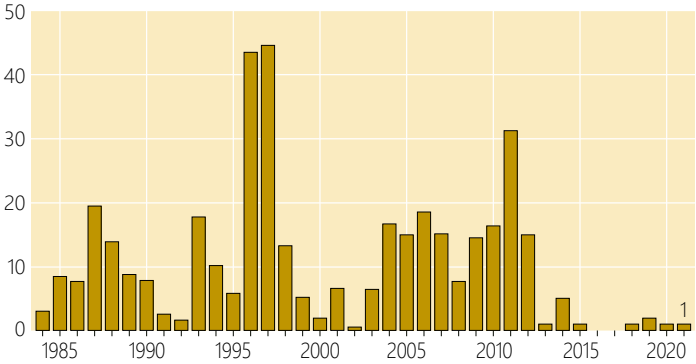


Foto: J. Evers

Fraßschäden

Die periodische Vermehrung von Insekten der so genannten Eichenfraßgesellschaft trägt maßgeblich zu den Schwankungen der Belaubungsdichte der älteren Eichen bei. Der Fraß an Knospen und Blättern durch die Eichenfraßgesellschaft wirkte sich besonders stark in den Jahren 1996-1997 und 2011 aus. Seit 2013 ist der Anteil mittlerer und starker Fraßschäden gering (2021: 1 %).

Anteil mittlerer und starker Fraßschäden an älteren Eichen in %



1984-2005: Einstufung in 4 Stufen, ab 2006: Einstufung in 5 %-Stufen, Fraßschäden >=15 % zählen zu den mittleren und starken Fraßschäden

Fruchtbildung

Die Fruchtbildung der Eiche ist zum Zeitpunkt der Waldzustandserhebung im Juli und August nur schwer einzuschätzen, weil die Eicheln dann noch sehr klein sind. Im Zuständigkeitsbereich der NW-FVA wurde daher für WZE-Punkte mit mindestens 17 Eichen im Alter über 60 Jahre im 8 km x 8 km-Raster eine zusätzliche Erfassung im September durchgeführt. Die Eichen an diesen Referenzpunkten, bestehend aus 13 WZE-Punkten, zeigten 2021 keine mittlere oder starke Fruktifikation.

Andere Laub- und Nadelbäume

In Niedersachsen wurden 2021 bei der Waldzustandserhebung als landesweite repräsentative Stichprobeninventur 30 Baumarten erfasst. Neben den Hauptbaumarten Kiefer, Fichte, Buche und Eiche kommt in den Wäldern eine Vielzahl von anderen Baumarten vor, die insgesamt 26 % der Stichprobenbäume der Waldzustandserhebung in Niedersachsen ausmachen. Jede Baumart für sich genommen ist allerdings zahlenmäßig so gering vertreten, dass allenfalls Trendaussagen zur Kronenentwicklung möglich sind. Bei den Ergebnissen der Waldzustandserhebung werden sie daher in den Gruppen andere Laubbäume und andere Nadelbäume zusammengefasst. Zu den anderen Laubbäumen gehören u. a. Esche, Ahorn, Linde und Hainbuche. Am häufigsten ist die Birke, gefolgt von der Erle. Die Gruppe der anderen Nadelbäume setzt sich vorwiegend aus Lärche und Douglasie zusammen.

Mittlere Kronenverlichtung

Nachdem die mittlere Kronenverlichtung der anderen Laubbäume (alle Alter) 2019 auf einen Höchststand in der 38-jährigen Zeitreihe angestiegen war, ist die Kronenverlichtung 2020 und 2021 niedriger (16 %). Bei den anderen Nadelbäumen (alle Alter) wurde der 2019 und 2020 festgestellte Höchststand (17 %) 2021 nochmals überschritten (19 %).

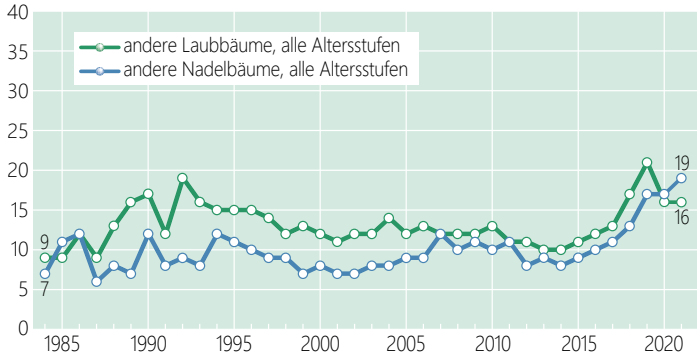
Starke Schäden

Für die anderen Laubbäume (alle Alter) schwanken die Anteile an starken Schäden von Jahr zu Jahr, im langjährigen Mittel wurden 1,6 % als stark geschädigt eingestuft. 2021 gibt es einen erneuten Anstieg (4,7 %). Bei den anderen Nadelbäumen wurden in den ersten Jahren der Waldzustandserhebung hohe Anteile an starken Schäden festgestellt, anschließend gingen die Werte zurück. Im Mittel sind 1 % der anderen Nadelbäume stark geschädigt. 2021 beträgt der Anteil 4,1 %.

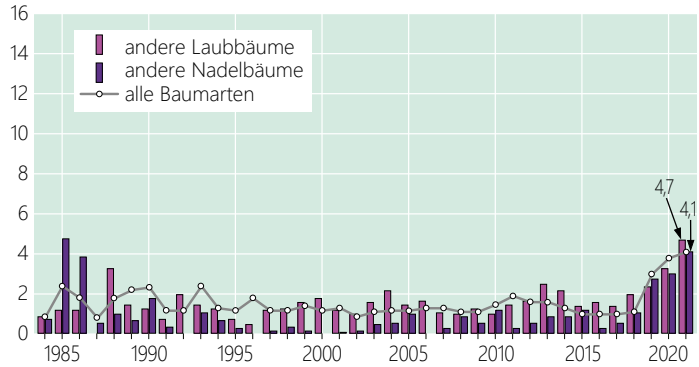
Hainbuche *Foto: M. Spielmann*

Spitzahorn *Foto: J. Evers*

Mittlere Kronenverlichtung in %



Anteil starker Schäden (inkl. abgestorbener Bäume), alle Alter in %



Andere Laub- und Nadelbäume

Schwarzerle *Foto: M. Spielmann*

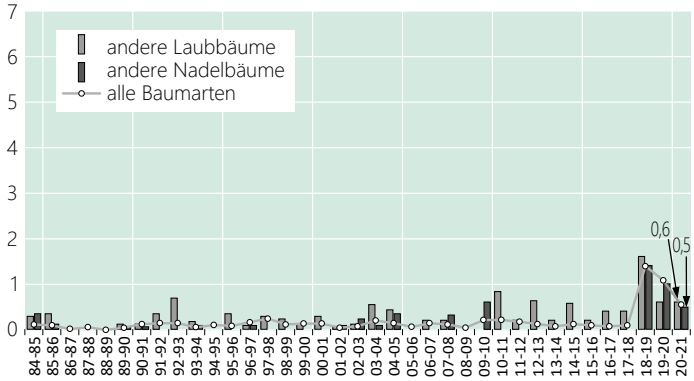
Absterberate

Die Absterberaten waren für beide Baumartengruppen 2019 die höchsten im Beobachtungszeitraum seit 1984. 2020 und 2021 sind sie im Vergleich zu 2019 niedriger, überschreiten aber weiterhin die Mittelwerte der Zeitreihe.

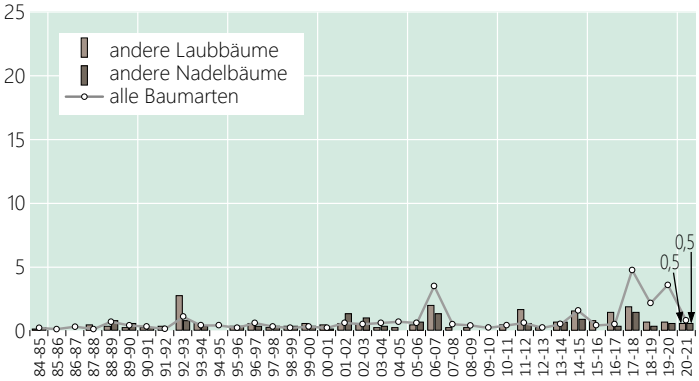
Ausfallrate

Beide Gruppen weisen im Erhebungszeitraum niedrige Ausfallraten auf. Dies gilt auch für 2021 mit 0,5 % ausgefallener Bäume.

Jährliche Absterberate (stehende Bäume), alle Alter in %



Jährliche Ausfallrate (als Schadholz entnommene Bäume), alle Alter in %



Esche *Foto: J. Evers*

Witterung und Klima

Johannes Sutmöller
https://doi.org/10.5281/zenodo.5636039

Das kalendarische Jahr 2020 war in Niedersachsen mit einer Mitteltemperatur von knapp 10,9 °C das wärmste Jahr seit Messbeginn im Jahr 1881. Gegenüber der Klimaperiode 1961-1990 bedeutet dies eine Abweichung von 2,2 K. Die Trockenheit setzte sich von 2018 bis 2020 unvermindert fort, sodass die Waldschäden in Niedersachsen ein bisher nicht beobachtetes Ausmaß annahmen. Im Jahr 2021 dominierten häufig Tiefdruck beeinflusste Wetterlagen. Die unbeständige Witterung beendete die mehrjährige Dürre in weiten Teilen von Niedersachsen.

Für eine flächenhafte Aussage werden die klimatologischen Größen Niederschlag und Temperatur anhand der Messstationen des Deutschen Wetterdienstes (DWD) ausgewertet. Die Messwerte werden mit einem kombinierten Regionalisierungsverfahren (Inverse Distance Weighting, Höhenregression) auf ein einheitliches Raster interpoliert. Für die aktuelle Auswertung wurde erstmals ein 50 Meter Raster (Digitales Höhenmodell) verwendet, sodass im Vergleich zu den Werten im letztjährigen Bericht geringfügige Abweichungen auftreten. Die Mitteltemperaturen werden in Grad Celsius (°C) und die Abweichung in Kelvin (K, entspricht °C) angegeben. Im Waldzustandsbericht wird die Witterung des aktuellen Vegetationsjahres beschrieben. Das Vegetationsjahr umfasst die Monate Oktober des Vorjahres bis einschließlich September des aktuellen Jahres.

Mit dem Jahr 2020 endete die international gültige Klimanormalperiode 1961-1990. Diese wurde durch die neue Referenzperiode 1991-2020 abgelöst. Ein Vergleich der Klimaperiode 1961-1990 mit der neuen Referenzperiode von 1991-2020 zeigt deutlich, dass die Klimaveränderung in Niedersachsen bereits zu einer signifikanten Erwärmung geführt hat (s. Tabelle Seite 19). Um den anthropogen verursachten Erwärmungstrend zu verdeutlichen, werden im Text die Monatsmittelwerte des aktuellen Vegetationsjahres weiterhin mit den langjährigen Werten der Klimaperiode 1961-1990 verglichen.

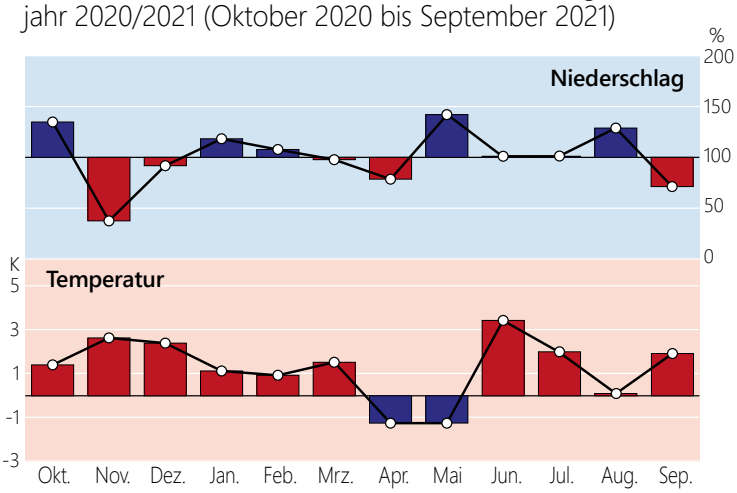
Nach drei sehr trockenen und warmen Jahren entsprach im Vegetationsjahr 2020/2021 die Niederschlagsmenge mit 755 mm im Flächenmittel des Landes dem langjährigen Mittel. Im Gegensatz zu den vergangenen Jahren kam es zu keiner ausgeprägten Trockenperiode, sodass das pflanzenverfügbare Wasser in den Waldböden während der Vegetationszeit ausreichte, um die Wasserversorgung der Waldbestände zu gewährleisten. Die Vegetationszeit war in Teilen Niedersachsens deutlich feuchter als normal.

Die Jahresmitteltemperatur betrug im Vegetationsjahr 2020/2021 im Landesmittel von Niedersachsen 9,9 °C. Damit war auch dieses Jahr wärmer als das langjährige Mittel. Die Jahresmitteltemperatur lag um 1,3 K über dem Mittelwert von 8,6 °C der Periode 1961-1990. Besonders das kühle Frühjahr hatte zur Folge, dass die Temperaturerhöhung nicht stärker ausfiel.

Witterungsverlauf von Oktober 2020 bis September 2021

Der **Oktober** 2020 war nass, sonnenscheinarm und mild. Nach dem trockenen Sommer führte verstärkte Tiefdrucktätigkeit zu häufigen und flächendeckenden Niederschlägen. Das Niederschlagssoll wurde mit 78 mm im Flächenmittel um 35 % übertroffen, sodass die Bodenfeuchte in den oberen Schichten deutlich zunahm. Die Mitteltemperatur lag in Niedersachsen bei 11,0 °C und damit 1,4 K über dem langjährigen Durchschnittswert (Abb. unten, Tabelle Seite 19). Die Witterung

Abweichungen von Niederschlag und Temperatur vom Mittel der Klimaperiode 1961-1990 (durchgezogene schwarze Linie) in Niedersachsen, Monatswerte für das Vegetationsjahr 2020/2021 (Oktober 2020 bis September 2021)



Daten des Deutschen Wetterdienstes, Offenbach

Foto: M. Spielmann

Witterung und Klima

war im **November** überwiegend durch Hochdruckeinfluss geprägt. Die Niederschlagshöhe betrug 25 mm und damit nur rund 35 % des üblichen Solls. Aufgrund der jahreszeitlich bedingten geringen Verdunstung nahm die Bodenfeuchte jedoch kaum ab. Die Monatsmitteltemperatur von 7,5 °C übertraf das langjährige Mittel um 2,5 K. Anfang des Monats wurden an vielen Stationen des DWD neue Allzeitrekorde der Tageshöchsttemperatur für November gemessen (z. B. Hannover und Göttingen jeweils 20,7 °C). Im **Dezember** wurden auf der Vorderseite von Tiefdruckgebieten über Westeuropa mit einer südlichen Luftströmung häufig milde Luftmassen nach Niedersachsen herangeführt. Folglich fiel der Monat deutlich zu warm aus. Die Monatsmitteltemperatur von 4,3 °C lag um 2,4 K über dem Wert der Klimaperiode 1961-1990. Da jedoch meistens schwacher Hochdruckeinfluss überwog, fielen 90 % (65 mm) der üblichen Niederschlagsmenge. Zwar nahm die Bodenfeuchte weiter zu, lag jedoch in weiten Teilen von Niedersachsen weiter unter den langjährigen Mittelwerten. Nur im Westen des Landes entsprach die Bodenfeuchtesituation den langjährigen Mittelwerten.

Der Wechsel von kühlen und milden Luftmassen prägte das Witterungsgeschehen im **Januar** 2021. Mit einer Mitteltemperatur von 1,7 °C ergab sich eine Abweichung von rund +1,1 K zum langjährigen Mittel. Häufiger Tiefdruckeinfluss sorgte für reichlich Niederschlag, sodass mit 72 mm knapp 20 % mehr Niederschlag fiel als üblich. Infolge der niederschlagsreichen Witterung füllten sich die Wasserspeicher der oberen Bodenschichten deutlich auf. Der **Februar** war durch extreme Wettergegensätze gekennzeichnet. In der ersten Monatshälfte sorgte sibirische Kaltluft für nächtliche Tiefsttemperaturen, die häufig unter -20 °C lagen. Vielfach bildete sich auch in tieferen Lagen eine mächtige Schneedecke. An einigen Messstationen wurden Rekordschneehöhen gemessen. Ab Mitte des Monats führte subtropische Warmluft zu extremen Temperatursprüngen. In Göttingen wurde ein neuer Deutschlandrekord aufgestellt. Innerhalb von einer Woche stieg die Temperatur von -23,8 °C auf +18,1 °C (Differenz 41,9 K). Im Süden Deutschlands wurde teilweise eine Tageshöchsttemperatur von über 20 °C gemessen. Trotz der ausgeprägten Kälteperiode war der Februar 0,9 K wärmer als die durchschnittliche Monatsmitteltemperatur der Periode 1961-1990. Die Niederschläge erreichten mit 48 mm im Landesmittel knapp 110 % der üblichen Niederschlagsmenge, sodass auch in tieferen Bodenschichten der Wassergehalt weiter zunahm. Für eine vollständige Sättigung der Böden reichten die Niederschläge jedoch nicht aus.

Temperaturmittelwerte und Niederschlagssummen für das Vegetationsjahr 2020/2021 (Oktober 2020 bis September 2021) sowie die langjährigen Mittelwerte der Referenzperioden 1961-1990 und 1991-2020

	Temperatur (°C)			Niederschlag (mm)		
	2020/21	1961 - 1990**	1991 - 2020**	2020/21	1961 - 1990**	1991 - 2020**
Oktober	11,0	9,6	9,9	78	58	64
November	7,5	5,0	5,6	25	68	66
Dezember	4,3	1,9	2,8	65	71	73
Januar	1,7	0,6	2,0	72	61	69
Februar	2,0	1,1	2,3	48	44	53
März	5,4	3,9	5,1	54	56	55
April	6,2	7,4	9,1	40	52	42
Nicht-vegetationszeit	**5,4**	**4,2**	**5,3**	**383**	**410**	**422**
Mai	10,9	12,2	13,0	88	62	58
Juni	18,7	15,3	16,1	76	75	68
Juli	18,7	16,7	18,2	75	74	81
August	16,6	16,5	17,9	91	70	75
September	15,4	13,5	14,2	43	61	65
Vegetationszeit	**16,1**	**14,8**	**15,9**	**372**	**342**	**347**
Vegetationsjahr	**9,9**	**8,6**	**9,7**	**755**	**752**	**769**

zu kalt* -5 K -3 K -1 K +1 K +3 K +5 K zu warm*

zu nass* 175 % 150 % 125 % 75 % 50 % 25 % zu trocken*

* Abweichung zur Periode 1961-1990, ** Neuberechnung (50 m Digitales Höhenmodell)

Foto: J. Weymar

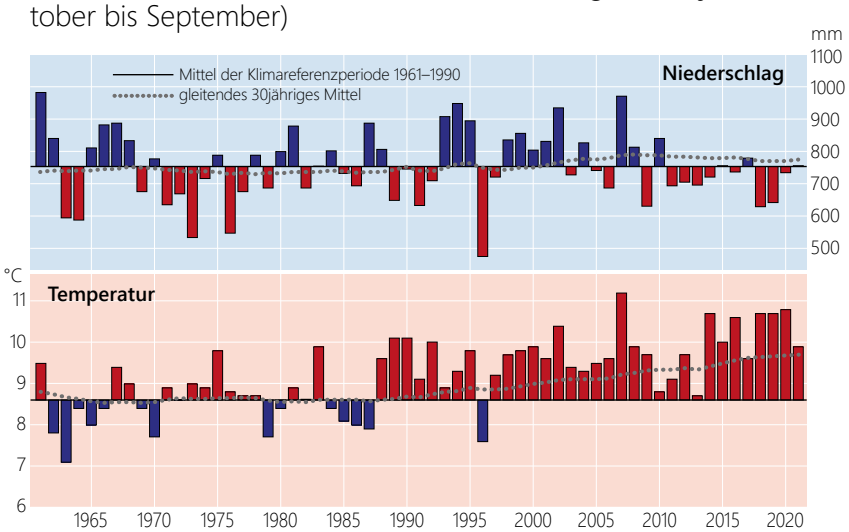
Es folgte ein milder und sonnenscheinreicher **März**. Im Landesmittel von Niedersachsen fielen 54 mm Niederschlag. Dies entspricht knapp der üblichen Niederschlagsmenge. Die Monatsmitteltemperatur betrug 5,4 °C und lag damit um 1,5 K über dem langjährigen Durchschnittswert. Zum Ende des Monats verzeichneten einige Stationen in Niedersachsen den ersten Sommertag (Tageshöchsttemperatur >25 °C) des Jahres. Mit einsetzender Pflanzenentwicklung trockneten die Oberböden langsam aus, allerdings stellte sich die Bodenfeuchtesituation nicht annähernd so ungünstig dar, wie in den Jahren zuvor.

