

Waldzustandsbericht 2021



SACHSEN-ANHALT

Ministerium für
Wirtschaft, Tourismus,
Landwirtschaft und Forsten



NW-FVA
Nordwestdeutsche
Forstliche Versuchsanstalt



Liebe Leserinnen und Leser,

seit Jahrmillionen prägen unsere Wälder das Erscheinungsbild unserer Erde. Was als botanische Naturgeschichte begann, ging mit der sesshaften Besiedlung durch den Menschen über in ökologische Prozesse und nahm später in der Kunst und Literatur als Symbolbild einer heilen Welt seinen weiteren Verlauf. Doch der Wald ist viel mehr als das:

Unsere Wälder tragen als CO₂-Speicher sowie Lärm- und Staubfilter ganz wesentlich zum Klimaschutz bei. Sie bieten darüber hinaus Lebensraum für zahlreiche Tier- und Pflanzenarten, schützen sowohl das Grundwasser als auch vor Bodenerosion, sorgen zudem für den nachwachsenden Rohstoff Holz und ermöglichen ganz nebenbei gesunde Erholung im Grünen. Da ist es natürlich umso erfreulicher, dass der Waldanteil in Sachsen-Anhalt jährlich wächst – aktuell bedeckt er gut ein Viertel der Landesfläche.

Der Wald hat aber nicht nur viele lebenswichtige Funktionen, er bestimmt auch unsere Identität. Das können wir aktuell im Oberharz beobachten. Bevölkerung und Touristen blicken mit großer Sorge auf die durch Borkenkäfer und Klimawandel großflächig abgestorbenen Fichtenwälder. Die Menschen fürchten nicht nur um ihren Lebensort, sondern oft auch um ihre Lebensgrundlage.

Doch wie geht es dem Wald in Sachsen-Anhalt insgesamt? Antworten auf diese zentrale Frage gibt die vorliegende jährliche Waldzustandserhebung. Das Fazit für 2021 lautet: Die Lage ist ernst.

Die wichtigsten Fakten: Der Vitalitätszustand aller Baumartengruppen hat sich im Vergleich zu 2017 verschlechtert. Besonders instabil ist die Lage der Fichte; hier mussten 2021 nach Borkenkäferbefall weitere Bestände entnommen werden. Die mittlere Kronenverlichtung der Waldbäume in Sachsen-Anhalt befindet sich seit drei Jahren unverändert auf einem Höchststand von aktuell 26 Prozent. Auch der Anteil starker Schäden und die Absterberate haben nach 2017 ein neues Allzeithoch seit Start der Waldzustandserhebung im Jahr 1991 erreicht. Die Gründe dafür liegen zum einen in den Extremwetterjahren 2018 bis 2020, die auch in 2021 noch für Schäden sorgen, und zum anderen im erneuten Auftreten pathogener Schwächeparasiten und einer Vielzahl rindenbrütender Insekten im laufenden Jahr.

Der „Waldzustandsbericht 2021“ verdeutlicht den Ernst der Lage: Wenn wir unseren Wald auch für kommende Generationen erhalten und entwickeln wollen, dann müssen wir ihn an den Klimawandel anpassen. Deshalb setze ich mich insbesondere dafür ein, dass Bund und Land schnelle und umfangreiche Hilfen für den standortgerechten Waldumbau hin zu klimatoleranten Mischbeständen bereitstellen.

Ich bin zuversichtlich, dass wir den Wald als unsere natürliche Schatzkammer in den nächsten Jahren stärken werden. Basis dafür sind verlässliche Informationen, wie sie die Fachleute der Nordwestdeutschen Forstlichen Versuchsanstalt im vorliegenden „Waldzustandsbericht 2021“ erneut mit Engagement und großer Expertise zusammengetragen haben.

In diesem Sinne wünsche ich allen Leserinnen und Lesern eine interessante und anregende Fachlektüre.

A handwritten signature in blue ink that reads "Sven Schulze". The signature is written in a cursive, flowing style.

Sven Schulze

Minister für Wirtschaft, Tourismus, Landwirtschaft
und Forsten des Landes Sachsen-Anhalt



Inhaltsverzeichnis

	Seite
Vorwort	2
Inhaltsverzeichnis	3
Hauptergebnisse	4
Forstliches Umweltmonitoring Ulrike Talkner, Inge Dammann und Uwe Paar	6
WZE-Ergebnisse für alle Baumarten Inge Dammann und Uwe Paar	8
Kiefer	10
Fichte	11
Buche	12
Eiche	14
Andere Laub- und Nadelbäume	16
Witterung und Klima Johannes 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 Höltken, André Hardtke und Wilfried Steiner	30
Wachstum von Eiche, Buche, Fichte und Kiefer im Klimawandel Matthias Schmidt, Jan Schick und Thorsten Zeppenfeld	34
Waldmoore – Erfassung und Renaturierungsperspektiven Maria Aljes, Philipp Kuchler und Marcus Schmidt	38
Lössboden – verweht, verlagert, vergleyt und (fast) der perfekte Waldboden Jan Evers	41
Impressum	44

Hauptergebnisse

Waldzustandserhebung (WZE)

Nach extremen Witterungsbedingungen in den Jahren 2018 bis 2020 sind die Schäden in den Wäldern auch 2021 unübersehbar. Der Vitalitätszustand aller Baumartengruppen hat sich im Vergleich zu 2017 verschlechtert. Besonders instabil ist die Situation der Fichte: 2021 mussten weitere Fichten nach Borkenkäferbefall entnommen werden.

Die mittlere Kronenverlichtung der Waldbäume in Sachsen-Anhalt befindet sich seit drei Jahren unverändert auf einem Höchststand (2021: 26 %) in der Zeitreihe der Waldzustandserhebung. Die Störungen durch Sturmschäden, Trockenstress und Insektenbefall wirken auch 2021 bei allen Baumartengruppen nach.

Der Anteil starker Schäden für den Gesamtwald in Sachsen-Anhalt bleibt 2021 immer noch hoch und überschreitet mit 11,4 % das langjährige Mittel (3,4 %) erheblich. Den höchsten Anteil starker Schäden weist auch in diesem Jahr die Fichte (40,8 %) auf.

Die Absterberate war 2019 besonders hoch (4,2 %). 2020 und 2021 sind weniger Bäume abgestorben, mit 1,6 % liegt die Absterberate aber auch 2021 weit über dem Durchschnittswert der Zeitreihe (0,6 %). Für die Baumartengruppen sind Absterberaten zwischen 0 (andere Nadelbäume) und 4,6 % (Fichte) festgestellt worden.

Die Ausfallrate (als Schadholz entnommene Bäume) beträgt in diesem Jahr 1,8 %. Auch hier ist der Fichtenwert besonders hoch (29,9 %).

Die Baumartenverteilung in der WZE-Stichprobe in Sachsen-Anhalt ergibt für die Kiefer einen Flächenanteil von 57 %, die Ergebnisse der Waldzustandserhebung für den Gesamtwald in Sachsen-Anhalt werden daher stark durch die vergleichsweise niedrigen Verlichtungswerte der Kiefer geprägt. Die Fichte ist 2021 mit 5 %, die Eiche mit 12 % und die Buche mit 9 % im Kollektiv der Waldzustandserhebung vertreten. Die anderen Laubbäume nehmen einen Anteil von 16 % ein, die anderen Nadelbäume sind relativ selten (1 %).



Foto: J. Evers



Foto: J. Evers

Witterung und Klima

Nach drei sehr trockenen und warmen Jahren fiel im Vegetationsjahr 2020/2021 die Niederschlagsbilanz mit rund 580 mm im Flächenmittel des Landes ausgeglichen aus. Im Gegensatz zu den vergangenen Jahren kam es zu keiner ausgeprägten Trockenperiode. Während im Südosten von Sachsen-Anhalt infolge der überdurchschnittlich feuchten Vegetationszeit die mehrjährige Dürre beendet wurde, haben sich die Bodenvorräte in weiten Teilen der Mitte und des Nordens noch nicht erholt. Auch das Vegetationsjahr 2020/2021 war im Vergleich zur Klimaperiode 1961 bis 1990 zu warm. Die Jahresmitteltemperatur für Sachsen-Anhalt lag um knapp 1,3 K über dem langjährigen Wert von 8,5 °C. Besonders das kühle Frühjahr sorgte dafür, dass die positive Temperaturabweichung nicht stärker ausfiel.

Insekten und Pilze

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

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

Stoffeinträge

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

Der Eintrag von Sulfatschwefel sowie von anorganischem Stickstoff hat 2020 weiter abgenommen. Im Vergleich zum Mittel der Jahre 2010-2019 betrug die Abnahme mit der Gesamtdosition beim Sulfatschwefel zwischen 34 und 44 % und beim anorganischen Stickstoff (Ammonium und Nitrat) zwischen 11 und 20 %. 2020 wurden unter Kiefer nur noch

Hauptergebnisse



Foto: M. Delpho

bis zu 1,8 kg je Hektar und unter Douglasie 2,7 kg je Hektar Sulfatschwefel eingetragen. Hier zeigt sich deutlich der Erfolg verschiedener Maßnahmen zur Luftreinhaltung.

Der anorganische Stickstoffeintrag betrug 2020 unter Kiefer bis zu 11,2 kg je Hektar (Nedlitz) und unter Douglasie 12,1 kg je Hektar.

Anpassungspotenziale heimischer Baumarten

Bei der Klimaanpassung der Wälder kann eine Streuung des ökologischen und ökonomischen Risikos sowohl durch eine Zunahme der Baumartenvielfalt als auch durch die Nutzung des vorhandenen genetischen Potenzials innerhalb der Baumarten erreicht werden.

Beim Aufbau klimaangepasster, stabiler Wälder werden auch künftig heimische Baumarten eine zentrale Rolle einnehmen. Hier sind genetisch nachhaltige Verjüngungsstrategien von Bedeutung, um die Voraussetzungen für Anpassungsprozesse künftiger Waldgenerationen an sich ändernde Umweltbedingungen zu schaffen. Diese Konzepte müssen sowohl die Erhaltung lokal verfügbarer genetischer Vielfalt gewährleisten als auch verschiedene geographische Herkünfte einer Baumart mit unterschiedlichen Anpassungsmustern berücksichtigen.

Ein wichtiges Instrument zur Sicherung der genetischen Vielfalt in den Wäldern sind DNA-Analysen zur Bestimmung der genetischen Vielfalt von Waldbeständen und zur Identifizierung und Prüfung von geeignetem Vermehrungsgut.

Wachstum von Eiche, Buche, Fichte und Kiefer im Klimawandel

Mit an der NW-FVA entwickelten Standort-Leistungs-Modellen lässt sich abschätzen, wie sich das Wachstum der Hauptbaumarten Eiche, Buche, Fichte und Kiefer unter veränderten Klimabedingungen in verschiedenen Regionen Sachsen-Anhalts entwickeln wird. Entlang eines Transektes vom Hohen Fläming über Dessau, Halle (Saale), das obere Selketal bis zum Brocken 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 im Oberharz im Vergleich zum Jahr 2000. In den tieferen Lagen des Harzes zeigen sich sowohl Verbesserungen als auch Verschlechterungen. Im Tiefland ist

für Buche, Fichte und überwiegend auch für die Kiefer eine Bonitätsverschlechterung zu erwarten. Insgesamt zeichnet sich für die Eiche eine Steigerung der Wuchsleistung ab, für die Kiefer werden geringe Veränderungen projiziert, während für Buche und Fichte zukünftig großflächig (78 % bzw. 66 % 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 Sachsen-Anhalt und Hessen für die Mehrzahl der Lösslehmstandorte die Trophiestufen eutroph und gut mesotroph aus, in Niedersachsen überwiegt die Einstufung mesotroph. Auch in der mittleren Basensättigung bestehen Unterschiede: In Sachsen-Anhalt beträgt sie 60 %, in Hessen rund 50 % und in Niedersachsen 30 %. In der Regel zeigt sich auf Lösslehmstandorten ein hervorragendes Baumwachstum.



