

Waldzustandsbericht 2021



Vorwort



Liebe Leserinnen, liebe Leser,

der Klimawandel und seine Folgen haben uns auch in diesem Jahr erschüttert. Zwar blieb die Hitze und Trockenheit aus, dafür kamen unfassbare Wassermassen in kurzer Zeit vom Himmel und haben in unseren Nachbarbundesländern zu einer Flutkatastrophe geführt, die zahlreiche Menschenleben gekostet hat. Das hat uns abermals gezeigt, dass es höchste Zeit ist, den Klimaschutz und die Klimaanpassung ernst zu nehmen und eine konsequente Politik umzusetzen.

Der Wald nimmt beim Klimaschutz und bei der Klimaanpassung eine zentrale Rolle ein. Er ist zum einen Opfer des Klimawandels – was der diesjährige Waldzustandsbericht wieder unterstreicht – und gleichzeitig ist er von großer Bedeutung, um CO₂ aus der Atmosphäre zu ziehen, die Umgebung zu kühlen und Niederschlag aufzunehmen.

Wer offenen Auges durch die Wälder Hessens streift, kann selbst erkennen, dass der Zustand des Waldes weiterhin schlecht ist. Weiter zunehmende Kahlfächen, abgestorbene Fichten, kränkelnde Buchen und Kiefern sowie aus Gründen der Sicherheit abgesperrte Waldbereiche prägen vielerorts das Bild.

Die diesem Bericht zu Grunde liegenden langjährigen Erhebungen des Waldzustandes in Hessen liefern hierzu belastbare Daten und ermöglichen weitergehende wissenschaftliche Auswertungen, die uns eine Einordnung und Bewertung der aktuellen Situation erlauben. Dafür danke ich allen beteiligten Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern insbesondere bei der Nordwestdeutschen Forstlichen Versuchsanstalt.

Die Ergebnisse der Waldzustandserhebung dokumentieren einen seit 2019 anhaltend schlechten Gesundheitszustand. Die mittlere Kronenverlichtung aller Baumarten und Altersstufen verbleibt mit 26 % auf sehr hohem Niveau, besonders betroffen sind die älteren Bäume. Die jüngeren, bis 60 Jahre alten Bäume haben offensichtlich von den günstigeren Niederschlagsbedingungen in 2021 profitiert und weisen verbesserte Werte auf. Der Anteil starker Schäden bleibt über alle Baumarten hinweg jedoch sehr hoch. Die Auswirkungen des Klimawandels mit zunehmenden Witterungsextremen haben das Erscheinungsbild des hessischen Waldes in den letzten Jahren geprägt und mancherorts deutlich verändert. Der Wald ist in seiner Stabilität beeinträchtigt.

Die Hessische Landesregierung setzt ihre Anstrengungen zum Aufbau vielfältiger und klimastabiler Wälder in Hessen konsequent und umfassend fort. Im Rahmen des Integrierten Klimaschutzplans Hessen 2025 wurden eine Klimarisikokarte für den Wald in Hessen erstellt, Waldentwicklungsziele beschrieben und Baumartenempfehlungen ausgesprochen. Diese sind wichtige Grundlage für die umfassende Wiederbewaldung von Kahlfächen. Weitere Projekte des Klimaschutzplans betrachten etwa die Anbauwürdigkeit und ökologische Zuträglichkeit alternativer Baumarten oder die Stabilisierung der Kohlenstoffspeicherung in hessischen Waldböden.

Private und kommunale Forstbetriebe brauchen jetzt unsere Unterstützung, um den Wald in seinen vielfältigen Funktionen wie Klimaschutz, Artenschutz, Erholungsraum und Wirtschaftsfaktor auch in der Zukunft zu erhalten. Das ist mit erheblichen Kosten verbunden. Mit unserem 12-Punkte-Plan und der Extremwetterrichtlinie haben wir bereits 2019 umfangreiche Hilfen und Förderungen geschaffen. Nun haben wir die bereits sehr gut angenommene Extremwetterrichtlinie im April dieses Jahres erweitert: Zu den Förderangeboten zur Aufarbeitung von geschädigten Bäumen und zum Schutz der Wälder wurden die Förderungen bei der Verkehrssicherung und bei der Wiederbewaldung ergänzt.

Für das bisher Geleistete gilt mein Dank allen im Wald Beschäftigten und ich hoffe, dass Sie sich auch weiterhin für den Erhalt unseres hessischen Waldes einsetzen. Die umfangreichen Maßnahmen zur Wiederbewaldung und die intensive forstliche Beratung sind nur einige der Aufgaben, die uns noch lange Zeit beschäftigen werden.

In den kommenden Jahren ist von uns allen in vielen Lebensbereichen ein verstärktes klimabewusstes Verhalten gefordert. Nur so tragen wir zum Erhalt einer lebenswerten Umwelt und letztlich unserer vielfältigen, liebenswerten Wälder bei.

Mit freundlichen Grüßen

Ihre

Priska Hinz
Hessische Ministerin für Umwelt, Klimaschutz,
Landwirtschaft und Verbraucherschutz
Wiesbaden, im November 2021



Inhaltsverzeichnis

	Seite
Vorwort	2
Inhaltsverzeichnis	3
Hauptergebnisse	4
Forstliches Umweltmonitoring und Integrierter Klimaschutzplan Hessen 2025 Ulrike Talkner, Uwe Paar und Inge Dammann	6
WZE-Ergebnisse für alle Baumarten Uwe Paar und Inge Dammann	9
Buche	11
Eiche	13
Fichte	14
Kiefer	15
Wald in der Rhein-Main-Ebene Uwe Paar und Inge Dammann	16
Witterung und Klima Johannes Suttmöller	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 Höltnen, 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 Kuchler und Marcus Schmidt	38
Lössboden – verweht, verlagert, vergleht und (fast) der perfekte Waldboden Jan Evers	41
Impressum	44

Hauptergebnisse

Waldzustandserhebung (WZE)

Die Ergebnisse der Waldzustandsaufnahmen 2021 belegen für den hessischen Wald einen seit 2019 anhaltend schlechten Vitalitätszustand.

Die mittlere Kronenverlichtung der Waldbäume in Hessen (alle Baumarten) verbleibt mit 26 % auf einem hohen Niveau (2020: 28 %).

Bei den älteren Bäumen ist die Kronenverlichtung mit 31 % exakt auf dem Niveau des Vorjahres. Die mittlere Kronenverlichtung der jüngeren Bäume hat sich von 20 % (2020) auf 14 % verbessert.

Nach der erheblichen Verschlechterung des Vitalitätszustandes hessischer Wälder 2019 und 2020 hat sich das Schadeniveau in 2021 nicht deutlich verbessert. In den Jahren 2019 bis 2021 ist eine starke Destabilisierung der hessischen Wälder eingetreten.

Die Baumarten im Einzelnen

Bei der älteren Fichte hatte sich nach der deutlichen Verschlechterung der Kronenverlichtung von 29 % (2018) auf 38 % (2019) der Kronenzustand 2020 nochmals erheblich verschlechtert (50 %). Auch 2021 liegt die mittlere Kronenverlichtung mit 49 % auf ähnlich hohem Niveau.

Die Kronenverlichtung der älteren Buche ist im Vergleich zum letzten Jahr auf annähernd gleichem Niveau geblieben (2020: 35 %; 2021: 33 %), bei der älteren Eiche und Kiefer hat sie sich verschlechtert.

Rhein-Main-Ebene

Die Waldzustandserhebung weist für 2021 eine weitere Verschlechterung des Waldzustandes für die Rhein-Main-Ebene nach. Die Absterberate liegt mit 4 % weiterhin deutlich über dem Mittelwert der Zeitreihe.

Witterung und Klima

Nach drei sehr trockenen und warmen Jahren fiel im Vegetationsjahr 2020/2021 die Niederschlagsbilanz mit rund 770 mm im Flächenmittel des Landes annähernd ausgeglichen aus. Im Gegensatz zu den vergangenen Jahren kam es zu keiner ausgeprägten Trockenperiode, sodass das pflanzenverfügbare Wasser in den Waldböden auch während der Vegetationszeit ausreichte, um die Wasserversorgung der Waldbestände zu gewährleisten. Auch das Vegetationsjahr 2020/2021 war im Vergleich zur Klimaperiode 1961 bis 1990 wieder zu warm. Die Jahresmitteltemperatur für Hessen lag um knapp 1 K über dem langjährigen Wert von 8,3 °C. Besonders das kühle Frühjahr sorgte dafür, dass die positive Temperaturabweichung nicht stärker ausfiel.

Insekten und Pilze

Die bereits seit 2018 laufende Borkenkäferkalamität ist auch in 2021 in den Schwerpunktbefallsgebieten der Vorjahre noch nicht zum Stillstand gekommen, konnte aber teilweise spürbar eingedämmt werden.

Erste Befunde von Grabungen aus 2021 deuten auf eine erneut hohe Populationsdichte der Waldmaikäfer im Hessischen Ried hin.

Auch 2021 traten komplexe Schäden an Rotbuche weit verbreitet auf und die Erkrankung des *Diplodia*-Kieferntriebsterbens schritt weiter voran.

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 weiter abgenommen. Im Vergleich zum



Foto: J. Evers

Hauptergebnisse



Foto: M. Delpho

Mittel der Jahre 2010-2019 betrug die Abnahme mit der Gesamtd deposition beim Sulfatschwefel zwischen 27 und 50 % und beim anorganischen Stickstoff (Ammonium und Nitrat) zwischen 18 und 47 %. Im Hessenmittel wurden 2020 unter Buche 1,8 kg je Hektar und unter Fichte 2,9 kg je Hektar Sulfatschwefel eingetragen. Hier zeigt sich deutlich der Erfolg verschiedener Maßnahmen zur Luftreinhaltung, durch die der Schwefeleintrag um gut 90 % gesenkt werden konnte.

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 Hessens entwickeln wird. Entlang eines Transektes von Nordhessen bis zum Rhein werden die Projektionen der Mittelhöhe und der Leistungsklasse für die Jahre 2000 und 2100 gegenübergestellt.

Die Modellschätzungen projizieren bei allen vier Baumarten für 2100 eine Bonitätsverbesserung in den Hochlagen von Meißner, Vogelsberg und Taunus im Vergleich zum Jahr 2000.

In der Wetterau hingegen ist für Buche, Fichte und Kiefer eine Bonitätsverschlechterung zu erwarten. Insgesamt zeichnet sich für Eiche und Kiefer eine Steigerung der Wuchsleistung ab, während für Buche und Fichte zukünftig auf rund einem Drittel 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, vergleht und (fast) der perfekte Waldboden

Lössstandorte sind überwiegend in der letzten Eiszeit durch mit dem Wind angewehrte 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 Hessen und Sachsen-Anhalt 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 Lösslehm Boden

Foto: NW-FVA

Ulrike Talkner, Uwe Paar und Inge Dammann

<https://doi.org/10.5281/zenodo.5569012>

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 CO₂-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: waldfächenrepräsentative 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) 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.



Elektronische Zuwachsmessung

Foto: J. Weymar

Waldzustandserhebung – Methodik und Durchführung

Die Waldzustandserhebung ist Teil des Forstlichen Umweltmonitorings in Hessen. Sie liefert als Übersichtserhebung Informationen zur Vitalität der Waldbäume unter dem Einfluss sich ändernder Umweltbedingungen. Die Aufnahmen zur Waldzustandserhebung erfolgten im Juli und August 2021. Sie sind mit qualitätssichernden Maßnahmen sorgfältig überprüft.

Aufnahmeumfang

Die Waldzustandserhebung erfolgt auf mathematisch-statistischer Grundlage. Auf einem systematisch über Hessen verteilten Rasternetz werden seit 1984 an jedem Erhebungspunkt Stichprobenbäume begutachtet.

Die Rasterweite des landesweiten Stichprobennetzes beträgt 8 km x 8 km, in der Rhein-Main-Ebene werden zusätzlich Erhebungen im 4 km x 4 km-Raster durchgeführt. Nach einer Rasterüberprüfung im Frühjahr 2020 wurden 6 weitere WZE-Punkte in das 8 km x 8 km-Raster integriert, sodass jetzt 145 Erhebungspunkte zum Stichprobenkollektiv gehören. Die landesweite Auswertung erfolgte 2021 auf der Basis von 130 Erhebungspunkten, für die Rhein-Main-Ebene wurden 47 Erhebungspunkte ausgewertet. Dieser Aufnahmeumfang ermöglicht repräsentative Aussagen zum Waldzustand auf Landesebene und für die Rhein-Main-Ebene.



Kamera zur Erfassung der Phänologie

Foto: M. Spielmann

Für den Parameter mittlere Kronenverlichtung zeigt die Tabelle unten 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 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 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.

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

Baumarten-gruppe	Alters-gruppe	Anzahl Bäume	Anzahl Plots	Raster	95%-Konfidenz-intervall (+/-)
Buche	alle Alter	1213	99	8x8 km	3,7
	bis 60 Jahre	156	24	8x8 km	3,2
	über 60 Jahre	1057	78	8x8 km	3,7
Eiche	alle Alter	351	57	8x8 km	3,3
	bis 60 Jahre	45	9	8x8 km	5,2
	über 60 Jahre	306	48	8x8 km	3,3
Fichte	alle Alter	335	45	8x8 km	9,5
	bis 60 Jahre	164	21	8x8 km	7,3
	über 60 Jahre	171	26	8x8 km	12,3
Kiefer	alle Alter	559	51	8x8 km	3,7
	bis 60 Jahre	34	6	8x8 km	24,1
	über 60 Jahre	525	45	8x8 km	3,8
andere Laubbäume	alle Alter	397	47	8x8 km	4,7
	bis 60 Jahre	284	28	8x8 km	5,1
	über 60 Jahre	113	22	8x8 km	10,9
andere Nadelbäume	alle Alter	241	41	8x8 km	5,8
	bis 60 Jahre	128	20	8x8 km	9,3
	über 60 Jahre	113	21	8x8 km	10,9
alle Baumarten	alle Alter	3096	129	8x8 km	2,4
	bis 60 Jahre	811	43	8x8 km	3,6
	über 60 Jahre	2285	100	8x8 km	2,5

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 Probestämmen wie der Vergilbungsgrad der Nadeln und Blätter, die aktuelle Fruchtbildung sowie Insekten- und Pilzbefall erfasst.

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.



Niederschlagsmessgerät

Foto: H. Heinemann

Forstliches Umweltmonitoring und Integrierter Klimaschutzplan Hessen 2025

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 Aufnahme-kollektiv 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.

Integrierter Klimaschutzplan Hessen

Der Integrierte Klimaschutzplan Hessen 2025 sucht Lösungsansätze zum Schutz des Klimas und zu Möglichkeiten der Anpassung in allen Lebensbereichen. Es geht nicht nur um die Analyse der Situation, sondern ganz wesentlich um eine Umsetzung von Maßnahmen und einer einheitlichen Dauerbeobachtung (Monitoring) der weiteren Entwicklungen in Hessen.

Zum Konzept des Klimaschutzplans tragen verschiedene forstliche Projekte bei. Eines der als prioritär eingestuften Projekte ist: „Klimarisikokarten Forst – Verbesserte Beratungsgrundlagen für neue Herausforderungen an hessische Waldbesitzer“. Eine wichtige Herausforderung ist die Baumartenwahl auf gestörten Waldflächen. Um einen vielgestaltigen Wald der Zukunft aufbauen zu können, sind flächendeckend Informationen zu forstlichen Standorten zu erheben. Dazu werden im Verbund zwischen der NW-FVA, Hessen-Forst und dem Hessischen Waldbesitzerverband in der ersten Phase unterschiedliche Informationen zu Waldböden zusammengeführt und in Karten dargestellt. Auf der Grundlage der Daten sowie bestehender und neuer Modellentwicklungen der NW-FVA werden Anpassungsstrategien für den Waldbau unter den veränderten Rahmenbedingungen entwickelt. Für die Projektion werden die vom ReKliEs-Projekt (Regionale Klimaprojektionen Ensemble) erstellten Klimaszenarien in Form von Ensembles verwendet. Es wird ein Entscheidungsunterstützungssystem für Waldbesitzer aller Besitzarten entwickelt.

Ein weiteres laufendes Projekt des Integrierten Klimaschutzplans Hessen hat zum Ziel, häufige und weniger häufige Baumarten auf ihre Eignung für Wälder im Klimawandel zu überprüfen. Es wird insbesondere Wert auf eine standortsgerechte Baumartenwahl und Bestandesbehandlung unter Berücksichtigung des Standorts-/Leistungsbezuges, aber auch mit Blick auf biotische oder abiotische Risiken gelegt. Dazu ist eine Analyse der Waldentwicklung in Hessen vorgesehen. Insgesamt haben die Maßnahmen zum Ziel, dazu beizutragen, gut durchmischte, artenreiche Wälder langfristig zu sichern, die klimaangepasst und klimaresilient sind.

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-Aufnahmeteams bei der Schulung im Juli 2021

Foto: M. Spielmann

WZE-Ergebnisse für alle Baumarten

Uwe Paar und Inge Dammann

<https://doi.org/10.5281/zenodo.5569022>

Die Ergebnisse der Waldzustandsaufnahmen 2021 belegen für den hessischen Wald einen seit 2019 anhaltend schlechten Vitalitätszustand. Nach der erheblichen Verschlechterung des Vitalitätszustandes hessischer Wälder in 2019 und 2020 hat sich das Schadenniveau 2021 nicht verbessert. In den letzten drei Jahren ist eine starke Destabilisierung der hessischen Wälder eingetreten.

Mittlere Kronenverlichtung

Die mittlere Kronenverlichtung der Waldbäume in Hessen (alle Baumarten) verbleibt mit 26 % auf einem hohen Niveau (2020: 28 %).

Bei den älteren Bäumen ist die Kronenverlichtung mit 31 % exakt auf dem Niveau des Vorjahres. Die mittlere Kronenverlichtung der jüngeren Bäume hat sich von 20 % (2020) auf 14 % verbessert.

Anteil starker Schäden

Der Anteil starker Schäden liegt 2021 mit 8 % fast dreimal so hoch wie im Mittel der Jahre 1984–2021. Die Jahre 2019 (7 %), 2020 (9 %) und 2021 sind durch weit überdurchschnittliche Anteile starker Schäden im hessischen Wald gekennzeichnet. Mit einer Kronenverlichtung über 60 % sind im Vergleich zu einer vollbelaubten Baumkrone Einschränkungen der Versorgung der Bäume mit Wasser und Energie verbunden. Das Vermögen der Bäume, sich an wechselnde Bedingungen anzupassen, wird eingeschränkt.