Im **April** endete die 10-monatige Abfolge zu warmer Monate. Häufige Nordwetterlagen dämpften das Temperaturniveau. Die Monatsmitteltemperatur war mit 6,2 °C nur wenig höher als im März, sodass der April 2021 zu den kältesten der letzten Jahrzehnte zählt. Die Abweichung zum vieljährigen Mittelwert betrug -1,2 K. Infolge der trocken-kühlen Witterung fielen mit 40 mm nur rund 80 % des Niederschlagssolls. Die niedrigen Temperaturen verzögerten die Vegetationsentwicklung deutlich, sodass die Böden zwar weiter austrockneten, aber das niedrige Niveau der Jahre 2019 und 2020 bei weitem nicht erreicht wurde. Die kühle Witterung setzte sich im **Mai** unvermindert fort. Im Gegen-

Foto: J. Weymar

satz zum April führte eine vermehrte Tiefdrucktätigkeit zu häufigen Niederschlagsereignissen. Im Landesmittel fielen 88 mm Niederschlag und damit 40 % mehr als im Mittel der Periode 1961-1990. Zu Beginn des Monats machten sich vorgezogene ‚Eisheilige' mit einigen Frostnächten bemerkbar. Die kühle Witterung führte zu einer Temperaturabweichung von -1,3 K zum langjährigen Monatsmittel. Infolge der niedrigen Temperaturen war auch die Verdunstung geringer als im Mai üblich, sodass die Bodenwasservorräte nur langsam abnahmen. Allerdings waren im Osten und Süden von Niedersachsen die Bodenfeuchtewerte weiterhin niedriger als im langjährigen Mittel. Der **Juni** zeigte sich von seiner hochsommerlichen Seite. Die Monatsmitteltemperatur von 18,7 °C wich um +3,4 K vom vieljährigen Mittel ab. Damit war der Juni der Drittwärmste seit Beginn der Beobachtungen im Jahr 1881. Mitte des Monats führte die erste und einzige Hitzewelle des Sommers zu Tageshöchsttemperaturen von mehr als 30 °C und einigen Tropennächten (Tagestiefsttemperatur >20 °C). Infolge häufiger auch großräumiger Gewitterlagen wurden im Landesmittel von Niedersachsen 76 mm Niederschlag gemessen. Dies entspricht annähernd der üblichen Niederschlagsmenge,

Abweichungen von Niederschlag und Temperatur vom Mittel der Klimaperiode 1961-1990 (durchgezogene schwarze Linie) und gleitendes Mittel der letzten 30 Jahre (gepunktete graue Linie) in Niedersachsen, Jahreswerte für das Vegetationsjahr (Oktober bis September)



Daten des Deutschen Wetterdienstes, Offenbach

sodass sich die Bodenfeuchtesituation günstiger darstellte als in den vergangenen zwei Jahren. Es folgte ein warmer jedoch sonnenscheinarmer **Juli**. Insgesamt fielen in Niedersachsen im Flächenmittel 75 mm Niederschlag Dies entspricht dem langjährigen Mittel. Dabei fiel im Westen von Niedersachsen deutlich mehr Niederschlag als im Osten des Landes. Hier wurde regional weniger als 75 % des Niederschlagssolls gemessen. In weiten Teilen des Landes stellte sich die Bodenfeuchtesituation deutlich günstiger dar als in den vergangenen Jahren. In Erinnerung wird das Unwettertief ‚Bernd' bleiben, das im Westen von Deutschland extreme Niederschläge auslöste und zu der Jahrhundertflut in einigen Mittelgebirgstälern in Rheinland-Pfalz und Nordrhein-Westfalen führte. Die Monatsmitteltemperatur betrug 18,7 °C und lag damit 2 K über dem langjährigen Wert der Klimaperiode 1961-1990. Auch der **August** war in Niedersachsen sehr unbeständig. Mit 91 mm wurde das Monatssoll um 30 % übertroffen. Dabei war es im Südwesten trockener als in den übrigen Landesteilen. Die Bodenfeuchtesituation stellte sich im Land sehr unterschiedlich dar. Während in den niederschlagsreichen Regionen die Bodenwasserspeicher gut gefüllt waren, wurden im Süden und im äußersten Osten von Niedersachsen die langjährigen Bodenfeuchtewerte unterschritten. Der August war geringfügig wärmer als normal und es wurden nur wenige Sommer- und kaum Hitzetage gemessen. Die Mitteltemperatur von 16,6 °C lag 0,1 K über dem langjährigen Wert der Periode 1961-1990. Zum Abschluss des Vegetationsjahres 2020/2021 folgte ein warmer, trockener und sonnenscheinreicher **September**. Es dominierten Hochdruckwetterlagen, sodass mit 43 mm im Landesdurchschnitt nur rund 70 % des Niederschlagssolls fiel. Zum Ende der Vegetationszeit trockneten die Oberböden langsam aus. Der September war mit einer Mitteltemperatur von 15,4 °C um 1,9 K wärmer als der langjährige Durchschnitt. Die überdurchschnittlich feuchte Vegetationszeit beendete die mehrjährige Dürre in den meisten Regionen von Niedersachsen. Allerdings haben sich die Bodenwasservorräte im Süden und im äußersten Osten des Landes noch nicht erholt.

Temperatur und Niederschlag im langjährigen Verlauf

Das Vegetationsjahr 2020/2021 war mit 9,9 °C im Flächenmittel von Niedersachsen knapp 1,3 K wärmer als der Mittelwert der Klimaperiode 1961-1990 und 0,2 K wärmer im Vergleich zur neuen Klimareferenzperiode 1991-2020. Der langfristige Erwärmungstrend setzt sich ungehindert fort, wie das gleitende Mittel der letzten 30 Jahre verdeutlicht (gepunktete Linie in der Abb. links). In den vergangenen 10 Jahren hat sich das gleitende Mittel der letzten 30 Jahre um knapp 0,4 K erhöht. Dies

würde bedeuten, dass bei gleich bleibendem Trend alle 25 Jahre die Jahresmitteltemperatur um 1 K ansteigt. Nach drei sehr trockenen Jahren war die Niederschlagsbilanz im aktuellen Vegetationsjahr ausgeglichen (Abb. Seite 20). Es fielen 755 mm im Landesmittel. In diesem Jahr überwog seit längerer Zeit die Anzahl der überdurchschnittlich feuchten Monate (7 Monate) die der zu trockenen Monate (5 Monate). Dies war letztmalig im Vegetationsjahr 2009/2010 der Fall.

Die Nichtvegetationszeit von Oktober 2020 bis April 2021 war 1,2 K milder als der langjährige Mittelwert der Klimaperiode 1961-1990. Die Mitteltemperatur betrug 5,4 °C (Abb. unten). Überdurchschnittlich warm war es in Teilen des Harzes und Harzvorlandes, während die Temperaturen im südlichen Niedersachsen um weniger als 1 K von den langjährigen Mittelwerten abwichen (Abb. Seite 22 links oben). In der Nichtvegetationszeit fielen im Landesmittel von Niedersachsen 383 mm Niederschlag und damit rund 10 % weniger als im vieljährigen Soll (Abb. unten). Im südöstlichen Niedersachsen betrug das Niederschlagsdefizit rund 20 %, im Harz teilweise mehr als 30 %. Nur im äußersten Westen des Landes wurde das Niederschlagssoll annähernd erreicht, regional sogar leicht übertroffen (Abb. Seite 22 links unten).

Die Vegetationszeit von Mai bis September 2021 war wärmer und feuchter als im Mittel der Periode 1961-1990 (Abb. unten). Im Flächenmittel des Landes Niedersachsen betrug die Mitteltemperatur 16,1 °C (+1,3 K). Überdurchschnittlich warm war es in weiten Teilen des ostniedersächsischen Tieflandes und im Bergland sowie in Teilen des Harzes. Im südwestlichen Niedersachsen war die Abweichung mit <1 K etwas geringer (Abb. Seite 22 rechts oben). In der Vegetationszeit fielen landesweit im Mittel 372 mm Niederschlag. Dies sind knapp 10 % mehr als im langjährigen Mittel. Allerdings fiel nicht überall mehr Niederschlag als üblich (Abb. Seite 22 rechts unten). So wurde im Süden und im äußersten Osten des Landes im Vergleich zum langjährigen Mittel der Klimaperiode 1961-1990 bis zu 10 % weniger Niederschlag gemessen. Wiederum wurden in Teilen des Harzes die größten Defizite von bis zu 20 % beobachtet. Besonders nass war es dagegen in der gesamten Nordwesthälfte.

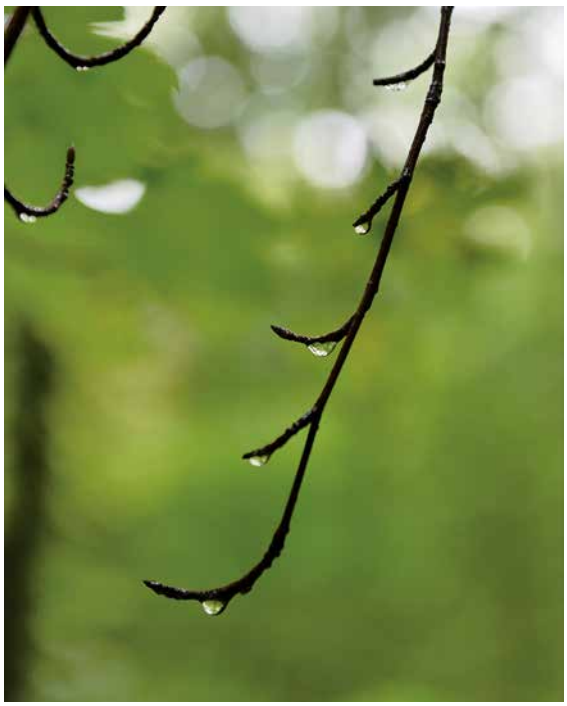
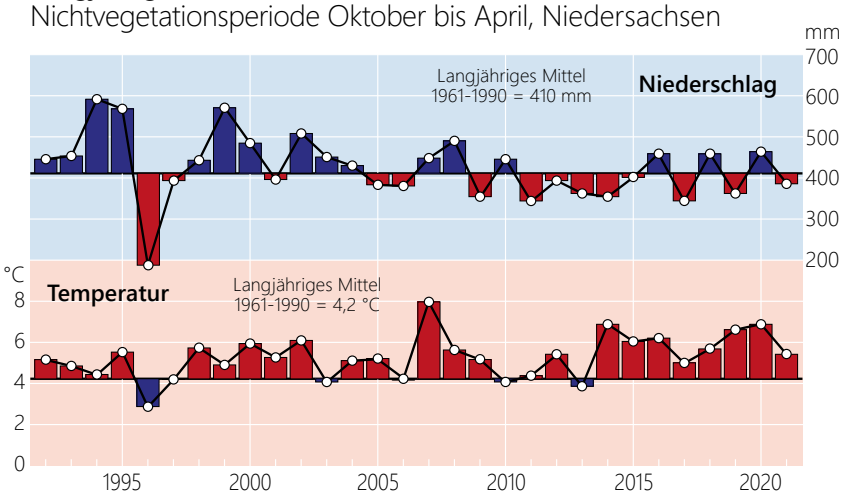
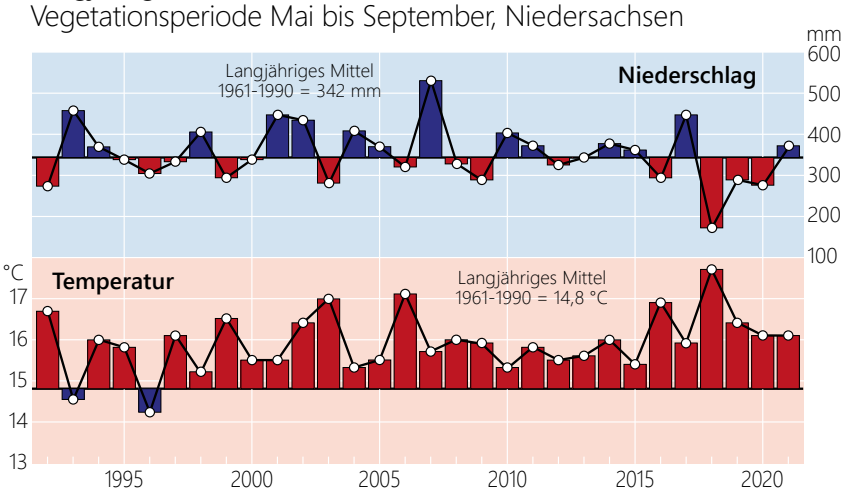


Foto: J. Evers

Langjährige Klimawerte (1992-2021)
Nichtvegetationsperiode Oktober bis April, Niedersachsen



Langjährige Klimawerte (1992-2021)
Vegetationsperiode Mai bis September, Niedersachsen



Daten des Deutschen Wetterdienstes, Offenbach

Fazit

- Auch das Vegetationsjahr 2020/2021 war mit einer Mitteltemperatur von 9,9 °C deutlich wärmer als der langjährige Mittelwert der Klimaperiode 1961-1990. Der langjährige Erwärmungstrend setzte sich unvermindert fort.
- Die Niederschlagsmenge im aktuellen Vegetationsjahr entsprach mit 755 mm dem langjährigen Mittel.
- Im Gegensatz zu den vergangenen Jahren kam es in diesem Jahr zu keiner ausgeprägten Trockenperiode.
- Während in weiten Teilen von Niedersachsen infolge der überdurchschnittlich feuchten Vegetationszeit die mehrjährige Dürre beendet wurde, haben sich die Bodenwasservorräte im Süden und im äußersten Osten des Landes noch nicht erholt.

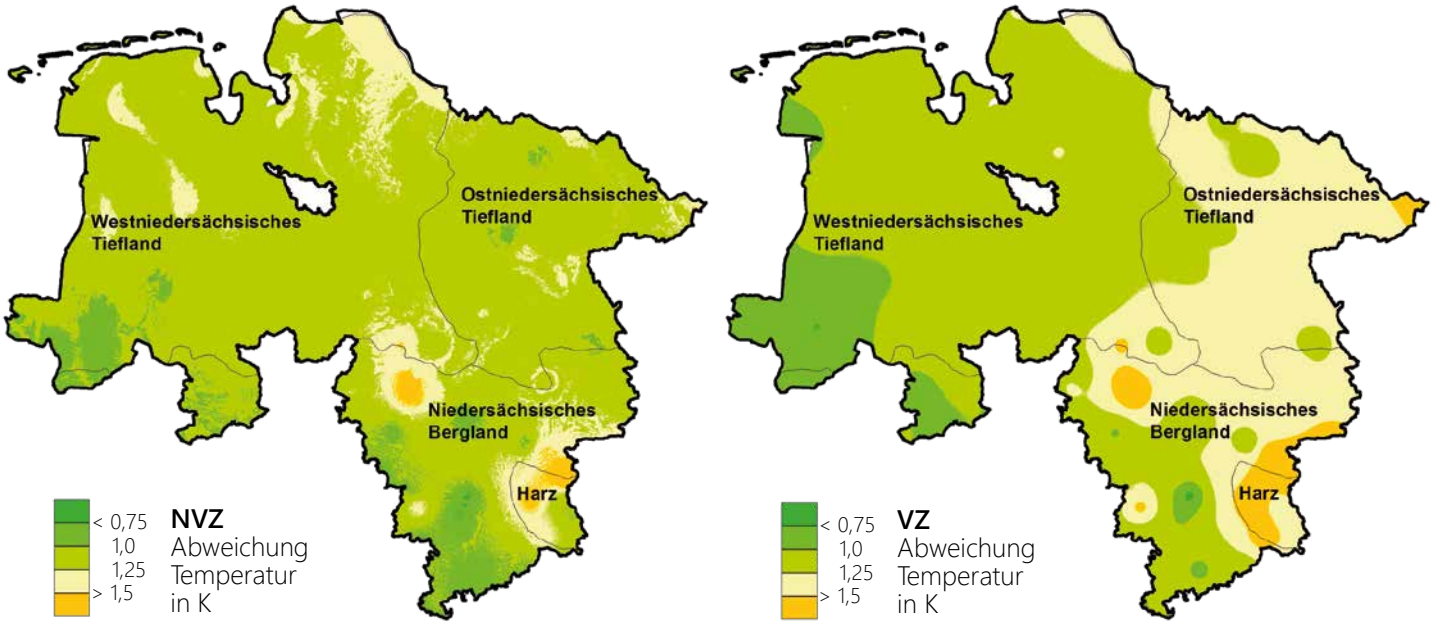
Literatur

Deutscher Wetterdienst (2020): Monatlicher Klimastatus Deutschland. DWD, Geschäftsbereich Klima und Umwelt, Offenbach, www.dwd.de/klimastatus

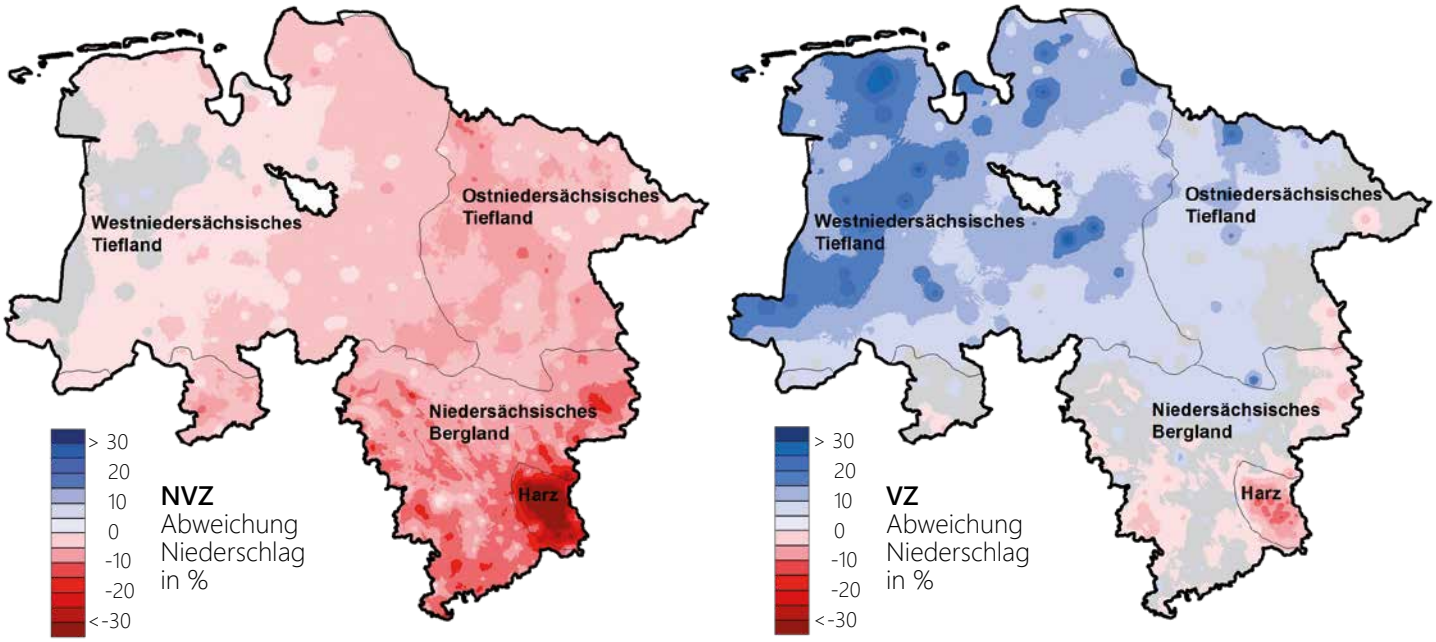
Deutscher Wetterdienst (2021): Monatlicher Klimastatus Deutschland. DWD, Geschäftsbereich Klima und Umwelt, Offenbach, www.dwd.de/klimastatus

Witterung und Klima

Abweichung der Temperatur vom langjährigen Mittel (1961-1990)
in der Nichtvegetationszeit (NVZ) 2020/2021 und in der Vegetationszeit (VZ) 2021



Abweichung der Niederschlagssumme vom langjährigen Mittel (1961-1990)
in der Nichtvegetationszeit (NVZ) 2020/2021 und in der Vegetationszeit (VZ) 2021



Daten des Deutschen Wetterdienstes, Offenbach

Foto: J. Evers

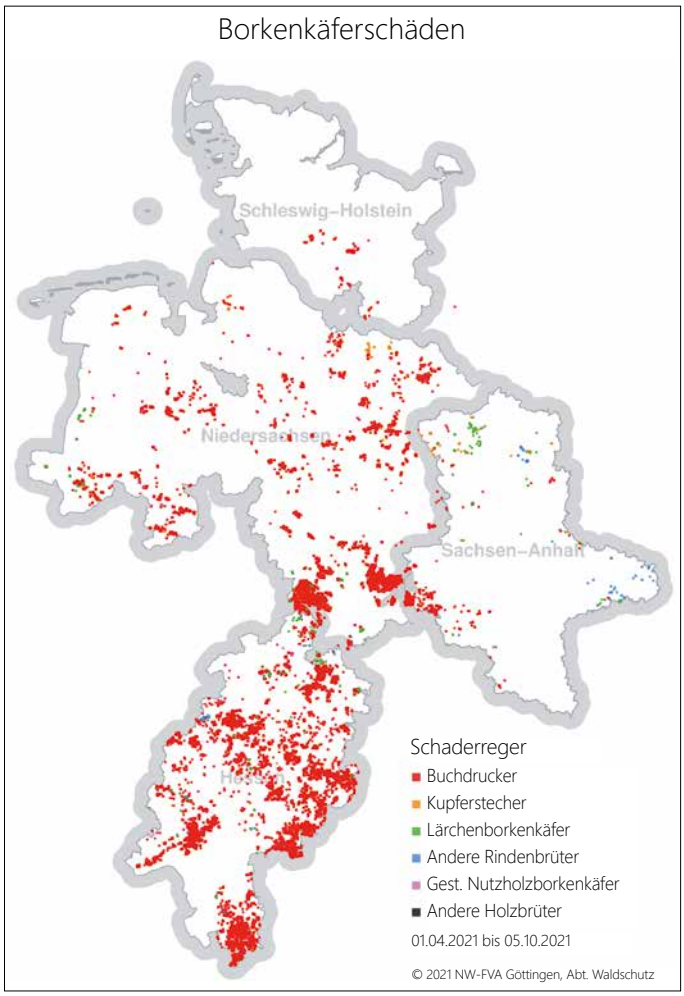
Insekten und Pilze

Martin Rohde, Rainer Hurling, Gitta Langer, Johanna Bußkamp, Pavel Plašil und Ines Graw
https://doi.org/10.5281/zenodo.5636049