Typischer Lösslehm Boden

Foto: NW-FVA

Forstliches Umweltmonitoring

Ulrike Talkner, Inge Dammann und Uwe Paar

<https://doi.org/10.5281/zenodo.5588335>

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 (Experimentalf Flächen)

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)



Elektronische Zuwachsmessung

Foto: J. Weymar

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

Waldzustandserhebung – Methodik und Durchführung

Aufnahmeumfang

Die Waldzustandserhebung erfolgt auf mathematisch-statistischer Grundlage. Auf einem systematisch über Sachsen-Anhalt verteilten Rasternetz werden seit 1991 an jedem Erhebungspunkt 24 Stichprobenbäume begutachtet. Die Waldzustandserhebung wurde im Zeitraum 1991 bis 2014 im 4 km x 4 km-Raster durchgeführt. Ab 2015 beträgt die Rasterweite des landesweiten Stichprobennetzes 8 km x 8 km. Für Buche, Eiche, Fichte sowie die anderen Laub- und Nadelbäume wurde das 4 km x 4 km-Raster beibehalten, wenn 2014 mindestens 6 Bäume dieser Baumartengruppen am WZE-Punkt vorhanden waren. Nach einer Rasterüberprüfung im Frühjahr 2020 wurden 14 weitere WZE-Punkte in das 8 km x 8 km-Raster integriert, sodass jetzt 188 Erhebungspunkte zum Stichprobenkollektiv gehören, von denen in diesem Jahr 163 Erhebungspunkte in die Inventur einbezogen werden konnten. Dieser Aufnahmeumfang ermöglicht repräsentative Aussagen zum Waldzustand auf Landesebene sowie Zeitreihen für die Baumarten Buche, Eiche, Fichte, Kiefer und die Gruppe der anderen Laubbäume.

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



Kamera zur Erfassung der Phänologie

Foto: M. Spielmann

Forstliches Umweltmonitoring

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

Aufnahmeparameter

Bei der Waldzustandserhebung erfolgt eine visuelle Beurteilung des Kronenzustandes der Waldbäume, denn Bäume reagieren auf Umwelteinflüsse u. a. mit Änderungen in der Belaubungsdichte und der Verzweigungsstruktur. Wichtigstes Merkmal ist die Kronenverlichtung der Waldbäume, deren Grad in 5 %-Stufen für jeden Stichprobenbaum erfasst wird. Die Kronenverlichtung wird unabhängig von den Ursachen bewertet, lediglich mechanische Schäden (z. B. das Abbrechen von Kronenteilen durch Wind) gehen nicht in die Berechnung der Ergebnisse der Waldzustandserhebung ein.

Die Kronenverlichtung ist ein unspezifisches Merkmal, aus dem nicht unmittelbar auf die Wirkung von einzelnen Stressfaktoren geschlossen werden kann. Sie ist daher geeignet, allgemeine Belastungsfaktoren der Wälder aufzuzeigen. Bei der Bewertung der Ergebnisse stehen nicht die absoluten Verlichtungswerte im Vordergrund, sondern die mittel- und langfristigen Trends der Kronenentwicklung. Zusätzlich zur Kronenverlichtung werden weitere sichtbare Merkmale an den Probestämmen wie der Vergilbungsgrad der Nadeln und Blätter, die aktuelle Fruchtbildung sowie Insekten- und Pilzbefall erfasst.

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

Baumartengruppe	Altersgruppe	Anzahl Bäume	Anzahl Plots	Raster	95%-Konfidenzintervall (+/-)
Buche	alle Alter	513	41	4x4 km	7,3
	bis 60 Jahre	146	10	4x4 km	8,0
	über 60 Jahre	367	34	4x4 km	6,2
Eiche	alle Alter	729	73	4x4 km	5,8
	bis 60 Jahre	172	18	4x4 km	8,0
	über 60 Jahre	557	61	4x4 km	5,3
Fichte	alle Alter	282	18	4x4 km	24,0
	bis 60 Jahre	47	2	4x4 km	14,8
	über 60 Jahre	235	16	4x4 km	27,0
Kiefer	alle Alter	1092	55	8x8 km	3,0
	bis 60 Jahre	216	15	8x8 km	4,8
	über 60 Jahre	876	44	8x8 km	3,2
andere Laubbäume	alle Alter	899	87	4x4 km	6,0
	bis 60 Jahre	357	45	4x4 km	11,2
	über 60 Jahre	542	61	4x4 km	6,3
andere Nadelbäume	alle Alter	139	14	4x4 km	5,4
	bis 60 Jahre	101	9	4x4 km	6,1
	über 60 Jahre	38	6	4x4 km	6,3
alle Baumarten	alle Alter	1920	80	8x8 km	4,6
	bis 60 Jahre	506	27	8x8 km	8,1
	über 60 Jahre	1414	63	8x8 km	5,2



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

Mittlere Kronenverlichtung

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

Starke Schäden

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

Absterberate

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

Ausfallrate

Das Inventurverfahren der WZE ist darauf ausgelegt, die aktuelle Situation der Waldbestände unter realen (Bewirtschaftungs-) Bedingungen abzubilden. Daher scheidet in jedem Jahr ein Teil der Stichprobenbäume aus dem 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.

Literatur

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

WZE-Ergebnisse für alle Baumarten

Inge Dammann und Uwe Paar

<https://doi.org/10.5281/zenodo.5588382>

Seit 2018 haben Stürme, Borkenkäfer, Hitze- und Trockenperioden umfangreiche Schäden in den Wäldern verursacht. Die Vitalitätsparameter aller Baumartengruppen belegen seitdem eine erhebliche Verschlechterung des Waldzustandes.

Mittlere Kronenverlichtung

Die Waldzustandserhebung 2021 weist als Gesamtergebnis für die Waldbäume in Sachsen-Anhalt (alle Baumarten, alle Alter) eine mittlere Kronenverlichtung von 26 % aus. In den letzten drei Jahren ist die mittlere Kronenverlichtung konstant hoch.

Am höchsten ist die mittlere Kronenverlichtung der älteren Fichten (55 %) und Buchen (43 %). Für die älteren Eichen hat sich die mittlere Kronenverlichtung seit 2017 kontinuierlich erhöht (2021: 42 %). Insgesamt wird der Verlauf der mittleren Kronenverlichtung für den Gesamtwald ganz wesentlich durch die Kiefer geprägt, die als häufigste Baumart in Sachsen-Anhalt maßgeblich das Gesamtergebnis mit relativ konstanten niedrigen Verlichtungswerten (über 60-jährige Kiefern 2021: 21 %) beeinflusst.

Mittlere Kronenverlichtung in %

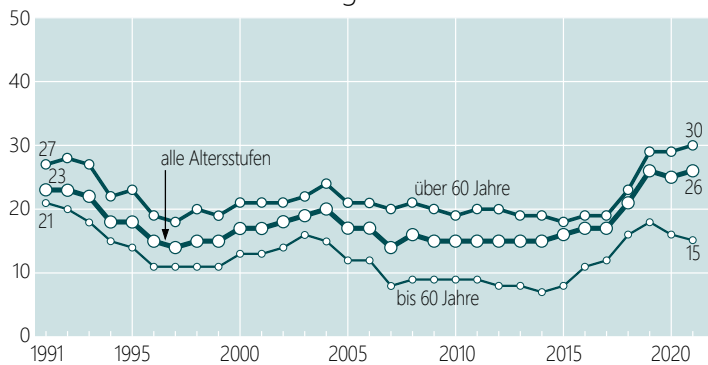


Foto: J. Evers



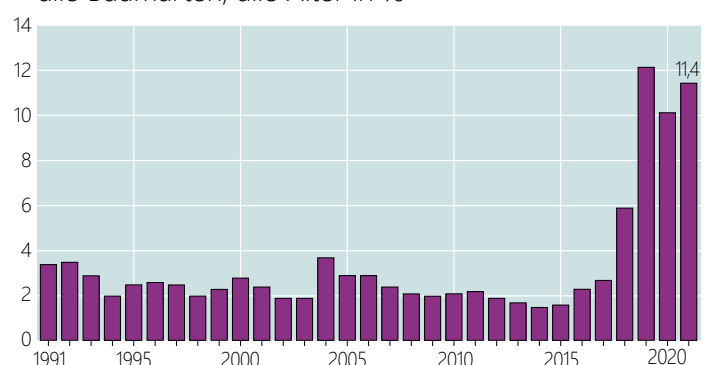
Foto: J. Evers

Anteil starker Schäden

Der Anteil starker Schäden liegt im Mittel der Zeitreihe bei 3,4 %. 2021 wird dieser Mittelwert erneut deutlich überschritten (11,4 %). Bei allen Baumartengruppen liegt der Anteil starker Schäden 2021 weit über dem langjährigen Durchschnitt. Die Spanne der starken Schäden reicht in diesem Jahr von 3,6 (andere Nadelbäume) bis 40,8 % (Fichte).

Mit einer Kronenverlichtung über 60 % sind im Vergleich zu einer vollbelaubten Baumkrone Begrenzungen der Versorgung der Bäume mit Wasser und Energie verbunden. Das Vermögen der Bäume, sich an wechselnde Bedingungen anzupassen, wird eingeschränkt.

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

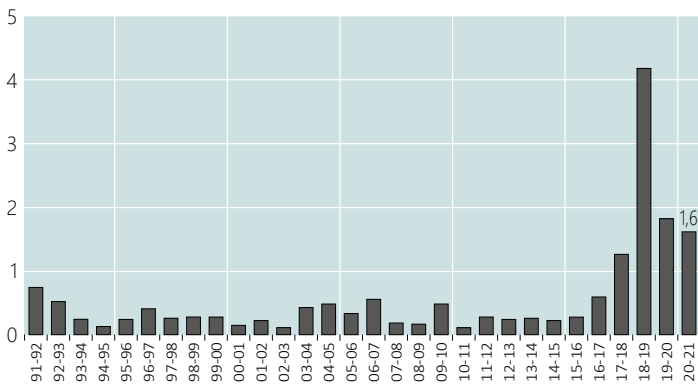


WZE-Ergebnisse für alle Baumarten

Absterberate

Der Höchstwert der jährlichen Absterberate (alle Bäume, alle Alter) wurde 2019 mit 4,2 % festgestellt. 2021 ist die Absterberate niedriger (1,6 %), übersteigt aber das langjährige Mittel weiterhin (0,6 %). Im Zeitraum 1992-2017 lag die Absterberate in allen Jahren unter 1 %. 2021 war die Absterberate bei den anderen Nadelbäumen mit 0 % am niedrigsten und bei den Fichten mit 4,6 % am höchsten.