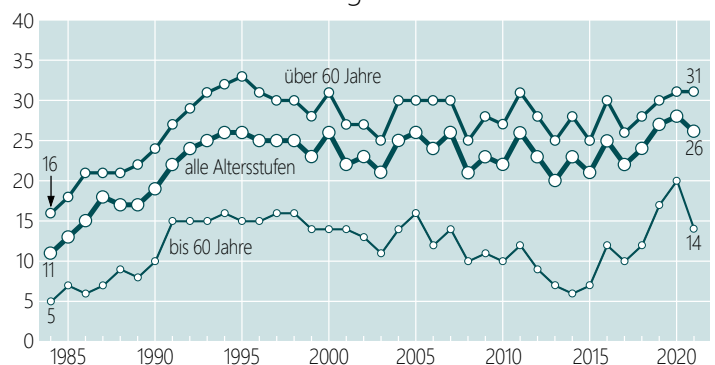


Foto: J. Evers

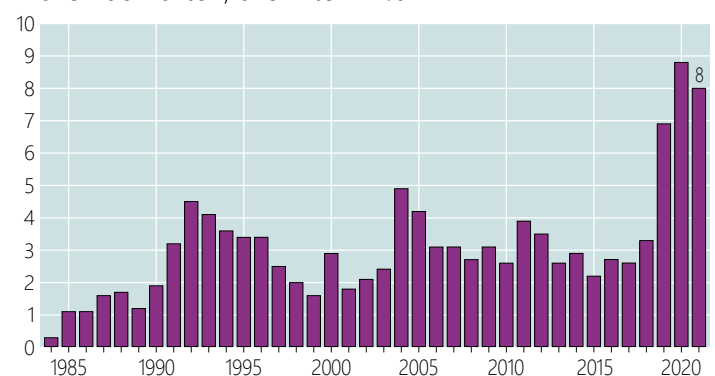


Foto: J. Evers

Mittlere Kronenverlichtung in %



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



WZE-Ergebnisse für alle Baumarten

Absterberate

Die Absterberate (alle Bäume, alle Alter) ist von 2,9 % (2020) auf 0,7 % zurückgegangen.

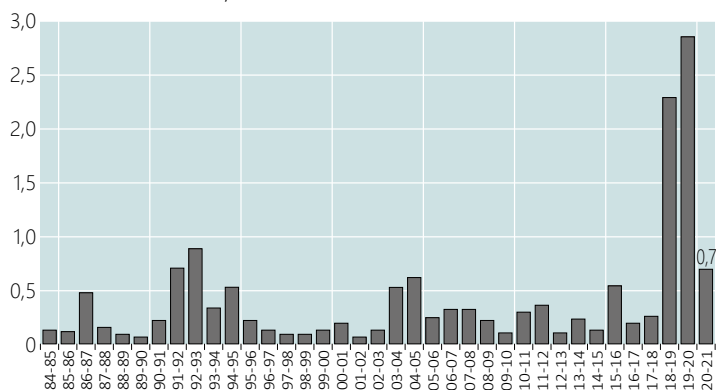
Die Absterberate (alle Bäume, alle Alter) liegt aber noch fast doppelt so hoch wie im langjährigen Mittel.

Ausfallrate

Die Ausfallrate ist das Ergebnis der infolge von Sturmwurf, Trockenheit und Borkenkäferbefall außerplanmäßig genutzten Bäume. Sie liegt auch 2021 mit 3 % auf einem erhöhten Niveau.

Nur 2007 (Sturm „Kyrill“), 1990/1991 (Stürme „Vivian“ und „Wiebke“) und 1988 wurden höhere Ausfallraten als 2019, 2020 bzw. 2021 festgestellt.

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



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

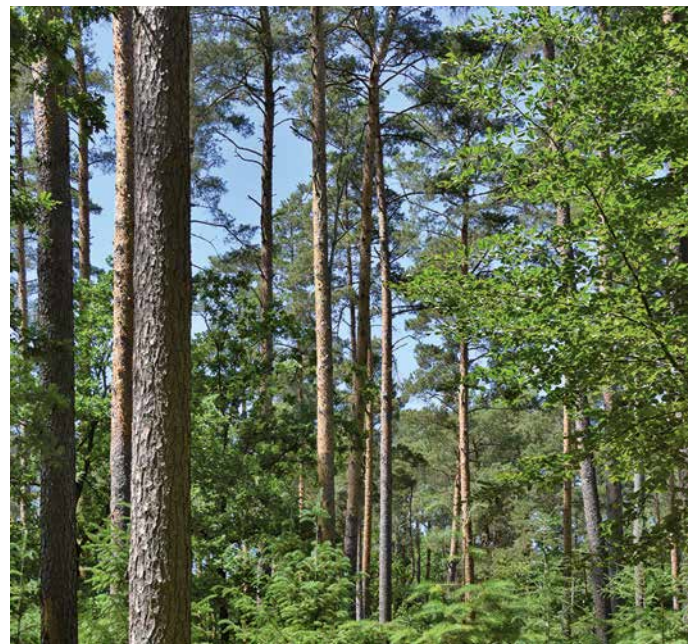
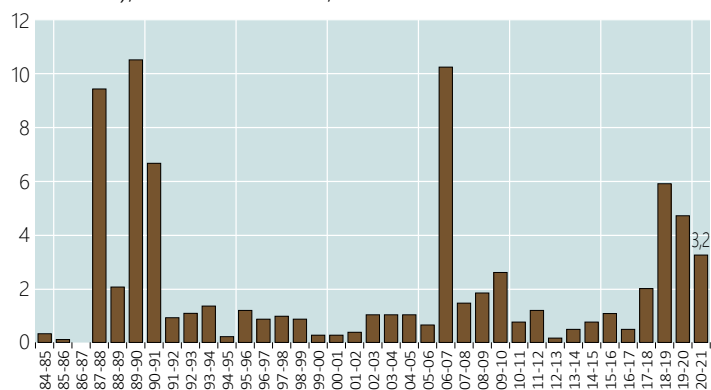
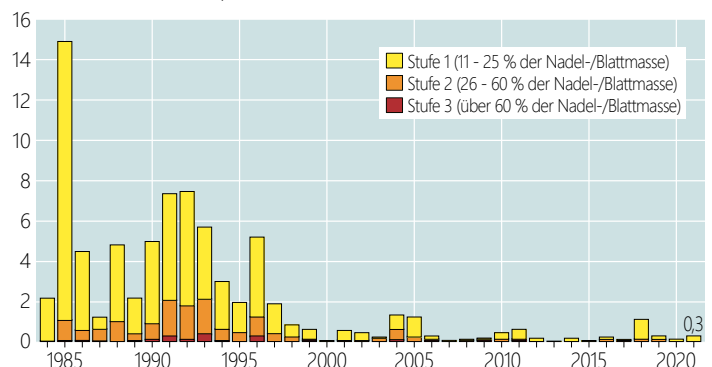


Foto: J. Evers

Vergilbungen

Vergilbungen der Nadeln und Blätter sind häufig ein Indiz für Magnesiummangel in der Nährstoffversorgung der Waldbäume. Mit Ausnahme des Jahres 1985 liegt der Anteil von Bäumen mit Vergilbungen der Blätter und Nadeln durchgehend auf einem eher geringen Niveau. Seit Mitte der 1990er Jahre gingen die Vergilbungserscheinungen nochmals deutlich zurück. 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 extremen Witterungsbedingungen und Folgen (Sturmwurf und Borkenkäfer) in den Jahren 2018, 2019 und 2020 haben den Wald in Hessen verändert und zeigen auch 2021 erhebliche Nachwirkungen.

Die Ergebnisse der Waldzustandserhebung zeigen 2019 bis 2021 die seit 1984 höchsten Anteile an stark geschädigten Bäumen. Ebenso erreicht die Ausfallrate der als Schadholz entnommenen Bäume 2019-2021 erhöhte Werte. In diesen Jahren sind strukturelle Störungen entstanden, die vielfach zu Freiflächen, Blößen und Lücken in den Waldbeständen geführt haben.



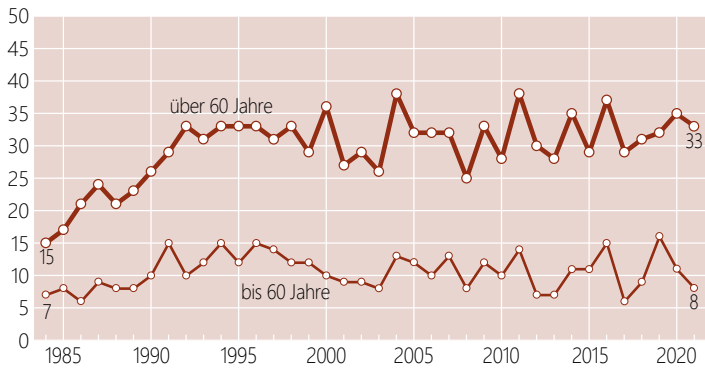
Foto: J. Evers

Buche

Ältere Buche

Nach dem deutlichen Anstieg der Kronenverlichtung im Zeitraum von 1984 bis 1992 und einer Stagnation auf nahezu gleich bleibendem Niveau in der Zeit bis 1999 sind ab 2000 deutliche Schwankungen in der Ausprägung des Kronenzustandes der Buche festzustellen. Einen wesentlichen Einfluss dürften hierbei insbesondere stärkere Fruktifikationsereignisse haben. Die Kronenverlichtung 2021 ist im Vergleich zum letzten Jahr auf annähernd gleichem Niveau geblieben (2020: 35 %; 2021: 33 %).

Mittlere Kronenverlichtung in %



Jüngere Buche

Bei der jüngeren Buche hat sich die mittlere Kronenverlichtung gegenüber dem letzten Jahr kaum verändert (2020: 11 %, 2021: 8 %).

Starke Schäden

Der Anteil der Buchen (alle Alter) mit über 60 % Kronenverlichtung erreicht 2021 mit knapp 8 % den höchsten Wert in der 38-jährigen Zeitreihe.

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

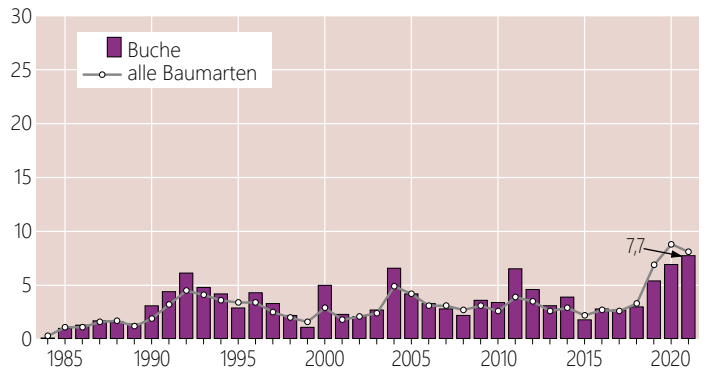


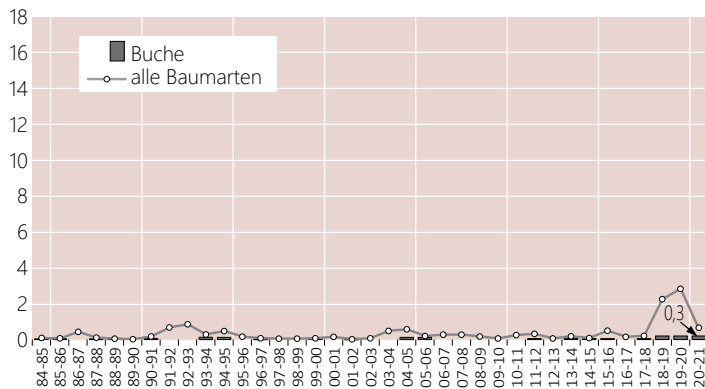
Foto: J. Evers

Buche

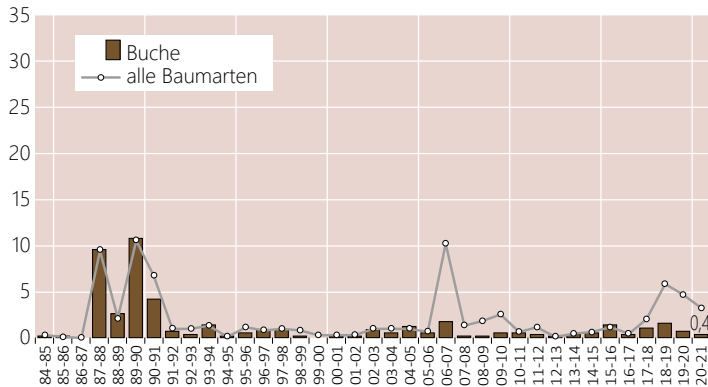


Foto: J. Evers

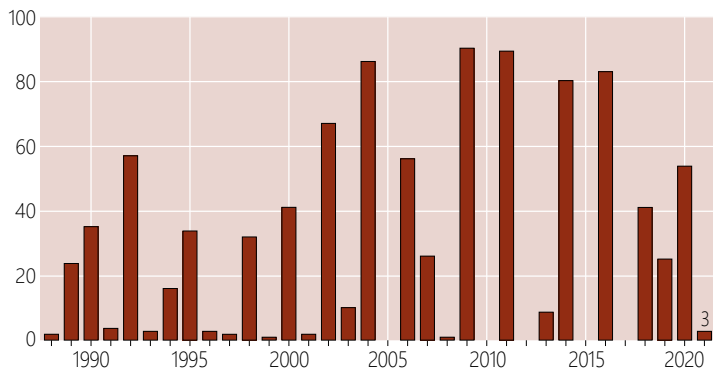
Jährliche Absterberate (stehende Bäume), alle Alter in %



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



Anteil mittel und stark fruktifizierender älterer Buchen in %



Absterberate

Ein Vergleich mit anderen Baumarten in Hessen belegt, dass die Buche im Mittel der bisherigen Beobachtungsreihe (1984-2021) eine vergleichsweise geringe Absterberate (0,07 %) aufweist. 2021 sind in der Stichprobe 0,3 % der Buchen abgestorben. Gerade weil in den letzten Jahrzehnten kaum Buchen abgestorben sind, sind die Absterbeerscheinungen in den letzten drei Jahren auffällig.

Ausfallrate

Eher gering (0,4 %) sind aktuell sturm- und trockenheitsbedingte Ausfälle der Buche in Hessen.

Fruchtbildung

In der Regel ist bei der Buche nach einem Jahr mit intensiver Fruchtbildung im Folgejahr eine geringe Fruchtbildung zu erwarten. Die Jahre 2018 bis 2020 zeigen eine Abweichung von dieser Regel. 2018 haben 41 % der älteren Buchen mittel oder stark fruktifiziert, 2019 ist es mit 25 % ein etwas geringerer Anteil, 2020 sind es 54 %. 2021 haben nur 3 % der älteren Buchen mittel oder stark fruktifiziert.

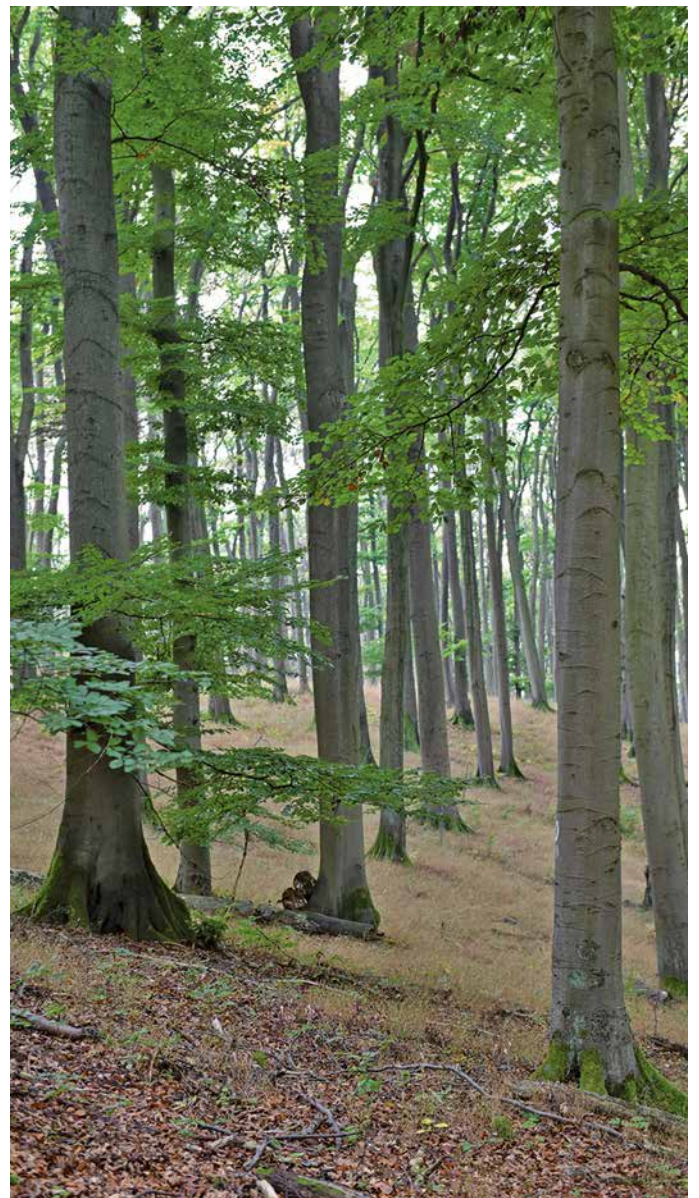


Foto: J. Evers

Eiche

Ältere Eiche

Die Kronenverlichtung der älteren Eiche hat sich 2021 im Vergleich zum Vorjahr um 5 Prozentpunkte verschlechtert (2020: 23 %; 2021: 28 %). Die Entwicklung der Kronenverlichtung der Eiche wird insgesamt stark durch das unterschiedlich ausgeprägte Vorkommen der Eichenfraßgesellschaft bestimmt. 2018 und 2019 zeigten nur 2 % bzw. 3 % der älteren Eichen mittlere oder starke Fraßschäden. 2020 wurden keine mittleren bzw. starken Fraßschäden festgestellt. 2021 liegt der Wert bei 2 %. Die Verschlechterung des Kronenzustandes der älteren Eiche kann somit nicht durch Fraßschäden verursacht sein. Folgewirkungen der zurückliegenden Jahre sind anzunehmen.

Jüngere Eiche

Die Kronenverlichtung der jüngeren Eiche ist annähernd gleichgeblieben (2020: 16 %; 2021: 14 %).

Starke Schäden

Phasen mit erhöhten Anteilen (über 5 %) starker Schäden an Eichen stehen in der Regel in Verbindung mit intensivem Insektenfraß. 2021 liegt der Anteil starker Schäden für die Eiche bei 4 %, obwohl der Insektenfraß seit einigen Jahren auf einem sehr geringen Niveau liegt.