Borkenkäfer

Die bereits seit 2018 laufende Borkenkäferkalamität ist auch 2021 in den Schwerpunktbefallsgebieten der Vorjahre noch nicht zum Stillstand gekommen, konnte aber teilweise spürbar eingedämmt werden.
2020 war in diesen stark bis extrem betroffenen Befallsbereichen eine zeitgerechte, vollständige Aufarbeitung von Schadholz oft nicht möglich und in Teilbereichen entkam eine sehr hohe Anzahl an **Buchdruckern** (*Ips typographus*) in die Überwinterung.
Die Witterung während der Käfersaison 2021 verlief recht wechselhaft. Kurze wärmere Phasen wurden oft durch kühlere, regnerische Phasen unterbrochen. Die überwiegend eher kühl-nasse Witterung der ersten Wochen des Frühjahrs ließ zunächst nur kleinere Flugaktivitäten der Borkenkäferarten zu. Ab der Wärmeperiode um Pfingsten herum setzte dann vielerorts stark ausgeprägter Schwärmflug des Buchdruckers ein. Teils extreme Mengen sehr vitaler Käfer trafen auf meist gegenüber den Vorjahren besser wasserversorgte und damit abwehrbereitere Fichten. Trotzdem kam es in den Befallsschwerpunkten binnen weniger Tage zu sehr umfangreichem frischen Stehendbefall. Schon in den ersten Befallstagen wurden massiv überbesiedelte Fichten beobachtet, was die Anlage von Geschwisterbruten zur Folge hatte.
Während der ersten Hitzeperiode Mitte Juni verlagerte sich der Neubefall vollständig ins Innere der Bestände. Stellenweise wurden Überflüge größerer Mengen schwärmender Käfer (zumeist passive Verdriftungen mit dem Wind) in bisher weniger betroffene oder sogar noch befallsfreie Gebiete beobachtet. Einige Reviere berichteten davon, dass trotz intensiver und erfolgreicher Sanierung der Schäden aus 2020 frischer Stehendbefall „aus dem Nichts" in historischem Ausmaß auftrat. Stellenweise kam es bei nicht mehr vorhandener, besiedelbarer Altfichte zu Ausweichreaktionen der Käfer. So wurden vermehrt jüngere Fichtenaltersklassen besiedelt, aber auch andere Baumarten wie Douglasie, Lärche, Kiefer und sogar Kulturen wurden zunehmend vom Buchdrucker befallen.
Die Entwicklung der Bruten der ersten Generation verlief lokal recht unterschiedlich. Das Maximum des Neubefalls zur Anlage der zweiten Generation wurde von etwa Ende Juli bis Mitte August verzeichnet. Insgesamt scheint sich die zweite Generation oft nicht gut zu entwickeln.
Trotz im Frühjahr beobachteter, enormer Mengen schwärmender **Kupferstecher** (*Pityogenes chalcographus*) scheinen insgesamt kaum erfolgreiche Besiedlungen stehender Bäume gelungen zu sein. Auch vom Buchdrucker befallene Fichten waren bis zur Fällung selbst im dünneren Material meist gänzlich frei von Kupferstecherbefall. Gefälltes (Buchdrucker-)Holz wurde dagegen oft nach wenigen Tagen selbst im unteren Stammbereich zum Teil massiv durch Kupferstecher besiedelt.
Schäden durch **Lärchenborkenkäfer** (*Ips cembrae*) wurden wie im Vorjahr nur noch aus wenigen Regionen und meist mit kleinräumigem Befall gemeldet. In den Trägerländern der NW-FVA wurde bis August insgesamt ein Schadvolumen von unter 12.000 Festmetern bekannt.
Obwohl an den umfangreichen Schadensverläufen der letzten drei Jahre in Buchenbeständen **Buchenborkenkäfer** und **Buchenprachtkäfer** oft beteiligt schienen, liegen nur wenige Meldungen dazu vor. Diese Arten werden nicht als Auslöser der bisher zu beobachtenden Absterbeerscheinungen betrachtet, sondern traten weiterhin nach Trockenheit oder Pilzerkrankungen als sekundäre Schädlinge auf. Die Befürchtung, dass diese beiden Arten aufgrund der Prädisposition gestresster Buchen und durch die guten Vermehrungsmöglich-

Ausweichbefall durch Buchdrucker an jungen Fichten
Fotos: links: L. Böge, rechts: S. Bauling



Borkenkäferschäden in den Trägerländern der NW-FVA 2021
Quelle: Waldschutzmeldeportal der NW-FVA (WSMP)

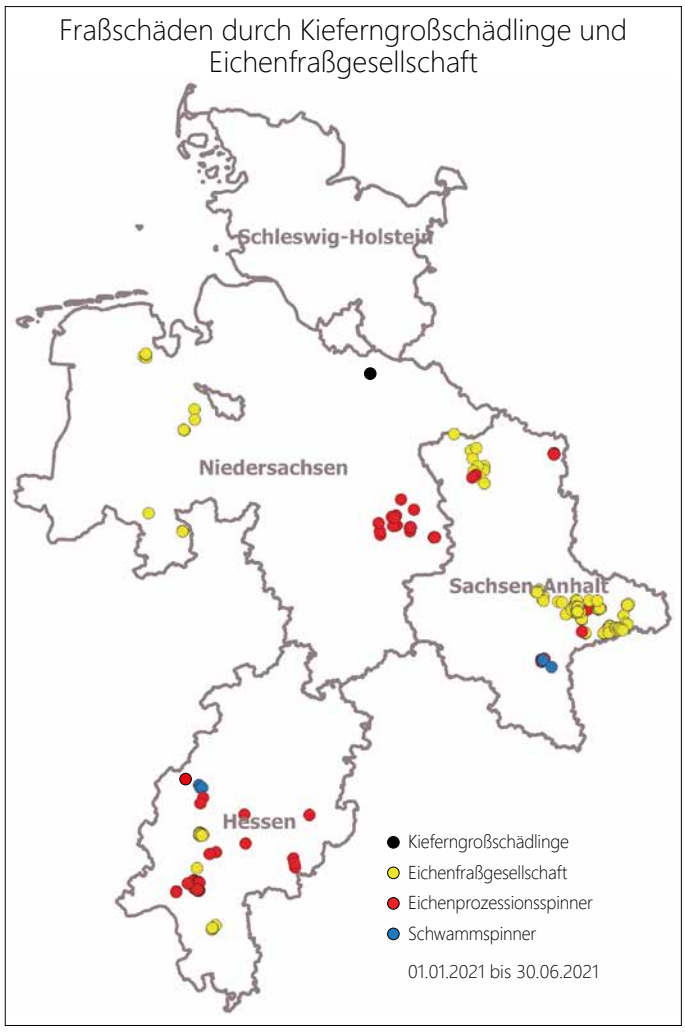
keiten Populationsdichten aufbauen können, die im weiteren Verlauf primär Schaden verursachen, konnte wie im Vorjahr nicht bestätigt werden.
Obwohl weiterhin trockenheitsbedingte Ausfälle und Prädispositionen auch an anderen Baumarten beobachtet werden können, ist die Zahl der Schadensmeldungen und Beratungsfälle für **Eiche** (Eichenprachtkäfer, seltener Sägehörniger Werftkäfer) und **Kiefer** (diverse Kiefernborkenkäfer, Kiefernprachtkäfer, Pissodes- und Bockkäferarten) in der ersten Jahreshälfte 2021 deutlich zurückgegangen. Primär durch Käfer verursachtes Absterben scheint auch wie in den drei Vorjahren kaum eine größere Rolle zu spielen.

Eichenfraßgesellschaft und Kieferngroßschädlinge

Die Ergebnisse der Überwachung der Populationsdichten des **Kleinen Frostspanners** (*Operophtera brumata* L.) und **Großen Frostspanners** (*Erannis defoliaria* Cl.) mit Hilfe von Leimringen im Herbst 2020 wiesen für die meisten Flächen auf niedrige bzw. weiter rückläufige Populationsdichten hin.
Im Jahr 2021 wurden Fraßbonituren in Eichenbeständen auf insgesamt 831 Hektar durchgeführt. Es wurden 560 Hektar (67 %) als gering befressen und 271 Hektar (33 %) im mittleren Fraßgrad gemeldet. Im Niedersächsischen Forstamt Wolfenbüttel (Revier Barnbruch) wurde Fraß durch den **Eichenprozessionsspinner** (*Thaumetopoea processionea* L.) auf 466 Hektar festgestellt. Dabei handelte es sich auf 379 Hektar um geringen Fraß und auf 87 Hektar um mittleren Fraß. Darüber hinaus wurde Fraß durch die **Eichenfraßgesellschaft** auf insgesamt 365 Hektar gemeldet. Im Niedersächsischen Forstamt Neuenburg (Revier Hasbruch) wurden 104 Hektar bonitiert, davon wurden 80 Hektar als geringer Fraß und 24 Hektar als mittlerer Fraß der Eichenfraßgesellschaft gemeldet. Im Niedersächsischen Forstamt Wolfenbüttel (Revier Barnbruch) wurden auf 261 Hektar Fraß der Eichenfraßgesellschaft kartiert, wovon 101 Hektar als geringer Fraß und 160 Hektar im mittleren Fraßgrad dokumentiert wurden.
Des Weiteren wurden auf 186 Hektar Fraßschäden durch den Frostspanner und den Eichenprozessionsspinner verursacht. Ein Großteil der Schäden kam durch Fraß des Frostspanners auf 155 Hektar im Niedersächsichen Forstamt Neuenburg (Revier Hopels) zustande. Weitere Schäden durch den Fraß des Frostspanners wurden aus den Niedersächsischen Forstämtern Ankum (Revier Westerholte, 7 Hektar) und Göhrde (Revier Wustrow, ca. 2 Hektar) gemeldet. Fraßschäden durch den Eichenprozessionsspinner wurden auf insgesamt 22 Hektar von den Niedersächsischen Forstämtern Unterlüß und Wolfenbüttel gemeldet.
Die Ergebnisse der Überwachung des Falterfluges der **Forleule** (*Panolis flammea* [Schiff.]) mit Hilfe von Pheromonfallen ergaben im Jahr 2021 in Niedersachsen ähnlich niedrige Fangzahlen wie im Vorjahr. Im Forstamt Uelzen der Landwirtschaftskammer (Bezirksförsterei Kirchgellersen) wurden Fraßschäden durch **Kiefernbuschhornblattwespen** (*Diprion pini* L.) auf einem Hektar festgestellt. Weitere Fraßschäden durch **Kieferngroßschädlinge und Nonne** (*Lymantria monacha* L.) wurden in Niedersachsen nicht gemeldet.

Eichenprozessionsspinner *Foto: NW-FVA*

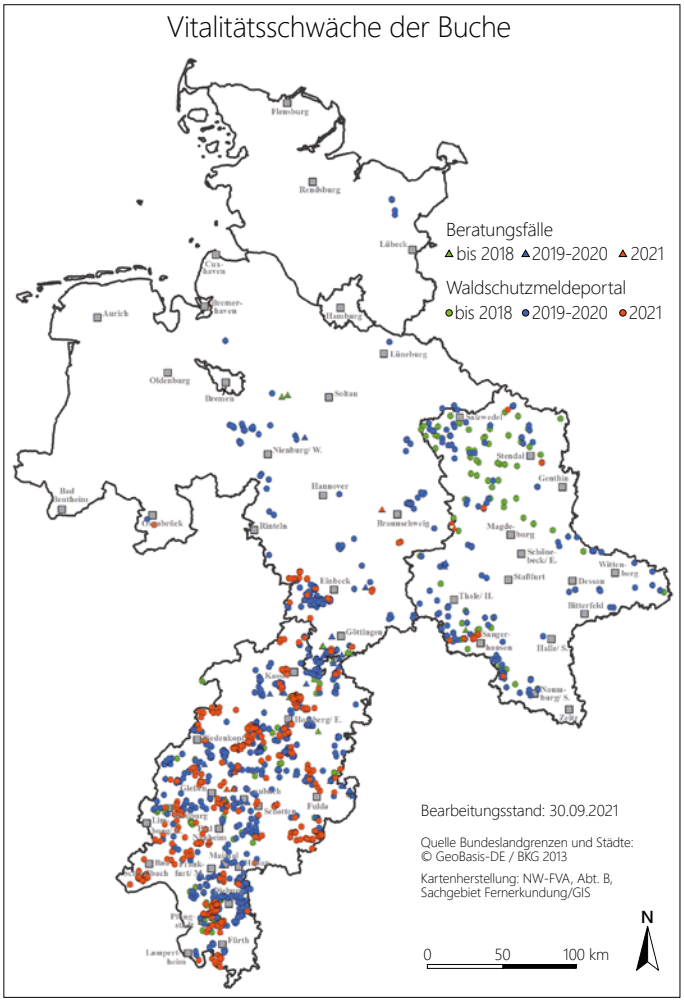
Pheromonfalle *Foto: NW-FVA*



Auftreten der blatt- und nadelfressenden Schadinsekten in den Eichen- und Kiefernbeständen 2021 in den Trägerländern der NW-FVA
Quelle: Waldschutzmeldeportal der NW-FVA (WSMP)

Insekten und Pilze

Absterbende Zweige der äußeren Buchenkrone als Symptom der Buchen-Vitalitätsschwäche *Foto: G. Langer*



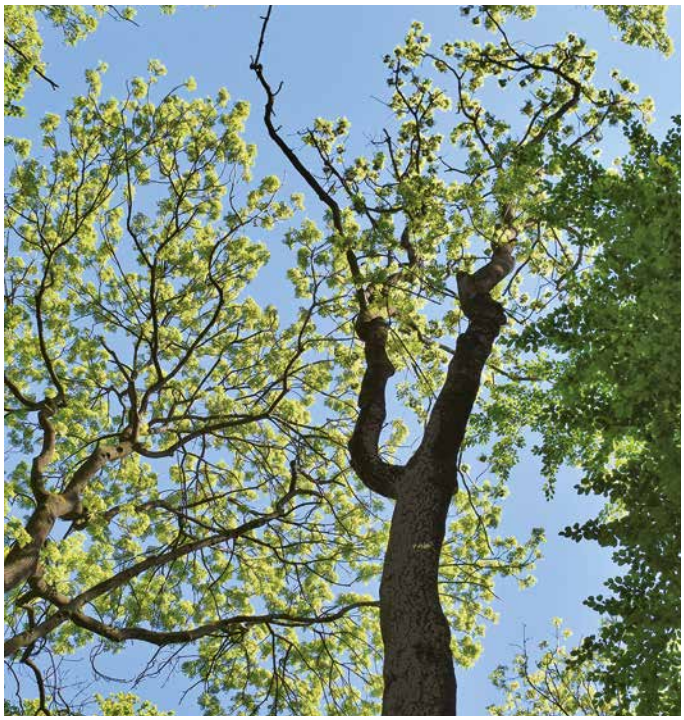
Aktuelle Schadensmeldungen zur Rotbuche
Quellen: Waldschutzmeldeportal der NW-FVA (WSMP) und Beratungsfälle im SG B3 der NW-FVA

Komplexe Schäden an Rotbuche

Wie auch in den drei vergangenen Jahren wurden weit verbreitet und teilweise bestandesbedrohend Absterbeerscheinungen infolge der Hitze und Trockenheit bei Rotbuchen in Niedersachsen, Hessen und Sachsen-Anhalt beobachtet, die sich dem Schadbild der so genannten **Buchen-Vitalitätsschwäche** zuordnen lassen.
Typische Symptome sind das Absterben des Stammes von der Krone her und ein Auftreten von Schleimflussflecken. Diese Symptome waren mit Rindennekrosen, Rindenrissen und abplatzender Rinde verbunden. Sie lassen sich auf Sonnenbrand und/oder den Befall mit Rindenpilzen, teilweise gefolgt von einem Befall mit Borken- bzw. Prachtkäfern zurückführen. Nachfolgend treten verschiedene Holzfäulepilze auf.
Betroffen waren nicht nur aufgelichtete, exponierte Altbestände, sondern weiter zunehmend auch jüngere, zuvor augenscheinlich noch intakte Bestände. Viele der bereits in den vorangegangenen Jahren festgestellten Pilze waren als typische Schwächepathogene ebenso wieder kennzeichnend für die Vitalitätsschwäche wie der Befall von Buchen durch den Kleinen Buchenborkenkäfer, Buchenprachtkäfer und holzbrütende Käferarten.

Eschentriebsterben (ETS)

Das **Eschentriebsterben** wird in Europa weiterhin auf großer Fläche beobachtet. Der Erreger *Hymenoscyphus fraxineus* ist ein aggressives und höchst erfolgreiches, invasives Pathogen, das sich nach seiner Einschleppung in Mitteleuropa schnell verbreitete und schwerwiegende Folgen für die heimischen Eschen-Populationen hervorgerufen hat. Es führt im Zuständigkeitsbereich der NW-FVA örtlich zur Auflösung von Bestandesteilen und zum Absterben von Eschen. Nach einer witterungsbedingten Verlangsamung des Krankheitsfortschritts in den Vorjahren ist es in 2021 wieder zu einer Zunahme der Schäden gekommen.



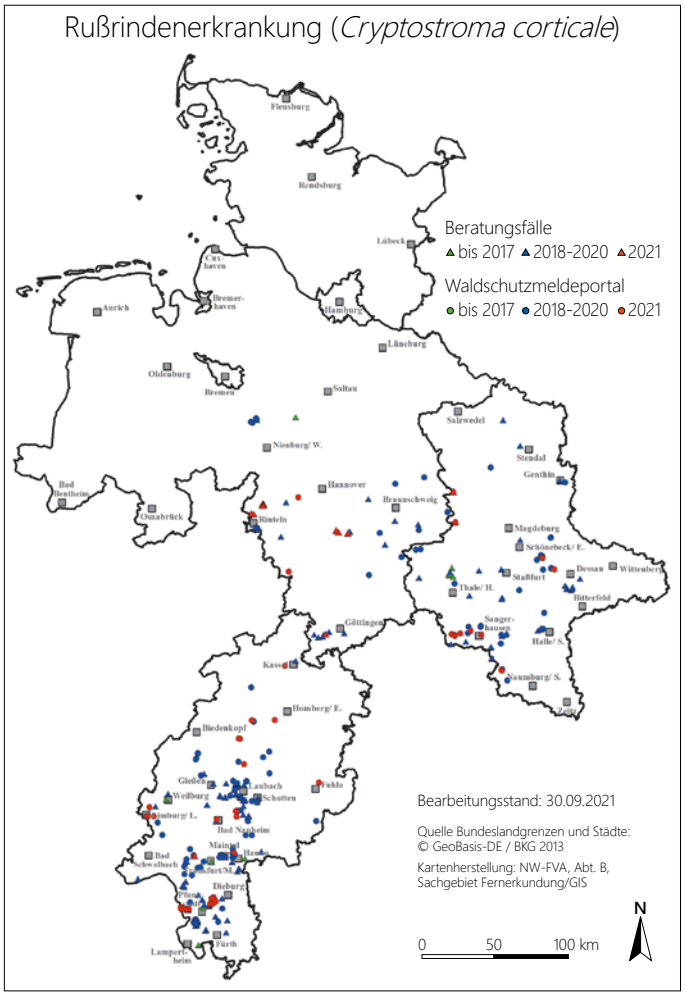
Verlichtete Kronen mit starken Feinreisigverlusten und Totästen als Folge des Eschentriebsterbens *Foto: G. Langer*

Insekten und Pilze

Rußrindenerkrankung des Ahorns

Cryptostroma corticale
Foto: NW-FVA

Wie in den Vorjahren kam es auch 2021 zum auffälligen Auftreten der **Rußrindenkrankheit** des Ahorns. Sie wird durch den ursprünglich in Nordamerika beheimateten, invasiven Schlauchpilz *Cryptostroma corticale* ausgelöst Die Ausbreitung des Pilzes erfolgt luftgebunden über Sporen (Konidien). Die Rußrindenkrankheit tritt in Deutschland in erster Linie beim Bergahorn (*Acer pseudoplatanus*), seltener bei Spitz- (*A. platanoides*) und Feldahorn (*A. campestre*) auf.



Schadensfälle an Ahorn mit der Rußrindenerkrankung in den Trägerländern der NW-FVA – Quellen: Beratungsfälle und Auswertung des Waldschutzmeldeportals der NW-FVA (WSMP)

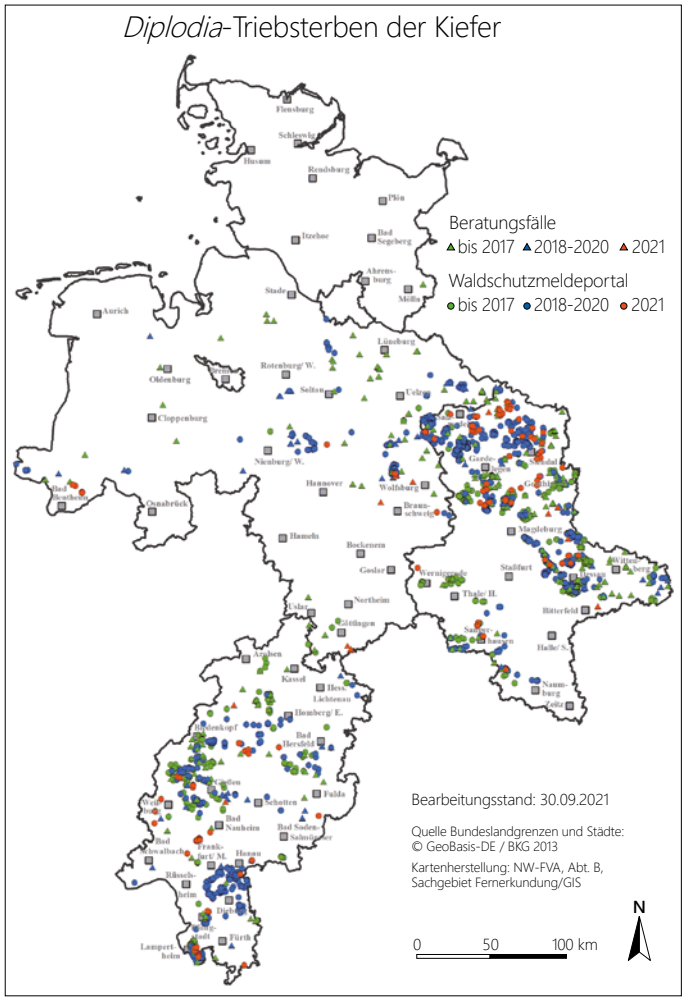
Diplodia-Triebsterben der Kiefer

Der Wärme liebende Pilz *Sphaeropsis sapinea* (Synonym: *Diplodia sapinea*) tritt seit den letzten 20 Jahren verstärkt in Kiefernbeständen auf. Dieser Pilz ist endophytisch in allen Kiefernbeständen des Zuständigkeitsbereichs der NW-FVA und bundesweit sehr verbreitet. Schaden löst er erst aus, wenn der Pilz bei vorgeschädigten oder geschwächten Wirtspflanzen in seine parasitische Phase übergeht und das ***Diplodia*-Triebsterben** verursacht.