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



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

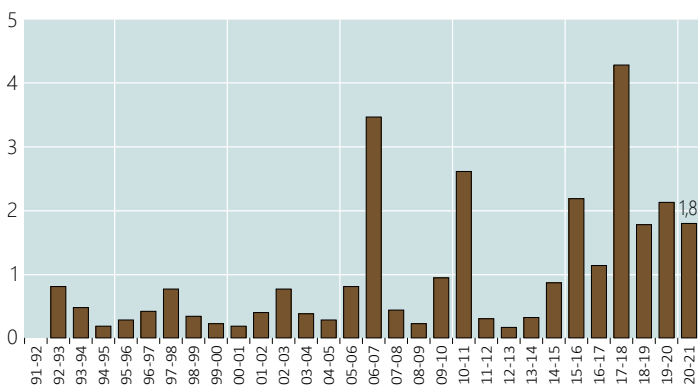


Foto: J. Evers

Ausfallrate

Die Ausfallrate ist das Ergebnis der infolge von Sturmwurf, Trockenheit, Insekten- und Pilzbefall (z. B. Borkenkäferbefall) am Stichprobenpunkt liegenden oder entnommenen Bäume. Die jährlichen Ausfallraten bilden die Auswirkungen der Stürme „Kyrill“ (2007) und „Friederike“ (2018) deutlich ab. In beiden Jahren waren Sturmschäden die Hauptausfallursache. Seit 2019 ist dagegen Borkenkäferbefall der Hauptausfallgrund. Besonders betroffen ist 2021 die Fichte mit einer Ausfallrate von 29,9 %.

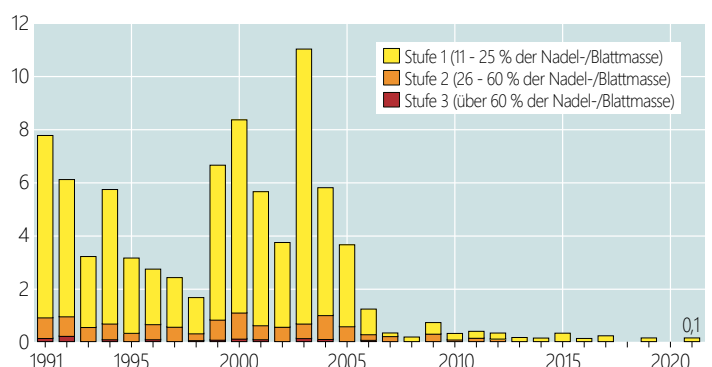
Vergilbungen

Vergilbungen der Nadeln und Blätter sind häufig ein Indiz für Magnesiummangel in der Nährstoffversorgung der Waldbäume. Der Anteil an Bäumen mit nennenswerten Vergilbungen (>10 % der Nadel- bzw. Blattmasse) liegt im Erhebungszeitraum zwischen 0 und 11 %, die Vergilbungen waren überwiegend gering ausgeprägt. 2021 waren an 0,1 % der Stichprobenbäume Vergilbungen festzustellen.



Foto: J. Evers

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



Fazit

Die Ergebnisse der Waldzustandserhebung 2021 belegen eine anhaltend hohe Belastungssituation der Wälder in Sachsen-Anhalt. Durch die voranschreitenden Absterbe- und Ausfallprozesse sind strukturellen Störungen in Form von Blößen und Freiflächen entstanden. Die Krise der Wälder hält weiter an, Folgeschäden werden vermutlich auch in den nächsten Jahren noch festzustellen sein.

Kiefer

Die WZE-Ergebnisse für die Kiefern zeigen eine moderate Reaktion auf das Witterungsgeschehen der letzten Jahre. Schadensausmaß und -intensität sind bei der Kiefer geringer als bei den anderen Baumarten, gleichwohl gab es auch bei der Kiefer lokal Schäden durch Sturm, Pilzbefall und Trockenheit.

Ältere Kiefer

Die älteren Kiefern wiesen im ersten Erhebungsjahr 1991 – mitverursacht durch Insektenschäden – einen hohen Verlichtungsgrad auf. In den Folgejahren verbesserte sich der Kronenzustand erheblich und die Kiefer ist seit Mitte der 1990er Jahre unter den Hauptbaumarten die Baumart mit den niedrigsten Kronenverlichtungswerten. Dies gilt – trotz erhöhter Werte – auch für 2021 mit einer mittleren Kronenverlichtung von 21 %.

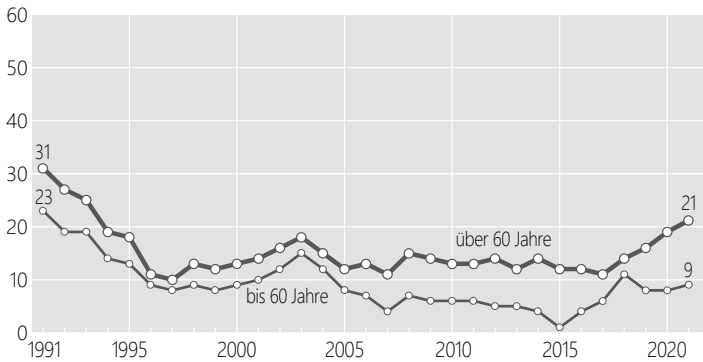
Jüngere Kiefer

Im Zeitraum 2005-2017 war die Benadelung der jüngeren Kiefern gut. 2015 wurde der niedrigste Verlichtungswert im Erhebungszeitraum festgestellt. Nach einer Zunahme der Verlichtung 2018 liegt die mittlere Kronenverlichtung der jüngeren Kiefern seit 2019 wieder unter 10 %. Im Gegensatz zu Buche, Fichte und Eiche sind bei der Kiefer die Unterschiede im Kronenverlichtungsgrad zwischen den Altersgruppen sehr viel weniger ausgeprägt.

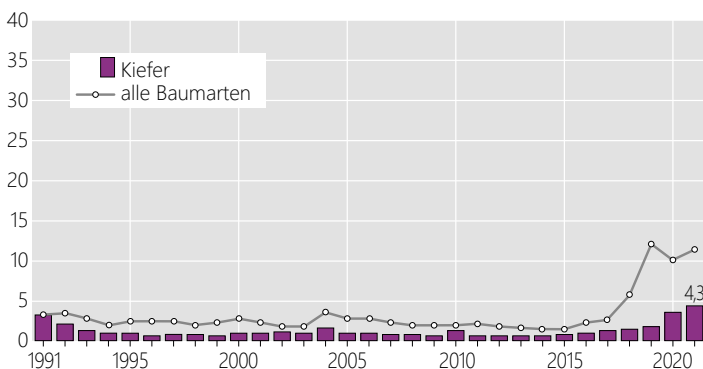
Starke Schäden

Auch bei den starken Schäden heben sich die Ergebnisse der Kiefern von denen der anderen Baumarten ab. Seit 1992 liegt der Anteil starker Schäden bei der Kiefer in allen Jahren unter dem Mittelwert für alle Baumarten. Es gibt nur wenige Schwankungen in der Zeitreihe, der langjährige Mittelwert beträgt 1,3 %. 2021 sind 4,3 % der Kiefern stark geschädigt.

Mittlere Kronenverlichtung in %



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



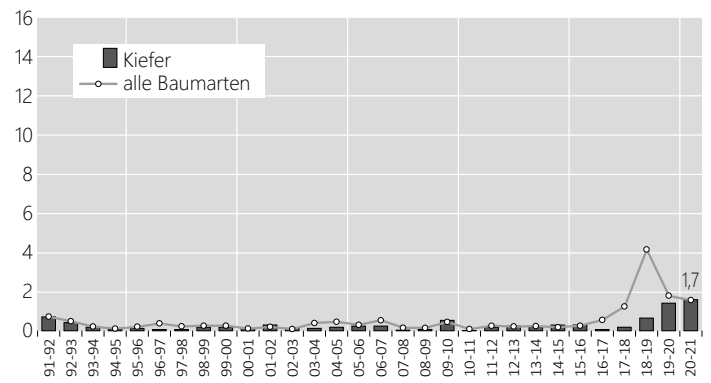
Absterberate

Die Absterberate der Kiefern liegt im Mittel der Jahre 1992-2021 bei 0,3 %. In den ersten beiden Erhebungsjahren wurden erhöhte Absterberaten (bis 0,8 %) festgestellt. Bei der Waldzustandserhebung 2021 ist die Absterberate der Kiefer ebenfalls erhöht (1,7 %).

Ausfallrate

Jährlich fallen im Durchschnitt 0,7 % der Kiefern aufgrund außerplanmäßiger Nutzung (liegende bzw. entnommene Bäume) aus. 2007 und 2018 führten Sturmschäden zu erhöhten Ausfallraten, 2011 wurden überdurchschnittlich viele Kiefern wegen Schneebruch und Insektenschäden entnommen. Die Ausfallrate 2021 (0,5 %) liegt unter dem langjährigen Mittelwert.

Jährliche Absterberate (stehende Bäume), alle Alter in %



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

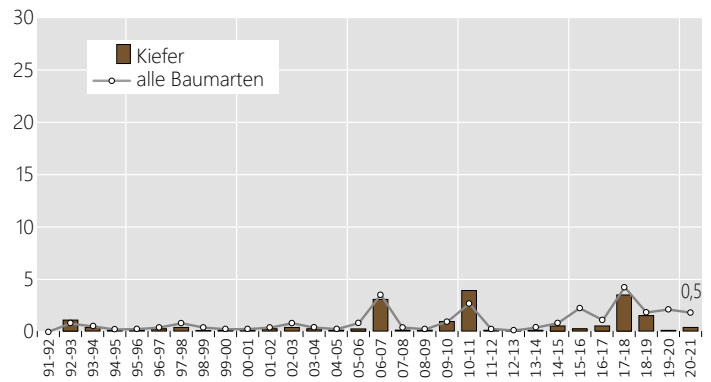


Foto: J. Evers

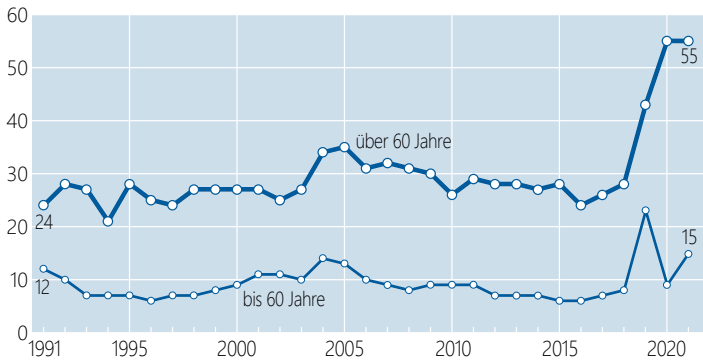
Fichte

Das Ausmaß der Schäden bei den Fichten bleibt auch 2021 außergewöhnlich hoch. Deutlich wird die besondere Belastungssituation der Fichte und die Dimension der Schäden in den letzten vier Jahren im hohen Anteil starker Schäden sowie der Absterbe- und Ausfallraten, die die Mittelwerte der Zeitreihe um ein Vielfaches übersteigen.