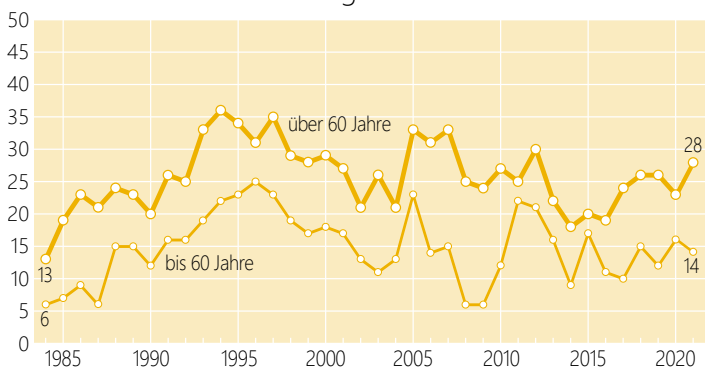
Absterberate

Die Absterberate der Eiche liegt im langjährigen Mittel bei 0,3 %. 2021 sind 0,4 % der Eichen abgestorben.

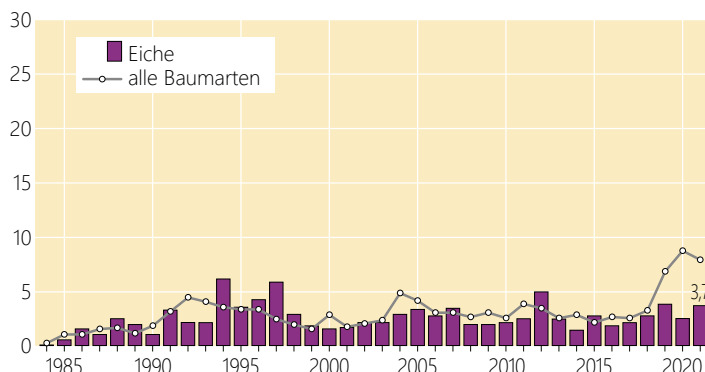
Ausfallrate

In 2021 sind im WZE-Kollektiv bei der Eiche in Hessen 0,3 % Ausfälle durch Sturm oder Insektenbefall vorgekommen.

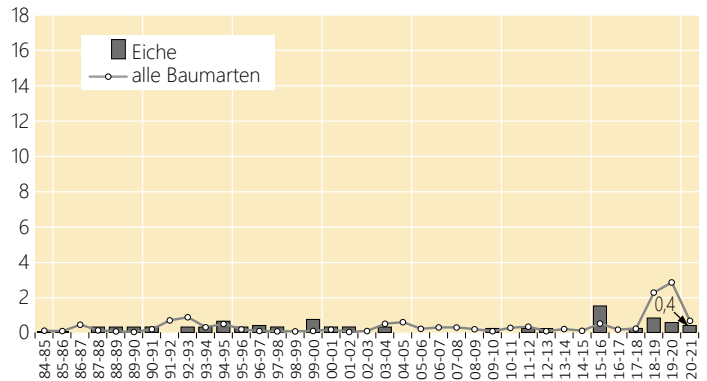
Mittlere Kronenverlichtung in %



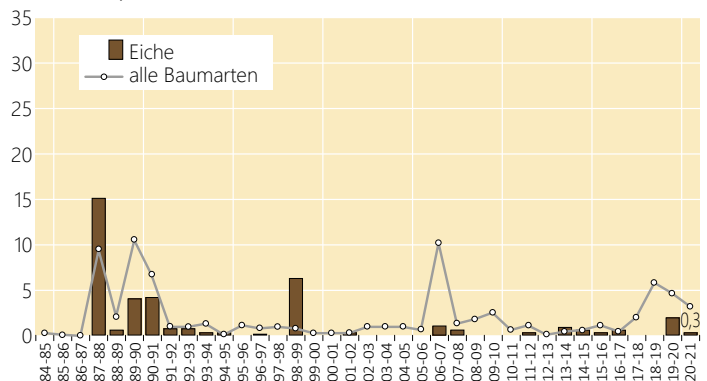
Anteil starker Schäden (inkl. abgestorbener Bäume), alle Alter in %



Jährliche Absterberate (stehende Bäume), alle Alter in %



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



Anteil mittlerer und starker Fraßschäden an älteren Eichen in %

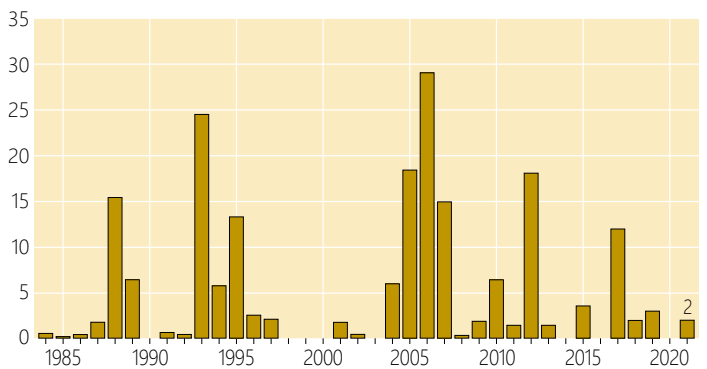


Foto: F. Reinbold

Fichte

Erhebliche Schäden sind seit 2018 in den Fichtenbeständen durch Sturm, Trockenheit und Borkenkäferbefall entstanden. Seit 2019 ist die Fichte die am stärksten geschädigte Baumart im hessischen Wald.

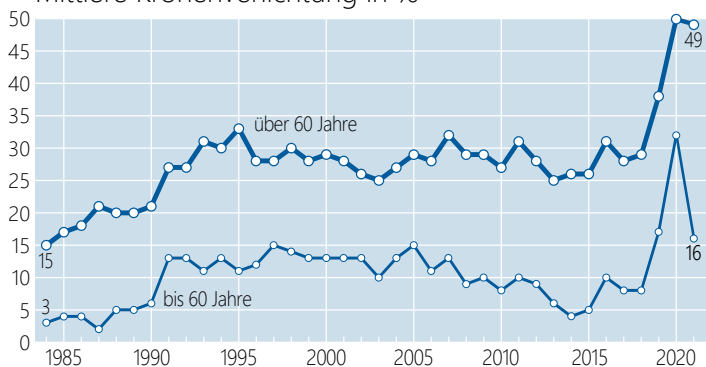
Ältere Fichte

Bei der älteren Fichte hatte sich nach der deutlichen Verschlechterung der Kronenverlichtung von 29 % (2018) auf 38 % (2019) der Kronenzustand 2020 nochmals erheblich verschlechtert (50 %). Auch 2021 liegt die mittlere Kronenverlichtung mit 49 % auf nahezu gleichem Niveau. Damit werden in den letzten drei Jahren die mit Abstand höchsten Werte in der Zeitreihe erreicht.

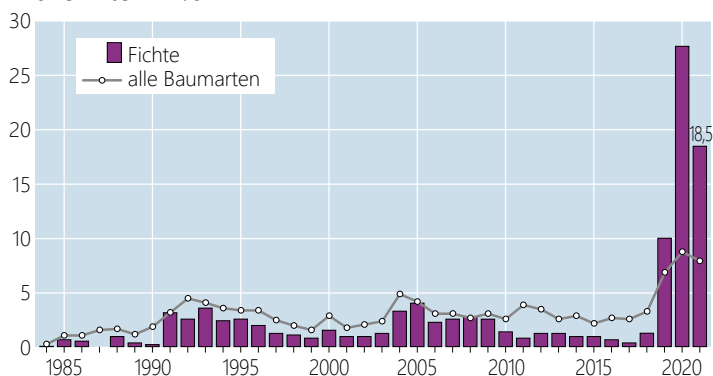
Jüngere Fichte

Der Kronenzustand der jüngeren Fichte (Alter bis 60 Jahre) hat sich von 32 % im Vorjahr auf 16 % erheblich verbessert.

Mittlere Kronenverlichtung in %



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



Jährliche Absterberate (stehende Bäume), alle Alter in %

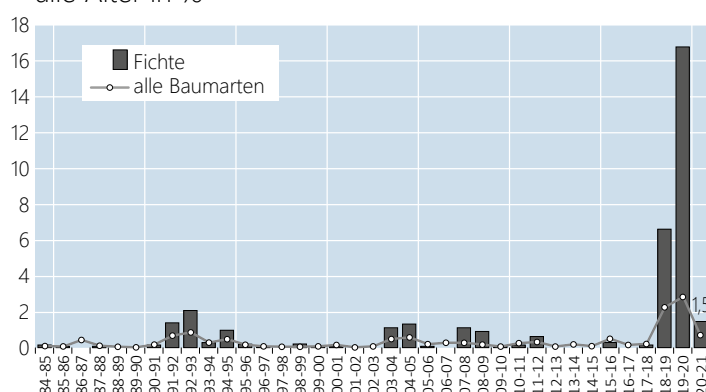


Foto: J. Weymar

Starke Schäden

Im Mittel aller Erhebungsjahre liegt der Anteil starker Schäden bei 3 %. Aktuell sind dagegen 19 % der Fichten stark geschädigt. Nach dem Anstieg der starken Schäden von 2018 (1 %) auf 10 % in 2019, bzw. 28 % in 2020 hat sich der Anteil starker Schäden 2021 zwar um 9 Prozentpunkte verbessert, liegt aber trotzdem noch auf einem sehr hohen Niveau. Insbesondere der starke Borkenkäferbefall seit 2018 hat zu einer sehr ungünstigen Vitalitätsentwicklung der Fichte geführt.

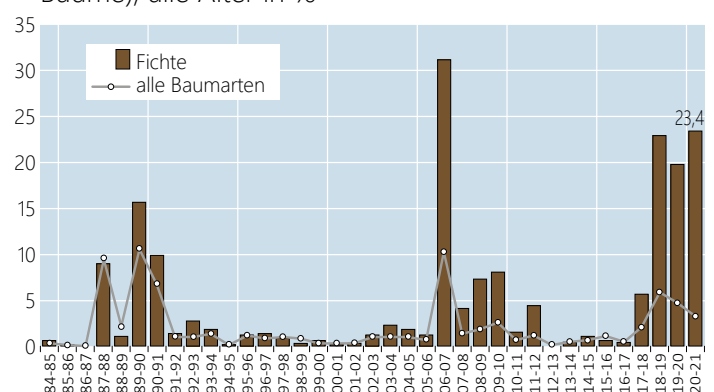
Absterberate

Die Absterberate der Fichte liegt im Mittel der Jahre 1984 bis 2017 bei 0,4 %. Die Absterberate ist von 2019 mit 7 % auf knapp 17 % in 2020 angestiegen. Sie ist 2021 wieder deutlich zurückgegangen (1,5 %).

Ausfallrate

2018 und 2019 haben Frühjahrsstürme vor allem Wälder im Norden des Landes getroffen. Vielerorts sind 2019 Fichten durch Sturm und Borkenkäferbefall ausgefallen (23 %). Auch 2020 und 2021 sind nochmals knapp 20 % bzw. 23 % ausgefallen.

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



Kiefer

Da die Kiefer insbesondere durch den Verdunstungsschutz ihrer Nadeln und die Ausformung der Wurzelsysteme an trockenere Bedingungen grundsätzlich angepasst ist, erlangt die Baumart eine wichtige Bedeutung vor allem in den Tieflagen von Hessen.

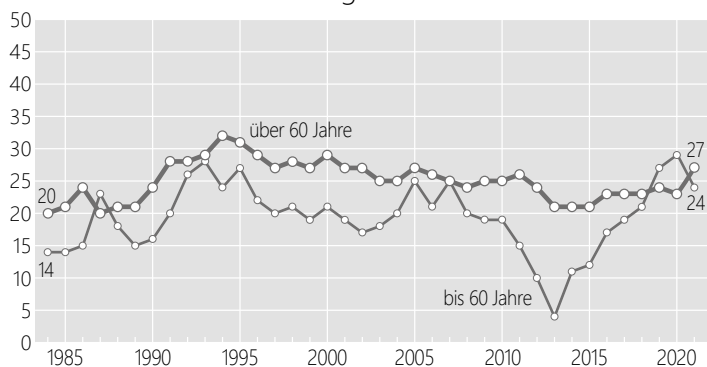
Ältere Kiefer

Die mittlere Kronenverlichtung der älteren Kiefer ist von 23 % (2020) auf 27 % angestiegen.

Jüngere Kiefer

Die mittlere Kronenverlichtung der jüngeren Kiefer hat sich dagegen von 29 % (2020) auf 24 % verbessert.

Mittlere Kronenverlichtung in %



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

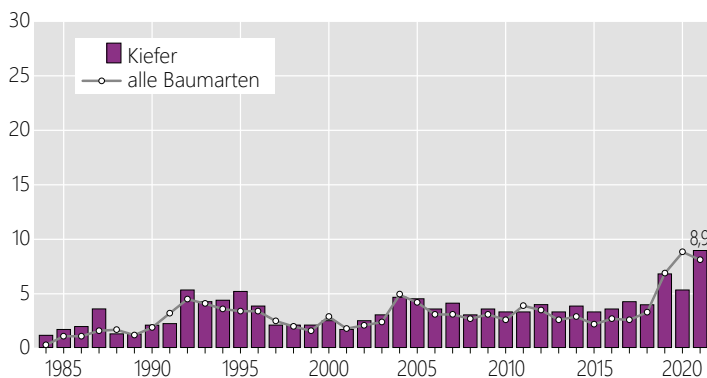


Foto: J. Evers



Foto: J. Evers

Starke Schäden

Bei starken Verlichtungen ist von Auswirkungen auf den Stoffhaushalt der Kiefern auszugehen. Die Anfälligkeit gegenüber Risiken ist erhöht.

Der Anteil starker Schäden (alle Alter) ist von 5 % (2020) auf 9 % angestiegen. Dies ist der Höchstwert in der Zeitreihe.

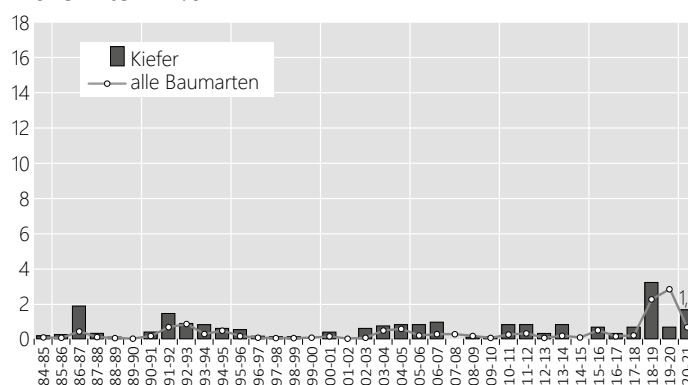
Absterberate

Die Absterberate der Kiefer (alle Alter) schwankt im Erhebungszeitraum zwischen 0 und 3 %, der Mittelwert 1984-2021 liegt bei 0,6 %. Im Vergleich zum Vorjahr ist die Absterberate von 0,7 auf 1,7 % angestiegen.

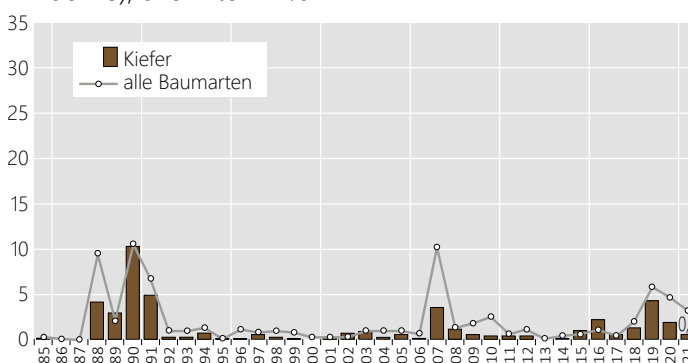
Ausfallrate

Die Ausfallrate der Kiefer ist im Vergleich zum Vorjahr (2 %) wieder zurückgegangen (2021: 0,7 %).

Jährliche Absterberate (stehende Bäume), alle Alter in %



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



Wald in der Rhein-Main-Ebene

Uwe Paar und Inge Dammann

<https://doi.org/10.5281/zenodo.5569042>

Nach der deutlichen Verschlechterung des Kronenzustandes der älteren Bäume in der Rhein-Main-Ebene von 30 % (2018) auf 38 % (2019) bzw. 39 % (2020) ist die mittlere Kronenverlichtung in 2021 nochmals angestiegen (42 %). Die mittlere Kronenverlichtung der jüngeren Bäume erreicht mit 27 % den Wert des Vorjahres. Insbesondere die jüngeren Bäume zeigen in der langen Zeitreihe in der Rhein-Main-Ebene einen schlechteren Kronenzustand als in Gesamthessen. Aber auch für die älteren Bäume in der Rhein-Main-Ebene hat sich der Unterschied zu Gesamthessen in den letzten drei Jahren deutlich vergrößert.

Die Eiche zählt zu den charakteristischen Baumarten dieser Region. Sie ist an die dortigen Klimabedingungen grundsätzlich gut angepasst.

Von 2018 auf 2019 hat sich der Kronenzustand der älteren Eiche sprunghaft verschlechtert (2018: 36 %; 2019: 46 %). Der sehr hohe Wert von 2019 wird auch 2020 und 2021 mit jeweils 47 % wieder erreicht.

Die kritische Situation der Eiche in der Rhein-Main-Ebene wird besonders in einem Vergleich zum landesweiten Eichenergebnis deutlich. Der Kronenzustand der älteren Eiche in Gesamthessen erreicht 2021 28 %. Im Vergleich dazu ist die Situation in der Rhein-Main-Ebene um 19 Prozentpunkte ungünstiger.

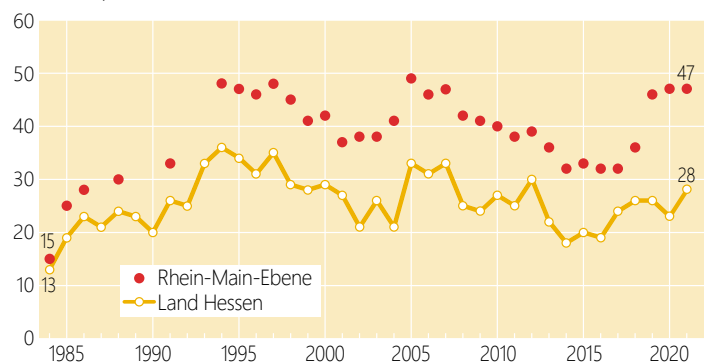
Der Kronenzustand der älteren Buche hat sich ab 2019 ebenfalls erheblich verschlechtert. Die mittlere Kronenverlichtung ist von 39 % (2018) auf 51 % (2019) bzw. 52 % in 2020 und 2021 angestiegen. Die Buche zeigt in der Rhein-Main-Ebene einen deutlich schlechteren Vitalitätszustand im Vergleich zum Landesdurchschnitt.

Wie die Eiche zählt auch die Kiefer zu den Baumarten, die an die ökologischen Bedingungen der Tieflagen besonders angepasst ist oder sein sollte. Sorge entsteht 2021 vor allem aus dem Befund einer deutlichen Verschlechterung der älteren Kiefer seit 2018 (26 %). In 2021 liegt die mittlere Kronenverlichtung bei 39 % und damit nochmals sechs Prozent höher als im Vorjahr.