Dem Auftreten des *Diplodia*-Triebsterbens geht in der Regel eine Schwächung der Kiefer voraus. Auslösende Faktoren

Geschädigte und abgestorbene Kiefern nach Diplodia-Befall
Foto: NW-FVA

können nach derzeitiger Einschätzung Wasserdefizite durch Trockenheit, Hitze, starke Besonnung oder Verletzungen der Triebe durch Hagelschlag sein. Ein prädisponierender Faktor kann Mistelbefall sein, der ebenfalls Trockenstress hervorruft bzw. verstärkt. Trockenstress kann zudem auf flachgründigen, südexponierten Standorten oder in Kuppenlagen entstehen. Zahlreiche Schadensfälle stehen mit Wurzelfäulen, insbesondere durch den Wurzelschwamm, in Verbindung, der auch als prädisponierender Faktor in Erscheinung tritt. Ferner wird angenommen, dass anhaltende Wärmephasen im Winter im Wechsel mit Kälteperioden zu einer physiologischen Schwächung der Kiefer beitragen. Vermutlich führt eine Kombination mehrerer schwächender Faktoren eher zu Krankheitsfällen als ein einzelner der genannten Faktoren. Auch in 2021 schritt die Erkrankung weiter fort.



Diplodia-Triebsterben in den Trägerländern der NW-FVA
Quellen: Beratungsfälle und Auswertung des Waldschutzmeldeportals der NW-FVA (WSMP)

Stoffeinträge

Birte Scheler
https://doi.org/10.5281/zenodo.5636068

Mit dem Niederschlag gelangen verschiedene Nähr- und Schadstoffe in gelöster Form in den Wald. Zusätzlich werden diese Stoffe als trockene Deposition (gas- und partikelförmig) eingetragen. Im Vergleich verschiedener Landnutzungsformen ist der atmosphärische Stoffeintrag aufgrund des ausgeprägten Filtereffekts der großen Kronenoberflächen für Gase und partikuläre Stoffe in Wäldern besonders hoch. Diese so genannte Immissionsschutzfunktion des Waldes stellt jedoch für das Ökosystem Wald selbst eine Belastung dar, da Schwefel- und Stickstoffverbindungen (Nitrat und Ammonium) das chemische Bodenmilieu durch Versauerung und Eutrophierung verändern.

Um die Wirkungen erhöhter Stoffeinträge und damit verbundener Risiken für Wälder, Waldböden und angrenzende Ökosysteme wie beispielsweise das Grundwasser zu untersuchen, wurde bereits 1968 mit der systematischen Erfassung der Stoffeinträge auf je einer Buchen- und Fichtenfläche im Solling begonnen. Aktuell wird in Niedersachsen im Rahmen des Intensiven Forstlichen Umweltmonitorings der Stoffeintrag in vier Fichten- und drei Buchenbeständen sowie jeweils einem Eichen- und Kiefernbestand erfasst.

Jeder Bestandesmessfläche (Kronentraufe) ist eine Freifläche (Freilandniederschlag) zugeordnet. In Buchenbeständen wird zur Erfassung des Bestandesniederschlags neben der Kronentraufe auch der bei dieser Baumart quantitativ bedeutsame Stammablauf gemessen. Mittels eines Kronenraumbilanzmodells (Ulrich 1991) werden aus den gemessenen Stoffflüssen Gesamtdepositionsraten berechnet.

Intensiv-Monitoringfläche Augustendorf: Streufall- und Depositionssammler *Foto: J. Weymar*

Im März 2020 wurden auf der Eichenfläche in Ehrhorn aus Gründen der Verkehrssicherheit zahlreiche bestandesbildende Eichen und zur Förderung der Eichennaturverjüngung der gesamte, qualitativ schlechte Buchenunterstand entfernt. Durch diese Maßnahmen wurde die Bestandesstruktur wesentlich verändert, was sich auf die Höhe der Kronentraufe und Stoffeinträge auswirkt.

Die Höhe der Stoffeinträge wird maßgeblich durch verschiedene Faktoren wie Niederschlagsmenge, -intensität und -verteilung, Windgeschwindigkeit, Baumart, Bestandeshöhe, Kronenrauigkeit oder lokale Emittenten bestimmt. So sind die Stoffeinträge im Bergland (Harz und Solling) aufgrund größerer Niederschlagsmengen höher als im niedersächsischen Tiefland. Fichten- und Douglasienbestände sind wegen der ganzjährigen und im Vergleich mit Kiefern dichteren Benadelung stärker durch Stoffeinträge belastet als Buchen-, Eichen- und Kiefernbestände. Dieser Baumarteneffekt zeigt sich sehr gut im Solling, wo eine Fichten- und eine Buchenfläche in unmittelbarer Nachbarschaft und somit unter gleichen klimatischen und luftchemischen Verhältnissen beobachtet werden.

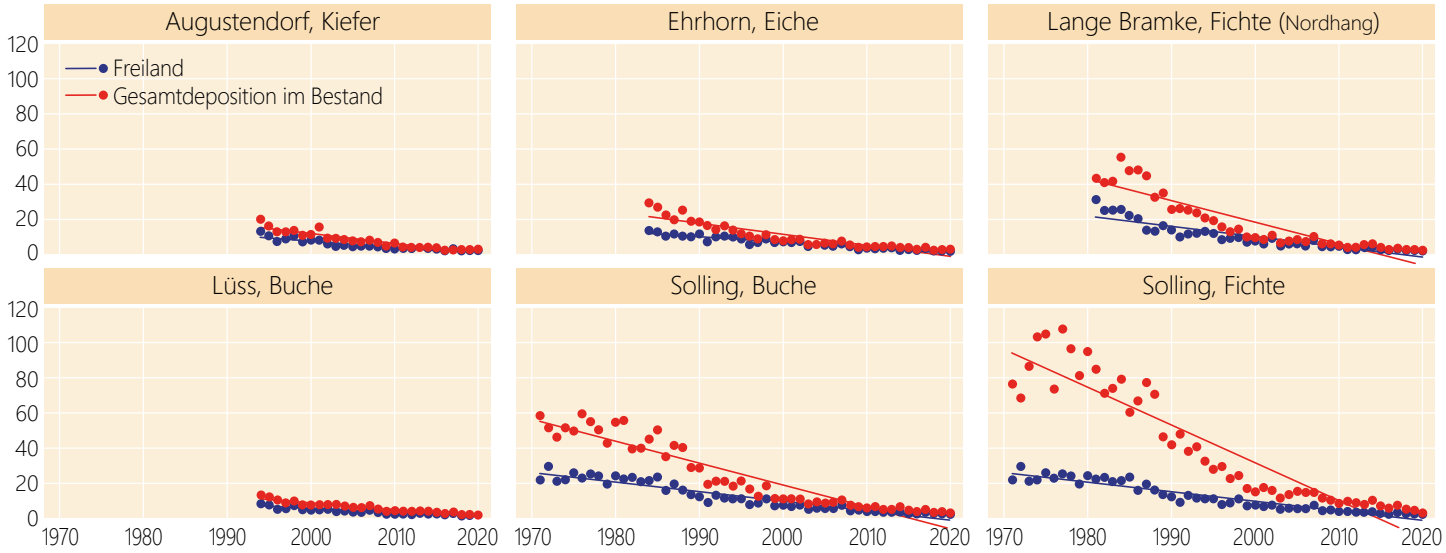
Niederschlag

Im Vergleich mit dem 10-jährigen Mittel der Jahre 2010-2019 fielen die Niederschläge 2020 in weiten Teilen Niedersachsens geringer aus, in Augustendorf (nordwestdeutsches Tiefland) fiel hingegen im Freiland 119 mm bzw. 15 % mehr Niederschlag. Die Kronentraufe unter Kiefer war hier mit +78 mm ebenfalls 15 % höher als im Mittel der vorangegangen 10 Jahre. Das absolute Niederschlagsdefizit im Freiland war in Ehrhorn (-105 mm, Hohe Heide) am höchsten. In der Kronentraufe wurden die größten Defizite in den Fichtenbeständen im Harz (-74 bis -113 mm) und im Solling (-106 mm) registriert.

Schwefeleintrag

Durch die konsequente Umsetzung von Maßnahmen zur Luftreinhaltung wie Rauchgasentschwefelung und die Einführung schwefelarmer Kraft- und Brennstoffe seit Mitte der 1980er Jahre wurden die Schwefeldioxidemissionen und in der Folge der Schwefeleintrag in gasförmiger und gelöster Form in Wälder wirksam reduziert. Obwohl er bereits auf einem

Sulfatschwefeleintrag (SO_4-S) auf ausgewählten Monitoringflächen in kg je Hektar und Jahr



durchgezogene Linie: signifikante Abnahme

relativ geringen Niveau lag, hat er 2020 im Vergleich zum Mittel der Jahre 2010-2019 mit Ausnahme der Kronentraufe in Augustendorf (Kiefer) nochmals deutlich abgenommen. Er betrug mit dem Bestandesniederschlag unter Buche je Hektar zwischen 1,9 kg (Göttinger Wald) und 3,2 kg (Solling), unter Fichte zwischen 2,4 kg (Lange Bramke, Nordhang und Südhang) und 3,2 kg (Solling), unter Kiefer (Augustendorf) 3 kg und unter Eiche 3,1 kg. Der absolute Rückgang im Vergleich zum Mittel 2010-2019 lag zwischen 0,8 kg (Ehrhorn, Eiche) und 4,5 kg je Hektar (Solling, Fichte), die relative Abnahme betrug zwischen 21 % (Ehrhorn, Eiche) und 53 % (Lange Bramke, Kamm).

Im Freiland lag der Sulfatschwefeleintrag zwischen 1,3 kg (Göttinger Wald) und 2,4 kg je Hektar (Augustendorf), die absolute Abnahme bewegte sich zwischen 0,7 kg (Augustendorf) und 1,1 kg je Hektar (Ehrhorn, Lange Bramke).

Stickstoffeintrag

Stickstoff wird in oxidierter Form als Nitrat (Quellen: Kfz-Verkehr, Verbrennungsprozesse) und in reduzierter Form als Ammonium (landwirtschaftliche Quellen) in das Ökosystem eingetragen. In Augustendorf (Weser-Ems-Region) betrug der Ammoniumanteil im 10-jährigen Mittel (2011-2020) 65 % und in Ehrhorn (Hohe Heide) 62 %. Auf den anderen Flächen des Intensiven Monitorings lag er zwischen 48 % (Göttinger Wald, Buche) und 59 % (Lüss, Buche). In dem hohen Ammoniumeintrag in Augustendorf spiegelt sich die intensive Landwirtschaft einschließlich Intensivtierhaltung dieser Region wider.

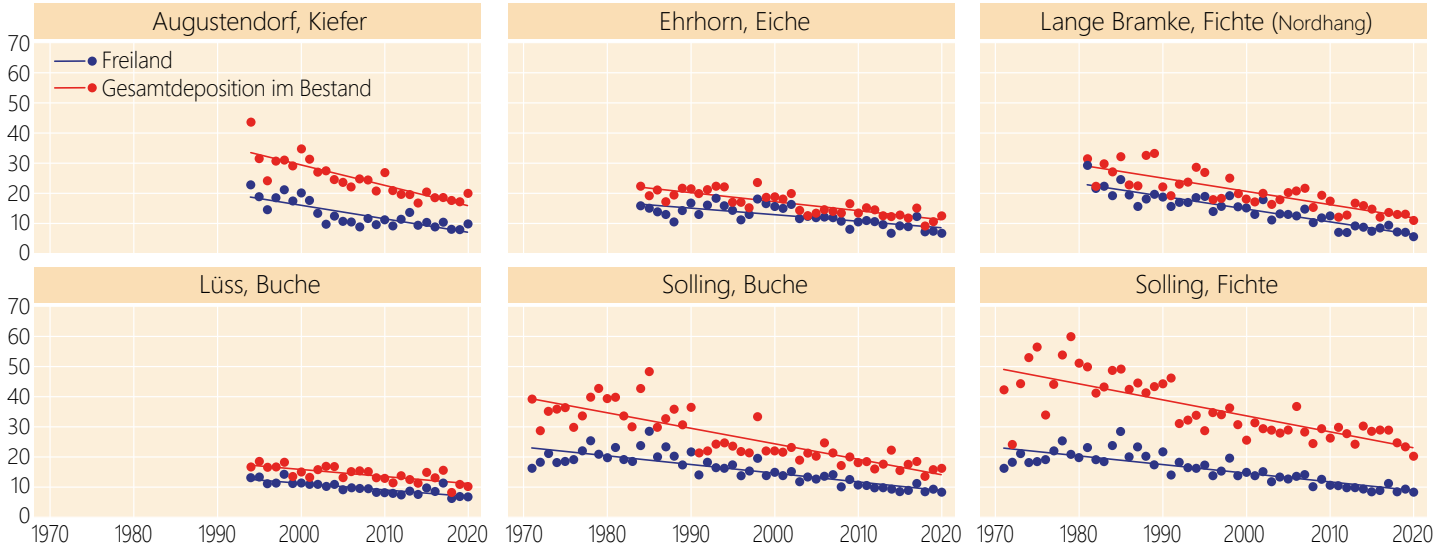
Intensiv-Monitoringfläche Solling (Fichte) *Foto: J. Evers*

Der Nitratstickstoffeintrag hat im Freiland und der Gesamtdeposition aller vier Baumarten auf allen untersuchten Flächen bei der Betrachtung des Zeitraums seit Untersuchungsbeginn bzw. seit 1994 signifikant abgenommen. Im Gegensatz zum Schwefeleintrag war er im Zeitraum 2011-2020 jedoch nur noch auf den Flächen Augustendorf (Kiefer) und Lange Bramke (Südhang) weiter deutlich rückläufig. Auf allen anderen Flächen zeigt sich eine tendenzielle Abnahme mit jährlichen Schwankungen auf einem vergleichsweise niedrigen Niveau. 2020 betrug der Nitratstickstoffeintrag im Freiland zwischen 2,3 (Göttinger Wald) und 3,5 kg je Hektar (Solling) und unter Buche (Gesamtdeposition) zwischen 4,0 (Lüss) und 6,8 kg je Hektar (Solling). Unter Fichte betrug die Gesamtdeposition von Nitratstickstoff im Solling 8,5 kg je Hektar und zwischen 4,9 und 7,2 kg je Hektar im Harz.

Der Ammoniumstickstoffeintrag hat auf den niedersächsischen Flächen des Intensiven Monitorings seit Untersuchungsbeginn ebenfalls signifikant abgenommen. Im Zeitraum 2010-2020 wurde eine weitere deutliche Abnahme jedoch nur auf einer der neun Bestandesflächen (Lange Bramke Kamm, Fichte) und auf keiner Freifläche beobachtet. Im Freiland lag der Ammoniumstickstoffeintrag 2020 zwischen 2,8 (Göttinger Wald) und 6,8 kg je Hektar (Augustendorf) und unter Buche zwischen 5,2 (Göttinger Wald) und 9,5 kg je Hektar (Solling). Unter Fichte betrug er je Hektar 11,9 kg im Solling und zwischen 6,1 und 7,9 kg im Harz. Auffallend hoch waren nach wie vor die Ammoniumstickstoffeinträge in Augustendorf unter Kiefer mit 13,4 kg je Hektar.

Verschiedene Bemühungen haben in der Vergangenheit zu einer Reduktion der Stickstoffemissionen und hieraus resultierenden rückläufigen Einträgen geführt. Da sich diese Entwicklung in den vergangenen Jahren jedoch nicht im gleichen Maße fortgesetzt hat, überschreitet der anthropogen bedingte atmosphärische Stickstoffeintrag im Mittel der letzten 5 Jahre (2016-2020) mit Werten bis zu 16,3 kg je Hektar unter Buche (Solling), 25,2 kg je Hektar unter Fichte (Solling), 18,4 kg je Hektar unter Kiefer (Augustendorf) und 11,8 kg je Hektar unter Eiche (Ehrhorn) nach wie vor den Bedarf der Wälder für das Baumwachstum. Dieser überschüssige Stickstoff reichert sich

Stickstoffeintrag (NH_4-N + NO_3-N) auf ausgewählten Monitoringflächen in kg je Hektar und Jahr



durchgezogene Linie: signifikante Abnahme

zunächst im Ökosystem an. Wird die Speicherkapazität überschritten oder kommt es zu abrupten Störungen im Ökosystem durch Kalamitäten wie Windwurf oder Schädlingsbefall, wird der Stickstoff rasch mineralisiert. Da Nitrat den Austrag basischer Nährstoffkationen befördert, kommt es zu erhöhten Nährstoffverlusten mit dem Sickerwasser aus den ohnehin meist nährstoffarmen Waldböden. Zusätzlich werden angrenzende Ökosysteme wie Oberflächengewässer oder das Grundwasser ggf. durch hohe Nitratausträge gefährdet.

Gesamtsäure

Der Gesamtsäureeintrag berechnet sich als Summe der Gesamtdeposition von Nitrat, Ammonium, Sulfat und Chlorid (jeweils nicht seesalzbürtige Anteile, Gauger et al. 2002).
2020 betrug der Gesamtsäureeintrag je Hektar im Freiland zwischen 0,4 $kmol_c$ (Göttinger Wald) und 0,8 $kmol_c$, (Augustendorf), unter Buche zwischen 0,8 (Göttinger Wald) und 1,4 $kmol_c$ je Hektar (Solling) sowie unter Fichte zwischen 1,0 (Lange Bramke Nordhang) und 1,7 $kmol_c$ je Hektar (Solling). Der Gesamtsäureeintrag je Hektar unter Eiche (Ehrhorn) betrug 1,1 $kmol_c$. Auffallend hoch waren die Gesamtsäureeinträge mit 1,6 $kmol_c$ je Hektar auch auf der Kiefernfläche in Augustendorf, eine Folge der besonders hohen Ammoniumbelastung in dieser Region.
Ein Teil des Säureeintrags wird durch ebenfalls mit dem Niederschlag eingetragene Basen neutralisiert. Diese Säureneutralisationskapazität durch Baseneintrag lag 2020 zwischen gut 0,1 $kmol_c$ (Augustendorf, Kiefer) und 0,3 $kmol_c$ je Hektar (Solling, Fichte; Lange Bramke Kamm, Fichte) bzw. zwischen 8 % (Augustendorf, Kiefer) und 26 % (Göttinger Wald, Buche; Lange Bramke Kamm, Fichte) des Säureeintrags. Ein anderer Teil der Gesamtsäure wird im Waldboden durch Basen gepuffert, die durch Verwitterung freigesetzt werden. Der partikuläre Eintrag basischer Stäube spielt nur in Einzelfällen z. B. in der Nähe von Steinbrüchen eine größere Rolle. Die nachhaltige Säurepufferkapazität aus Verwitterung reicht auf den oft nährstoffarmen Waldstandorten jedoch auch unter Berücksichtigung der Baseneinträge nicht aus, um die Säureeinträge vollständig zu kompensieren. Eine standortsangepasste Kalkung zum Schutz der Waldböden und der Erhaltung ihrer Filterfunktion für das Grundwasser kann empfohlen werden.

Intensiv-Monitoringfläche Lüss *Foto: J. Spielmann*

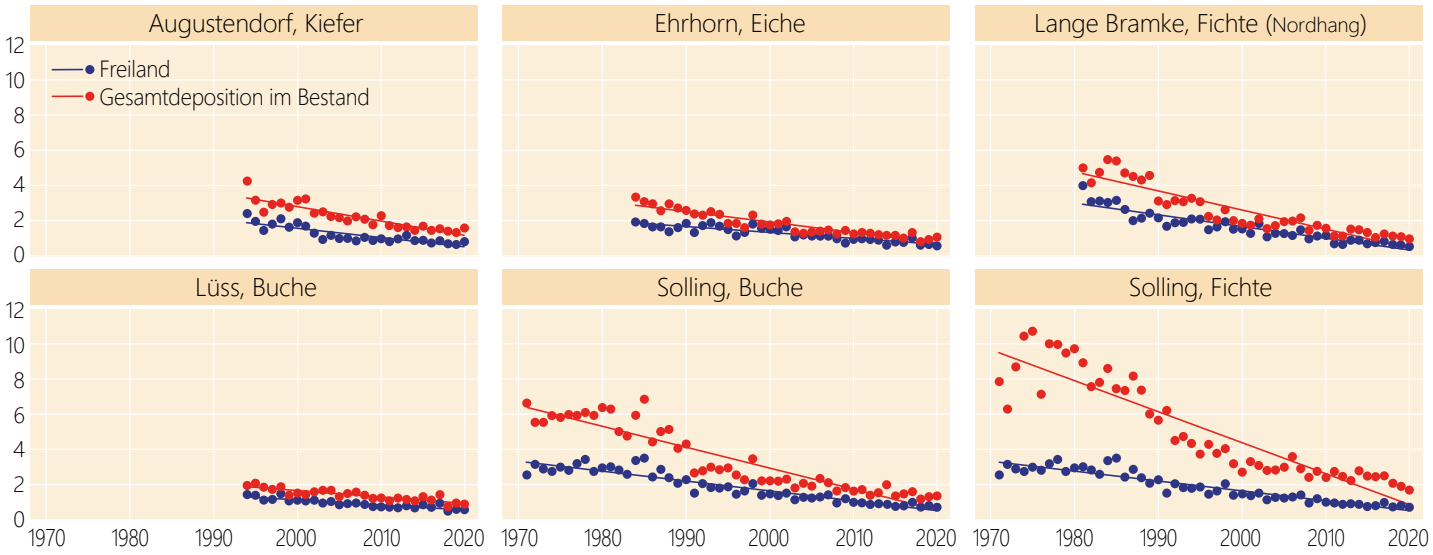
anthropogen = durch menschliche Aktivitäten verursacht
Deposition = Ablagerung von Stoffen
Eutrophierung = Nährstoffanreicherung
$kmol_c$ (Kilomol charge) = Menge an Ladungsäquivalenten. Sie berechnet sich wie folgt: Elementkonzentration multipliziert mit der Wertigkeit des Moleküls (=Ladungsäquivalente pro Molekül), dividiert durch das Molekulargewicht. Multipliziert mit der Niederschlagsmenge ergibt sich die Fracht an Ladungsäquivalenten in $kmol_c$ je Hektar.