Ältere Fichte

Bei den älteren Fichten wurden seit Beginn der Waldzustandserhebung vergleichsweise hohe Kronenverlichtungswerte registriert. Bis 2018 lagen die Werte zwischen 21 und 35 %. 2019 stieg die mittlere Kronenverlichtung auf 43 % an. Der Extremwert von 2020 (55 %) wird 2021 wieder erreicht.

Mittlere Kronenverlichtung in %



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

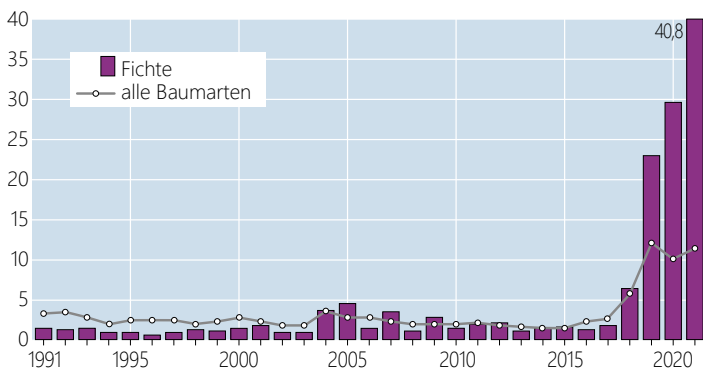


Foto: J. Weymar

Jüngere Fichte

Die mittlere Kronenverlichtung der jüngeren Fichten entspricht 2021 nahezu den Werten vor 2018.

Starke Schäden

Bis zum Jahr 2017 wurden bei den älteren Fichten vergleichsweise niedrige Anteile starker Schäden (zwischen 0,6 und 4,5 %) verzeichnet. Ab 2018 hat der Anteil stark geschädigter Fichten erheblich zugenommen. 2021 ist der Anteil nochmals angestiegen (40,8 %).

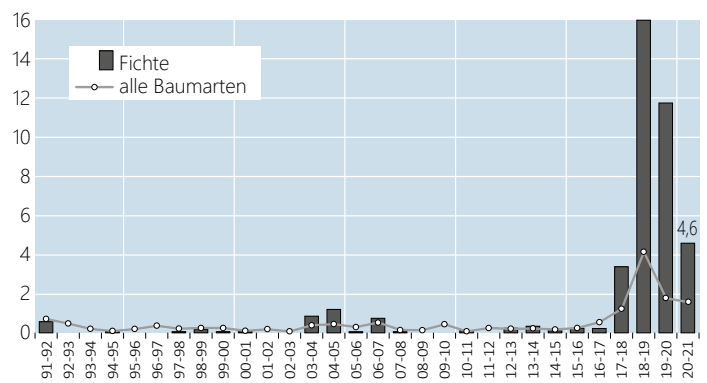
Absterberate

Bis zum Jahr 2003 war die Absterberate überwiegend gering, anschließend wurden infolge von Trockenstress und Borkenkäferbefall bis 2007 erhöhte Absterberaten (bis 1,3 %) ermittelt. Seit 2018 zeigt sich ein grundlegend anderes Bild: Im Jahr 2018 war die Absterberate mit 3,4 % bereits deutlich erhöht, 2019 folgte ein Höchstwert (16 %) und 2020 starben weitere 11,8 % der Fichten ab. 2021 liegt die Absterberate mit 4,6 % immer noch deutlich über dem langjährigen Durchschnitt (1,4 %).

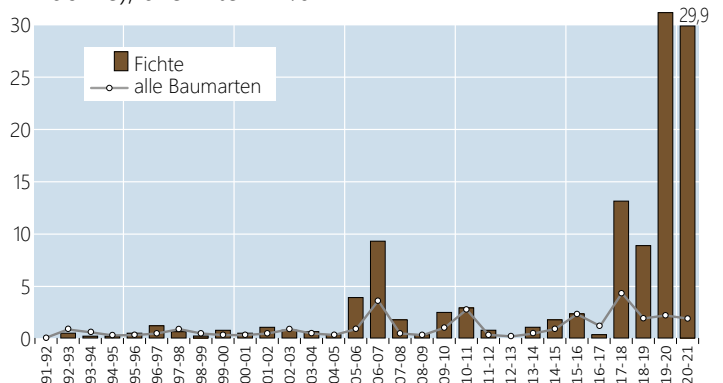
Ausfallrate

Der Anteil liegender bzw. entnommener Fichten liegt im Mittel der Beobachtungsjahre bei jährlich 3,9 %. 2018 wurden aufgrund der Sturmschäden 13 % der Fichten außerplanmäßig entnommen. 2019 überwogen die Ausfälle (9 %) durch Borkenkäferbefall. 2020 führte die massive Ausbreitung der Borkenkäferschäden dazu, dass fast ein Drittel der Fichten (31 %) gefällt werden mussten. 2021 mussten 29,9 % der verbliebenen Fichten entnommen werden.

Jährliche Absterberate (stehende Bäume), alle Alter in %



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



Buche

Für die Buchen zeichnet sich 2021 keine Verbesserung des Vitalitätszustandes ab. Sowohl die mittlere Kronenverlichtung als auch der Anteil starker Schäden und die Absterberate sind deutlich erhöht.

Ältere Buche

Bei den älteren Buchen beträgt die mittlere Kronenverlichtung in diesem Jahr 43 %.

Die höchsten Kronenverlichtungswerte sind bei den älteren Buchen nach extremen Hitze- und Trockenjahren aufgetreten. 2019 bis 2021 hält die Phase der hohen Verlichtungswerte länger an als nach dem Trockenjahr 2003.

Jüngere Buche

Bei der Buche sind die Unterschiede in der Belaubungsdichte zwischen jüngeren und älteren Beständen besonders stark ausgeprägt. 2019 wird aber auch bei den jüngeren Buchen der höchste Kronenverlichtungswert im Erhebungszeitraum festgestellt, 2021 sind die Werte rückläufig.

Mittlere Kronenverlichtung in %

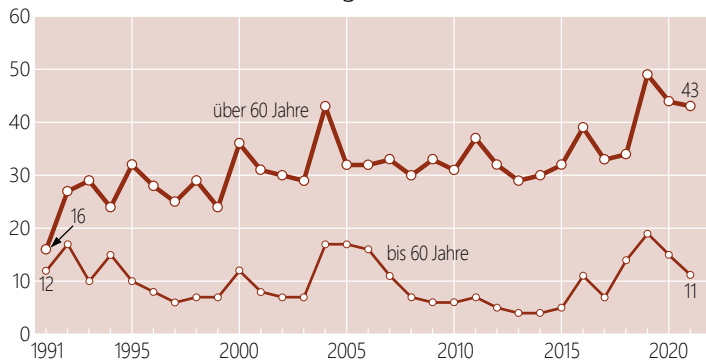


Foto: J. Weymar

Starke Schäden

Wie beim Verlauf der mittleren Kronenverlichtung treten auch beim Anteil starker Schäden im Beobachtungszeitraum Schwankungen auf. 2019 wurde ein Extremwert (21 %) ermittelt. 2020 und 2021 ist der Anteil stark geschädigter Buchen mit 15,2 % fast 3-mal so hoch wie der langjährige Mittelwert (5,2 %).

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

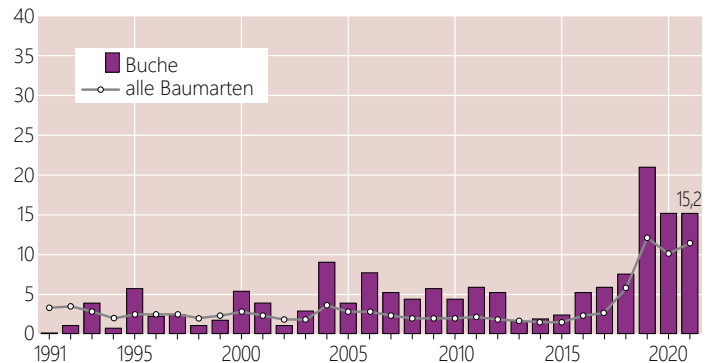


Foto: J. Evers

Buche



Foto: J. Evers

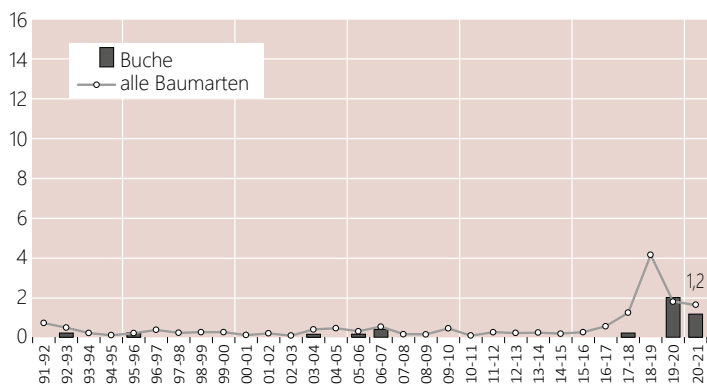
Absterberate

Im Vergleich zu den anderen Hauptbaumarten weisen die Buchen zwischen 1992 und 2019 die niedrigste Absterberate auf. In 22 von 30 Jahren ist keine Buche im Stichprobenkollektiv abgestorben. 2020 beträgt die Absterberate 2 % und 2021 sind 1,2 % abgestorben. Gerade weil in den letzten Jahrzehnten kaum Buchen abgestorben sind, sind die Absterberscheinungen der letzten Jahre besonders auffällig.

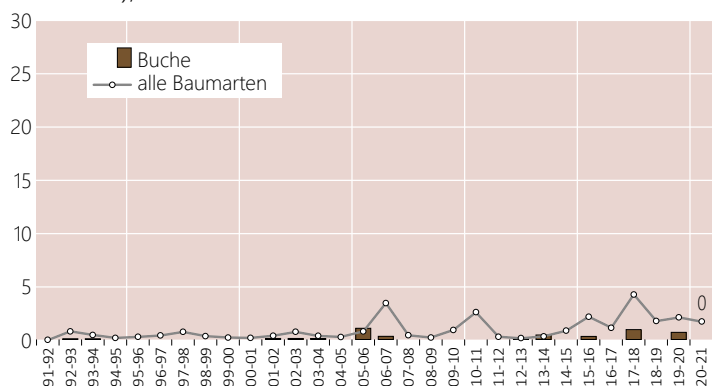
Ausfallrate

Die durchschnittliche Ausfallrate ist bei der Buche vergleichsweise niedrig (0,2 %). 2021 sind keine Buchen außerplanmäßig aus dem WZE-Kollektiv ausgeschieden.

Jährliche Absterberate (stehende Bäume), alle Alter in %



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



Fruchtbildung

Die Ergebnisse zur Fruchtbildung im Rahmen der Waldzustandserhebung zeigen die Tendenz, dass die Buchen in kurzen Abständen und vielfach intensiv fruktifizieren. Dies steht im Zusammenhang mit einer Häufung warmer Jahre sowie einer erhöhten Stickstoffversorgung der Bäume. Geht man davon aus, dass eine starke Mast erreicht wird, wenn ein Drittel der älteren Buchen mittel oder stark fruktifiziert, ergibt sich rechnerisch für den Beobachtungszeitraum der Waldzustandserhebung 1991-2021 alle 2,2 Jahre eine starke Mast. Literaturrecherchen hingegen ergaben für den Zeitraum 1839-1987 Abstände zwischen zwei starken Masten für 20-Jahresintervalle zwischen 3,3 und 7,1 Jahren.