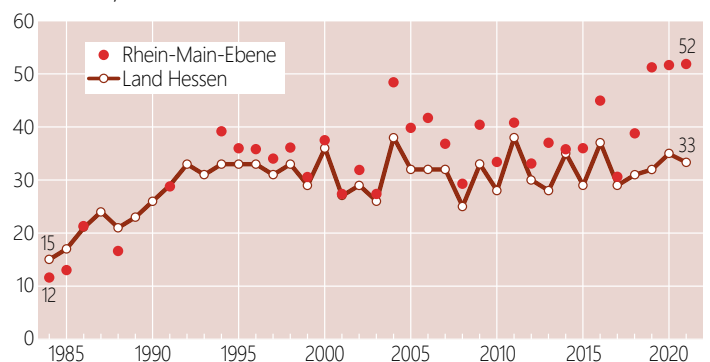


Foto: J. Evers

Mittlere Kronenverlichtung in %
Eiche, über 60 Jahre



Mittlere Kronenverlichtung in %
Buche, über 60 Jahre



Mittlere Kronenverlichtung in %
Kiefer, über 60 Jahre

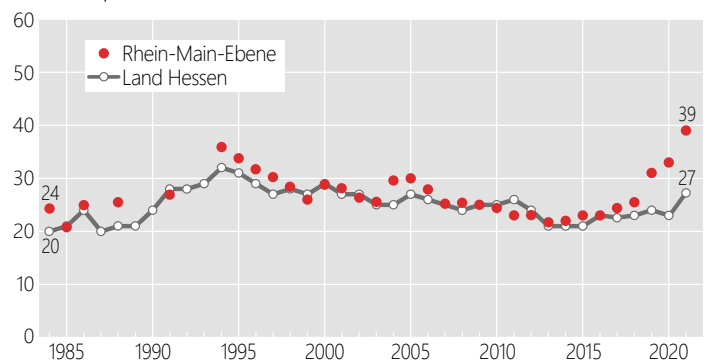


Foto: J. Weymar

Wald in der Rhein-Main-Ebene



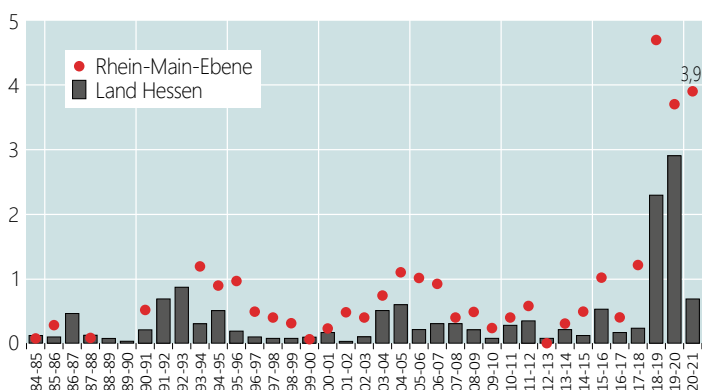
Foto: J. Weymar

Bereits im Rahmen der ersten Aufnahme zum Mistelbefall an der Kiefer im Jahr 2002 wurde für rund ein Drittel der Kiefern in der Rhein-Main-Ebene Mistelbefall festgestellt. Seitdem erhöhte sich der Anteil von Kiefern mit Mistelbefall auf 47 %. Misteln profitieren vom Stoffhaushalt der Wirtsbäume. Ihr Vorkommen verringert die Stabilität der Kiefer gegenüber anderen Schadfaktoren.

Die Waldzustandserhebung weist für 2021 eine erneut verschlechterte Situation für die Rhein-Main-Ebene nach. Auch die Absterberate liegt mit 4 % deutlich über dem Mittelwert der Zeitreihe.

Eiche, Buche und Kiefer zeichnen ein besonders ungünstiges Bild; sowohl bei den älteren Bäumen als auch in der nachfol-

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



genden jüngeren Waldgeneration. Bisher ergriffene Maßnahmen waren nicht in der Lage, die Walderhaltung wesentlich zu fördern. Die Stabilisierung der Wälder in der Rhein-Main-Ebene bleibt weiterhin eine vorrangige und anspruchsvolle Aufgabe.

Zu der Rhein-Main-Ebene liegen wissenschaftliche Befunde vor, die auch im politischen Raum diskutiert werden. Zu nennen ist beispielsweise der Forschungsbericht „Waldentwicklungsszenarien für das Hess. Ried“ (Ahner et al. 2013, zu beziehen über die NW-FVA). Zusammenfassend wird dargelegt, dass „die Wälder im Ballungsraum Rhein-Main zu den forstlichen Brennpunkten in Mitteleuropa gehören. Flächenverbrauch, Zerschneidung, Stoffeinträge aus der Luft, steigender Wasserbedarf und biotische sowie abiotische Belastungen führen zu einer schleichenden Destabilisierung der Wälder und damit verbundenen Waldauflösungserscheinungen. Ein geordneter Forstbetrieb ist somit vielerorts nicht mehr möglich.“

Literatur

Ahner J, Ahrends B, Engel F, Hansen J, Hentschel S, Hurling R, Meesenburg H, Mestemacher U, Meyer P, Möhring B, Nagel J, Pape B, Rohde M, Rumpf H, Schmidt M, Schmidt Mat, Spellmann H, Suttmöller J (2013): Waldentwicklungsszenarien für das Hessische Ried. Entscheidungsunterstützung vor dem Hintergrund sich beschleunigt ändernder Wasserhaushalts- und Klimabedingungen und den Anforderungen aus dem europäischen Schutzgebietsystem Natura 2000. Beiträge aus der Nordwestdeutschen Forstlichen Versuchsanstalt, Band 10, 398 S

Witterung und Klima

Johannes Suttmöller

<https://doi.org/10.5281/zenodo.5569065>

Das kalendarische Jahr 2020 war in Hessen mit einer Mitteltemperatur von 10,4 °C das zweitwärmste Jahr nach 2018. Gegenüber der Klimaperiode 1961-1990 bedeutet dies eine Abweichung von mehr als 2 K. Die Trockenheit setzte sich von 2018 bis 2020 unvermindert fort, sodass die Waldschäden in Hessen ein bisher nicht beobachtetes Ausmaß annahmen. Im Jahr 2021 dominierten bislang häufig Tiefdruck beeinflusste Wetterlagen. Die unbeständige Witterung beendete die mehrjährige Dürre in Hessen.

Für eine flächenhafte Aussage für das Land Hessen 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 Periode 1961-1990 mit der neuen Referenzperiode von 1991-2020 zeigt deutlich, dass die Klimaveränderung in Hessen 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 771 mm im Flächenmittel des Landes annähernd 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. In der Vegetationszeit waren bis auf den September alle Monate feuchter als normal.

Die Jahresmitteltemperatur betrug im Vegetationsjahr 2020/2021 im Landesmittel von Hessen 9,2 °C. Damit war auch dieses Jahr wärmer als das langjährige Mittel. Die Jahresmitteltemperatur für Hessen lag um knapp 1 K über dem Mittelwert von 8,3 °C der Periode 1961-1990. Besonders das kühle Frühjahr hatte zur Folge, dass die positive Temperaturabweichung 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 74 mm im Flächenmittel um gut 20 % übertroffen, sodass die Bodenfeuchte in den oberen Schichten deutlich zunahm. Die Mitteltemperatur lag in Hessen bei 10,0 °C und damit 1,2 K über dem langjährigen Durchschnittswert (Abb. unten, Tabelle Seite 19). Die Witterung in Hessen war im **November** überwiegend durch Hochdruck-

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

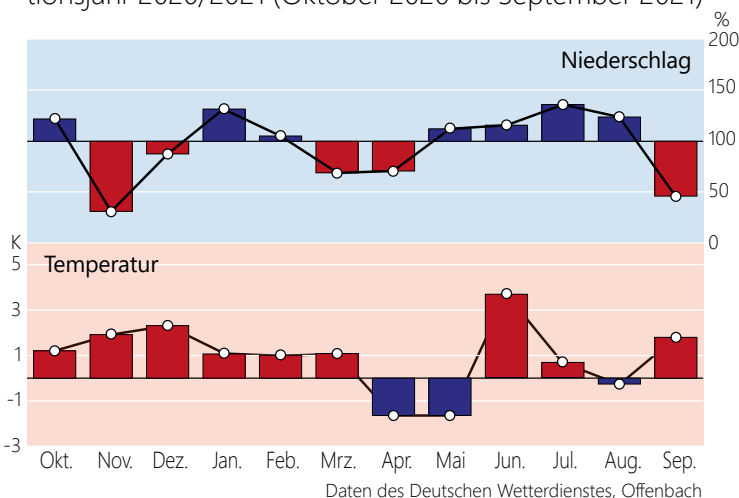


Foto: J. Weymar

Witterung und Klima

einfluss geprägt. Die Niederschlagshöhe betrug 22 mm und damit nur 30 % des üblichen Solls. Aufgrund der jahreszeitlich bedingten geringen Verdunstung nahm die Bodenfeuchte jedoch kaum ab. Die Monatsmitteltemperatur von 5,8 °C übertraf das langjährige Mittel um 2 K. Anfang des Monats wurden an vielen Stationen des DWD neue Allzeitrekorde der Tageshöchsttemperatur für November gemessen (z. B. Geisenheim 23,1 °C). Im **Dezember** wurden auf der Vorderseite von Tiefdruckgebieten über Westeuropa mit einer südlichen Luftströmung häufig milde Luftmassen nach Hessen herangeführt. Folglich fiel der Monat deutlich zu warm aus. Die Monatsmitteltemperatur von 3,1 °C lag um 2,2 K über dem Wert der Klimaperiode 1961-1990. Da zumeist schwacher Hochdruckeinfluss überwog, fielen nur rund 85 % (68 mm) der üblichen Niederschlagsmenge. Zwar nahm die Bodenfeuchte weiter zu, lag jedoch in weiten Teilen von Hessen weiter unter den langjährigen Mittelwerten. Der Wechsel von kühlen und milden Luftmassen prägte das Witterungsgeschehen im **Januar** 2021. Mit einer Mitteltemperatur von 0,7 °C ergab sich eine Abweichung von rund 1 K zum langjährigen Mittel. Häufiger Tiefdruckeinfluss sorgte für reichlich Niederschlag, sodass mit 84 mm mehr als 30 % des Niederschlagssolls fiel. Infolge der niederschlagsreichen Witterung füllten sich die Bodenwasserspeicher deutlich auf. Der **Februar** war durch extreme Wettergegensätze gekennzeichnet. In der ersten Monathälfte sorgte sibirische Kaltluft für nächtliche Tiefsttemperaturen, die häufig unter -20 °C lagen und teilweise neue Rekordwerte erreichten (Sontra -25,7 °C am 10.2.2021). 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 Deutschland wurde teilweise eine Tageshöchsttemperatur von



Foto: J. Evers

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	10,0	8,8	9,2	74	61	63
November	5,8	3,8	4,8	22	71	68
Dezember	3,1	0,9	1,7	68	78	76
Januar	0,7	-0,3	0,9	84	64	68
Februar	1,5	0,5	1,5	56	53	54
März	4,9	3,7	4,9	43	63	58
April	5,9	7,5	9,1	41	59	45
Nicht-vegetationszeit	4,6	3,6	4,6	388	449	432
Mai	10,5	12,1	13,1	79	70	68
Juni	18,9	15,3	16,3	93	81	66
Juli	17,6	16,9	18,2	100	74	80
August	16,1	16,4	17,8	85	69	69
September	15,0	13,2	13,6	26	58	61
Vegetationszeit	15,6	14,8	15,8	383	352	344
Vegetationsjahr	9,2	8,3	9,3	771	801	776

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)

über 20 °C gemessen. Trotz der ausgeprägten Kälteperiode war der Februar 1 K wärmer als die durchschnittliche Monatsmitteltemperatur der Periode 1961-1990. Die Niederschläge erreichten mit 56 mm im Landesmittel ihren langjährigen Wert, sodass die Böden in den oberen Schichten häufig vollständig gesättigt waren.

Es folgte ein milder, sonnenscheinreicher und trockener **März**. Im Landesmittel von Hessen fielen nur 43 mm Niederschlag. Dies entspricht knapp 70 % der üblichen Niederschlagsmenge. Die Monatsmitteltemperatur betrug 4,9 °C und lag damit um 1,2 K über dem langjährigen Durchschnittswert. Zum Ende des Monats verzeichnete Südhessen den ersten Sommertag (Tageshöchsttemperatur >25 °C). 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 5,9 °C nur wenig höher als im März, sodass der April 2021 zu den kältesten der letzte Jahrzehnte zählt. Die Abweichung zum vieljährigen Mittelwert betrug -1,6 K. Infolge der trocken-kühlen Witterung fielen mit 41 mm nur rund 70 % 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-

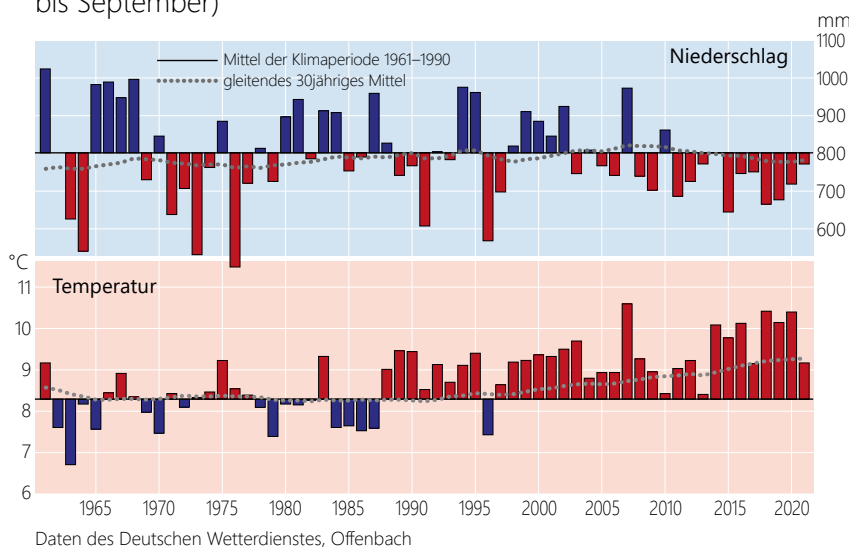
Witterung und Klima



Foto: J. Weymar

satz zum April führte eine vermehrte Tiefdrucktätigkeit zu häufigen Niederschlagsereignissen. Im Landesmittel fielen 79 mm Niederschlag und damit rund 10 % 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 -1,6 K zum langjährigen Monatsmittel. Infolge der niedrigen Temperaturen war auch die Verdunstung geringer als im Mai üblich, sodass die Bodenwasservorräte nur langsam abnahmen. In Südhessen waren die Bodenfeuchtwerte etwas niedriger als im langjährigen Mittel. Der **Juni** zeigte sich von seiner hochsommerlichen Seite. Die Monatsmitteltemperatur von 18,9 °C wich um 3,6 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

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 Hessen, Jahreswerte für das Vegetationsjahr (Oktober bis September)



Daten des Deutschen Wetterdienstes, Offenbach

Tropennächten (Tagestiefsttemperatur >20 °C). Gleichzeitig war der Juni überdurchschnittlich nass. Infolge häufiger auch großräumiger Gewitterlagen wurden im Landesmittel von Hessen 93 mm Niederschlag gemessen (+15 %). Besonders nass war es in Südhessen. Die Bodenfeuchtesituation stellte sich für Hessen günstig dar und lag über den sonst üblichen Werten für den Juni.

Es folgte ein sehr nasser, sonnenscheinarmer und etwas zu warmer **Juli**. Insgesamt fielen in Hessen im Flächenmittel 100 mm Niederschlag (+35 %). Wiederum war es im Süden von Hessen niederschlagsreicher als im Norden des Landes. Dadurch kam es vielerorts zu einem starken Anstieg der Bodenfeuchte. Damit bildete der Juli 2021 einen starken Kontrast zu den Jahren 2018 bis 2020. 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 17,6 °C und lag damit 0,7 K über dem langjährigen Wert der Klimaperiode 1961-1990. Auch der **August** war in Hessen sehr unbeständig. Mit 85 mm wurde das Monatsoll um mehr als 20 % übertroffen, sodass sich die Bodenfeuchtesituation weiterhin günstig gestaltete. Der August war kühler als normal und es wurden nur wenige Sommer- und kaum Hitzetage gemessen. Die Mitteltemperatur von 16,1 °C lag 0,3 K unter 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 26 mm im Landesdurchschnitt nur rund 45 % des Niederschlagsolls fiel. Zum Ende der Vegetationszeit trockneten die Oberböden langsam aus. Der September war mit einer Mitteltemperatur von 15,0 °C nur wenig kühler als der August. Die Abweichung zum langjährigen Mittel betrug +1,8 K.

Temperatur und Niederschlag im langjährigen Verlauf

Das Vegetationsjahr 2020/2021 war mit 9,2 °C im Flächenmittel von Hessen knapp 1 K wärmer als der Mittelwert der Klimaperiode 1961-1990 und 0,1 K kühler 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 annähernd ausgeglichen (Abb. links). Es fielen mit

Witterung und Klima

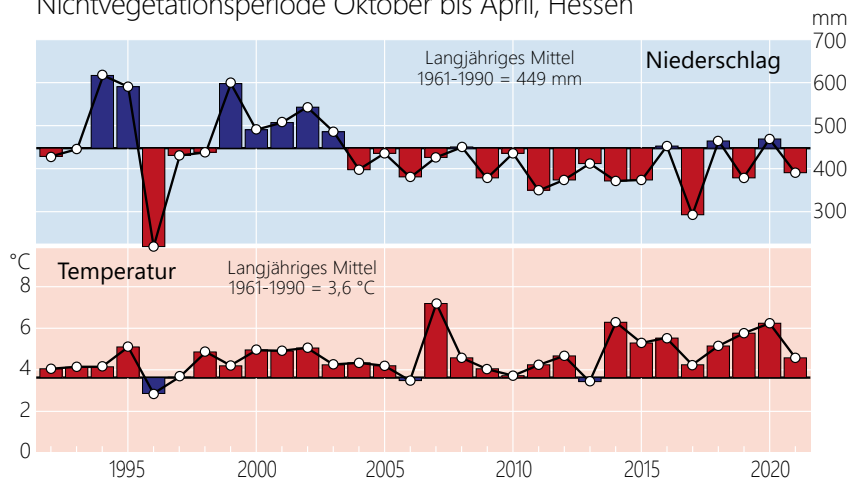
771 mm im Landesmittel rund 96 % der langjährigen Niederschlags-summe. In diesem Jahr überwoog seit längerer Zeit die Anzahl der über-durchschnittlich feuchten Monate (7 Monate) die der zu trockenen Mo-nate (5 Monate). Dies war letztmalig im Vegetationsjahr 2009/2010 der Fall.