Literatur:

Gauger T, Anshelm F, Schuster H, Draaijers GPJ, Bleeker A, Erisman JW, Vermeulen AT, Nagel HD (2002): Kartierung ökosystembezogener Langzeittrends atmosphärischer Stoffeinträge und Luftschadstoffkonzentrationen in Deutschland und deren Vergleich mit Critical Loads und Critical Levels. Forschungsvorhaben im Auftrag des BMU/UBA, FE-Nr. 299 42 210, Institut für Navigation, Univ. Stuttgart. 207 S

Ulrich B (1991): Beiträge zur Methodik der Waldökosystemforschung. Berichte des Forschungszentrums für Waldökosysteme/Waldsterben. Reihe B, Band 24, 204-210

Gesamtsäureeintrag auf ausgewählten Monitoringflächen in $kmol_c$ je Hektar und Jahr



durchgezogene Linie: signifikante Abnahme

Anpassungspotenziale heimischer Baumarten

Aki Michael Höltken, André Hardtke und Wilfried Steiner
https://doi.org/10.5281/zenodo.5636080

Bedeutung genetischer Variation

Die Forderung nach einem Umbau der Wälder hin zu klimastabileren Formen bekam durch die witterungsbedingten Schäden der letzten Jahre enormen Rückenwind. Deshalb sind sog. „Alternativbaumarten" verstärkt in den Fokus der Forstwirtschaft gerückt. Dieser Begriff umfasst sowohl einheimische Baumarten mit bislang eher geringer waldbaulicher Bedeutung als auch Arten mit Ursprungsgebieten außerhalb Deutschlands. Gerade von den „neuen" fremdländischen Baumarten erhofft man sich viel, weiß aber relativ wenig über ihr Verhalten unter hiesigen Standortsverhältnissen. Bevor eine Überführung in die forstliche Praxis erfolgen kann, sind zeit- und flächenintensive Anbauversuche notwendig, insbesondere wenn verschiedene geographische Herkünfte auf ihre Standortseignung getestet werden sollen.

Deshalb dürfen wir die einheimischen Baumarten nicht aus den Augen verlieren. Denn trotz der Schäden werden ihre genetischen Anpassungskapazitäten meist deutlich unterschätzt. Genetische Variation ist auf verschiedenen räumlichen Ebenen verfügbar: Innerhalb der natürlichen Verbreitungsgebiete haben unterschiedliche Umweltbedingungen zu einer genetischen Differenzierung verschiedener geographischer Herkünfte geführt, sodass sich teilweise deutlich unterschiedliche Anpassungsmuster entwickeln konnten, z. B. gegenüber Hitze und Trockenheit oder auch Spätfrösten. Grundsätzlich weisen Baumarten aber auch schon innerhalb von Populationen (Beständen) eine große genetische Variationsbreite auf, die als eine Art „Versicherungsschutz" im Fall sich ändernder Umweltbedingungen dient. Eine zentrale Aufgabe zur Bewahrung von Anpassungsfähigkeit ist die Erhaltung genetischer Vielfalt, insbesondere im Hinblick auf die Unsicherheiten der Klimaprognosen.

Reaktions- und Anpassungsfähigkeit

Bäume sind ortsgebunden und gleichzeitig langlebig und damit über ihre gesamte Lebensspanne einer enormen Umweltheterogenität ausgesetzt. Deshalb sind Bäume von Natur aus mit einem gut ausgestatteten genetischen „Werkzeugkasten" ausgerüstet. Zahlreiche Studien belegen, dass schon einzelne Bäume eine deutlich höhere individuelle genetische Vielfalt aufweisen als die meisten kurzlebigeren Organismen. Dies eröffnet ihnen einen größeren Toleranzbereich an physiologisch-morphologischen Reaktionen (Plastizität).

Eine wichtige Voraussetzung für die Anpassung solcher Toleranzbereiche an sich längerfristig ändernde Umweltbedingungen ist die verfügbare genetische Vielfalt auf Populations- bzw. Bestandesebene. Im Rahmen der geschlechtlichen Vermehrung können die verschiedenen genetischen Varianten zu einer Vielzahl von Samen und Sämlingen mit potenziell neuen Eigenschaften rekombiniert werden. Damit auch ein möglichst großes „Zufallsangebot" an unterschiedlichen Genotypen natürlichen Anpassungsprozessen (Selektion) bereitgestellt werden kann, haben Bäume besonders effiziente Strategien entwickelt: Mechanismen zur Inzuchtvermeidung, effiziente Pollen- und Samenausbreitung und eine enorme Zahl an Nachkommen in überlappenden Generationen.

Um natürliche Prozesse besser ausnutzen zu können, wird der Naturverjüngung eine immer größere Bedeutung beigemessen. Allerdings wird dabei oft außer Acht gelassen, dass die meisten unserer Wälder künstlich begründet wurden und es vor allem in Norddeutschland kaum noch autochthone Wälder gibt. Viele Aufforstungen mit nur wenigen Wirtschaftsbaumarten erfolgten aus der Not heraus ohne fachliche Kenntnisse über die genetische Qualität des Vermehrungsgutes (ungeeignete Herkünfte, genetische Einengung durch Beerntung von nur wenigen Samenbäumen). Andere, meist lichtbedürftige und konkurrenzschwächere Baumarten verloren durch den

Naturverjüngung (links): Ausnutzen natürlicher Prozesse und lokal etablierter genetischer Variation; gepflanzter Bestand (rechts): Möglichkeit der Ergänzung genetischer Vielfalt und damit Anpassungskapazität
Fotos: H.J. Arndt

Anpassungspotenziale heimischer Baumarten

Menschen ihre geeigneten Habitate (Umwandlung in landwirtschaftliche Flächen, Flussbegradigungen etc.) oder wurden durch die Einführung der Hochwaldwirtschaft teilweise stark zurückgedrängt.

Zusätzlich stellt der Klimawandel die Anpassungsfähigkeit unserer Wälder künftig auf eine harte Probe. Deshalb kommt der genetischen Ausstattung unserer Bäume eine enorme Bedeutung zu. Der Verlust genetischer Variation ist gleichbedeutend mit einem unwiderruflichen Verlust an Anpassungskapazität zukünftiger Waldgenerationen. Um genetisches Potenzial erhalten und gleichzeitig für Anpassungsprozesse nutzen zu können, benötigen wir konzeptionelle, nachhaltige Verjüngungsstrategien. Denn die Art der Verjüngung und die Wahl des forstlichen Vermehrungsgutes (Herkunft, Beerntungsmodus) können die genetische Vielfalt der Bestände und damit vorhandene Anpassungsmuster sowie Adaptationsprozesse an sich ändernde Klimabedingungen signifikant beeinflussen.

Natürliche oder künstliche Verjüngung?

Die Naturverjüngung bietet die Möglichkeit, das Potenzial lokal etablierter genetischer Variation optimal auszuschöpfen. Bei ungünstiger genetischer Ausstattung des Altbestands (falsche Herkünfte, genetische Einengung, reproduktive Isolation etc.) kann dies aber auch ein ökologisches und ökonomisches Risiko bedeuten. In diesem Fall kann die künstliche Einbringung ausgewählten Vermehrungsguts zur Erhöhung bzw. Ergänzung genetischer Vielfalt beitragen und Anpassungsprozesse heimischer Baumarten an den Klimawandel unterstützen. Mit welchen waldbautechnischen Verjüngungsstrategien genetische Vielfalt optimal erhalten und nachhaltig genutzt werden kann, ist eines der zentralen Elemente der forstlichen Biodiversitätsforschung geworden und soll im Folgenden an einigen Beispielen erläutert werden.

Buche: Vielfalt klimarelevanter Merkmale

Schäden bzw. Vitalitätseinbußen aufgrund von Dürren aber auch von Spätfrösten sind vermehrt auch an Buchen aufgetreten. Aktuelle Studien deuten aber darauf hin, dass die Buche hinsichtlich klimarelevanter Merkmale schon innerhalb einzelner Bestände ein hohes genetisches Anpassungspotenzial besitzt. Denn oft kommen geschädigte und vitale bzw. früh- und spätaustreibende Buchen direkt nebeneinander vor, was zu einem großen Teil auf eine unterschiedliche genetische Ausstattung einzelner Bäume zurückgeführt wird. Deshalb ist es wichtig, schon in der Verjüngungsphase möglichst viel Anpassungspotenzial auf die Fläche zu bringen (Höltken et al. 2020, Pfenninger et al. 2021).

Die Naturverjüngung spielt bei bestandesbildenden Arten wie der Buche auch künftig eine wichtige Rolle. DNA-Analysen haben ergeben, dass genetische Vielfalt insbesondere durch eine kleinräumige Naturverjüngung über längere Zeiträume gefördert wird. Bei dieser Vorgehensweise sind über die Jahre besonders viele Bäume an der Reproduktion beteiligt und die genetische Ausstattung der Nachkommen wird zusätzlich durch variierende Polleneinträge aus umliegenden Beständen bereichert. Dies führt zu einer Akkumulation einer Vielzahl von Genotypen, die der Selektion an sich ändernde Umweltbedingungen zur Verfügung stehen. Anders kann es bei großflächig angelegter Naturverjüngung „aus einem Guss" aussehen (Überhaltbetrieb oder Großschirmschlag): Nur wenige Samenjahrgänge und eine reduzierte Zahl an Paarungspartnern können dazu führen, dass weniger Genotypen erzeugt und für Anpassungsprozesse zur Auswahl stehen. Auch Zielstärkennutzung ist unter bestimmten Voraussetzungen als kritisch zu betrachten: Werden die vitalsten und konkurrenzstärksten Bäume schon entnommen, bevor sie zur Naturverjüngung haben beitragen können, kann es in der Folgegeneration zu Verlusten an genetischer Vielfalt kommen. Hier kann eine genetische „Auffrischung" durch künstliche Einbringung geeigneter Herkünfte ratsam sein.

In vielen waldbaulichen Situationen ist man allerdings auch vollständig auf künstliche Verjüngung angewiesen (z. B. Umbau von Nadelbeständen in stabilere Mischwälder, Wiederbegründung nach Kalamitäten). Die wichtigsten Quellen für Vermehrungsgut der Buche sind zugelassene Saatguterntebestände. Auch wenn Saatguterntebestände nach Vitalität, Wuchseigenschaften und Bestandesgröße ausgewählt werden, kann hier die Art der Beerntung bzw. Beschaffung von Saatgut deutliche Auswirkungen auf die genetische Vielfalt zeigen. Denn genetische Inventuren belegen, dass innerhalb eines Jahrgangs nur ein geringer Anteil der Altbuchen am Reproduktionsgeschehen beteiligt ist. Deshalb kann die Ernte der gesetzlich vorgeschriebenen Mindestzahl von nur 20 Mutterbäumen je Saatguterntebestand je nach Witterungsverhältnissen (geringer Pollenfluss) zu einem genetischen „Flaschenhals" im gewonnenen Saatgut führen. Der Effekt der genetischen Verarmung ist deshalb verstärkt in kleinen und isolierten Saatgutbeständen zu erwarten – dem wird mit der Einrichtung von möglichst großen Zulassungseinheiten vorgebeugt.

Damit Buchenwälder aus künstlicher Verjüngung auch künftig mit ausreichend Anpassungskapazität ausgestattet sind, wird empfohlen, möglichst Mischungen von Vermehrungsgut aus unterschiedlichen Jahrgängen bzw. Erntebeständen zu verwenden. Dies dürfte insbesondere für großflächige Pflanzungen bedeutsam sein. Vor diesem Hintergrund bedürfen aber auch die Mindestkriterien für die Zulassung und Beerntung

Sichtbare genetische Vielfalt im Wald: Unterschiedliche Zeitpunkte des Blattaustriebs in einem Buchenbestand bestimmen die Spätfrosttoleranz *Foto: A.M. Höltken*

Anpassungspotenziale heimischer Baumarten

Netzernte von Bucheckern in einem zugelassenen Saatguterntebestand für künstliche Bestandesbegründungen *Foto: NW-FVA*

von Saatguterntebeständen einer Überarbeitung: Angestrebt werden sollte eine Erhöhung der Mindestbaumzahl von 40 auf deutlich über 100 sowie eine größere Anzahl an Erntebäumen je Saatguterntebestand (mindestens 40) bei gleichmäßiger Verteilung im Bestand (Fussi et al. 2021).

Verwendungszonen für die Traubeneiche

Der Traubeneiche kommt künftig eine große Bedeutung zu, insbesondere für die Bepflanzung der in den letzten Jahren entstandenen riesigen Freiflächen. Ihr Anteil an der Bestockung wird voraussichtlich auch noch weiter zunehmen, da sie sich doch wesentlich toleranter gegenüber Dürreperioden zeigt als z. B. die Buche (Leuschner et al. 2001; Mette et al. 2013). Die Eiche reagiert aber nicht gänzlich unempfindlich gegenüber Trockenstress. In internationalen Versuchen konnte nachgewiesen werden, dass Herkünfte aus trockeneren Regionen eine bessere Anpassung zeigen, oder – im umgekehrten Fall – die Überlebensraten abnehmen, wenn Herkünfte in wärmere und trockenere Regionen verbracht werden.
Neben einheimischen Saatgutquellen geraten daher vermehrt ausländische Quellen, besonders aus südosteuropäischen Ländern, in den Fokus der Diskussion. Eichen aus den dort bereits herrschenden wärmeren und trockeneren Klimaten versprechen in unseren Regionen ein höheres Anpassungspotenzial. Jedoch besteht die Gefahr, dass besonders die südlicheren Herkünfte auch zukünftig von auftretenden Spätfrösten geschädigt werden. Dies konnte bereits in Anbauversuchen nachgewiesen werden und zeigt, dass einheimische Herkünfte mittelfristig nicht ersetzt werden können (Kätzel et al. 2019).
Ein älterer Traubeneichen-Herkunftsversuch mit über 50 deutschen Herkünften ergab, dass schon innerhalb Deutschlands ein enormes Anpassungspotenzial zur Verfügung steht. So zeigen Herkünfte aus trockeneren Regionen ein besseres Wachstum, wenn sie auf feuchtere Standorte verbracht werden. Auf Basis dieser Erkenntnis wurde an der NW-FVA ein Projekt (OakZones) gestartet, welches diesen Zusammenhang genauer untersucht. Dafür werden Herkünfte anhand der Standortswasserbilanz identifiziert und Pflanzen für eine Versuchsserie angezogen. Diese werden anschließend auf Versuchsflächen ausgepflanzt, die den vollständigen Bereich der Standortswasserbilanz abbilden. In den nächsten Jahren wird die Versuchsserie detaillierte Erkenntnisse über die Anpassungspotenziale der jeweiligen Herkünfte liefern.
Aktuell kann Saat- und Pflanzgut der Eiche aus unterschiedlichen Regionen ohne gesetzliche Einschränkungen in Deutschland verwendet werden. Die Verwendung wird nur über Empfehlungen gesteuert, die allerdings über Erlasse oder Förderauflagen eine weitgehende Verbindlichkeit aufweisen. Diese Verwendungs- oder Herkunftsempfehlungen enthalten aber kaum Regelungen, die das adaptive Potenzial der Herkünfte einbeziehen. Auf Basis der neuen Versuchsserie ist die Abgrenzung von Verwendungszonen geplant, die das Anpassungspotenzial der einzelnen Herkünfte an spezifische Standortsbedingungen genauer berücksichtigen. Mit Hilfe der Verwendungszonen kann schlussendlich besser an die konkreten oder zukünftig erwarteten Bedingungen angepasstes Material empfohlen werden, das wiederum für stabilere Bestände sorgt. Zusätzlich können neue Saatguterntebestände identifiziert werden, die in den jeweiligen Verwendungszonen eine bessere Anpassung versprechen.

Genressourcen-Management bei seltenen Baumarten

Aufgrund des Klimawandels sind vermehrt auch Baumarten von Interesse, die bislang nur geringe Flächenanteile einnehmen (z. B. Elsbeere, Speierling, Vogelkirsche, Feldulme, Schwarzpappel, Feldahorn). Viele dieser Baumarten tragen

Vegetative Vermehrung des seltenen Speierlings (Sorbus domestica) durch Veredelung für die Anlage einer Samenplantage zur Produktion von genetisch vielfältigem Vermehrungsgut *Foto: NW-FVA*

Bestäubung, Fruktifikation und Saatguternte in einer Samenplantage der Elsbeere *Fotos: NW-FVA*

nicht nur zur Erhöhung der Biodiversität und damit Stabilität unserer Wälder bei, sie sind im Vergleich zu den gegenwärtigen wirtschaftlichen Hauptbaumarten auch vergleichsweise tolerant gegenüber Dürre- und Hitzeperioden.

Allerdings sind geeignete Habitate für viele dieser Arten in den letzten Jahrhunderten stark dezimiert worden. Die übriggebliebenen Reliktvorkommen sind meist geprägt durch geringe Populationsgrößen, ungünstige Altersstrukturen (fehlende Verjüngung), Hybridisierung mit Kultursorten bzw. fremdländischen Arten und – in der Folge – deutlichen Verlusten an genetischer Vielfalt. Ferner unterliegen viele dieser Arten nicht dem Forstvermehrungsgutgesetz. Daher besteht zusätzlich die Gefahr, dass durch Einbringung ungeeigneten Pflanzguts aufgrund fehlender rechtlicher Bestimmungen auch noch lokale genetische Strukturen und Anpassungsmuster verloren gehen.

Die Erhaltungsfähigkeit „in situ" (im Lebensraum) ist in vielen Fällen nicht mehr gegeben, sodass wir meist auf künstliche Anreicherung durch Pflanzung angewiesen sind. Auch kann der steigende Bedarf an hochwertigem Vermehrungsgut für die Einbringung in forstliche Ökosysteme nicht aus ihren ursprünglichen Lebensräumen gedeckt werden. Deshalb werden spezielle Samenplantagen eingerichtet, die der Arterhaltung aber auch der Produktion von angepasstem, genetisch vielfältigem Vermehrungsgut dienen. Samenplantagen bieten sowohl ökologisch-genetische als auch ökonomische Vorteile:

- Schaffung effektiv großer Reproduktionseinheiten (genetische Vielfalt).
- Rekonstruktion der genetischen Ausstattung einer Region (Anpassungsmuster).
- Sicherstellung der Artreinheit (z. B. Wildapfel, Wildbirne, Vogelkirsche, Schwarzpappel).

Fazit

Trotz umfangreicher Schäden in der jüngsten Vergangenheit ist das vorhandene genetische Potenzial bei heimischen Baumarten sehr groß und kann für notwendige Anpassungsprozesse genutzt werden. Die Berücksichtigung genetischer Aspekte kann sowohl bei der Naturverjüngung als auch bei der Saatgutgewinnung zu einer Erhöhung der genetischen Vielfalt und damit Anpassungsfähigkeit führen. Mit der Auswahl von Herkünften, die bereits Anpassungen an bestimmte Umweltbedingungen durchlaufen haben, können Anpassungsprozesse zudem unterstützt werden.

DNA-Analysen werden routinemäßig eingesetzt, um Parameter der allgemeinen genetischen Variabilität als Voraussetzung für die Anpassungsfähigkeit zu bestimmen. Diese dienen u. a. als Basis für Erhaltungsmaßnahmen (z. B. Aufbau von Samenplantagen) oder zur Beurteilung der Auswirkungen verschiedener Durchforstungs- und Verjüngungsverfahren. Außerdem können genetische Marker in Zertifizierungssystemen zur Identitätskontrolle und Herkunftsüberprüfung eingesetzt werden und so einen wichtigen Beitrag zum Qualitätsmanagement beim Vermehrungsgut leisten.

Literatur

Fussi B, Kunz M, Tröber U, Leinemann L, Kätzel R, Eusemann P, Liesebach H, Becker F, Kuchma O, Kersten B, Voth W, Karopka M, Höltken AM, Havel S, Rose B, Wolf H, Kahlert K, Hosius B (2021): GENMON – Einrichtung eines genetischen Monitorings für Buche und Fichte in Deutschland zur Bewertung der genetischen Anpassungsfähigkeit der Baumarten gegenüber Umweltveränderungen. Schlussbericht zum Waldklimafond-Vorhaben der Fachagentur für Nachwachsende Rohstoffe (FNR).

Höltken AM, Hennig A, Kleinschmit J, Arndt HJ, Steiner W (2017): Erhaltung und Produktion gebietseigener genetischer Vielfalt in Ex-situ-Populationen: Umsetzung der Ergebnisse aus DNA-Studien am Wildapfel (Malus sylvestris (L.) Mill.). Naturschutz und Landschaftsplanung 49: 126-134

Höltken AM, Eusemann P, Kersten B, Liesebach H, Kahlert K, Karopka M, Kätzel R, Kuchma O, Leinemann L, Rose B, Tröber U, Wolf H, Voth W, Kunz M, Fussi B (2020): Das Verbundprojekt GENMON: Einrichtung eines genetischen Langzeit-Monitorings in Buchenbeständen (Fagus sylvatica L.). In: Liesebach M. (ed.) Forstpflanzenzüchtung für die Praxis : 6. Tagung der Sektion Forstgenetik/ Forstpflanzenzüchtung vom 16.-18. Sept. 2019 in Dresden: Tagungsband, Braunschweig, Johann Heinrich von Thünen-Institut. Thünen-Report 76, S 230-245

Kätzel R, Becker F, Kanter G, Hlawati N, Löffler S (2019): Herkunftsversuche als Bewährungsprobe bei Witterungsextremen: Südosteuropäische Herkünfte der Trauben-Eiche (Quercus petraea MATT. LIEBL.) in Brandenburg – Eine erste Auswertung. In: Die Auswirkungen des Dürrejahres 2018 auf den Wald in Brandenburg. Eberswalder Forstliche Schriftenreihe Band 67. 115 S

Leuschner C, Backes K, Hertel D, Schipka F, Schmitt U, Terborg O, Runge M (2001): Drought response at leaf, stem and fine root levels of competitive Fagus sylvatica L. and Quercus petraea (Matt.) Liebl. Trees in dry and wet years. Forest Ecology and Management 149(1-3): 33-46

Mette T, Dolos K, Meinardus C, Bräuning A, Reineking B, Blaschke M, Pretzsch H, Beierkuhnlein C, Gohlke A, Wellstein C (2013): Climatic turning point for beech and oak under climate change in central Europe. Ecosphere 4(12): 1-19

Pfenninger M, Reuss F, Kiebler A, Schönnenbeck P, Caliendo C, Gerber S, Cocchiararo B, Reuter S, Blüthgen N, Mody K, Mishra B, Bálint M, Thines M, Feldmeyer B (2021): Genomic basis for drought resistance in European beech forests threatened by climate change. eLife 2021: 10:e65532.