Anteil mittel und stark fruktifizierender älterer Buchen in %

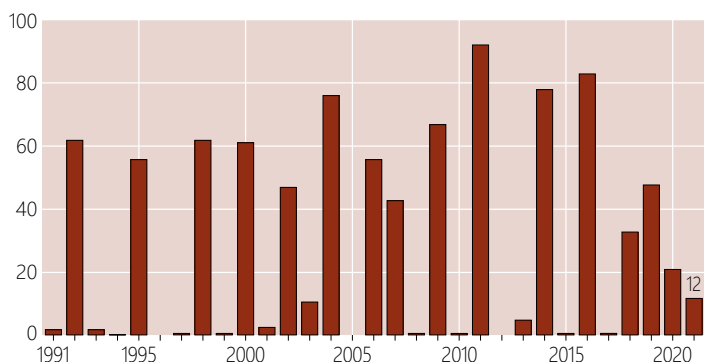


Foto: J. Evers

Eiche

Bei den Eichen ist im Gegensatz zu Fichte und Buche kein sprunghafter Anstieg der Verlichtungswerte nach 2017 festzustellen. Vielmehr hat die Kronenverlichtung stetig zugenommen.

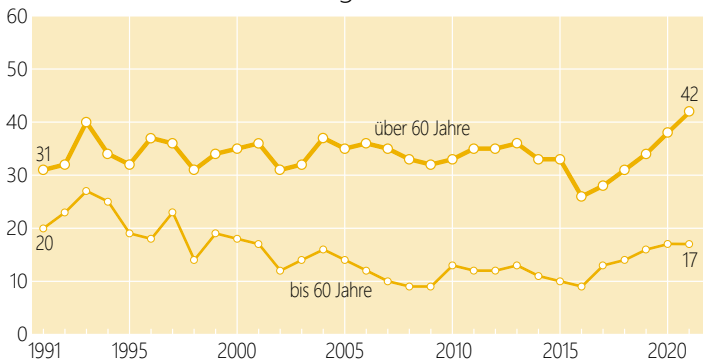
Ältere Eiche

Die mittlere Kronenverlichtung der älteren Eichen liegt 2021 bei 42 %. Nachdem 2016 der niedrigste Wert im Beobachtungszeitraum festgestellt wurde, sind anschließend die Verlichtungswerte kontinuierlich angestiegen und erreichen 2021 den Maximalwert der bisherigen Zeitreihe.

Die Entwicklung des Kronenzustandes der Eichen wird durch Insekten- und Pilzbefall beeinflusst. Für die Zunahme der Verlichtung in den letzten Jahren war der Insektenbefall allerdings nicht ausschlaggebend, da nur moderate Fraßschäden beobachtet wurden (Abb. Seite 15).

Auffällig ist 2021 die Häufung von Schleimfluss an den Stämmen der Eichen. 15 % der älteren Eichen zeigten dieses Stresssymptom, das durch komplexe Wechselwirkungen zwischen Trockenheit, Hitze oder Frost sowie Pilzen und Insekten entsteht.

Mittlere Kronenverlichtung in %



Jüngere Eiche

Die Kronenentwicklung der Eichen in der Altersstufe bis 60 Jahre zeigt einen sehr viel günstigeren Verlauf als die Entwicklung der älteren Eichen. Die mittlere Kronenverlichtung beträgt aktuell 17 %.

Starke Schäden

Die Anteile starker Schäden der Eichen liegen bis 2017 über den Werten für den Gesamtwald. Im Durchschnitt der Zeitreihe sind 6,5 % der Eichen als stark geschädigt eingestuft worden.

Der Anteil starker Schäden variiert bei den Eichen stark und verläuft bis 2017 parallel zum Anteil der Fraßschäden. Phasen erhöhter Anteile treten vor allem im Anschluss an mittleren und starken Insektenfraß auf.

Die erhöhten Werte seit 2019 sind allerdings nicht durch Insektenfraß bedingt.

Mit dem diesjährigen Anteil stark geschädigter Eichen (15,1 %) wurde ein neuer Höchstwert in der Zeitreihe erreicht.

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

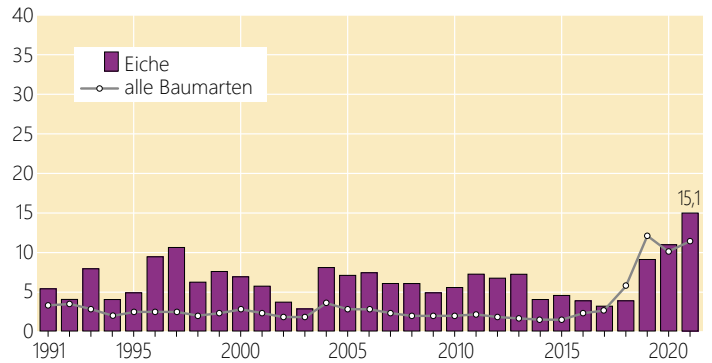


Foto: J. Weymar

Eiche

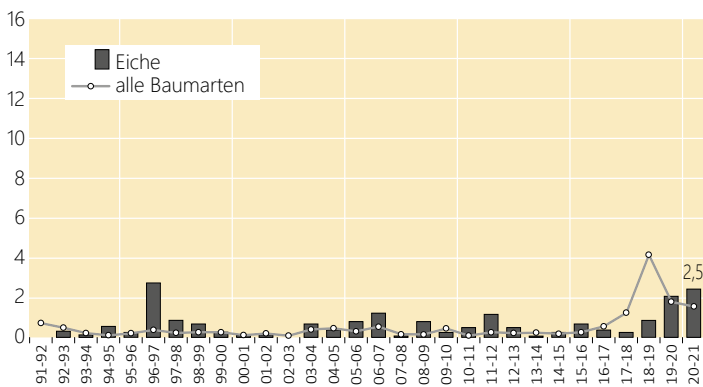
Absterberate

Überdurchschnittliche Absterberaten wurden bei den Eichen jeweils im Anschluss an Perioden mit starkem Insektenfraß ermittelt, am höchsten war die Absterberate 1997 (2,7 %). Im Durchschnitt sterben jährlich 0,7 % der Eichen ab. Im Jahr 2021 liegt die Absterberate – ohne Einfluss durch Insektenfraß – bei 2,5 %.

Ausfallrate

Auch die Ausfallrate der Eiche ist nach intensivem Insektenfraß erhöht, im Mittel der Erhebungsjahre liegt sie bei 0,6 %. Durch die Witterungsextreme der letzten Jahre ist die Ausfallrate der Eichen nicht nachhaltig angestiegen.

Jährliche Absterberate (stehende Bäume), alle Alter in %



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

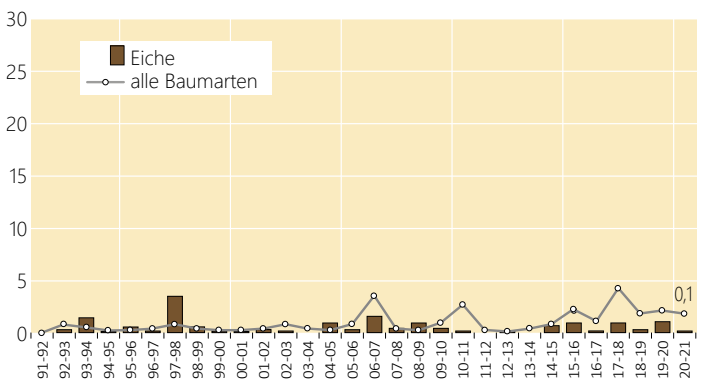


Foto: F. Reinbold



Schleimfluss an einem Eichenstamm

Foto: J. Weymar

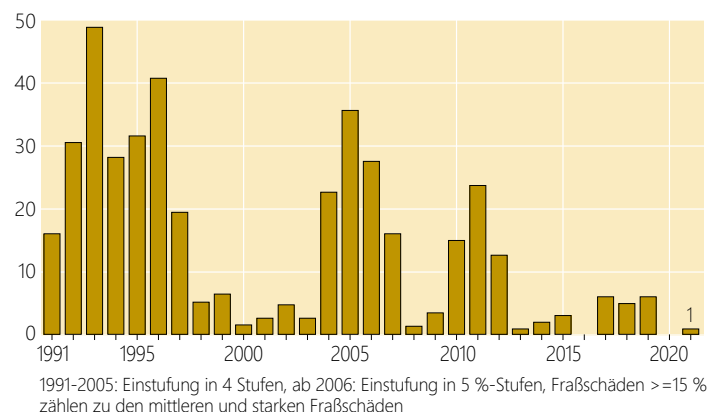
Fraßschäden

Die periodische Vermehrung von Schmetterlingsraupen der so genannten Eichenfraßgesellschaft trägt maßgeblich zu den Schwankungen der Belaubungsdichte der Eichen bei. Der Fraß an Knospen und Blättern durch die Eichenfraßgesellschaft wurde verstärkt in den Jahren 1991-1997 beobachtet. Von 2004-2007 und von 2010-2012 folgten zwei weitere Perioden mit Fraßschäden. Seit 2013 ist der Anteil mittlerer und starker Fraßschäden an älteren Eichen gering.

Fruchtbildung

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

Anteil mittlerer und starker Fraßschäden an älteren Eichen in %



1991-2005: Einstufung in 4 Stufen, ab 2006: Einstufung in 5 %-Stufen, Fraßschäden >=15 % zählen zu den mittleren und starken Fraßschäden

Andere Laub- und Nadelbäume

In Sachsen-Anhalt wurden bei der Waldzustandserhebung 2021 als landesweite repräsentative Stichprobeninventur 27 Baumarten erfasst. Neben den Hauptbaumarten Kiefer, Fichte, Buche und Eiche kommt in den Wäldern eine Vielzahl von anderen Baumarten vor, die insgesamt 17 % der Stichprobenbäume der Waldzustandserhebung in Sachsen-Anhalt ausmachen. Jede Baumart für sich genommen ist allerdings zahlenmäßig so gering vertreten, dass allenfalls Trendausagen zur Kronenentwicklung möglich sind. Bei den Ergebnissen der Waldzustandserhebung werden sie daher in den Gruppen andere Laubbäume und andere Nadelbäume zusammengefasst. Das Vorkommen der anderen Nadelbäume ist mit 1 % so gering, dass auf eine Darstellung der Ergebnisse verzichtet wird. Zu den anderen Laubbäumen gehören u. a. Esche, Ahorn, Linde und Hainbuche. Am häufigsten ist die Birke, gefolgt von der Erle.

Mittlere Kronenverlichtung

Bereits im Jahr 2018 waren Trockenstresssymptome bei den anderen Laubbäumen (alle Alter) offensichtlich und die mittlere Kronenverlichtung angestiegen. Seitdem ist der Verlichtungsgrad weiterhin hoch (2021: 33 %).

Starke Schäden

Für die anderen Laubbäume (alle Alter) liegt der Anteil starker Schäden im Mittel der Jahre 1991-2021 bei 6,3 %. Seit 2018 sind starke Schäden häufig (2021: 17,9 %).