Die Nichtvegetationszeit von Oktober 2020 bis April 2021 war 1 K milder als der langjährige Mittelwert der Klimaperiode 1961-1990. Die Mittel-temperatur betrug 4,6 °C (Abb. unten). Überdurchschnittlich warm wa-ren die Höhenlagen der Rhön, des Taunus und des Odenwaldes sowie des nordwestlichen Berglandes, während die Temperaturen in vielen Teilen des Rhein-Main-Gebietes und im nordöstlichen Bergland um we-niger als 1 K von den langjährigen Mittelwerten abwichen (Abb. Seite 22 oben links). In der Nichtvegetationszeit fielen im Landesmittel von Hes-sen 388 mm Niederschlag und damit knapp 15 % weniger als im viel-jährigen Soll (Abb. unten). In den höheren Lagen des hessischen Berg-landes, in der Rhön und im Odenwald betrug das Niederschlagsdefizit teilweise bis zu 30 % (Abb. Seite 22 unten links). In der Wetterau und im Rhein-Main-Gebiet wurde das Niederschlagssoll annähernd erreicht, regional sogar leicht übertroffen.

Die Vegetationszeit von Mai bis September 2021 war etwas wärmer und feuchter als im Mittel der Periode 1961-1990 (Abb. unten). Im Flächen-mittel des Landes Hessen betrug die Mitteltemperatur 15,6° C (+0,8 K). Dabei gab es allerdings regional Unterschiede. In Teilen der Rhön, des Taunus und Odenwaldes sowie des nordwestlichen Berglandes betrug die Abweichung mehr als 1 K, während in der Rhein-Main-Ebene, der Wetterau und im Westerwald die Temperaturen häufig kaum mehr als 0,5 K über dem Mittelwert der Klimaperiode von 1961-1990 lagen (Abb.

Langjährige Klimawerte (1992-2021)

Nichtvegetationsperiode Oktober bis April, Hessen



Langjährige Klimawerte (1992-2021)

Vegetationsperiode Mai bis September, Hessen

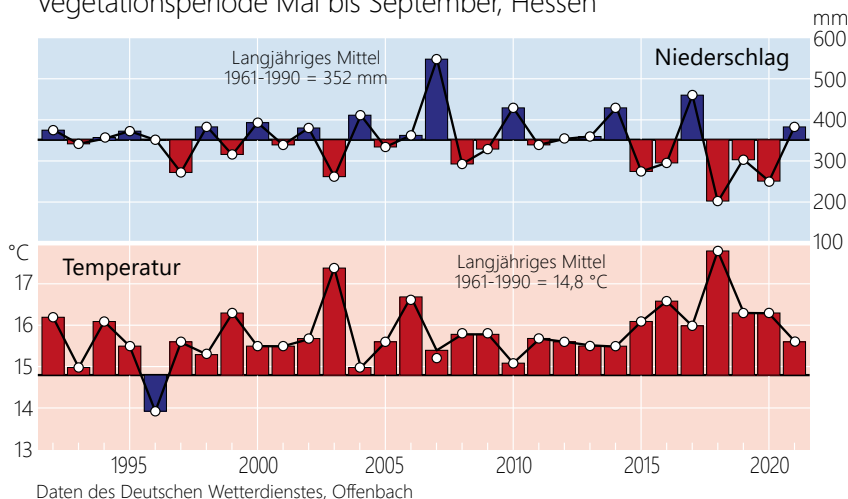


Foto: J. Evers

Seite 22 oben rechts). In der Vegetationszeit fielen landesweit im Mittel rund 380 mm Niederschlag. Dies sind 10 % mehr als im langjährigen Mittel. Allerdings fiel nicht überall mehr Niederschlag als üblich (Abb. Seite 22 unten rechts). In einigen Hochlagen, besonders im Odenwald, im Taunus und im äußersten Norden des Landes (Reinhardswald), wurde im Vergleich zum langjährigen Mittel der Klimaperiode 1961-1990 bis zu 10 % weniger Niederschlag gemessen. Besonders nass war es in Mittelhessen, der Rhön, im Spessart und der Wetterau.

Fazit

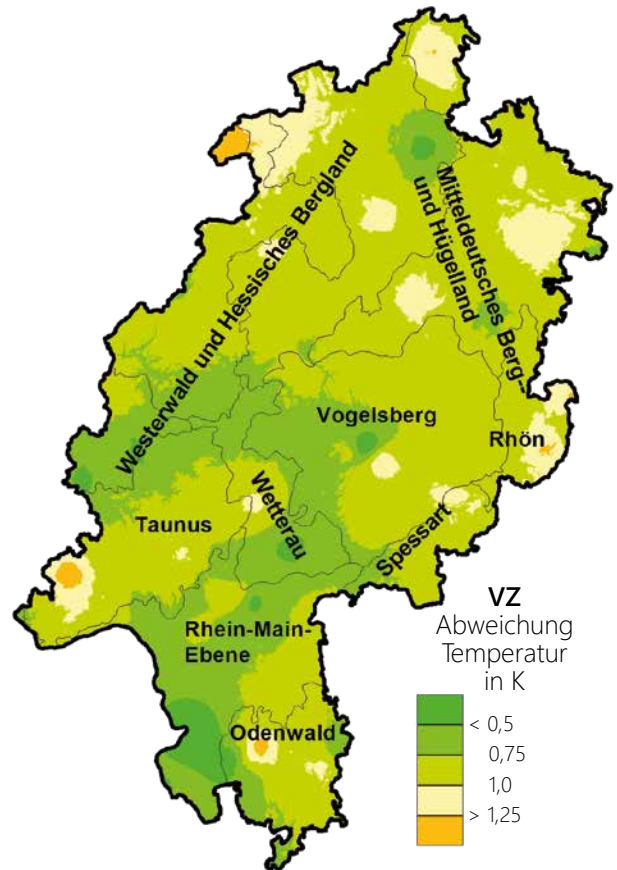
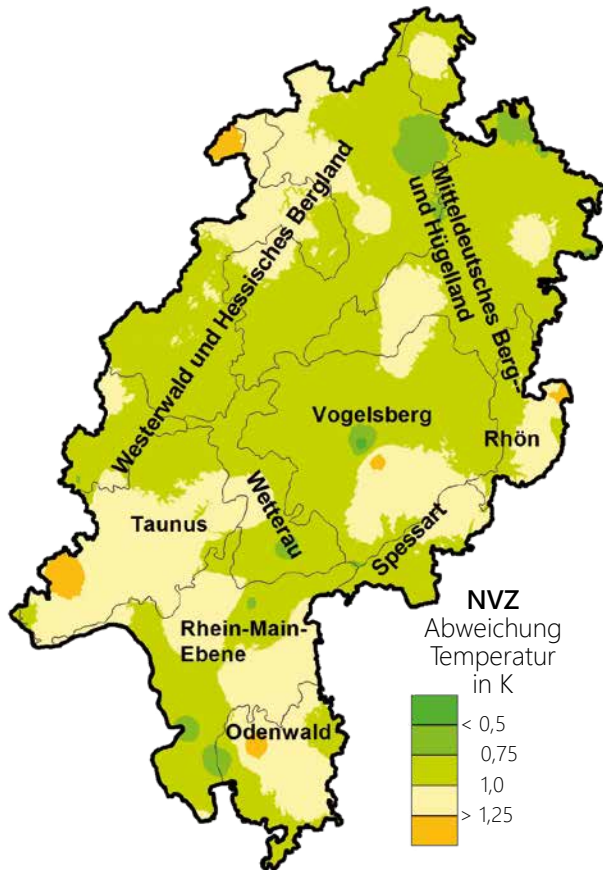
- Auch das Vegetationsjahr 2020/2021 war mit einer Mitteltemperatur von 9,2 °C deutlich wärmer als der langjährige Mittelwert der Klimape-riode 1961-1990. Der langjährige Erwärmungs-trend setzte sich unvermindert fort.
- Die Niederschlagsmenge im aktuellen Vegeta-tionsjahr entsprach mit 771 mm annähernd dem langjährigen Mittel.
- Im Gegensatz zu den vergangenen Jahren kam es in diesem Jahr zu keiner ausgeprägten Tro-ckenperiode.
- Die überdurchschnittlich feuchte Vegetations-zeit beendete die mehrjährige Dürre in Hessen.

Literatur

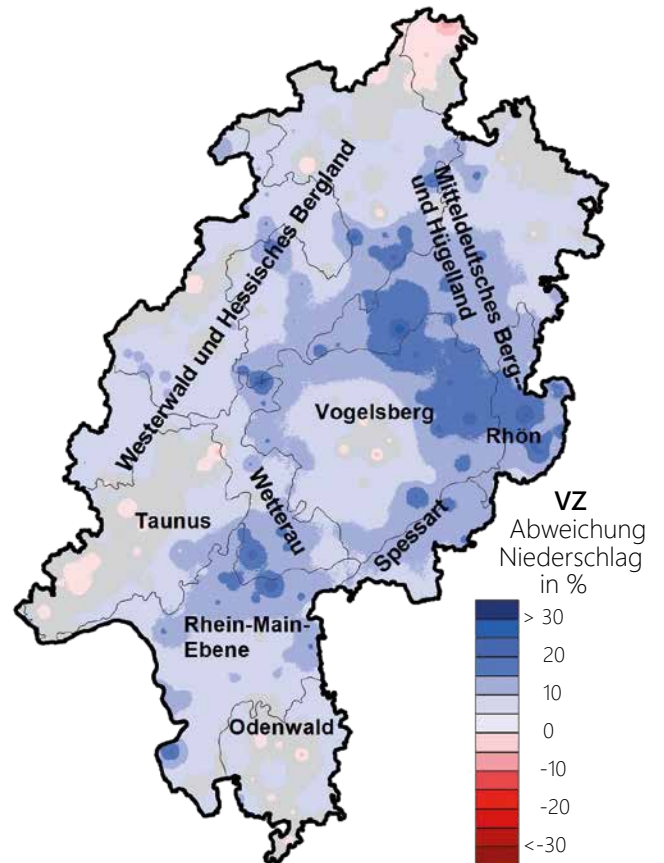
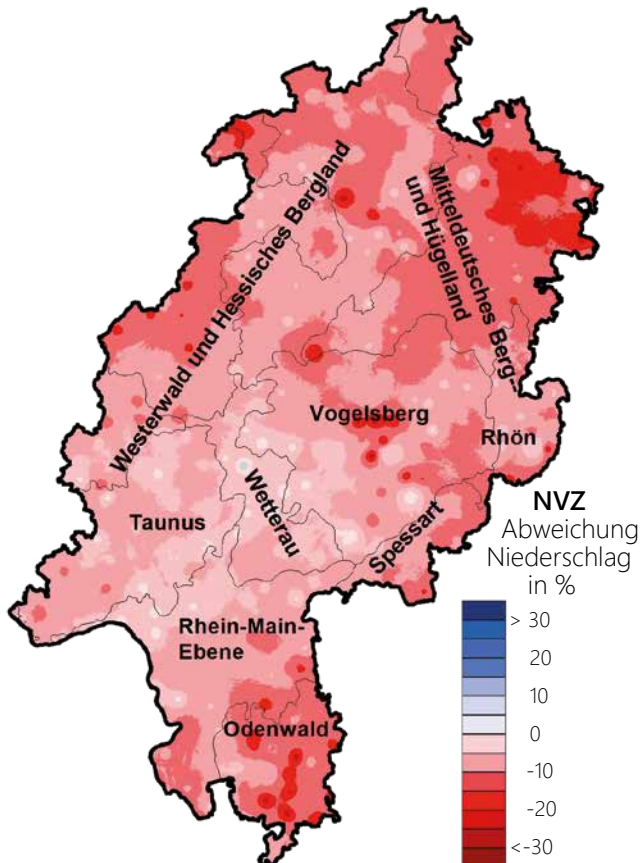
Deutscher Wetterdienst, 2020: Monatlicher Klimastatus Deutschland. DWD, Geschäftsbereich Klima und Umwelt, Offenbach, www.dwd.de/klimastatus
Deutscher Wetterdienst, 2021: Monatlicher Klimastatus Deutschland. DWD, Geschäftsbereich Klima und Umwelt, Offenbach, www.dwd.de/klimastatus

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



Insekten und Pilze

Martin Rohde, Rainer Hurling, Gitta Langer, Johanna Bußkamp, Pavel Plašil und Ines Graw
<https://doi.org/10.5281/zenodo.5569092>

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 kühle, 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

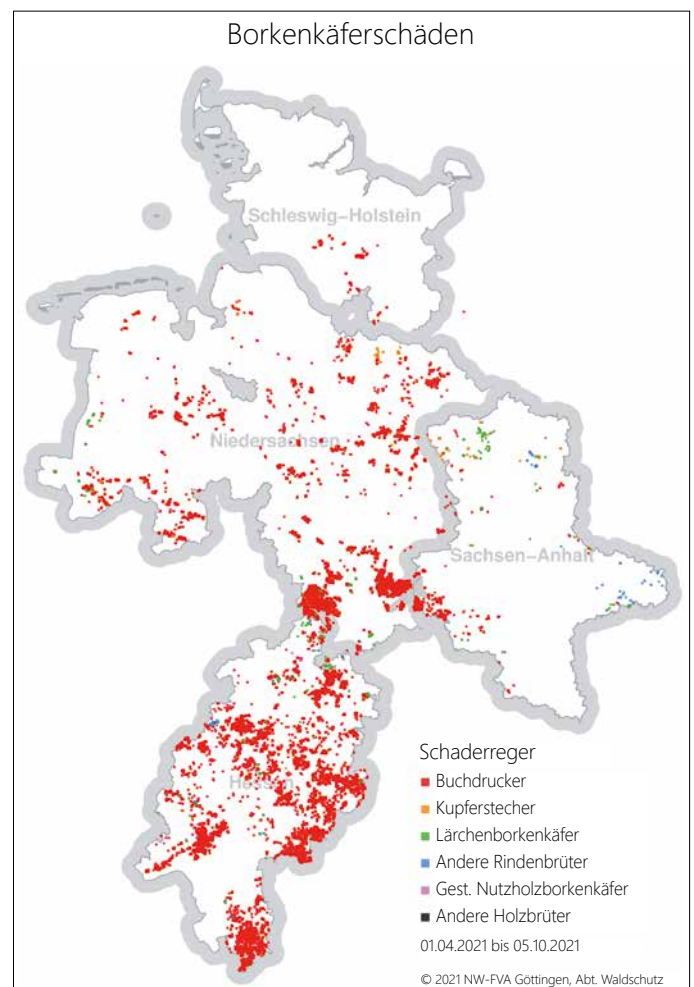
wurden vermehrt jüngere Fichtenaltersklassen besiedelt, aber auch andere Baumarten wie Douglasie, Lärche, Kiefer und sogar Kulturen wurden zunehmend vom Buchdrucker befallen. Die Entwicklung der Bruten der ersten Generation verlief lokal recht unterschiedlich. Das Maximum des Neubefalls zur Anlage der 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 Pilzkrankungen als sekundäre Schädlinge auf. Die Befürchtung,



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)

Insekten und Pilze

dass diese beiden Arten aufgrund der Prädisposition gestresster Buchen und durch die guten Vermehrungsmöglichkeiten 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 Kiefernborckenkäfer, 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.

Waldmaikäfer

Turnusgemäß wurden im Hessischen Ried nach vier Jahren wieder Grabungen nach Waldmaikäferengerlingen des dritten Stadiums auf systematischem Raster durchgeführt. Auf einer Gesamtfläche von ca. 100.000 Hektar wurden auf ca. 30.000 Hektar Waldfläche an 1.213 Punkten in einem 500 x 500 m-Raster insgesamt 4.852 Grabungen durchgeführt. Nach ersten, noch anhand der Grabungsdaten genauer zu prüfenden Einschätzungen, hat die Populationsdichte der Waldmaikäfer im Hessischen Ried den bisherigen Höchststand aus dem Jahr 2009 nochmals übertroffen. Auch eine weitere Ausbreitung nach Norden scheint stattzufinden.



Engerlinge des Waldmaikäfers

Foto: NW-FVA

Eichenfraßgesellschaft

In Hessen befinden sich die Populationen des **Kleinen Frostspanners** (*Operophtera brumata* L.) und **Großen Frostspanners** (*Erannis defoliaria* Cl.) weiterhin in Latenz.

Der **Schwammspinner** (*Lymantria dispar* L.) befindet sich in Hessen in der Retrogradation. Die Suche nach Eispiegeln des Schwammspinners im Winter 2020/2021 in 25 Waldbeständen ergab keine Überschreitung der Warnschwelle.

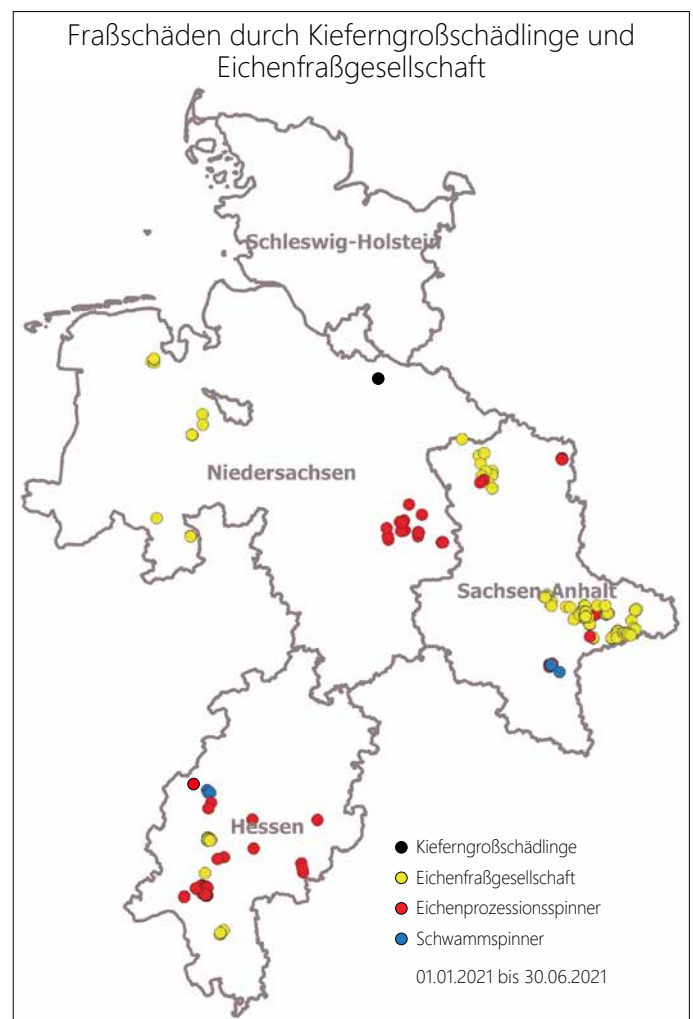
In Eichenbeständen des Forstamtes Wetzlar wurden 93 Hektar geringer sowie 13 Hektar mittlerer Fraß durch die **Eichenfraßgesellschaft** mit maßgeblicher Beteiligung des **Eichenprozessionsspinners** (*Thaumetopoea processionea* L.) festgestellt.