Wachstum von Eiche, Buche, Fichte und Kiefer im Klimawandel

Matthias Schmidt, Jan Schick und Thorsten Zeppenfeld
https://doi.org/10.5281/zenodo.5636098

Zur Abschätzung der Folgen des Klimawandels auf den Wald wurden an der Nordwestdeutschen Forstlichen Versuchsanstalt Standort-Leistungs-Modelle (SLM) entwickelt, mit denen sich die Wuchsleistung wichtiger Baumarten im Klimawandel projizieren lässt. Diese SLM stellen eine wichtige Ergänzung zu Modellen zur Gefährdungseinschätzung durch Trockenstress, Stürme oder Borkenkäfer dar. Letztere ermöglichen die Abschätzung des Totalverlustes von Bäumen und Beständen, die SLM erlauben die Abschätzung des Risikos von Zuwachsverlusten.

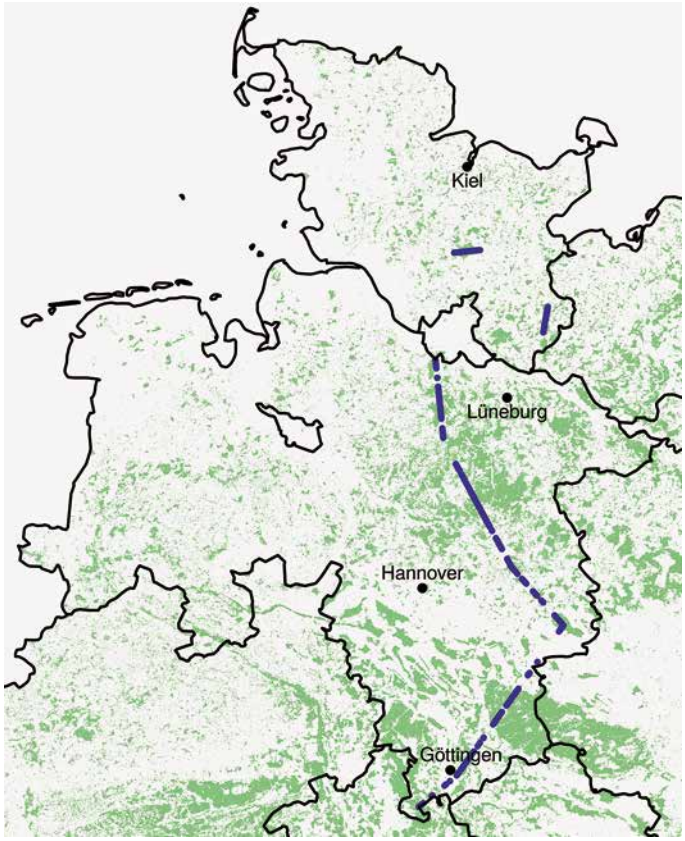
Methodik

Die SLM sind als standortssensitive Bonitätsfächer konzipiert, mit denen sich die Entwicklung der Mittelhöhe (Hg) über dem Alter in Abhängigkeit von wichtigen Standortsfaktoren einschätzen lässt (Schmidt 2020). Diese Faktoren sind die Temperatur- (TSum) und Niederschlagssumme (NSum) in der Vegetationszeit, die jährliche Stickstoffdeposition (NDep) sowie die Wasserhaushalts- (WHZ) und Nährstoffziffer (NZ) entsprechend der forstlichen Standortskartierung. Die edaphischen Standortsfaktoren WHZ und NZ gehen statisch und die Klima- und Depositionsparameter dynamisch in die Leistungsschätzung ein. Dynamisch bedeutet in diesem Zusammenhang, dass die Standortsfaktoren TSum, NSum und NDep als Mittelwerte für den Zeitraum berechnet werden, der für die Projektion der Mittelhöhe relevant ist. Soll beispielsweise die Mittelhöhe im Alter 100 (absolute Mittelhöhenbonität) im Jahr 2050 projiziert werden, so werden die 100 jahresspezifischen Werte für TSum, NSum und NDep von 1950 bis 2050 gemittelt und als Prädiktoren im Modell verwendet. Durch diese Vorgehensweise werden exakt die Klima- bzw. Depositionsbedingungen berücksichtigt, die für die spezifische Mittelhöhen-Entwicklung auf einem gegebenen Standort im betreffenden Zeitraum relevant sind. Bei den Klimaparametern handelt es sich bis 2020 um aggregierte und regionalisierte (räumlich interpolierte) Messdaten der Stationen des Deutschen Wetterdienstes. Für Projektionen in die Zukunft werden ab 2020 regionalisierte Werte aus Klimaprojektionen genutzt, wobei an der NW-FVA derzeit die 7 Klimaläufe des ReKliEs-De-Kernensembles auf Basis des RCP 8.5 Klimaszenarios verwendet werden (Hübener et al. 2017). Die Grundlage für die Regionalisierung der NDep bilden flächendeckende Berechnungen mit dem prozessorientierten LOTUS-EUROS Modell (Schaap et al. 2015), auf deren Basis Zeitreihen der retrospektiven Deposition generiert werden (Wellbrock et al. 2019). Die ertragskundliche Datengrundlage der SLM umfasst die Bundeswaldinventur I, II und III (Riedel et al. 2017) sowie Daten der Landeswaldinventur Brandenburg und von Betriebsinventuren der Niedersächsischen Landesforsten und von HessenForst. Durch diese sehr umfangreiche Datenbasis werden sowohl große Gradienten der dynamischen Standortsfaktoren als auch edaphische Extremstandorte abgedeckt. Insbesondere die Erfassung der unter den aktuellen Klimabedingungen wärmsten und niederschlagsärmsten Standorte in Deutschland ist von großer Bedeutung, um möglichst realistische Projektionen unter den Bedingungen eines veränderten Klimas zu ermöglichen. Dabei wird angenommen, dass Wälder in Nordwestdeutschland zukünftig ähnliche Wuchsleistungen zeigen wie derzeitige Wälder auf den aktuell wärmsten und niederschlagsärmsten Standorten, wenn sich das Klima in Richtung dieser Standorte verändert (Analogieschluss).

Foto: J. Evers

Ergebnisse

Im Folgenden werden Projektionen der absoluten Mittelhöhenbonität und der Leistungsklasse (LKL = dGZmax) für die Jahre 2000 und 2100 entlang eines Transektes von Bad Segeberg über die Wälder östlich von Mölln, die Harburger Berge bei Hamburg, die Lüneburger Heide, den Elm bei Braunschweig, den Harz und den Göttinger Wald bis zum Kaufunger Wald für Eiche, Buche, Fichte und Kiefer dargestellt. Um die klimaabhängigen Trends entlang des Transektes klarer erkennen zu können, wurde die tlw. starke, durch kleinräumige Standortsunterschiede bedingte Streuung der projizierten Bonitäten durch einen Glättungsalgorithmus reduziert. Hier werden nur die Höhenbonitäten detaillierter analysiert. Bei einer Analyse der Leistungsklassen wäre zu beachten, dass die Volumenzuwächse der Baumarten bei gleicher Höhenbonität deutliche Unterschiede aufweisen. Für die Eiche weisen die Schätzungen für das Jahr 2000 in den Hochlagen des Harzes



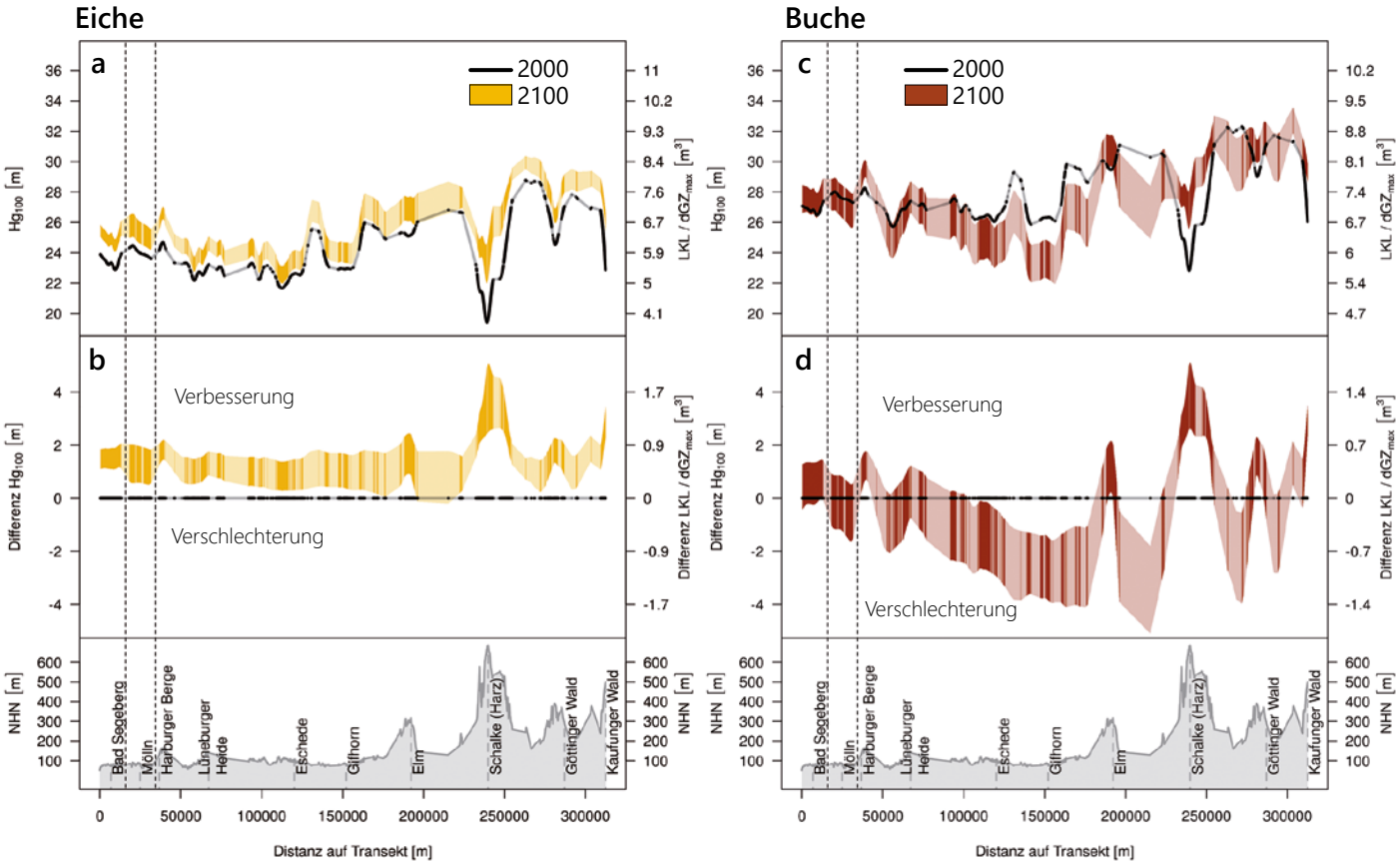
Transekt von Bad Segeberg über die Wälder östlich von Mölln, die Harburger Berge bei Hamburg, die Lüneburger Heide, den Elm bei Braunschweig, den Harz und den Göttinger Wald bis zum Kaufunger Wald. Für diesen Transekt wird die Wuchsleistung für die Jahre 2000 und 2100 projiziert. Der Transekt beinhaltet ausschließlich Waldflächen.

eine höhere Unsicherheit auf, da sie im Randbereich der Daten liegen, die die Grundlage des SLM bilden. In den Gebieten mit aktuell schon hohen Temperatur- und niedrigen Niederschlagssummen liegen die Projektionen für das Jahr 2100 in Abhängigkeit von den verschiedenen Klimaläufen und baumartenspezifischen Datengrundlagen mehr oder weniger stark im Extrapolationsbereich, sodass die Modellvorhersagen auch in diesem Bereich weniger sicher sind.

Zusätzlich werden die Veränderungen zwischen dem Jahr 2000 und 2100 abgebildet, um die unterschiedlichen Reaktionen der Baumarten auf den projizierten Klimawandel bzgl. der Wuchsleistung zu analysieren.

Für das Jahr 2000 zeigen die Modellschätzungen für **Eiche** ein Muster, das im Norddeutschen Tiefland vor allem durch die Geologie bestimmt wird (Abb. unten, **Eiche** a). So werden innerhalb des Tieflands die besten Bonitäten auf Geschiebelehmen oder -mergeln projiziert, wie sie entlang des Transektes in den Harburger Bergen, partiell zwischen Eschede und Gifhorn sowie südöstlich von Gifhorn vorkommen. Geringere Bonitäten werden auf sandigen Substraten geschätzt, wie sie entlang des Transektes westlich von Bad Segeberg, östlich von Mölln und von der Lüneburger Heide bis nach Gifhorn dominieren. Im Mittelgebirgsraum sind die geschätzten Bonitäten dagegen deutlich mit der Höhenlage korreliert. So werden die besten Bonitäten in den tiefsten Lagen zwischen Elm, Harz, Göttinger Wald und Kaufunger Wald projiziert. Diese liegen in Südniedersachsen noch über denen der besten Tieflandsstandorte. Die geringsten Bonitäten werden im Bergland in den höchsten Lagen des Kaufunger Waldes und vor allem des Harzes geschätzt, wo auf der Schalke (762 m) die geringste Bonität des gesamten Transektes projiziert wird. Der Vergleich mit den Projektionen für das Jahr 2100 zeigt für die Eiche fast ausnahmslos Bonitätsverbesserungen (Abb. unten, **Eiche** b). Nur zwischen Elm und Harz weisen einzelne Klimaläufe geringfügige Verschlechterungen auf. Im Tiefland werden die größten Bonitätsverbesserungen in Schleswig-Holstein und den Harburger Bergen projiziert, wobei die Unterschiede insgesamt relativ gering sind. Im Bergland sind die Bonitätsverbesserungen in den tieferen Lagen bis 250 m Höhenlage ähnlich wie im Tiefland. Mit zunehmender Höhenlage werden im Elm, Göttinger Wald, Kaufunger Wald und Harz deutlich ansteigende Bonitätsverbesserungen geschätzt, die auf der Schalke einen Maximalwert von 5 m erreichen.

Für die **Buche** weisen die Schätzungen für das Jahr 2000 ein ähnliches Muster wie bei Eiche auf. Allerdings liegen die Bonitäten erwartungsgemäß deutlich höher als bei Eiche (Abb. unten, **Buche** c). Die höchsten aktuellen Bonitäten werden wie bei Eiche in den tieferen Lagen Südniedersachsens erreicht. Bei der Projektion für das Jahr 2100 zeigen sich jedoch große Unterschiede zwischen den beiden Laubbaumarten, da im Tiefland mit Ausnahme der Harburger Berge in mindestens einem der Klimaläufe Bonitätsverschlechterungen von bis zu 4 m auftreten (Abb. unten, **Buche** d). Im südlichen Tieflandsbereich um Eschede und Gifhorn werden sogar in allen 7 Klimaläufen Bonitätsverschlechterungen projiziert. Auch in den tieferen Lagen des Berglandes bis 200 m werden für die Buche fast ausnahms-



Projektionen der absoluten Mittelhöhenbonität (Hg_{100}) und der Leistungsklasse (LKL/dGZ_{max}) für Eiche (a) und Buche (c) für das Jahr 2000 (schwarze Linien) und für das Jahr 2100 und die 7 Klimaläufe des ReKliEs-De-Kernensembles auf Basis des RCP 8.5 Klimaszenarios (farbige Bänder) entlang des in Abb. Seite 34 dargestellten Transektes von Bad Segeberg bis zum Kaufunger Wald. Die Veränderungen zwischen den Projektionen für 2000 und 2100 zeigen die Diagramme b (Eiche) und d (Buche). Für Punkte außerhalb der Waldfläche, die am hellerem Farbton erkennbar sind, wurde zwischen den Projektionen benachbarter Waldflächen interpoliert. Die unteren Graphiken beschreiben das Profil der Seehöhe (NHN) entlang des Transektes.

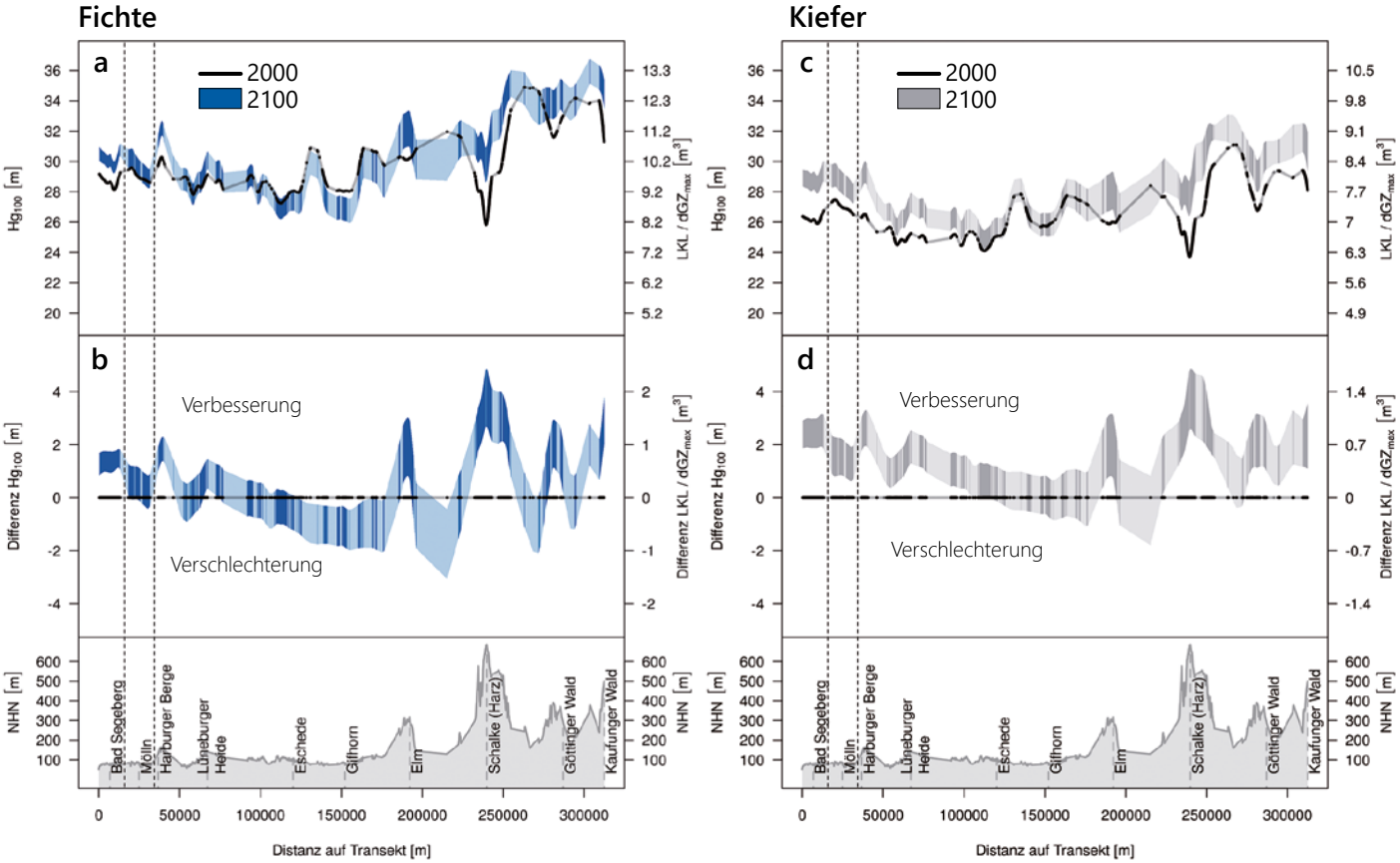
Wachstum von Eiche, Buche, Fichte und Kiefer im Klimawandel

Foto: M. Spielmann

los Bonitätsverschlechterungen von bis zu 5 m projiziert. Mit steigender Höhenlage nimmt die Zahl der Klimaläufe mit Bonitätsverbesserungen deutlich zu. So werden bereits ab 300 m ausschließlich Bonitätsverbesserungen geschätzt. Der Maximalwert wird mit 5 m Bonitätsverbesserung auf der Schalke im Harz projiziert.

Für die **Fichte** weisen die Schätzungen für das Jahr 2000 ein ähnliches Muster wie bei Buche und Eiche auf. Allerdings liegen die Bonitäten – auch hier erwartungsgemäß – noch einmal deutlich höher als bei Buche (Abb. unten, **Fichte** a). Die höchsten aktuellen Bonitäten werden wie bei Eiche und Buche in den tieferen Lagen Südniedersachsens erreicht. Aufgrund ihrer geringen Ansprüche bzgl. der Temperatursumme sind die relativen Bonitätsveränderungen zwischen den mittleren Höhenlagen und den Hochlagen aber geringer als bei Buche und Eiche. Bzgl. der Projektionen für das Jahr 2100 zeigt die Fichte ein ähnliches Muster wie die Buche und unterscheidet sich damit ebenfalls deutlich von der Eiche (Abb. unten, **Fichte** b). So weisen im Norddeutschen Tiefland viele Standorte mindestens einen Klimalauf mit Bonitätsverschlechterungen auf. Allerdings sind diese Verschlechterungen deutlich geringer als bei der Buche. Auch ist im Vergleich zu dieser der Tieflandbereich, in dem ausschließlich Bonitätsverschlechterungen projiziert werden, weniger ausgedehnt. Zudem treten Bereiche mit Bonitätsverbesserungen in allen Klimaläufen nicht nur in den Harburger Bergen, sondern auch im Bereich von Bad Segeberg und der nördlichen Lüneburger Heide auf. Im Bergland sind Bereiche mit ausschließlich Bonitätsverschlechterungen auf den Bereich zwischen Elm und Harz beschränkt, hier werden auch die maximalen Verschlechterungen von bis zu 3 m projiziert. In den höheren Lagen ab 300 m treten auch bei der Fichte ausschließlich Bonitätsverbesserungen auf, die im Elm und Göttinger Wald über den Werten für Buche liegen. In den höheren Lagen des Kaufunger Waldes und des Harzes sind die Bonitätsverbesserungen von Buche und Fichte in etwa gleich. So beträgt der Maximalwert für die Fichte auf der Schalke ebenfalls 5 m.