Spitzahorn

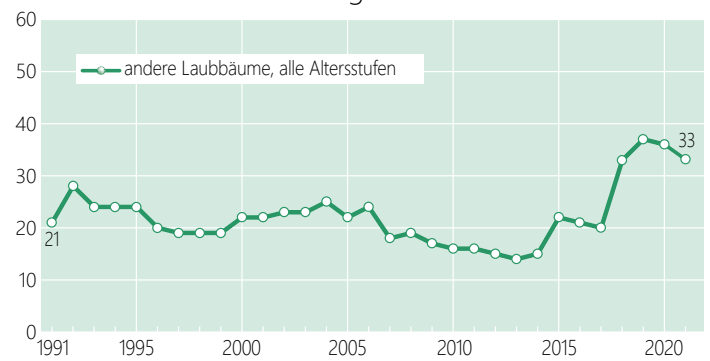
Foto: J. Evers



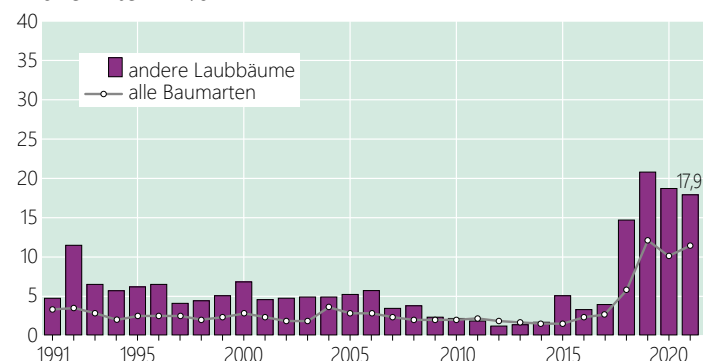
Hainbuche

Foto: M. Spielmann

Mittlere Kronenverlichtung in %



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



Andere Laub- und Nadelbäume



Schwarzzerle

Foto: M. Spielmann

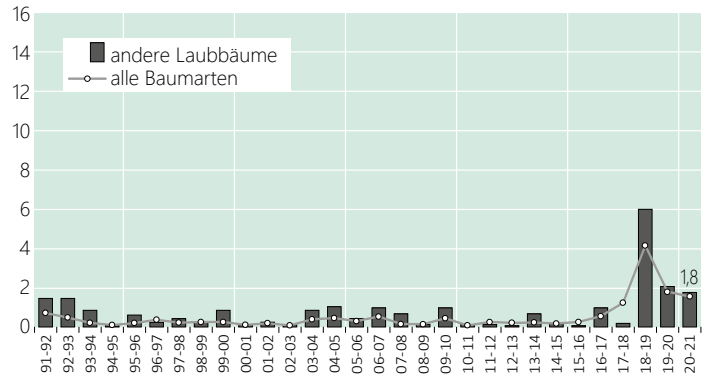
Absterberate

Die Absterberate der anderen Laubbäume (alle Alter) war 2019 besonders hoch (6 %). 2021 ist die Absterberate niedriger (1,8 %), aber noch doppelt so hoch wie das langjährige Mittel (0,9 %).

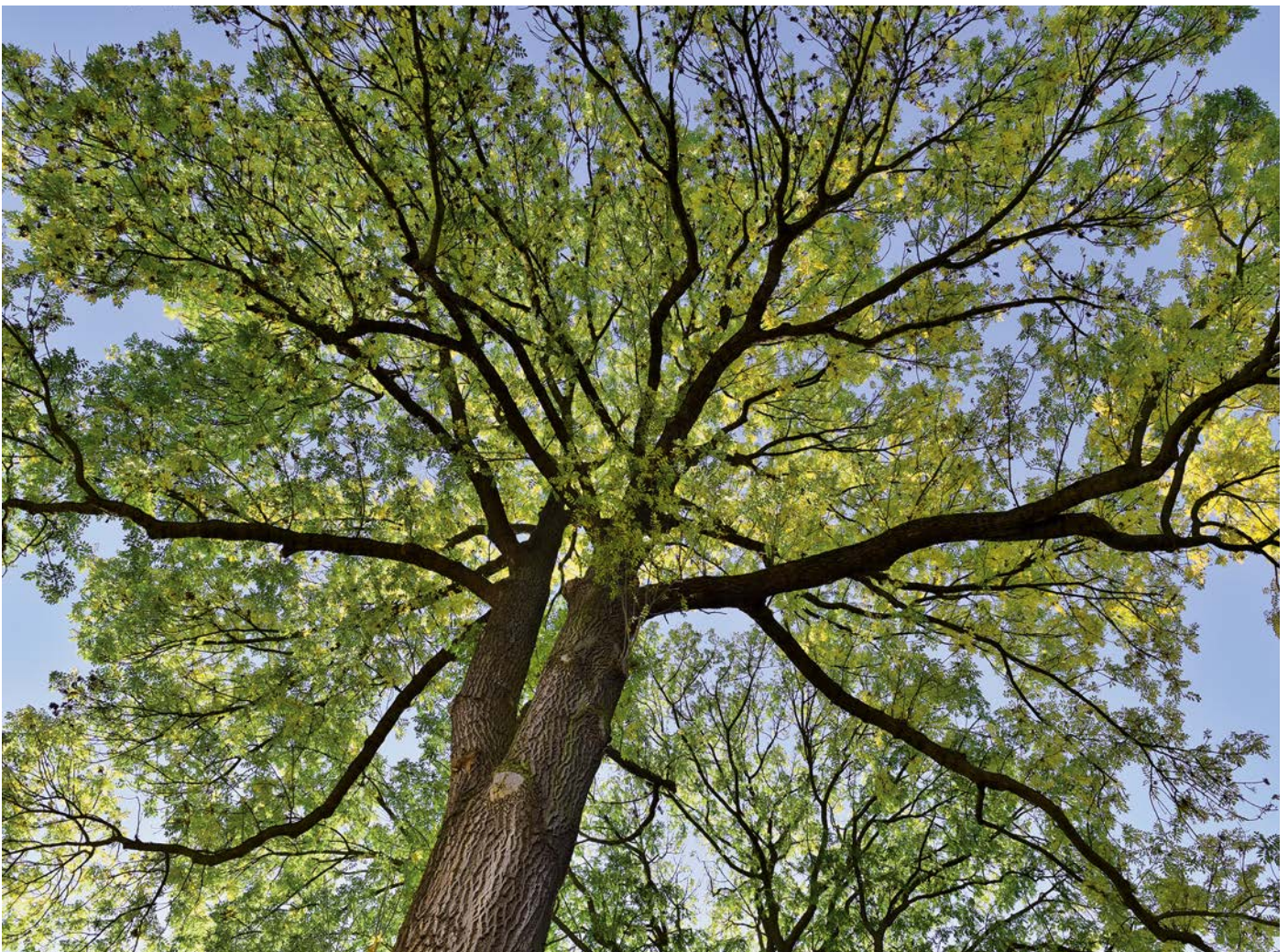
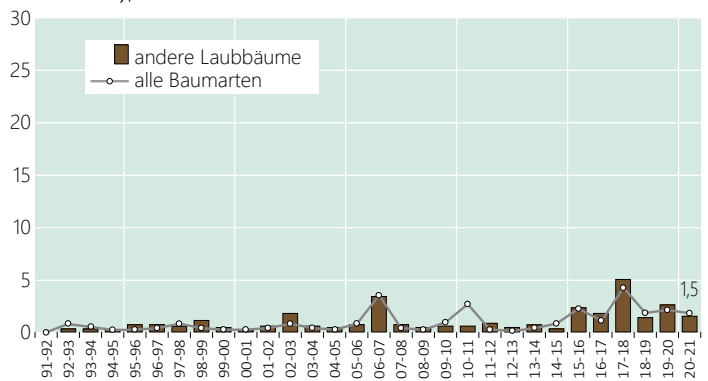
Ausfallrate

Nach den Stürmen 2007 und 2018 war die Ausfallrate erhöht. 2021 sind 1,5 % dieser Baumartengruppe außerplanmäßig genutzt worden.

Jährliche Absterberate (stehende Bäume), alle Alter in %



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



Esche

Foto: J. Evers

Witterung und Klima

Johannes Suttmöller

<https://doi.org/10.5281/zenodo.5588395>

Das kalendarische Jahr 2020 war in Sachsen-Anhalt mit einer Mitteltemperatur von 10,9 °C das wärmste Jahr seit Messbeginn im Jahr 1881. Gegenüber der Klimaperiode 1961-1990 bedeutet dies eine Abweichung von 2,4 K. Die Trockenheit setzte sich von 2018 bis 2020 unvermindert fort, sodass die Waldschäden in Sachsen-Anhalt ein bisher nicht beobachtetes Ausmaß annahmen. Im Jahr 2021 dominierten häufig Tiefdruck beeinflusste Wetterlagen. Die unbeständige Witterung beendete die mehrjährige Dürre in Teilen von Sachsen-Anhalt.

Für eine flächenhafte Aussage für das Land Sachsen-Anhalt 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 Sachsen-Anhalt 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 584 mm im Flächenmittel des Landes dem langjährigen Mittel. Im Gegensatz zu den vergangenen Jahren kam es zu keiner ausgeprägten Trockenperiode, sodass das pflanzen-

verfügbare Wasser in den Waldböden während der Vegetationszeit ausreichte, um die Wasserversorgung der Waldbestände zu gewährleisten. Die Vegetationszeit war in Teilen Sachsen-Anhalts deutlich feuchter als normal.

Die Jahresmitteltemperatur betrug im Vegetationsjahr 2020/2021 im Landesmittel von Sachsen-Anhalt 9,8 °C. Damit war auch dieses Jahr wärmer als das langjährige Mittel. Die Jahresmitteltemperatur lag um knapp 1,3 K über dem Mittelwert von 8,5 °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 66 mm im Flächenmittel um knapp 70 % übertroffen, sodass die Bodenfeuchte in den oberen Schichten deutlich zunahm. Die Mitteltemperatur lag in Sachsen-Anhalt bei 11,0 °C und damit 1,8 K über dem langjährigen Durchschnittswert (Abb. unten, Tabelle Seite 19). Die

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

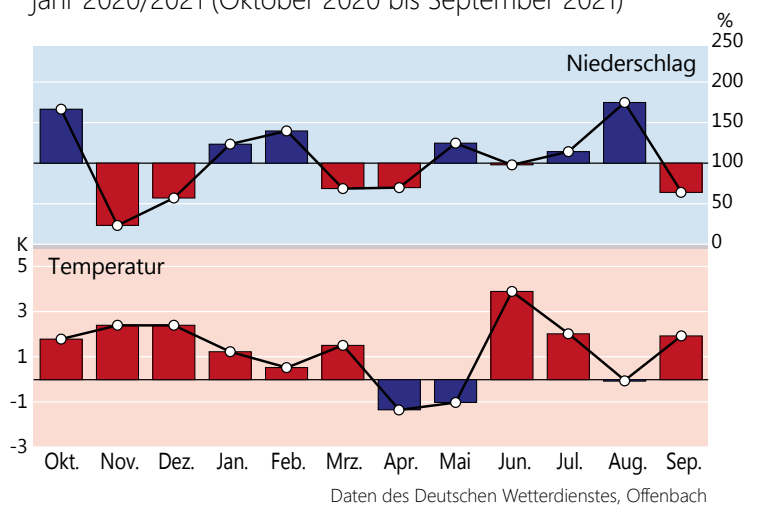


Foto: M. Spielmann

Witterung und Klima

Witterung war im **November** überwiegend durch Hochdruckeinfluss geprägt. Die Niederschlagshöhe betrug 10 mm und damit nur rund 20 % des üblichen Solls. Aufgrund der jahreszeitlich bedingten geringen Verdunstung nahm die Bodenfeuchte jedoch kaum ab. Die Monatsmitteltemperatur von 6,8 °C übertraf das langjährige Mittel um 2,4 K. Anfang des Monats wurden an vielen Stationen des DWD neue Allzeitrekorde der Tageshöchsttemperatur für November gemessen (z. B. Magdeburg 21,1 °C). Im **Dezember** wurden auf der Vorderseite von Tiefdruckgebieten über Westeuropa mit einer südlichen Luftströmung häufig milde Luftmassen nach Sachsen-Anhalt herangeführt. Folglich fiel der Monat deutlich zu warm aus. Die Monatsmitteltemperatur von 3,4 °C lag um 2,4 K über dem Wert der Klimaperiode 1961-1990. Da jedoch meistens schwacher Hochdruckeinfluss überwog, fielen nur rund 60 % (28 mm) der üblichen Niederschlagsmenge. Zwar nahm die Bodenfeuchte weiter zu, lag jedoch in weiten Teilen von Sachsen-Anhalt weiter unter den langjährigen Mittelwerten.