Schwammspinner: Falter und Puppe

Foto: NW-FVA

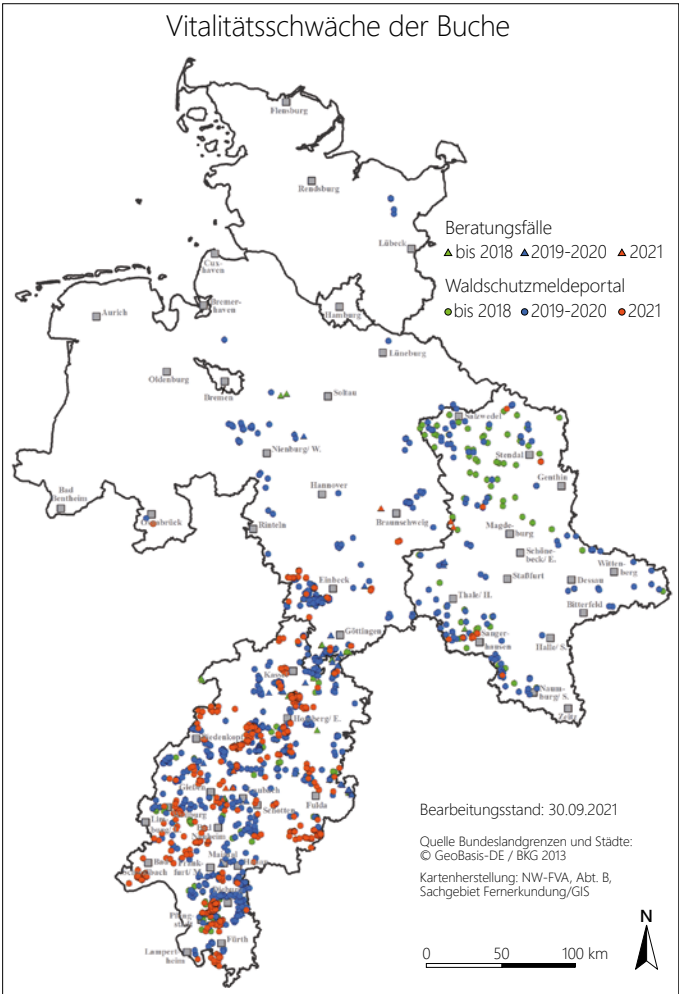
Darüber hinaus wurden in den Forstämtern Biedenkopf, Darmstadt, Fulda, Königstein, Nidda, Schlüchtern, Weilrod, Wetzlar und Wiesbaden-Chausseehaus Vorkommen des Eichenprozessionsspinners auf insgesamt 152 Hektar festgestellt. Durch die Eichenfraßgesellschaft und den Schwammspinner verursachte Schäden wurden insgesamt nur für 1 Hektar gemeldet.



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



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

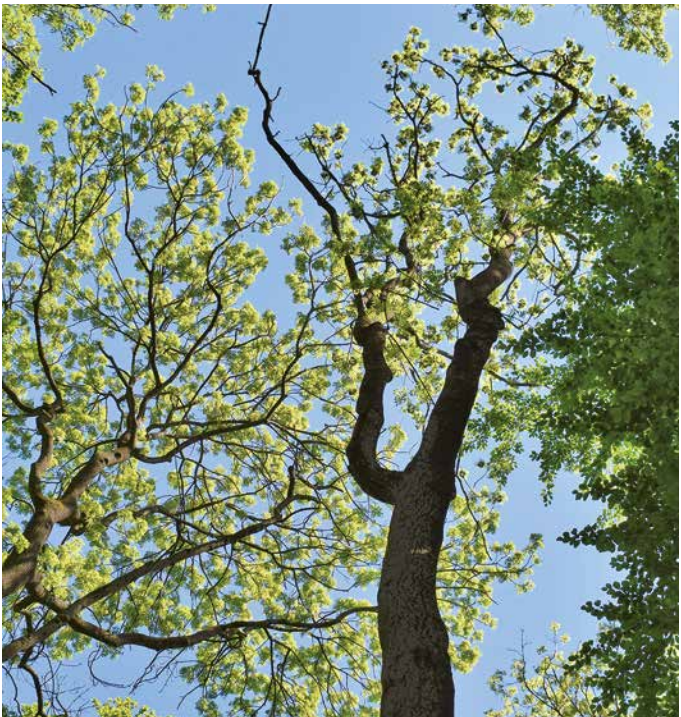
Wie auch in den drei vergangenen Jahren wurden weit verbreitet und teilweise bestandesbedrohend Absterbeerscheinungen infolge der Hitze und Trockenheit bei Rotbuchen in Niedersachsen, Hessen und Sachsen-Anhalt beobachtet, die sich dem Schadbild der so genannten **Buchen-Vitalitätsschwäche** zuordnen 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



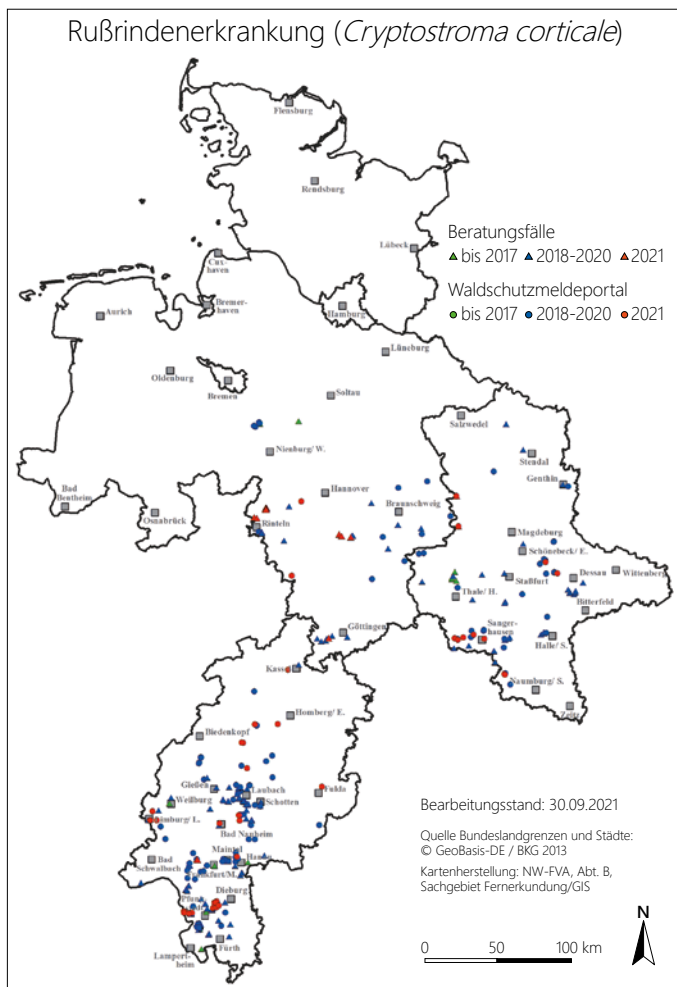
Cryptostroma corticale
Foto: NW-FVA

Wie in den Vorjahren kam es auch 2021 zum auffälligen Auftreten der **Rußrindenerkrankung** 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 Rußrindenerkrankung tritt in Deutschland in erster Linie beim Bergahorn (*Acer pseudoplatanus*), seltener bei Spitz- (*A. platanoides*) und Feldahorn (*A. campestre*) auf.



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.

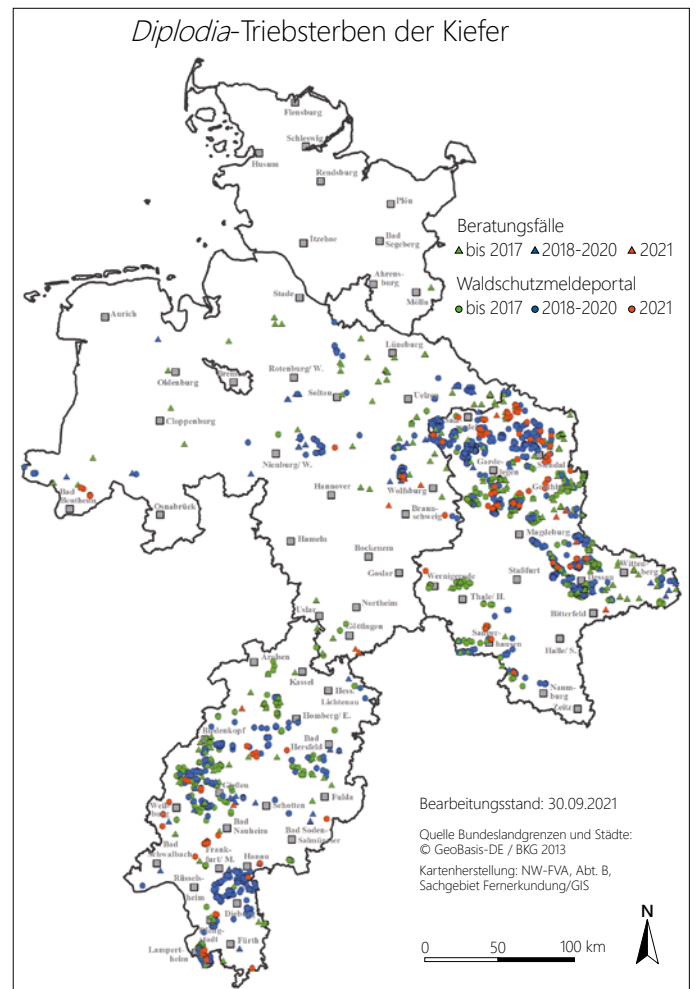


Schadensfälle an Ahorn mit der Rußrindenerkrankung in den Trägerländern der NW-FVA – Quellen: Beratungsfälle und Auswertung des Waldschutzmeldeportals der NW-FVA (WSMP)

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



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.5569163>

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.

In Hessen wurde bereits 1984 mit der systematischen Erfassung der Stoffeinträge in Buchen- und Fichtenbeständen begonnen, um die Wirkung erhöhter Stoffeinträge sowie damit verbundener Risiken für Wälder, Waldböden und angrenzende Ökosysteme beurteilen zu können.

Aktuell wird der Stoffeintrag im Rahmen des Intensiven Forstlichen Umweltmonitorings in zwei Fichten-, sechs Buchen- sowie einem 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 quantitative bedeutsame Stammablauf gemessen. Mittels eines Kronenraumbilanzmodells (Ulrich 1991) werden aus den gemessenen Stoffflüssen Gesamtdpositionsraten berechnet.

Die Höhe der Stoffeinträge wird maßgeblich durch Faktoren wie Niederschlagsmenge, -intensität und -verteilung, Windgeschwindigkeit, Baumart, Bestandeshöhe, Kronenrauigkeit oder lokale Emittenten bestimmt. So sind die Stoffeinträge in den niederschlagsreichen Lagen der Mittelgebirge höher als beispielsweise in der Wetterau. Fichten- und Douglasienbestände sind wegen der ganzjährigen und im Vergleich mit



Foto: M. Spielmann

Kiefern dichten Benadelung stärker durch Stoffeinträge belastet als Buchen-, Eichen- und Kiefernbestände. Dieser Baumarteneffekt zeigt sich sehr gut in Fürth im Odenwald, wo eine Fichten- und eine Buchenfläche in unmittelbarer Nachbarschaft und somit unter gleicher Immissionsbelastung und gleichen klimatischen Bedingungen beobachtet werden.

Niederschlag

Im Vergleich mit dem 10-jährigen Mittel der Jahre 2010-2019 fielen die Niederschläge 2020 geringer aus. Besonders groß waren die Defizite im Freiland im Kellerwald (-158 mm), in Königstein (-151 mm) und im Hess. Ried (-131 mm), weniger ausgeprägt hingegen im Spessart (-59 mm).

Der Bestandesniederschlag der Buchenflächen war 2020 zwischen 21 mm (Zierenberg) und 139 mm (Hess. Ried) geringer als im 10-jährigen Mittel, unter Fichte wurde 52 mm (Fürth i. Od.) bzw. 37 mm (Königstein) weniger Kronentraufe



Intensiv-Monitoringfläche Königstein – starke Auflichtung nach Borkenkäferbefall im März 2021

Foto: NW-FVA

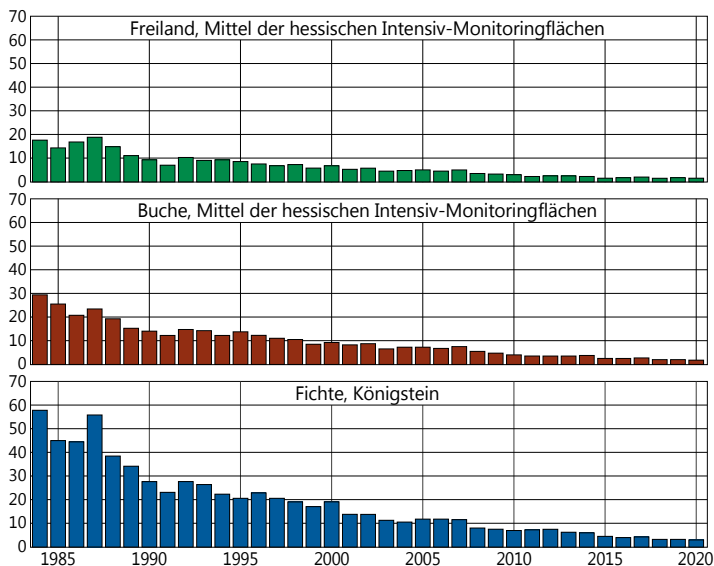
Stoffeinträge

registriert und auf der Kiefernfläche im Hess. Ried erreichten 131 mm weniger den Waldboden. In Königstein und Zierenberg fielen die Defizite im Bestandesniederschlag deutlich geringer aus als im Freiland. Ursache hierfür sind Störungen in der Bestandesstruktur durch Windwurf (Zierenberg) und Borkenkäferbefall (Königstein).

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 Sulfatschwefeleintrag in Wälder wirksam reduziert. Obwohl er bereits auf einem relativ geringen Niveau lag, hat er 2020 im Vergleich zum Mittel der Jahre 2010-2019 nochmals deutlich abgenommen. 2020 betrug der Sulfatschwefeleintrag mit dem Bestandesniederschlag im Mittel der untersuchten Buchenflächen 1,8 kg je Hektar und war damit 1,2 kg bzw. 40 % geringer als im 10-jährigen Mittel. Die Spannweite der Einträge lag zwischen 1,3 kg (Hess. Ried) und 2,4 kg je

Schwefeleintrag ($\text{SO}_4\text{-S}$) in kg je Hektar und Jahr



Stickstoffeintrag ($\text{NH}_4\text{-N} + \text{NO}_3\text{-N}$) in kg je Hektar und Jahr

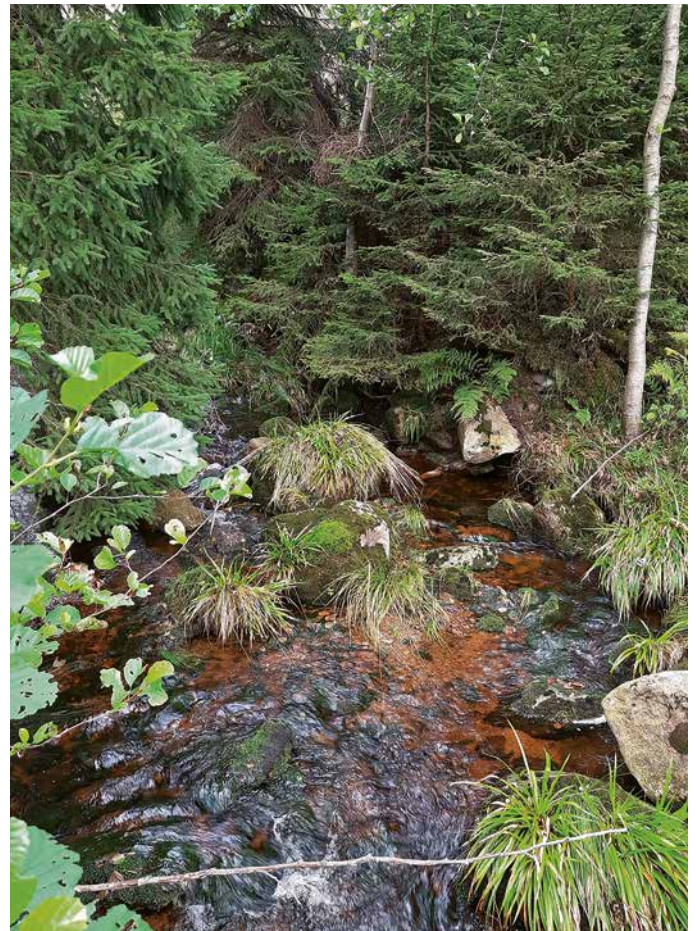
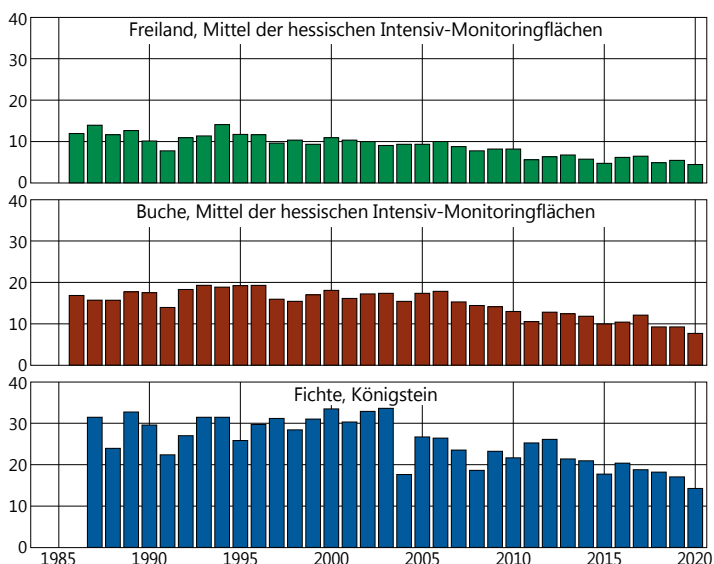


Foto: J. Weymar

Hektar (Fürth i. Od.). Auf den Fichtenflächen in Königstein und Fürth i. Od. betrug er 2,9 kg je Hektar und war damit 45 % bzw. rund 2,5 kg geringer als im Mittel der vergangenen 10 Jahre. Im Freiland lag er im Hessenmittel bei 1,4 kg je Hektar, was einer Abnahme von 0,7 kg bzw. 33 % entspricht.