Das Niveau der Schätzungen für die **Kiefer** für das Jahr 2000 (Abb. unten, **Kiefer** c) liegt zwischen den Projektionen für Bu-



Projektionen der absoluten Mittelhöhenbonität (Hg_{100}) und der Leistungsklasse (LKL/dGZ_{max}) für Fichte (a) und Kiefer (c) für das Jahr 2000 (schwarze Linien) und für das Jahr 2100 und die 7 Klimaläufe des ReKliEs-De-Kernensembles auf Basis des RCP 8.5 Klimaszenarios (farbige Bänder) entlang des in Abb. Seite 34 dargestellten Transektes von Bad Segeberg bis zum Kaufunger Wald. Die Veränderungen zwischen den Projektionen für 2000 und 2100 zeigen die Diagramme b (Fichte) und d (Kiefer). Für Punkte außerhalb der Waldfläche, die am hellerem Farbton erkennbar sind, wurde zwischen den Projektionen benachbarter Waldflächen interpoliert. Die unteren Graphiken beschreiben das Profil der Seehöhe (NHN) entlang des Transektes.

che und Eiche. Bzgl. des grundsätzlichen Musters ähnelt die Kiefer der Fichte. So sind die Bonitätsrückgänge zwischen den mittleren Höhenlagen und den Hochlagen von Kaufunger Wald und insbesondere des Harzes weniger stark als bei Buche und Eiche. Besonderheiten der Kiefer sind die im Baumartenvergleich relativ guten Bonitäten östlich von Mölln und die relativ schlechten Bonitäten im Elm. Beim Vergleich mit den Projektionen für das Jahr 2100 weist die Kiefer ein Muster auf, das zwischen dem von Eiche und Fichte liegt (Abb. Seite 36, **Kiefer** d). So treten im südlichen Tieflandsbereich und zwischen Elm und Harz deutlich mehr Klimaläufe mit Bonitätsverschlechterungen auf als bei Eiche, aber deutlich weniger als bei Fichte. Auch gibt es bei Kiefer keine Bereiche, in denen in allen Klimaläufen Bonitätsverschlechterungen projiziert werden. Die stärksten Bonitätsverbesserungen zeigen sich wie bei den anderen Baumarten in den höheren Mittelgebirgslagen, wobei der Maximalwert ebenfalls auf der Schalke im Harz erreicht wird.

Als allgemeines Muster lässt sich für alle Baumarten festhalten, dass für die Hochlagen von Kaufunger Wald und Harz, wo aktuell die Temperatursumme der begrenzende Wachstumsfaktor ist, sehr deutliche Bonitätsverbesserungen projiziert werden. Klare Verbesserungen werden auch in den mittleren Mittelgebirgslagen bis 400 m, für die Harburger Berge und für den Bereich bei Bad Segeberg geschätzt. In den übrigen Bereichen des Tieflandes und den tieferen Mittelgebirgslagen sind die Verbesserungen bei Eiche geringer. Die übrigen Baumarten weisen hier bereits Standorte bzw. Klimaläufe mit Bonitätsverschlechterungen auf. Dabei nimmt der Anteil mit Bonitätsverschlechterungen von Kiefer über Fichte zu Buche deutlich zu. Als Ursache für Bonitätsverschlechterungen sind sehr hohe zukünftige Temperatursummen oberhalb der Optimalbereiche und vor allem sehr geringe zukünftige Niederschlagssummen zu nennen, die das Wachstum begrenzen.

Foto: M. Spielmann

Projektionen für die gesamte Waldfläche erlauben eine summarische Analyse der Hauptbaumarten bzgl. der zukünftig zu erwartenden Veränderungen der Wuchsleistung. Für einen Vergleich werden die Ergebnisse für alle Trägerländer der NW-FVA aufgeführt (Tabelle links).

Für eine umfassende Bewertung des Anpassungspotenzials der Baumarten im Rahmen einer multifunktionalen Waldwirtschaft müssen die Projektionen der Wuchsleistung mit der Einschätzung wichtiger abiotischer und biotischer Risiken wie Trockenstress-, Sturm- und Borkenkäferschäden im Klimawandel kombiniert werden. So kann eine deutliche Zunahme der Risiken dazu führen, dass unveränderte oder sogar verbesserte Wuchsleistungen, die sich nach dem hier vorgestellten Modell theoretisch ergeben müssten, nicht realisiert werden.

Anteile an der Gesamtwaldfläche für die Trägerländer der NW-FVA mit ausschließlich Bonitätsverbesserungen bzw. -verschlechterungen in allen 7 Klimaläufen bzw. mit indifferenter Entwicklung für die Hauptbaumarten

Schleswig-Holstein			
Baumart	Bonitätsverbesserungen [%]	Bonitätsverschlechterungen [%]	Indifferent [%]
Eiche	100,0	0,0	0,0
Buche	26,4	0,6	73,0
Fichte	78,3	0,0	21,7
Kiefer	99,9	0,0	0,1
Niedersachsen			
Baumart	Bonitätsverbesserungen [%]	Bonitätsverschlechterungen [%]	Indifferent [%]
Eiche	98,5	0,0	1,5
Buche	13,1	44,6	42,3
Fichte	21,4	26,1	52,5
Kiefer	69,4	0,0	30,6
Hessen			
Baumart	Bonitätsverbesserungen [%]	Bonitätsverschlechterungen [%]	Indifferent [%]
Eiche	84,0	0,0	16,0
Buche	23,8	36,0	40,2
Fichte	37,3	29,0	33,7
Kiefer	63,7	16,1	20,2
Sachsen-Anhalt			
Baumart	Bonitätsverbesserungen [%]	Bonitätsverschlechterungen [%]	Indifferent [%]
Eiche	91,2	0,0	8,8
Buche	13,1	77,6	9,3
Fichte	16,7	66,0	17,3
Kiefer	16,1	5,3	78,6

Literatur

Hübener H, Bülow K, Fooken C, Früh B, Hoffmann P, Höpp S, Keuler K, Menz C, Mohr V, Radtke K, Ramthun H, Spekat A, Steger C, Toussaint F, Warrach-Sagi K, Woldt M (2017): Ergebnisbericht REKLIES-DE – Regionale Klimaprojektionen Ensemble für Deutschland. 76 S., http://reklies.hlnug.de/fileadmin/tmpl/reklies/dokumente/ReKliEs-De-Ergebnisbericht.pdf

Riedel T, Hennig P, Kroiher F, Polley H, Schmitz F, Schwitzgebel F (2017): Die dritte Bundeswaldinventur (BWI 2012): Inventur- und Auswertemethoden, 124 S

Schaap M, Kruit RW, Hendriks C, Kranenburg R, Segers A, Builtjes P (2015): Atmospheric deposition to German natural and semi-natural ecosystems during 2009. Umweltforschungsplan Projekt No. (FKZ) 371263240-1 UBA-FB00. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit, Berlin

Schmidt M (2020): Standortsensitive und kalibrierbare Bonitätsfächer: Wachstumspotenziale wichtiger Baumarten unter Klimawandel (Site-sensitive, calibratable site index curves: The growth potential of important tree species under climate change).AFJZ 190(5/6):136-160. DOI: 10.23765/afjz0002043

Wellbrock N, Ahrends B, Bögelein R, Bolte A, Eickenscheidt N, Grüneberg E, König N, Schmitz A, Fleck S, Ziche D (2019): Concept and Methodology of the National Forest Soil Inventory. In: Wellbrock N., Bolte A. (eds) Status and Dynamics of Forests in Germany. Ecological Studies (Analysis and Synthesis), vol 237. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-15734-0_1

Waldmoore - Erfassung und Renaturierungsperspektiven

Maria Aljes, Philipp Küchler und Marcus Schmidt
https://doi.org/10.5281/zenodo.5636115

Moore erhalten momentan im öffentlichen Diskurs um die Themen Klimawandel, Erhalt der Artenvielfalt und Wasserhaushalt verstärkte Aufmerksamkeit. Und das zu Recht. Beispielhaft wird dabei meist auf die großflächig in landwirtschaftlicher Nutzung befindlichen oder dem industriellen Torfabbau dienenden Flächen ehemaliger Hochmoore in der Norddeutschen Tiefebene hingewiesen. Doch auch in Wäldern gibt es Moore, die aufgrund jahrzehntelanger Entwässerung und Aufforstung häufig nicht sofort als solche erkannt werden.

Als Waldmoore werden Moore (>30 cm Torfmächtigkeit) und Anmoore (<30 cm Torfmächtigkeit oder Anmoortorfe) verstanden, deren Wassereinzugsgebiete bewaldet sind – unabhängig davon, ob hier die Moorfläche selbst offen oder gehölzbestanden ist. Solche in Wald eingebetteten Moore sind oft vergleichsweise klein, können jedoch bedeutende und vielfältige Funktionen erfüllen:

- Sie sind Lebensraum seltener und gefährdeter, oft hochspezialisierter Tier- und Pflanzenarten und haben eine große Bedeutung für die biologische Vielfalt auf der Landschaftsebene.
- Als Kohlenstoffspeicher und -senke haben sie eine wichtige Klimaschutzfunktion und wirken generell stabilisierend auf den lokalen Wasserhaushalt von Wäldern.
- Aufgrund ihrer Wasserspeicherfunktion haben sie eine große Bedeutung für den Landschaftswasserhaushalt. Da die Moore im Hügel- und Bergland in den meisten Fällen Quellgebiete von Bächen sind, wirkt sich ihr Zustand direkt auf Wasserqualität und Hochwasserrückhalt aus.
- Schließlich erfüllen Moore eine wichtige Archivfunktion, indem sie Pollen und pflanzliche Großreste konservieren, mit deren Hilfe die Vegetationsgeschichte rekonstruiert werden kann.

Viele Waldmoore sind jedoch noch immer durch Entwässerungsmaßnahmen beeinträchtigt und können die genannten Funktionen nicht oder nur eingeschränkt erfüllen. Verschärfend kommt in der jüngeren Vergangenheit der Klimawandel hinzu, der die Moor- und Anmoorlebensräume und die an sie gebundenen Arten in besonderer Weise bedroht.

Seit 2008 beschäftigt sich die heutige Abteilung Waldnaturschutz der Nordwestdeutschen Forstlichen Versuchsanstalt mit der Renaturierung von Waldmooren. Die Versuchsanstalt legt den Fokus auf den fachlichen Austausch von Experten und Praktikern in Seminaren und Beratungsgesprächen sowie die Begleitung von Beispielprojekten unter anderem im Rahmen eines Monitorings. Auch die Erprobung des Decision Support Systems Waldmoorschutz (dss-wamos.de) wurde mit begleitet. Darüber hinaus beauftragt die Abteilung Waldnaturschutz auch Kartierungsarbeiten oder führt sie im Rahmen von Drittmittelprojekten selber durch. So wird aktuell in Hessen im Rahmen des Integrierten Klimaschutzplans 2025 (IKSP) ein Projekt bearbeitet, in dessen Rahmen die Verbreitung und der Zustand der Waldmoore erfasst und Maßnahmenvorschläge zu ihrer Erhaltung und Renaturierung erarbeitet werden.

Degradierung von Waldmooren – ein Rückblick

Bereits ab dem 16. Jahrhundert gab es in vielen deutschen Ländern Bestrebungen, zur Entlastung des Waldes in Bezug auf Brennholzlieferungen an Berg- und Hüttenwerke alternative Brennstoffe wie Braunkohle oder Torf zu nutzen. Belegt sind solche Torfstiche für das 16. bis 19. Jahrhundert aus vielen Waldgebieten im Mittelgebirgsraum wie dem Harz, dem Solling, der Rhön, dem Burgwald oder der Bulau. Die zunehmende Steinkohlenutzung führte im Verlaufe des 19. Jahrhunderts zur Aufgabe der meisten Torfstiche im Wald.

Entwässerung zu landwirtschaftlichen Zwecken (Waldwiesen) oder im Rahmen einer Aufforstung, meist mit Fichte oder Wald-Kiefer, hat vor allem im Zeitraum zwischen der zweiten Hälfte

Kleine Moore im Wald, wie diese hier im hessischen Burgwald, haben oft bessere Renaturierungsprognosen als solche im Offenland.
Foto: P. Küchler

des 18. Jahrhunderts und der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts eine sehr große Rolle im Bereich von Waldmoor-Standorten gespielt. Die dabei angelegten Grabensysteme wurden häufig noch bis in die jüngste Vergangenheit unterhalten. Mit zunehmenden technischen Möglichkeiten kam es teilweise sogar zum flächigen Umbruch von Waldmooren zum Zwecke der Aufforstung.
Besonders im norddeutschen Tiefland wurden heutige Waldmoore im Rahmen einer Kultivierung von „Ödland" zum Zwecke einer landwirtschaftlichen Nutzung entwässert. Die oft wenig ertragreiche Landwirtschaft wurde dann vielfach nach 1950 aufgegeben und die Flächen wurden aufgeforstet oder es entstanden im Rahmen einer natürlichen Sukzession „Anflugwälder" aus Birke und Kiefer auf dem weiterhin entwässerten Moor.

Umbruch von Moor-Stagnogley-Böden zum Zwecke der Aufforstung 1928 *Foto: Archiv Gisbert Backhaus*

Nutzungsauflassung reicht nicht

In den meisten entwässerten Mooren sind aktive wasserbauliche Maßnahmen zur Wiedervernässung nötig, die gegebenfalls noch durch Biotoppflegemaßnahmen begleitet werden müssen. Denn nur wenige entwässerte Moore verfügen noch über eine ausreichende Selbstregenerationsfähigkeit, sodass Torfwachstum die Entwässerungsgräben vollständig schließt und sich wieder moortypische Pflanzen einstellen. Meistens jedoch entwässern die Gräben oder auch tiefergelegte Bäche das Moor auch dann weiter, wenn sie nicht mehr unterhalten werden. Dann kommt es zu weiterer Torfzersetzung mit Klimagasfreisetzung und Verlust an Artenvielfalt. Im Extremfall tiefen sich die Gräben nach Auflassung sogar erosiv ein, sodass der Moorwasserspiegel dadurch noch weiter sinkt.
In einigen entwässerten Waldmooren nährstoffärmerer Standorte breiten sich nach einer Nutzungsauflassung zudem die eingebrachten Fichten weiter aus und verhalten sich hier als „invasive Art", die Moorpflanzen ausschattet und zudem durch Interzeption und Verdunstung den Wasserhaushalt beeinträchtigt.

Durch die Renaturierung werden die Kernlebensräume von Moorarten wie dieser Moosbeere im Sinne eines Biotopverbunds verbessert. *Foto: P. Küchler*

Perspektiven der Waldmoor-Renaturierung

Gegenüber landwirtschaftlich genutzten Mooren im Offenland haben Waldmoore meist günstigere Renaturierungsperspektiven. Denn oft wurden sie weniger tief entwässert und nur selten tief umgebrochen. Außerdem bestehen weniger Zielkonflikte, da die Waldmoorstandorte eine sehr geringe Bedeutung für die Holzproduktion haben. Daher ist allgemein beim Thema Waldmoore ein sehr breiter Konsens der relevanten Akteure aus Forstwirtschaft und Naturschutz festzustellen. Zudem besteht gerade bei Mooren in Waldgebieten weniger zersplitterter Grundbesitz als in landwirtschaftlichem Gelände, sodass eine Einbeziehung des gesamten Moorkörpers in ein Renaturierungsprojekt eher möglich ist.
Die meisten Wälder, die standörtlich bedingt über Moore verfügen, zeichnen sich durch zahlreiche kleine Moorstandorte aus. Die Renaturierung mehrerer davon schafft einen lokalen Biotopverbund für Moorarten und kann so ihr Überleben besser absichern als Einzelprojekte es vermögen.

Vorgehen bei der Renaturierung

Am Anfang eines Renaturierungsvorhabens steht eine Abgrenzung des Moorkörpers mit Erfassung der Torfmächtigkeiten sowie Kartierung der Entwässerungsgräben. Darüber hinaus muss die aktuelle Bestockung und Vegetation betrachtet werden. Bei diesen Vorarbeiten werden oft auch Methoden der Fernerkundung eingesetzt. Die Moorabgrenzung ist jedoch nur bodenkundlich vor Ort sicher möglich. Mit in die Betrachtung einbezogen werden müssen die Wassereinzugsgebiete der Waldmoore, in denen ggf. auch Maßnahmen wie etwa ein Waldumbau eingeplant werden sollten, um eine Erhöhung der Versickerung zu gewährleisten. Auf der Grund-

Intakte, kohlenstoffbindende Moore haben ganzjährig flurnahe Wasserstände. *Foto: P. Küchler*

Bei der Entnahme von Nadelbäumen muss teilweise Seilkrantechnik eingesetzt werden, um die sensiblen Moorstandorte nicht zu beeinträchtigen. Ein lockerer Schirm von Moorbirken bleibt hier erhalten. *Foto: M. Schmidt*

lage dieser Daten erfolgen eine gebietsspezifische Planung der Renaturierungsmaßnahmen und die Ableitung von Zielvorstellungen.

Das Idealziel ist ein erneutes Moorwachstum durch eine „Vollvernässung", die zu neuem Torfwachstum durch ganzjährig flurgleiche bis flurnahe Wasserstände führt und bei geneigten Mooren die flächige Durchsickerung oder Überrieselung des Torfkörpers wiederherstellt. Damit unterscheiden sich die Ziele für die Waldmoore von jenen landwirtschaftlich genutzten Mooren, in denen wegen weiträumiger Grundwasserabsenkungen oder Rücksicht auf die weitere Nutzung maximal ein Torferhalt als Vernässungsziel möglich ist.

Wichtigste Maßnahmen zur Verbesserung des Moorzustands bzw. Anpassung an den Klimawandel zum Ausgleich einer Verschlechterung der Wasserbilanz im Sommer ist in der Regel eine Grabenverfüllung bzw. in speziellen Fällen auch ein Anstau oder Überstau. Weiterhin müssen oft dicht stehende Nadelbäume ganz oder teilweise entnommen werden. Dabei kommt in vielen Fällen auch Seilkrantechnik zum Einsatz, um die Moorböden nicht zu belasten oder gar zu beeinträchtigen.

Erfolgreich renaturierte Waldmoore erfüllen vielfältige Funktionen in der Landschaft – Teichwiesen im Solling. *Foto: P. Küchler*

Erfolge und Erfolgskontrolle

In vielen Fällen sorgfältig geplanter Wiedervernässungen stellt sich erfreulich schnell ein Erfolg der Renaturierungsmaßnahmen in Waldmooren ein. Er ist beispielsweise messbar über Jahresgänge des Wasserstandes unter Flur oder die Ausbreitung und das Wachstum von Torfmoosen und weiteren moortypischen Arten. In anderen Fällen ist sehr viel Geduld notwendig und im Extremfall müssen Maßnahmen nachgebessert werden. Um den Erfolg abschätzen und eine effiziente Steuerung von Maßnahmen vornehmen zu können, sollte für jede Moorrenaturierung ein adäquates Monitoring eingeplant werden.

Ausblick

Moorstandorte und die an sie gebundenen Arten sind in besonderem Maße von den Auswirkungen des Klimawandels betroffen. Zugleich tragen entwässerte Moore durch Freisetzung von Kohlenstoffdioxid und Lachgas selbst zum Klimawandel bei. Vor diesem Hintergrund ist keine Zeit zu verlieren, wenn das Ziel erreicht werden soll, Waldmoore in einen Zustand zu versetzen, der klimasensitiven Moorarten Überlebensmöglichkeiten bietet und die Erfüllung der eingangs dargestellten Funktionen von Waldmooren ermöglicht.

Die Erfahrungen mit der Renaturierung von Waldmooren haben gezeigt, dass von vornherein eine Vollvernässung angestrebt werden sollte, also alle durchführbaren Maßnahmen ergriffen werden. Ebenso ist es wichtig, in den Planungen den gesamten Moorkörper und eventuell damit verzahnte natürliche Fließgewässer mit einzubeziehen. Dies bedeutet auch, vorab die einstige Ausdehnung der Vermoorung, ihre Wasserversorgung und den hydrogenetischen Moortyp zu erfassen.

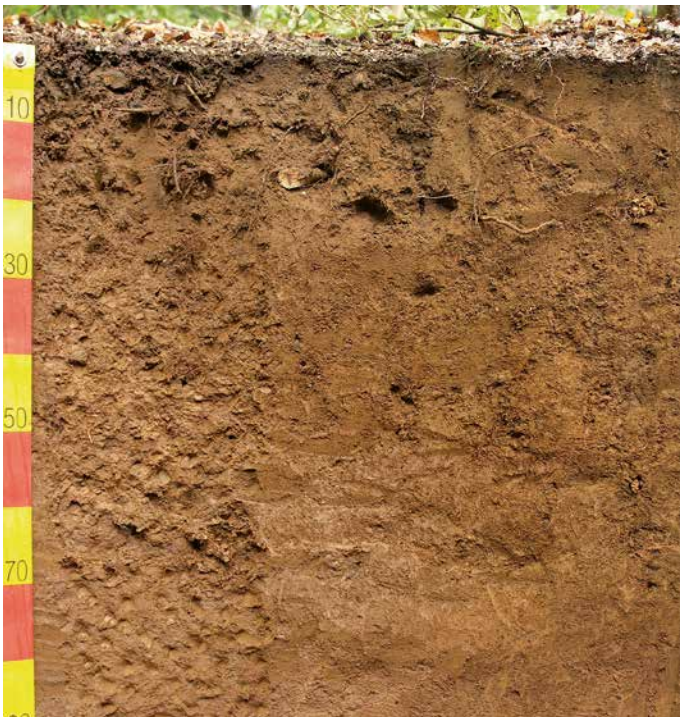
Ein von Beginn an konzipiertes Monitoring dient der Erfolgskontrolle und ermöglicht zu erkennen, ob bei der Vernässung nachgesteuert werden muss.