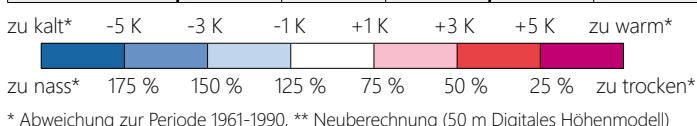
Der Wechsel von kühlen und milden Luftmassen prägte das Witterungsgeschehen im **Januar** 2021. Mit einer Mitteltemperatur von 0,7 °C ergab sich eine Abweichung von rund +1,2 K zum langjährigen Mittel. Häufiger Tiefdruckeinfluss sorgte für reichlich Niederschlag, sodass mit 51 mm mehr als 20 % des Niederschlagssolls fiel. Infolge der niederschlagsreichen Witterung füllten sich die Wasserspeicher der oberen Bodenschichten deutlich auf. Der **Februar** war durch extreme Wettergegensätze gekennzeichnet. In der ersten Monatshälfte sorgte sibirische Kaltluft für nächtliche Tiefsttemperaturen, die häufig unter -20 °C lagen. Vielfach bildete sich auch in tieferen Lagen eine mächtige Schneedecke. An einigen Messstationen wurden Rekordsneehöhen 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



Foto: J. Weymar

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

	Temperatur (°C)			Niederschlag (mm)		
	2020/21	1961 - 1990**	1991 - 2020**	2020/21	1961 - 1990**	1991 - 2020**
Oktober	11,0	9,2	9,5	66	40	44
November	6,8	4,4	4,9	10	45	48
Dezember	3,4	1,0	1,9	28	50	49
Januar	0,7	-0,5	1,0	51	41	47
Februar	0,8	0,2	1,6	48	34	35
März	5,1	3,5	4,7	28	41	43
April	6,2	7,6	9,3	30	45	32
Nicht-vegetationszeit	4,8	3,6	4,7	261	296	298
Mai	11,6	12,7	13,6	67	53	56
Juni	19,9	16,0	16,8	63	65	57
Juli	19,4	17,4	18,9	62	55	73
August	16,9	17,0	18,5	105	60	59
September	15,5	13,6	14,3	27	43	50
Vegetationszeit	16,7	15,3	16,4	323	276	295
Vegetationsjahr	9,8	8,5	9,6	584	572	593



auf 18,1 °C (Differenz 41,9 K). Im Süden Deutschlands wurde teilweise eine Tageshöchsttemperatur von über 20 °C gemessen. Trotz der ausgeprägten Kälteperiode war der Februar 0,6 K wärmer als die durchschnittliche Monatsmitteltemperatur der Periode 1961-1990. Die Niederschläge erreichten mit 48 mm im Landesmittel 140 % der üblichen Niederschlagsmenge, sodass auch in tieferen Bodenschichten der Wassergehalt weiter zunahm. Für eine vollständige Sättigung der Böden reichten die Niederschläge jedoch nicht aus.

Es folgte ein milder, sonnenscheinreicher und trockener **März**. Im Landesmittel von Sachsen-Anhalt fielen nur 28 mm Niederschlag. Dies entspricht knapp 70 % der üblichen Niederschlagsmenge. Die Monatsmitteltemperatur betrug 5,1 °C und lag damit um 1,6 K über dem langjährigen Durchschnittswert. Zum Ende des Monats verzeichneten einige Stationen in Sachsen-Anhalt den ersten Sommertag (Tageshöchsttemperatur >25 °C) des Jahres. Mit einsetzender Pflanzenentwicklung trockneten die Oberböden langsam aus, allerdings stellte sich die Bodenfeuchtesituation nicht annähernd so ungünstig dar, wie in den Jahren zuvor. Im **April** endete die 10-monatige Abfolge zu wärmeren Monaten. Häufige Nordwetterlagen dämpften das Temperaturniveau. Die Monatsmitteltemperatur war mit 6,2 °C nur wenig höher als im März, sodass der April 2021 zu den kältesten der letzte Jahrzehnte zählt. Die Abweichung zum vieljährigen Mittelwert betrug -1,4 K. Infolge der trocken-kühlen Witterung fielen mit 30 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 Gegensatz zum April führte eine vermehrte Tiefdruck-

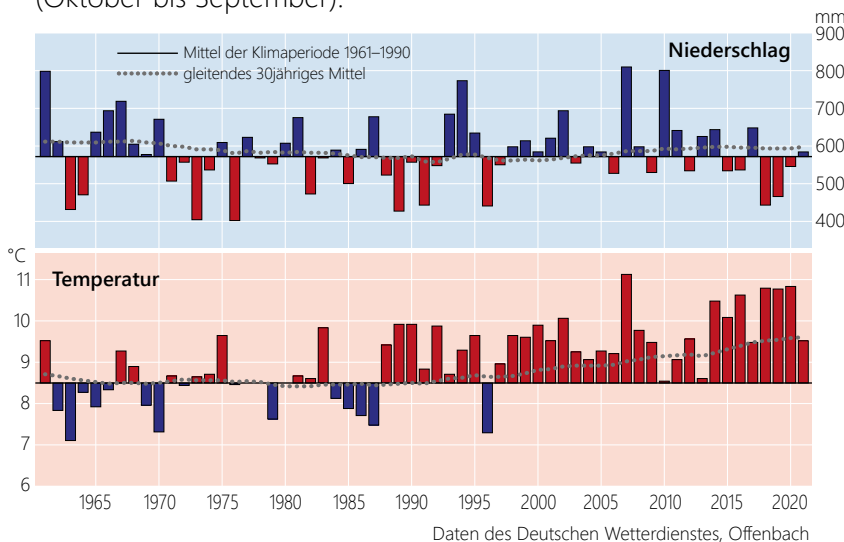
Witterung und Klima



Foto: J. Weymar

tätigkeit zu häufigen Niederschlagsereignissen. Im Landesmittel fielen 67 mm Niederschlag und damit 25 % 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 -1,1 K zum langjährigen Monatsmittel. Infolge der niedrigen Temperaturen war auch die Verdunstung geringer als im Mai üblich, sodass die Bodenwasservorräte nur langsam abnahmen. Allerdings waren im Norden von Sachsen-Anhalt die Bodenfeuchtwerte weiterhin niedriger als im langjährigen Mittel. Der **Juni** zeigte sich von seiner hochsommerlichen Seite. Die Monatsmitteltemperatur von 19,9 °C wich um 3,9 K vom vieljährigen Mittel ab. Damit war der Juni der Drittwärmste seit Beginn der Beobachtungen im Jahr 1881. Mitte des Monats führte die erste und einzige Hitzewelle des Sommers zu Tageshöchsttemperaturen von mehr als 30 °C und einigen Tropennächten (Tagestiefsttemperatur >20 °C). Infolge häufiger auch großräumiger Gewitterlagen wurden im Landesmittel von Sachsen-Anhalt 63 mm Niederschlag gemessen. Dies entspricht annähernd

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 Sachsen-Anhalt, Jahreswerte für das Vegetationsjahr (Oktober bis September).



Daten des Deutschen Wetterdienstes, Offenbach

der üblichen Niederschlagsmenge. Aufgrund der hohen Verdunstungsraten konnten sich die Bodenwasservorräte nicht erholen. Allerdings stellte sich die Bodenfeuchtesituation günstiger dar als in den vergangenen zwei Jahren.

Es folgte ein nasser, sonnenscheinarmer und warmer **Juli**. Insgesamt fielen in Sachsen-Anhalt im Flächenmittel 62 mm Niederschlag (+15 %). Dabei fiel im Süden von Sachsen-Anhalt deutlich mehr Niederschlag als in der Mitte und im Norden des Landes. Hier wurde regional weniger als 50 % des Niederschlagsolls gemessen, sodass dort die Oberböden stark austrockneten. In den südlichen Landesteilen wurde dagegen teilweise mehr als 50 % der sonst üblichen Niederschlagsmenge beobachtet. Hier stellte sich die Bodenfeuchtesituation deutlich günstiger dar. In Erinnerung wird das Unwetterief ‚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 19,4 °C und lag damit 2 K über dem langjährigen Wert der Klimaperiode 1961-1990. Auch der **August** war in Sachsen-Anhalt sehr unbeständig. Mit 105 mm wurde das Monatssoll um 75 % übertroffen. Wiederum war es im Süden deutlich nasser als in den übrigen Landesteilen. Die Bodenfeuchtesituation stellte sich im Land sehr unterschiedlich dar. Während in den niederschlagsreichen Regionen die Bodenwasserspeicher gut gefüllt waren, wurden in weiten Teilen des Landes die langjährigen Bodenfeuchtwerte unterschritten. Der August war geringfügig kühler als normal und es wurden nur wenige Sommer- und kaum Hitzetage gemessen. Die Mitteltemperatur von 16,9 °C lag 0,1 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 27 mm im Landesdurchschnitt nur rund 60 % des Niederschlagsolls fiel. Zum Ende der Vegetationszeit trockneten die Böden weiter aus. Die mehrjährige Dürre hielt damit insbesondere in den nördlichen Landesteilen von Sachsen-Anhalt an. Der September war mit einer Mitteltemperatur von 15,5 °C um 1,9 K wärmer als der langjähriger Durchschnitt.