Stickstoffeintrag

Stickstoff wird als Nitrat (Quellen: Kfz-Verkehr, Verbrennungsprozesse) und Ammonium (landwirtschaftliche Quellen) in die Ökosysteme eingetragen. In Hessen beträgt der Ammoniumanteil am anorganischen Stickstoffeintrag im Freiland und mit dem Bestandesniederschlag (Mittel aller Baumarten) gut 50 % mit einem leicht ansteigenden Trend.

Der Nitratstickstoffeintrag hat im Freiland und der Gesamtd deposition auf allen untersuchten Flächen seit Untersuchungsbeginn signifikant abgenommen. 2020 betrug er je Hektar 2,1 kg (Hessenmittel Freiland) mit Werten zwischen 1,6 kg (Hess. Ried) und 2,7 kg (Fürth i. Od.) sowie 3,2 kg unter Buche (Hessenmittel, Gesamtd deposition mit Stammablauf). Die höchsten Nitratstickstoffeinträge wurden 2020 auf den Buchenflächen in Zierenberg (4,8 kg je Hektar) und Fürth i. Od. (3,6 kg je Hektar) gemessen. Ursache für die hohen Nitratstickstoffeinträge in Zierenberg könnte die Nähe der Fläche zur Autobahn A44 sein, in Fürth ist vermutlich der höhere Niederschlag verantwortlich. Unter Fichte betrug die Gesamtd deposition in Königstein 7,4 kg und in Fürth i. Od. 6,8 kg je Hektar, unter Kiefer im Hess. Ried 2,4 kg je Hektar. Insgesamt war der Nitratstickstoffeintrag im Jahr 2020 mit dem Bestandesniederschlag zwischen 31 % (Fichte Königstein) und 48 % (Buche Spessart) geringer als im Mittel der Jahre 2010-2019.

Stoffeinträge

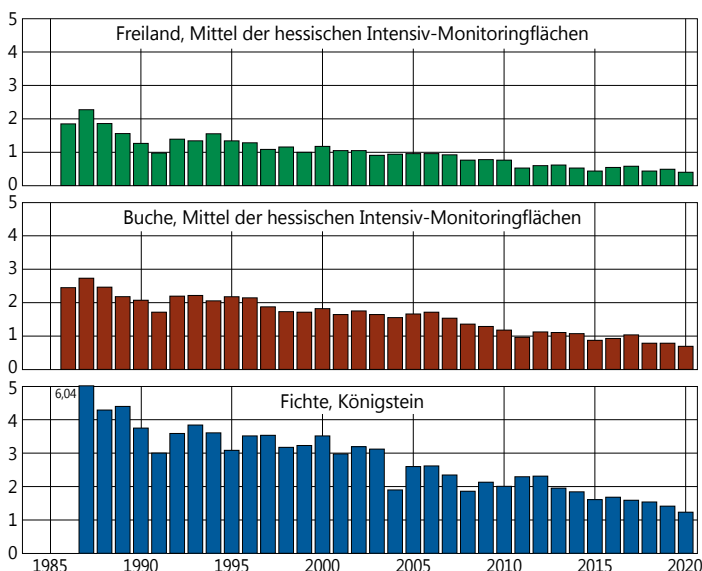
Der Ammoniumstickstoffeintrag hat auf allen hessischen Flächen des Intensiv-Monitorings seit 1994 bzw. seit Untersuchungsbeginn ebenfalls signifikant abgenommen. Betrachtet man jedoch nur den jüngeren Zeitraum seit 2010, ist er nur noch in Königstein (Fichte, Freiland) sowie im Kellerwald und Spessart (jeweils Bestandesniederschlag Buche) sehr deutlich zurückgegangen. 2020 lag er je Hektar bei 2,4 kg im Freiland und 4,5 kg unter Buche (jeweils Hessenmittel). Überdurchschnittlich hohe Einträge wurden mit 6,4 kg bzw. 5,9 kg je Hektar auf den Buchenflächen Zierenberg und Fürth i. Od. gemessen. Unter Fichte betrug der Ammoniumstickstoffeintrag in Fürth i. Od. 10,8 kg und in Königstein 6,8 kg je Hektar, unter Kiefer im Hess. Ried 2,8 kg je Hektar.

Obwohl der anorganische Stickstoffeintrag durch verschiedene Maßnahmen deutlich abgenommen hat, überschreitet der anthropogen bedingte atmosphärische Stickstoffeintrag im Mittel der letzten 5 Jahre (2016-2020) mit Werten bis zu jährlich 15,1 kg je Hektar unter Buche (Zierenberg) und 18,7 kg je Hektar unter Fichte (Fürth i. Od.) nach wie vor den Bedarf der Wälder für das Baumwachstum. Dieser überschüssige Stickstoff reichert sich 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. Dieser Prozess hat durch den damit verbundenen Verlust basischer Nährstoffkationen aus den ohnehin meist nährstoffarmen Waldböden gravierende negative Konsequenzen für das Ökosystem Wald. Angrenzende Ökosysteme wie Oberflächen- und Grundgewässer werden ggf. durch hohe Nitratausträge gefährdet.

Gesamtsäure

Der Gesamtsäureeintrag berechnet sich als Summe der Gesamtd deposition von Nitrat, Ammonium, Sulfat und Chlorid (jeweils nicht seesalzbürtige Anteile, Gauger et al. 2002). 2020 betrug der Gesamtsäureeintrag im Freiland 0,4 kmol_c (Hessenmittel), unter Buche (Hessenmittel) 0,7 kmol_c und unter Fichte 1,6 kmol_c (Fürth i. Od.) bzw. 1,2 kmol_c (Königstein) je Hektar. Wie in den Vorjahren war 2020 der Gesamtsäureeintrag auf der Buchenfläche in Zierenberg mit 1,0 kmol_c je Hektar

Gesamtsäureeintrag in kmol_c je Hektar und Jahr



Level II-Fläche Hess. Ried

Foto: J. Weymar

tar besonders hoch und lag deutlich über dem Buchenmittel des Landes. Insgesamt war der Gesamtsäureeintrag 2020 unter Buche zwischen 0,2 kmol_c (Hess. Ried) und 0,4 kmol_c (Zierenberg, Spessart) je Hektar geringer als im Mittel der Jahre 2010-2019, unter Fichte war er 0,3 kmol_c (Fürth i. Od.) bzw. 0,6 kmol_c je Hektar (Königstein) geringer und unter Kiefer 0,3 kmol_c je Hektar.

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 (Krofdorf, Buche) und knapp 0,5 kmol_c je Hektar (Königstein und Fürth i. Od., Fichte), bzw. zwischen 28 % und 50 % 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 Säureinträge vollständig zu kompensieren. Eine standortsangepasste Kalkung zum Schutz der Waldböden und der Erhaltung ihrer Filterfunktion für das Grundwasser kann empfohlen werden.

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, Erismann 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

Anpassungspotenziale heimischer Baumarten

Aki Michael Höltnen, André Hardtke und Wilfried Steiner

<https://doi.org/10.5281/zenodo.5569170>

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 Standortverhältnissen. 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 Umwelt-heterogenität 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 beigegeben. 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 Spätfrost 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 Spätfrostschäden 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 Standortwasserbilanz identifiziert und Pflanzen für eine Versuchsserie angezogen. Diese werden anschließend auf

Versuchsflächen ausgepflanzt, die den vollständigen Bereich der Standortwasserbilanz 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 Standortbedingungen 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

Anpassungspotenziale heimischer Baumarten



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, Höltnen 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).
- Höltnen 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
- Höltnen 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, Pretsch H, Beierkuhnlen 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, Cocchiara 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.5569190>

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

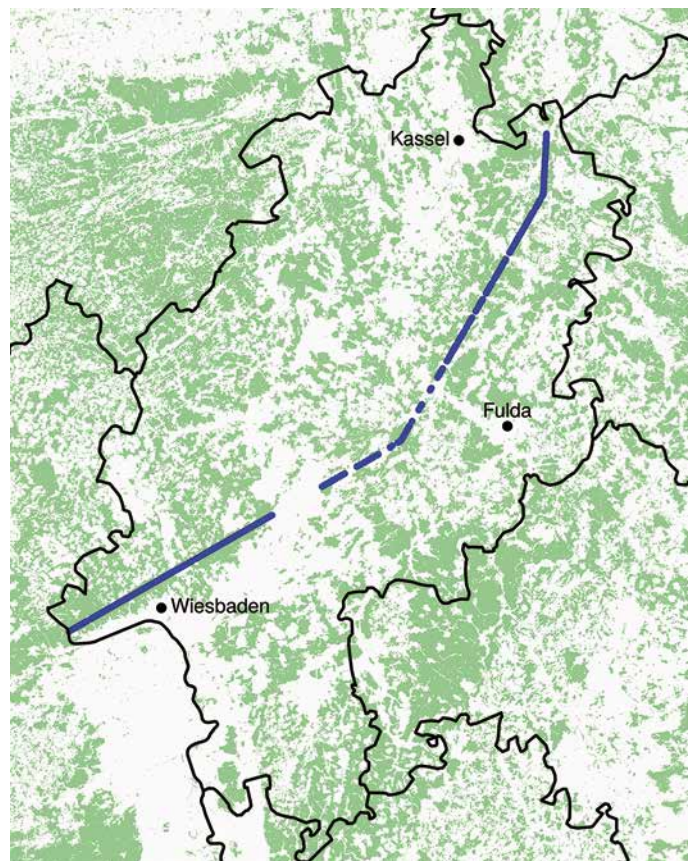
Die SLM sind als standortssensitive Bonitätsfächer konzipiert, mit denen sich die Entwicklung der Mittelhöhe (Hg) über dem Alter in Abhängigkeit von wichtigen Standortfaktoren einschätzen lässt (Schmidt 2020). Diese Faktoren sind die Temperatur- (TSum) und Niederschlagssumme (NSum) in der Vegetationszeit, die jährliche Stickstoffdeposition (NDep) sowie die Wasserhaushalts- (WHZ) und Nährstoffziffer (NZ) entsprechend der forstlichen Standortkartierung. Die edaphischen Standortfaktoren WHZ und NZ gehen statisch und die Klima- und Depositionsparameter dynamisch in die Leistungsschätzung ein. Dynamisch bedeutet in diesem Zusammenhang, dass die Standortfaktoren 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 Klimäläufe 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 Standortfaktoren 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 Witzenhausen (Werra) über den Meißner, den Vogelsberg, die Wetterau und den Hohen Taunus bis zum Rhein bei Rüdesheim für die Baumarten 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



Transect von Witzenhausen (Werra) über den Meißner, den Vogelsberg, die Wetterau und den Hohen Taunus bis zum Rhein bei Rüdesheim. Für diesen Transect wird die Wuchsleistung für die Jahre 2000 und 2100 projiziert. Der Transect beinhaltet ausschließlich Waldflächen.

Wachstum von Eiche, Buche, Fichte und Kiefer im Klimawandel

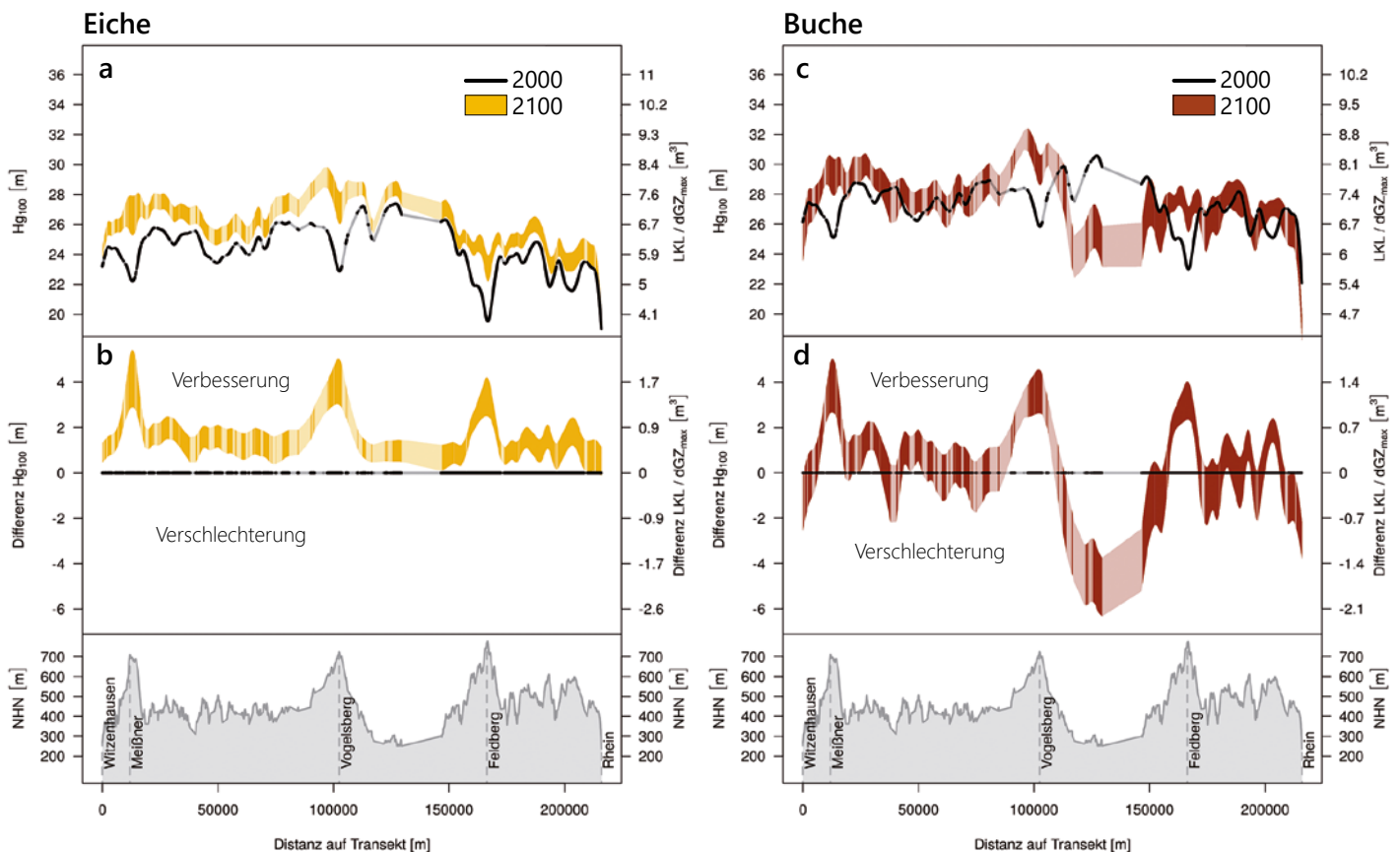
die Höhenbonitäten detaillierter analysiert. Bei einer Analyse der Leistungsklassen wäre zu beachten, dass die Volumenzunächse der Baumarten bei gleicher Höhenbonität deutliche Unterschiede aufweisen. Für die Eiche weisen die Schätzungen für das Jahr 2000 in den Hochlagen von Meißner, Vogelsberg und Taunus 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 Klimäläufen 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, dass deutlich durch die Höhenlage bestimmt wird (Abb. unten, **Eiche** a). So weisen die Hochlagen von Meißner, Vogelsberg und Taunus die geringsten Bonitäten auf. Die höchsten aktuellen Bonitäten werden für Höhenlagen zwischen 300-400 m im Bereich der Wetterau projiziert. Die Bonitäten auf osthessischen Buntsandsteinstandorten sind bei gleicher Höhenlage etwas geringer und auf den Schieferstandorten des Hohen Taunus deutlich geringer. Auffällig sind zudem die geringen Bonitäten, die für Standorte in Rheinnähe projiziert werden. Der Vergleich mit den Projektionen für das Jahr 2100 zeigt

für die Eiche ausnahmslos Bonitätsverbesserungen, wobei die Klimäläufe im Bereich der geringsten Seehöhen des Transektes nur sehr geringe Zunahmen zeigen, die bis 500 m auf 2,5 m ansteigen (Abb. unten, **Eiche** b). Oberhalb von 500 m werden starke Bonitätsverbesserungen mit Maximalwerten von 5,5 m am Meißner, von 5,2 m am Vogelsberg und 4,2 m am Feldberg erreicht. Dabei zeigt sich ein deutlicher Nord-Süd-Gradient. So werden beispielsweise auf 750 m Seehöhe am Meißner höhere Bonitätsverbesserungen erreicht als auf 750 m am Vogelsberg und im Taunus.

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). Bei der Projektion für das Jahr 2100 zeigen sich jedoch große Unterschiede zwischen den beiden Laubbaumarten, da bei der Buche in relativ weiten Höhenbereichen des Mittelgebirges auch Klimäläufe mit Bonitätsverschlechterungen auftreten. Im Taunus werden erst ab 550 m ausnahmslos Bonitätsverbesserungen projiziert, in Nordosthessen wird dieser Bereich bereits ab 400 m erreicht. Die Hochlagen von Meißner, Vogelsberg und Taunus weisen wie bei der Eiche ausnahmslos deutliche Bonitätsverbesserungen mit Maximalwerten von 5 m am Meißner, von 4,5 m am Vogelsberg und 4 m am Feldberg auf. Im starken Kontrast zur Eiche zeigen die Projektionen für die Buche in der Wetterau jedoch Bonitätsverschlechterungen von bis zu 6,2 m (Abb. unten, **Buche** d). Damit sind die Standorte betroffen, auf denen die Buche aktuell die besten Bonitäten erreicht (Abb. unten, **Buche** c).