Lössboden – verweht, verlagert, vergleyt und (fast) der perfekte Waldboden

Jan Evers
https://doi.org/10.5281/zenodo.5636124

Der Lössboden – der Boden des Jahres 2021 – bietet mit seinen Eigenschaften die besten Voraussetzungen für eine gute Durchwurzelung und damit für das Pflanzenwachstum. Lössböden werden daher überwiegend landwirtschaftlich genutzt. Weltweit fruchtet der weitaus größte Anteil des angebauten Getreides auf Lössböden. Das Bodenmaterial Löss ist ursprünglich durch Wind verweht und weit verlagert worden. Deswegen setzt sich der Löss aus Partikeln vorwiegend mittlerer Größe zusammen, die gut vom Wind verweht werden können. Das ist überwiegend Schluff, manchmal auch Feinsand. Es fehlen im Löss Steine und schwere Sandkörner. Daraus ergibt sich ein Partikel- und Porengemisch, welches optimal Wasser speichern und halten kann. Je nach verwehtem Material sind Lössböden in der Regel mittel bis gut nährstoffversorgt bei hoher mikrobieller Aktivität. Wenn Wald auf Lössböden wachsen darf, diese Standorte also nicht der Landwirtschaft vorbehalten sind, bilden sich bei entsprechenden klimatischen Bedingungen außerordentlich wuchskräftige Waldbestände (Hochleistungsstandorte) heraus. Besonders die Rotbuche entwickelt auf diesen Standorten eindrucksvolle Waldbestände, aber auch Kirsche, Bergahorn, Esche und Nadelholz wachsen hervorragend.

Die Lössablagerungen in Norddeutschland entstanden überwiegend in der letzten Eiszeit (Weichsel-Kaltzeit). Kaltwinde aus nördlich gelegenen Gletschern trieben Stäube an, die aus verwittertem, eisfreiem und vegetationslosem Offenland entstanden. Diese Stäube lagerten sich vor und in den südlich gelegenen Mittelgebirgen an, dort meist an windabgewandten Lagen. Die mächtigsten Lössdecken finden sich in Niedersachsen in der Calenberger- und Hildesheimer Börde, in Sachsen-Anhalt in der Magdeburger Börde und im Mittelgebirgsraum in Beckenlandschaften oder weiten Tälern (z. B. Fritzlarer Börde). In den Waldböden der Mittelgebirge findet sich der Lösslehm als mehr oder weniger starke Überdeckung sehr häufig.



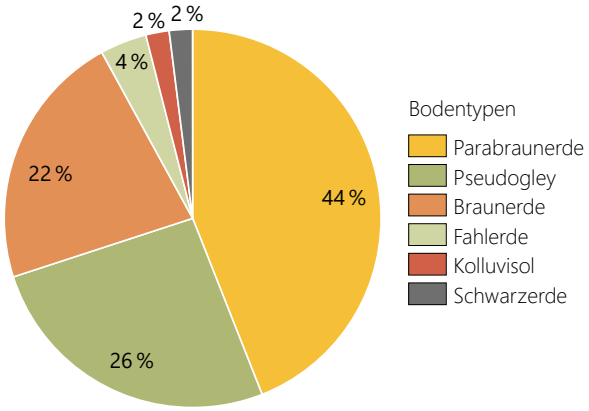
Parabraunerde auf Lösslehm *Foto: H. Kasel*

Pseudogley auf Lösslehm *Foto: H. Kasel*

Vom Lösslehm bestimmte Waldstandorte kommen an 12 % aller BZE II-Punkte im Kollektiv der NW-FVA vor. Nach den Sanden (39 %) und den Buntsandstein-Standorten (13 %) sind dies die dritthäufigsten Waldstandorte. In Niedersachsen und Sachsen-Anhalt sind es jeweils 11 %, in Hessen 14 %. In Schleswig-Holstein gibt es im Kollektiv der BZE-Punkte keinen Lösslehm.

Bodentypen

Aus Lösslehm entwickeln sich im Laufe der Zeit in Abhängigkeit des Klimas, des chemischen Milieus und der Vegetation verschiedene Bodentypen: Parabraunerden, Pseudogleye, Braunerden, Fahlerden und seltener Kolluvisole und Schwarzerden. Parabraunerden entstehen, wenn feine Tonpartikel mit dem Sickerwasser in tiefere Bodenschichten verlagert werden. Wenn dabei ein sehr stark aufgehellter, tonarmer Bereich entsteht, spricht man von einer Fahlerde. Über dem tonreichen Ablagerungsbereich kann sich Sickerwasser stauen, hier zeigt sich dann im Mineralboden eine marmorierte Färbung

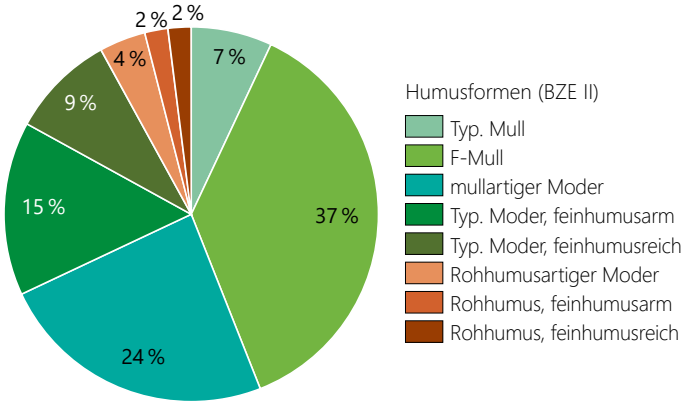


Verteilung der Bodentypen unter Wald in der Substratgruppe Lösslehm (BZE II, NW-FVA)

durch reduzierende Bedingungen. Dies sind Pseudogleye, die auf Lösslehm häufig vorkommen. Werden weder Tonpartikel verlagert noch staut sich auffallend Sickerwasser, entstehen Braunerden. Wird vor allem in steileren Lagen humusreicher Lösslehm in Kombination mit Spuren menschlicher Einflussnahme (v. a. Holzkohle) in Täler verlagert, entstehen Kolluvisole. Unter Wald seltene Schwarzerden zeichnen sich durch tief in den Mineralboden eingearbeiteten Humus aus. Die prozentualen Anteile dieser Bodentypen unter Wald sind in der Abbildung auf Seite 41 dargestellt.

Humusformen

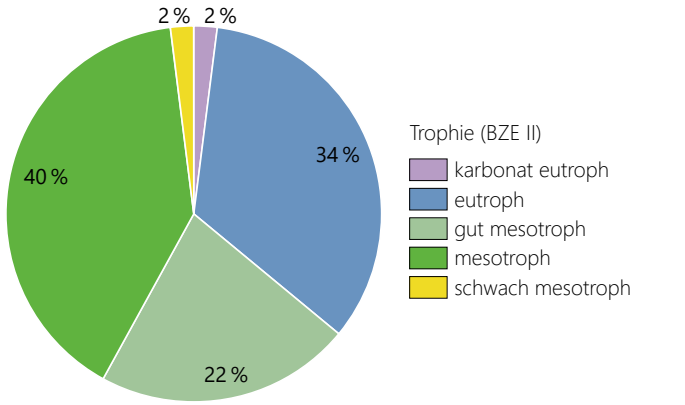
Die meisten Humusformen auf den Standorten der Lösslehme sind günstig: Insgesamt 44 % der betreffenden BZE-Punkte haben die Humusform Mull und 24 % die Humusform mullartiger Moder. 24 % der Lösslehmstandorte kennzeichnet der Moder. Auf 8 % kommen Rohhumusartiger Moder und Rohhumus vor, dies zeigt deutlich gestörten Humusabbau und ungünstige bodenchemische Verhältnisse an.



Verteilung der Humusformen in der Substratgruppe Lösslehm (BZE II, NW-FVA)

Trophie

Unter Einbeziehung der bodenchemischen Analysen in der BZE II ergab sich die in folgender Abbildung dargestellte Verteilung der Trophiestufen im Lösslehm: Selten vorkommend sind karbonat-eutrophe und schwach mesotrophe Lösslehme, am häufigsten sind mit 40 % mesotrophe, dann mit 34 % eutrophe und 22 % gut mesotrophe Lösslehm-Standorte. Mit knapp 60 % überwiegen die besser mit Nährstoffen ausgestatteten Lösslehme (karbonat-eutroph, eutroph und gut mesotroph).



Verteilung der Trophiestufen in der Substratgruppe Lösslehm (BZE II, NW-FVA)

Natürliche Waldgesellschaften und aktuelle Bestockung

Je nach Höhenlage und Nährstoffausstattung der Wälder auf Lösslehm finden sich im Bergland Hainsimsen-, Waldmeister- und Waldgersten-Buchenwälder mit entsprechenden Übergängen. Hainsimsen-Buchenwälder entwickeln sich vorzugsweise auf Standorten mit Lösslehmdecken über z. B. Buntsandstein, sie sind in der Regel basenärmer. Charakterarten der Hainsimsen-Buchenwälder sind u. a. Weiße Hainsimse, Frauenfarn, Sauerklee und Drahtschmiele. Den typischen Waldmeister-Buchenwald kennzeichnen Waldmeister, Waldsegge, Einblütiges Perlgras, Ährige Teufelskralle und Waldveilchen. Diese Standorte weisen mittlere Basensättigungen im oberen und höhere im unteren Mineralboden auf. Im Waldgersten-Buchenwald finden sich hohe Basensättigungen auch im oberen Mineralboden. Kennarten sind hier die Gelbe Anemone, Aronstab, Haselwurz, Waldzwenke, Seidelbast, Leberblümchen, Waldgerste, Bingelkraut und Frühlingsplatterbse.

Im Tiefland kommen neben den reicheren Waldmeister-Buchenwäldern die Flattergras-Buchenwälder vor.

Zum Zeitpunkt der BZE II waren rund 60 % der Lösslehm-Standorte mit Laubwald – überwiegend Buche – und 40 % mit Nadelwald bestockt, hier hauptsächlich Fichtenbestände.

Physikalische und chemische Bodenkenngrößen

Aufgrund der typischen Porenverteilung mit vielen Mittelporen sowie wenig Grob- und Feinporen kann der Lössboden sehr viel Wasser speichern und gegen die Schwerkraft halten. Mit durchschnittlich knapp 200 mm nutzbarer Feldkapazität bis 1 m Bodentiefe speichern Lössböden von allen Waldböden die höchste Wassermenge. Die Trockenrohdichten liegen im mittleren Bereich, im Oberboden zwischen 1,0 bis 1,3 g/cm^3, im Unterboden zwischen 1,3 bis 1,5 g/cm^3. Die Steingehalte sind sehr gering, der reine Lösslehm ist steinfrei. Lössböden sind sehr empfindlich gegenüber Befahrung mit schweren Maschinen, die Böden verdichten und verlieren dann ihre Durchlässigkeit. Dies kann zu Stauwasser und fehlender Durchlüftung führen.

Eine der wichtigsten bodenchemischen Messgrößen ist die Austauschkapazität als Summe der Konzentrationen der leicht mobilisierbaren Nährstoffe Calcium, Magnesium, Kalium und Natrium sowie der Kationsäuren Aluminium, Eisen, Mangan und Protonen. Mit Werten um 900 kmol$_c$ je Hektar Austauschkapazität bis 90 cm Bodentiefe zählen die Lössböden zu den Standorten mit den höchsten Austauschkapazitäten. In Sachsen-Anhalt ist die mittlere Austauschkapazität des Lössbodens je Hektar mit rund 1.200 kmol$_c$ am höchsten, gefolgt von der in Hessen mit knapp 1.000 kmol$_c$ und der geringsten Austauschkapazität in Niedersachsen mit 750 kmol$_c$. Dies liegt an der unterschiedlichen Zusammensetzung der Lössböden in den Bundesländern: In Sachsen-Anhalt überwiegen Schlufftone, Tonschluffe und Lehmschluffe, in Niedersachsen dagegen kommen viel häufiger Sandschluffe und Lehme vor. Hessen liegt mit der Verteilung der Ton- und Sandschluffe zwischen Niedersachsen und Sachsen-Anhalt. Diese landesspezifischen Unterschiede resultieren aus den unterschiedlichen damaligen Auswehungsräumen und dem

je nach Windrichtung anstehendem verwehtem Boden und seiner Zusammensetzung. Die sandigen Lössfraktionen werden aufgrund der Schwere der Sandkörner früher, die stärker tonigen Stäube weiter verlagert.

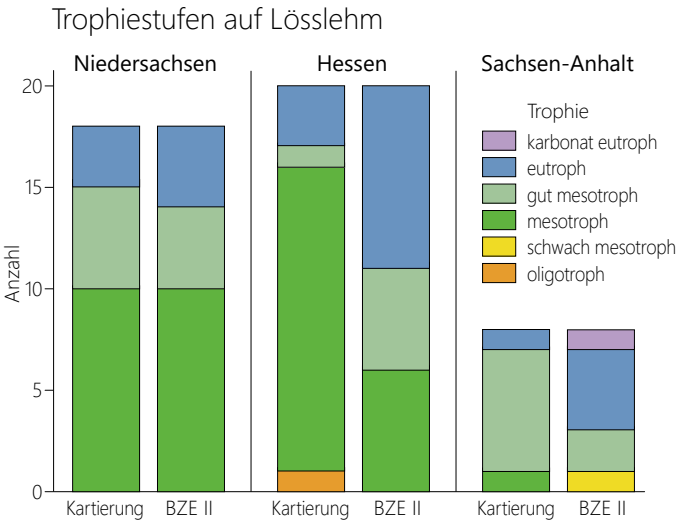
Je toniger ein Lössboden, desto höher ist seine Austauschkapazität und damit auch die mögliche Versorgung von Wäldern mit den austauschbaren Nährstoffen Calcium, Magnesium und Kalium. Der mittlere Vorrat an austauschbarem Calcium (Magnesium, Kalium) in Lössböden liegt in Niedersachsen bei knapp 5.000 kg (760, 630), in Hessen bei 6.500 kg (2.500, 940) und in Sachsen-Anhalt bei 13.000 kg (1.600, 1.600). Damit sind die Calcium-, Magnesium- und Kaliumvorräte in Sachsen-Anhalt mehr als doppelt so hoch wie in Niedersachsen, bis auf Magnesium auch deutlich höher als in Hessen. Mit diesen durchschnittlichen Nährstoffvorräten liegen die Lössböden in der Regel im mittleren bis hohen Bewertungsbereich. Die höchsten Nährstoffvorräte sind in den unteren Bodenschichten unterhalb von 30 cm Bodentiefe gespeichert.

Da die Lösslehme je nach Zusammensetzung und Region sehr unterschiedlich mit Nährstoffen versorgt sind, ist die klimaangepasste Baumartenwahl auf diesen Standorten auf die Ergebnisse der forstlichen Standortskartierung angewiesen. Diese betrifft vor allem die Einschätzung der Nährstoffversorgung bei den Lössböden, hinsichtlich des Wasserhaushaltes differenzieren die Lösslehme wenig. Beim Vergleich der Trophieeinschätzung durch die Standortskartierung einerseits und der BZE II mit der Bodenchemie andererseits ergeben sich ebenfalls länderspezifische Unterschiede. In Niedersachsen sind die Anteile der mit mesotroph, gut mesotroph und eutroph eingeschätzten Lösslehme zwischen Standortskartierung und BZE II nahezu identisch. In Hessen sind die Lösslehme deutlich in ihrer Nährstoffausstattung durch die Standortskartierung unterschätzt: Der Anteil eutropher und gut mesotropher Lösslehmstandorte ist in der BZE II deutlich höher. Ähnlich ist es in Sachsen-Anhalt, die Lösslehme sind in der Kartierung überwiegend mit gut mesotroph eingestuft worden, in der BZE II dagegen mit eutroph. Diese Ergebnisse machen deutlich, wie wichtig die Einbeziehung bodenchemischer Kenngrößen bei der Einschätzung der Trophie forstlicher Standorte ist.

Im Zuge fortschreitender Bodenversauerung werden die an der Pufferung beteiligten basischen Kationen Calcium, Magnesium und Kalium vom Austauscher durch die sauren Kationen Aluminium, Eisen, Mangan und Wasserstoff-Ionen verdrängt. Die Austauschkapazität bleibt dabei weitgehend konstant, es verringert sich jedoch die Basensättigung, also der relative Anteil der basischen Nährstoffkationen Calcium, Magnesium, Kalium und Natrium im Vergleich zur Summe aller Kationen am Austauscher. Ein starkes Absinken der Basensättigung im Mineralboden ist eine Folge luftbürtiger, versauernd wirkender Stoffeinträge. Eine Basensättigung unterhalb von 20 % wird als gering, unter 7 % als sehr gering eingestuft. Diese Werte werden in den am stärksten versauerten Waldböden erreicht. Für Böden mittlerer Nährstoffgüte ist eine Basensättigung von 30 bis 50 % definiert.

Für Lössböden liegt die durchschnittliche Basensättigung auf Profilebene bei 44 % und damit im mittleren Bewertungsbereich. In Sachsen-Anhalt erreichen die Lössböden durchschnittlich 60 %, in Hessen rund 50 % und in Niedersachsen 30 % mittlere Basensättigungen auf Profilebene. In Niedersachsen werden unter Lösslehmen in den Tiefen ab 10 cm im Median Basensättigungen unterhalb von 15 % erreicht, diese Standorte sind für Kompensationskalkungen vorgesehen. In der Regel müssen Lössböden jedoch nicht gekalkt werden.

Gegenüber der BZE I (1990) hat sich die mittlere Basensättigung der Lösslehme in der BZE II (2007) nicht signifikant verändert. Nur im gekalkten Kollektiv erhöhte sie sich in der Tiefenstufe 0-5 cm Bodentiefe. Die Calcium- und Magnesiumvorräte in 0-5 cm und 5-10 cm Bodentiefe nahmen im gekalkten Kollektiv ebenfalls signifikant zu, bei Magnesium sogar bis 30 cm Bodentiefe. Die mittleren Kohlenstoff- und Stickstoffvorräte im Auflagehumus und Mineralboden erhöhten sich im Vergleich zur BZE I, Kohlenstoff um 14 % und Stickstoff um 4 %.



Verteilung der Trophiestufen gemäß der Standortskartierung und an den BZE-Punkten mit BZE II-Bodenchemie

Buche auf Lösslehm *Foto: J. Evers*

Impressum:

Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt
Abteilung Umweltkontrolle
Sachgebiet Wald- und Bodenzustand
Grätzelstraße 2, 37079 Göttingen
Tel.: 0551/69401-0
Fax: 0551/69401-160
Zentrale@nw-fva.de
www.nw-fva.de

Redaktion: Dammann I, Paar U, Weymar J, Spielmann M und Talkner U

Titelfoto: Spielmann M

Layout: Starick E

Herstellung: Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt

Druck: Printec Offset Kassel

Zitiervorschlag
Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt, Niedersächsisches Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (Hrsg.) (2021): Waldzustandsbericht 2021 für Niedersachsen, 44 S
https://doi.org/10.5281/zenodo.5615008

Zitate der Einzelbeiträge bitte nach folgendem Schema:
Dammann I, Paar U (2021): WZE-Ergebnisse für alle Baumarten. In: Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt, Niedersächsisches Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (Hrsg.): Waldzustandsbericht 2021 für Niedersachsen. S 8-17.
https://doi.org/10.5281/zenodo.5615263

Dieses Werk ist lizensiert unter einer Creative Commons Namensnennung 4.0 International Lizenz. (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0)

Der Waldzustandsbericht 2021 ist abrufbar unter www.nw-fva.de und www.ml.niedersachsen.de >=> Themenbereich Wald, Holz und Jagd

Hauptverantwortliche für die Waldzustandserhebung in Hessen, Niedersachsen, Sachsen-Anhalt und Schleswig-Holstein:

Dr. Ulrike Talkner
Abteilungsleiterin
Umweltkontrolle

Dr. Uwe Paar
Sachgebietsleiter Wald- und Bodenzustand, Redaktion

Inge Dammann
Leiterin der Außenaufnahmen, Auswertung, Redaktion

Dr. Jan Evers
Bodenzustandserhebung

Andreas Hafner
Datenmanagement

Jörg Weymar
Außenaufnahmen und Kontrollen

Michael Spielmann
Außenaufnahmen und Kontrollen

Dr. Bernd Westphal
Außenaufnahmen und Kontrollen

Diese Druckschrift wird im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit der Niedersächsischen Landesregierung herausgegeben. Sie darf weder von Parteien noch von Wahlwerberinnen und Wahlwerbern, Wahlhelferinnen und Wahlhelfern während eines Wahlkampfes zum Zwecke der Wahlwerbung verwendet werden. Dies gilt für Europa-, Bundestags-, Landtags- und Kommunalwahlen.
Missbräuchlich ist insbesondere die Verteilung auf Wahlveranstaltungen, an Informationsständen der Parteien sowie das Einlegen, Aufdrucken oder Aufkleben parteipolitischer Informationen oder Werbemittel. Untersagt ist gleichfalls die Weitergabe an Dritte zum Zwecke der Wahlwerbung. Auch ohne zeitlichen Bezug zu einer bevorstehenden Wahl darf die Druckschrift nicht in einer Weise verwendet werden, die als Parteinahme der Landesregierung zugunsten einzelner politischer Gruppen verstanden werden könnte. Die Beschränkungen gelten unabhängig davon, wann, auf welchem Weg und in welcher Anzahl diese Druckschrift dem Empfänger zugegangen ist. Den Parteien ist jedoch gestattet, die Druckschrift zur Unterrichtung ihrer eigenen Mitglieder zu verwenden.