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 Klimäläufe des ReKliEs-De-Kernensembles auf Basis des RCP 8.5 Klimaszenarios (farbige Bänder) entlang des in der Abb. Seite 34 dargestellten Transektes von Witzhausen (Werra) bis zum Rhein. 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

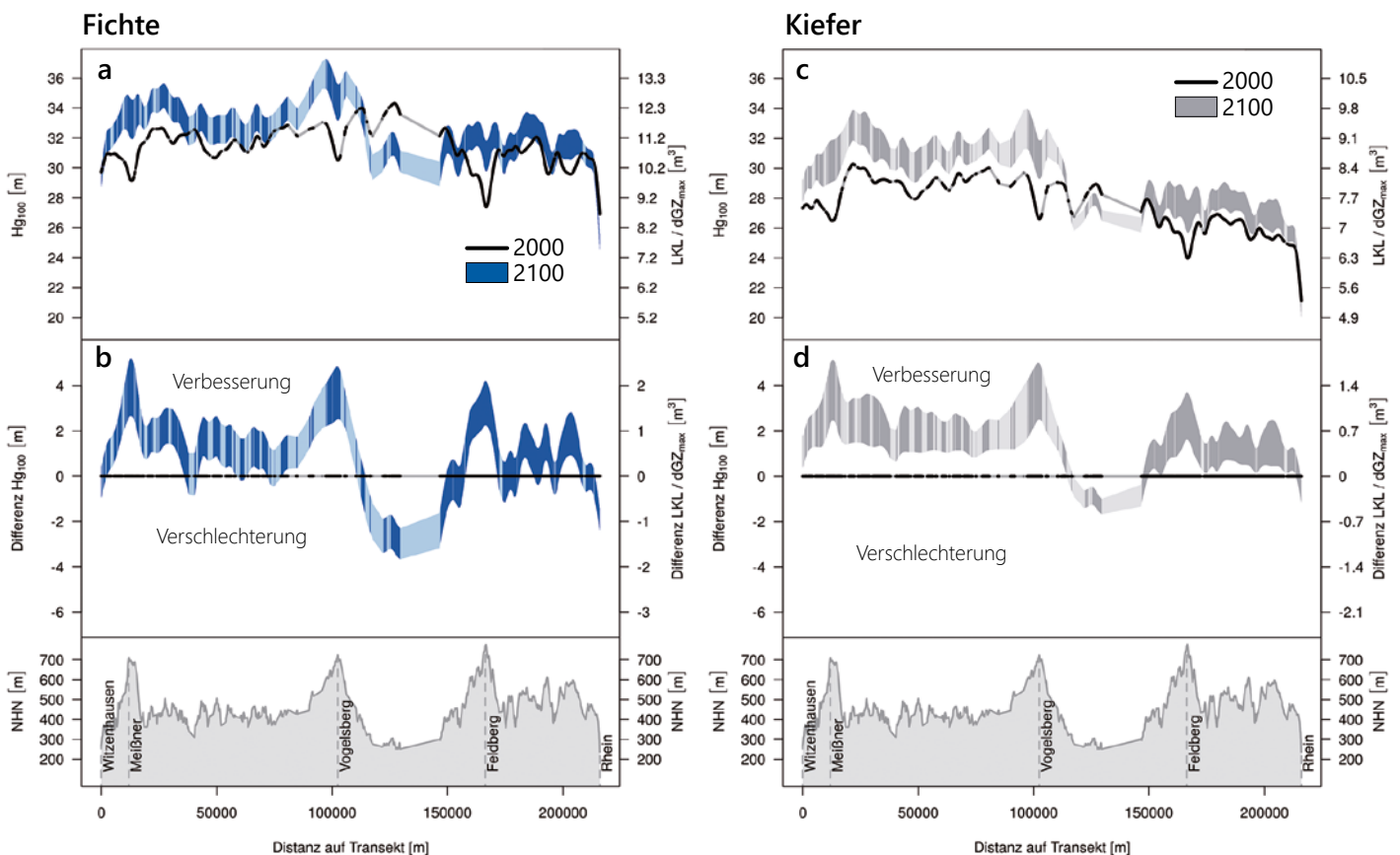


Foto: M. Spielmann

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**). Aufgrund ihrer geringen Ansprüche bzgl. der Temperatursumme sind die relativen Bonitätsveränderungen zwischen den mittleren Höhenlagen und den Hochlagen 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. So verschlechtern sich die Bonitäten in der Wetterau wie bei der Buche ausnahmslos, allerdings sind die Rückgänge von bis zu 3,5 m nicht ganz so deutlich. In den Mittelgebirgen treten analog zur Buche einzelne Klimälufe mit Bonitätsverschlechterungen auf. Es sind aber weniger Standorte betroffen, da in Nordosthessen bereits oberhalb von 350 m und im Taunus oberhalb von 450 m ausschließlich Bonitätsverbesserungen projiziert werden. Der für Eiche beschriebene Nord-Süd-Klimagradient tritt auch bei Buche und Fichte auf. So zeigt sich auch hier, dass die Bonitätsverbesserungen bei gleicher Höhenlage vom Meißner über den Vogelsberg zum Taunus hin abnehmen (Abb. Seite 35, **Buche d** / Abb. unten, **Fichte b**).

Die Schätzungen für die **Kiefer** für das Jahr 2000 (Abb. unten, **Kiefer c**) liegen in etwa auf dem Niveau der Buche. Allerdings liegen die Bonitäten im Osthessischen Bergland deutlich über den Werten, die im Taunus geschätzt werden. Daraus ergibt sich, dass die aktuellen Bonitäten der Kiefer im Osthessischen Bergland über und im Taunus unter denen der Buche liegen. Ein auffälliger Unterschied zu den anderen Baumarten besteht darin, dass die besten aktuellen Bonitäten nicht in der Wetterau, sondern im osthessischen Bergland geschätzt werden. Für das Jahr 2100 weist die Kiefer ein Muster auf, das zwischen dem der Eiche und dem der Fichte liegt (Abb. unten, **Kiefer d**). Es treten sowohl Klimälufe mit Bonitätsverbesserungen als auch -verschlechterungen auf, die Verschlechterungen



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 Klimälufe des ReKliEs-De-Kernensembles auf Basis des RCP 8.5 Klimaszenarios (farbige Bänder) entlang des in der Abb. Seite 34 dargestellten Transektes von Witzhausen (Werra) bis zum Rhein. 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.

Wachstum von Eiche, Buche, Fichte und Kiefer im Klimawandel

rungen werden allerdings ausschließlich für den Bereich der Wetterau und in der Nähe des Rheins projiziert und sind vergleichsweise gering. Für beide Bereiche projizieren allerdings alle 7 Klimäläufe Bonitätsverschlechterungen.

Als allgemeines Muster lässt sich für alle Baumarten festhalten, dass für die Hochlagen von Meißner, Vogelsberg und Taunus, wo aktuell die Temperatursumme der begrenzende Wachstumsfaktor ist, deutliche Bonitätsverbesserungen projiziert werden. In den tieferen Lagen der Mittelgebirge werden je nach Baumart nur geringere Verbesserungen und teilweise Verschlechterungen projiziert. Im Taunus werden zukünftig bei gleicher Höhenlage häufiger Verschlechterungen auftreten als im Osthessischen Bergland. Im Bereich der Wetterau werden für die Eiche nur relativ geringe Bonitätsverbesserungen und für Kiefer, Fichte und Buche ausnahmslos Verschlechterungen projiziert. Als Ursache sind sehr hohe zukünftige Temperatursummen oberhalb der Optimalbereiche und vor allem sehr geringe zukünftige Niederschlagssummen zu nennen, die das Wachstum begrenzen.

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 (Tab. unten).

Anteile an der Gesamtwaldfläche für die Trägerländer der NW-FVA mit ausschließlich Bonitätsverbesserungen bzw. -verschlechterungen in allen 7 Klimäläufen 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

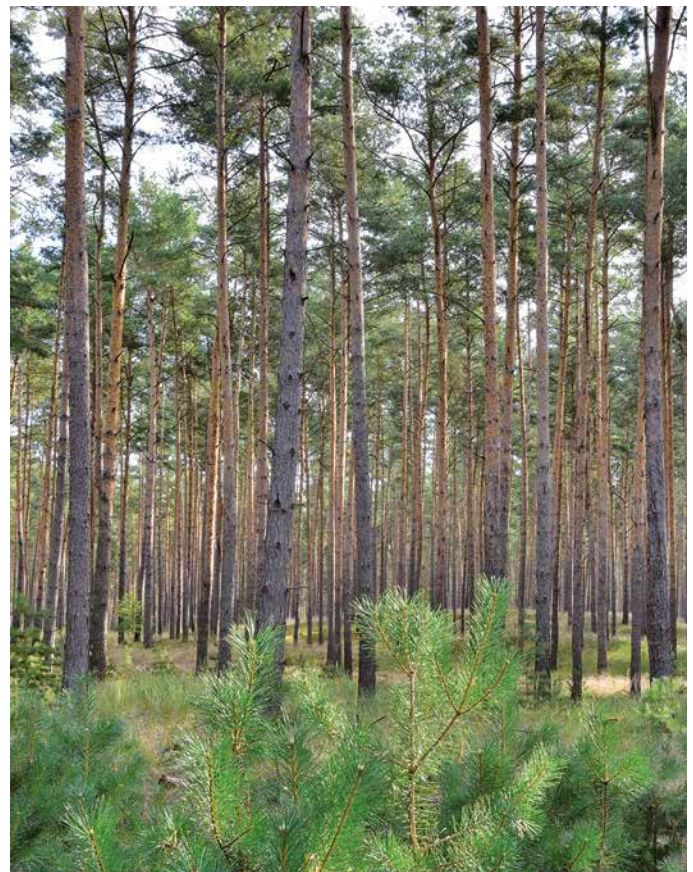


Foto: M. Spielmann

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 den hier vorgestellten Modellen theoretisch ergeben müssten, nicht realisiert werden.

Literatur

- Hübener H, Bülow K, Fooker C, Früh B, Hoffmann P, Höpp S, Keuler K, Menz C, Mohr V, Radtke K, Ramthun H, Spekat A, Steger C, Toussein F, Warrach-Sagi K, Woldt M 2017: Ergebnisbericht REKLIES-DE – Regionale Klimaprojektionen Ensemble für Deutschland. 76 S., <http://rekli.es.hlnug.de/fileadmin/tmpl/rekli/es/dokumente/ReKliEs-De-Ergebnisbericht.pdf>
- Riedel T, Hennig P, Krohner F, Polley H, Schmitz F, Schwitzgebel F 2017: Die dritte Bundeswaldinventur (BWI 2012): Inventur- und Auswertungsmethoden, 124 S
- Schaap M, Kruit RW, Hendriks C, Kranenburg R, Segers A, Bultjes 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, Grünberg 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.5568954>

Moore erhalten momentan im öffentlichen Diskurs um die Themen Klimawandel, Erhalt der Artenvielfalt und Wasserhaushalt verstärkte Aufmerksamkeit. Und das zu Recht. Beispielsweise 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

Waldmoore – Erfassung und Renaturierungsperspektiven

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.



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



Umbruch von Moor-Stagnogley-Böden zum Zwecke der Aufforstung 1928

Foto: Archiv Gisbert Backhaus

Nutzungsauffassung reicht nicht

In den meisten entwässerten Mooren sind aktive wasserbauliche Maßnahmen zur Wiedervernässung nötig, die gegebenenfalls 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 Auffassung sogar erosiv ein, sodass der Moorwasserspiegel dadurch noch weiter sinkt.

In einigen entwässerten Waldmooren nährstoffärmerer Standorte breiten sich nach einer Nutzungsauffassung 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.

Waldmoore – Erfassung und Renaturierungsperspektiven



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 gebietspezifische 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 Jahressgänge 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, verglejt und (fast) der perfekte Waldboden

Jan Evers

<https://doi.org/10.5281/zenodo.5568923>

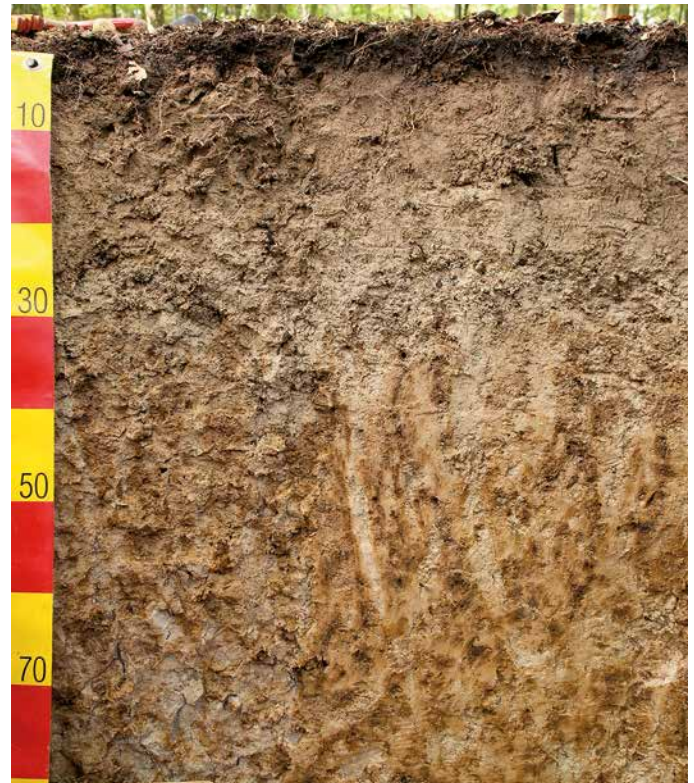
Der Lössboden – der Boden des Jahres 2021 – bietet mit seinen Eigenschaften die besten Voraussetzungen für eine gute Durchwurzelung und damit für das Pflanzenwachstum. Lössböden werden daher überwiegend landwirtschaftlich genutzt. Weltweit fruchtet der weitaus größte Anteil des angebauten Getreides auf 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



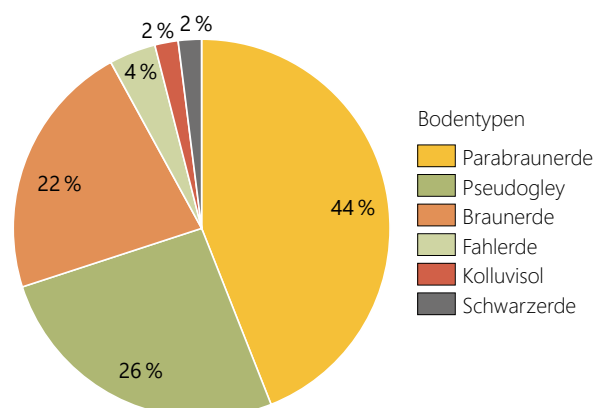
Pseudogley auf Lösslehm

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



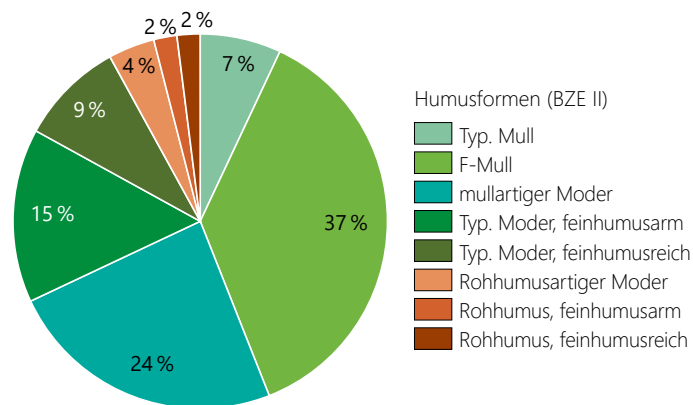
Verteilung der Bodentypen unter Wald in der Substratgruppe Lösslehm (BZE II, NW-FVA)

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

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 Kolluviole. 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

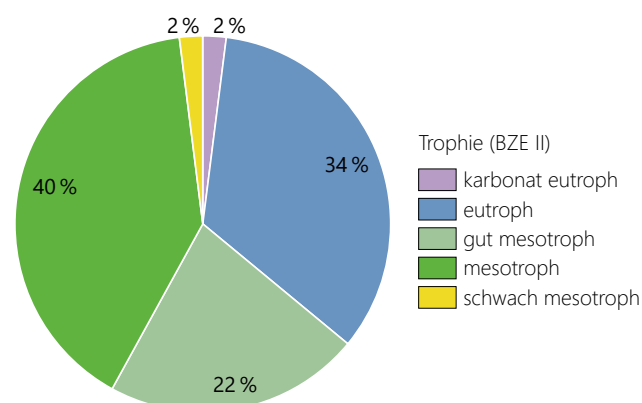
Die meisten Humusformen auf den Standorten der Lösslehme sind günstig: Insgesamt 44 % der betreffenden BZE-Punkte haben die Humusform Mull und 24 % die Humusform mullartiger Moder. 24 % der Lösslehmstandorte kennzeichnet der Moder. Auf 8 % kommen Rohhumusartiger Moder und Rohhumus vor, dies zeigt deutlich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

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/cm³, im Unterboden zwischen 1,3 bis 1,5 g/cm³. 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

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

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.

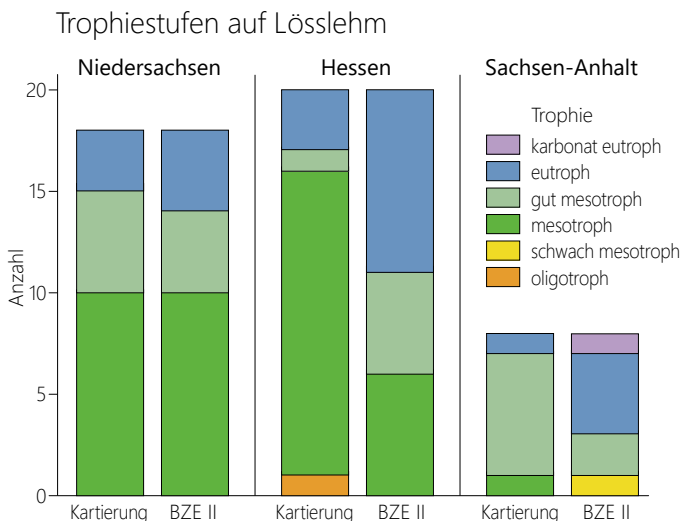
Je toniger ein Lössboden, desto höher ist seine Austauschkapazität und damit auch die mögliche Versorgung von Wäldern mit den austauschbaren Nährstoffen Calcium, Magnesium und Kalium. Der mittlere Vorrat an austauschbarem Calcium (Magnesium, Kalium) in Lössböden liegt in Niedersachsen bei knapp 5.000 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 Standortkartierung 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 Standortkartierung 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 Standortkartierung und BZE II nahezu identisch. In Hessen sind die Lösslehme deutlich in ihrer Nährstoffausstattung durch die Standortkartierung 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, Ma-

gnesium 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 Lösslehm 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 Standortkartierung 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: Paar U, Dammann I,
Weymar J, Spielmann M und
Talkner U

Titelfoto: Evers J

Layout: Starick E

Herstellung: Nordwestdeutsche
Forstliche Versuchsanstalt

Druck: Printec Offset Kassel

Zitiervorschlag

Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt,
Hessisches Ministerium für Umwelt, Klima-
schutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz
(Hrsg.) (2021): Waldzustandsbericht 2021 für
Hessen, 44 S
<https://doi.org/10.5281/zenodo.5568896>

Zitate der Einzelbeiträge bitte nach
folgendem Schema:

Paar U, Dammann I (2021): WZE-Ergebnisse
für alle Baumarten. In: Nordwestdeutsche
Forstliche Versuchsanstalt, Hessisches Ministe-
rium für Umwelt, Klimaschutz, Landwirtschaft
und Verbraucherschutz (Hrsg.): Waldzustands-
bericht 2021 für Hessen. S 9-15
<https://doi.org/10.5281/zenodo.5569022>

Dieses Werk ist lizenziert 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.umwelt.hessen.de

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