Temperatur und Niederschlag im langjährigen Verlauf

Das Vegetationsjahr 2020/2021 war mit 9,8 °C im Flächenmittel von Sachsen-Anhalt knapp 1,3 K wärmer als der Mittelwert der Klimaperiode 1961-1990 und 0,2 K wärmer im Vergleich zur neuen Klimareferenzperiode 1991-2020. Der langfristige Erwärmungstrend setzt sich ungehindert fort, wie das gleitende Mittel der letzten 30 Jahre verdeutlicht (gepunktete Linie in der Abb. links). In

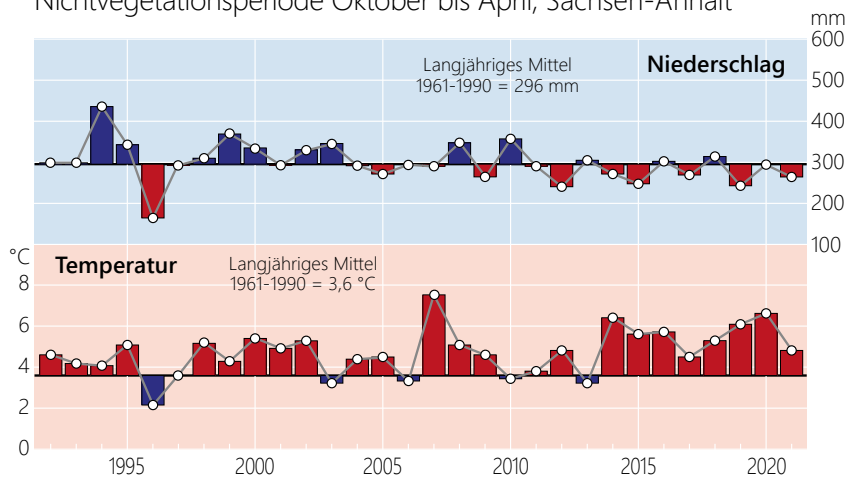
Witterung und Klima

den vergangenen 10 Jahren hat sich das gleitende Mittel der letzten 30 Jahre um knapp 0,4 K erhöht. Dies würde bedeuten, dass bei gleich bleibendem Trend alle 25 Jahre die Jahresmitteltemperatur um 1 K ansteigt. Nach drei sehr trockenen Jahren war die Niederschlagsbilanz im aktuellen Vegetationsjahr ausgeglichen (Abb. Seite 20). Es fielen 584 mm im Landesmittel. Dabei waren jeweils 6 Monate feuchter bzw. trockener als im langjährigen Mittel.

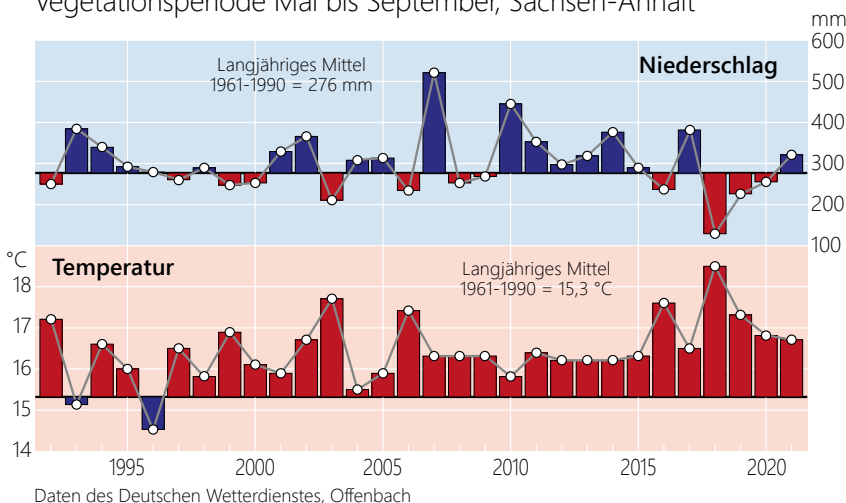
Die Nichtvegetationszeit von Oktober 2020 bis April 2021 war 1,2 K milder als der langjährige Mittelwert der Klimaperiode 1961-1990. Die Mitteltemperatur betrug 4,8 °C (Abb. unten). Überdurchschnittlich warm war es im Harzvorland und in der Altmark, während die Temperaturen in den südlichen Landesteilen, im Fläming und im östlichen Altmorenland um regional weniger als 1 K von den langjährigen Mittelwerten abwichen (Abb. Seite 22 oben links). In der Nichtvegetationszeit fielen im Landesmittel von Sachsen-Anhalt 261 mm Niederschlag und damit knapp 15 % weniger als im vieljährigen Soll (Abb. unten). Im Harz und in den mittleren Landesteilen betrug das Niederschlagsdefizit teilweise bis zu 30 % (Abb. Seite 22 unten links). Im südlichen Sachsen-Anhalt und im äußersten Nordwesten wurde das Niederschlagssoll annähernd erreicht, regional sogar leicht übertroffen.

Die Vegetationszeit von Mai bis September 2021 war wärmer und feuchter als im Mittel der Periode 1961-1990 (Abb. unten). Im Flächenmittel des Landes Sachsen-Anhalt betrug die Mitteltemperatur 16,7 °C (+1,4 K). Dabei gab es allerdings regional deutliche Unterschiede. In der gesamten Südosthälfte des Landes sowie im Harz betrug die Abweichung rund 1 K, im Hügelland regional nur 0,8 K, während in der Altmark und im Harzvorland die Temperaturen häufig mehr als 1,5 K über dem Mittel-

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



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



Daten des Deutschen Wetterdienstes, Offenbach

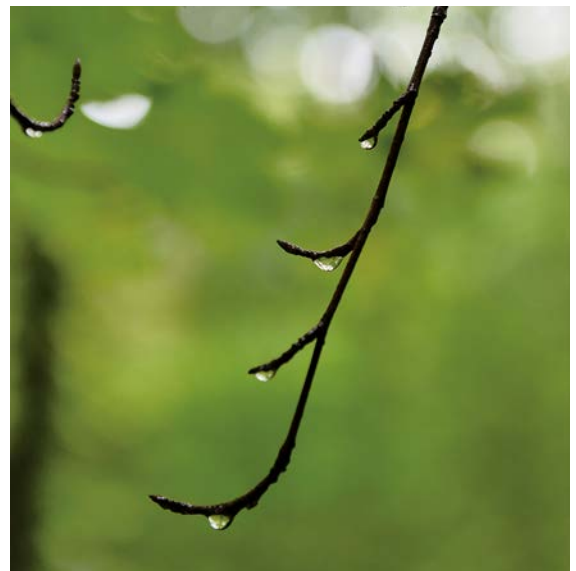


Foto: J. Evers

wert der Klimaperiode von 1961-1990 lagen (Abb. Seite 22 oben rechts). In der Vegetationszeit fielen landesweit im Mittel rund 323 mm Niederschlag. Dies sind rund 15 % mehr als im langjährigen Mittel. Allerdings war die räumliche Niederschlagsverteilung sehr unterschiedlich. Besonders nass war es im Südosten des Landes. Vom Hügelland über die Börde bis zum Fläming fiel bis zu 30 % mehr Niederschlag als üblich, während es im Nordwesten deutlich trockener war. In der westlichen Altmark und im westlichen Harzvorland wurde teilweise ein Defizit von mehr als 10 % des Niederschlagssolls gemessen.

Fazit

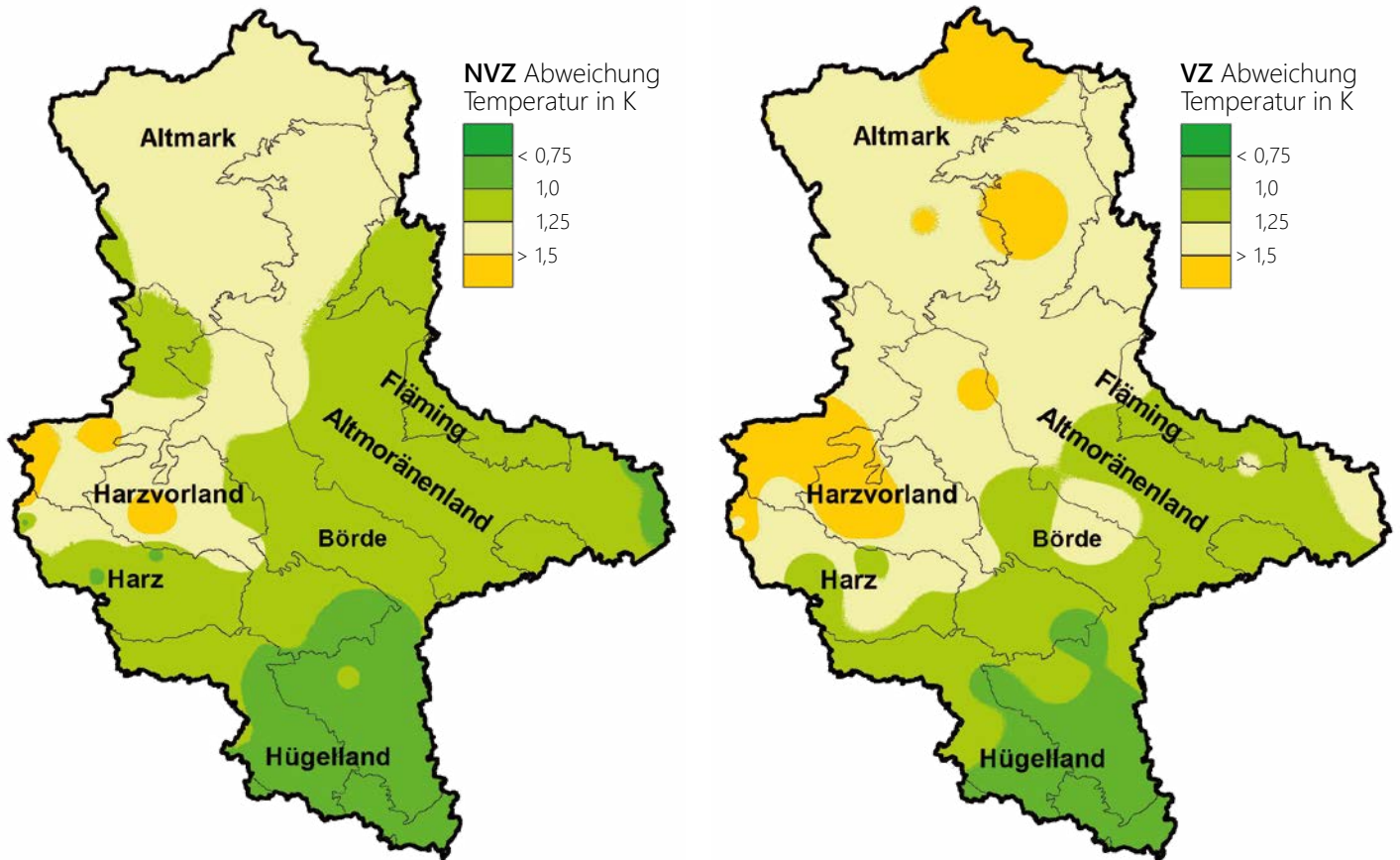
- Auch das Vegetationsjahr 2020/2021 war mit einer Mitteltemperatur von 9,8 °C deutlich wärmer als der langjährige Mittelwert der Klimaperiode 1961-1990. Der langjährige Erwärmungstrend setzte sich unvermindert fort.
- Die Niederschlagsmenge im aktuellen Vegetationsjahr entsprach mit 584 mm dem langjährigen Mittel.
- Im Gegensatz zu den vergangenen Jahren kam es in diesem Jahr zu keiner ausgeprägten Trockenperiode.
- Während im Südosten von Sachsen-Anhalt infolge der überdurchschnittlich feuchten Vegetationszeit die mehrjährige Dürre beendet wurde, haben sich die Bodenwasservorräte in weiten Teilen der Mitte und des Nordens noch nicht erholt.

Literatur

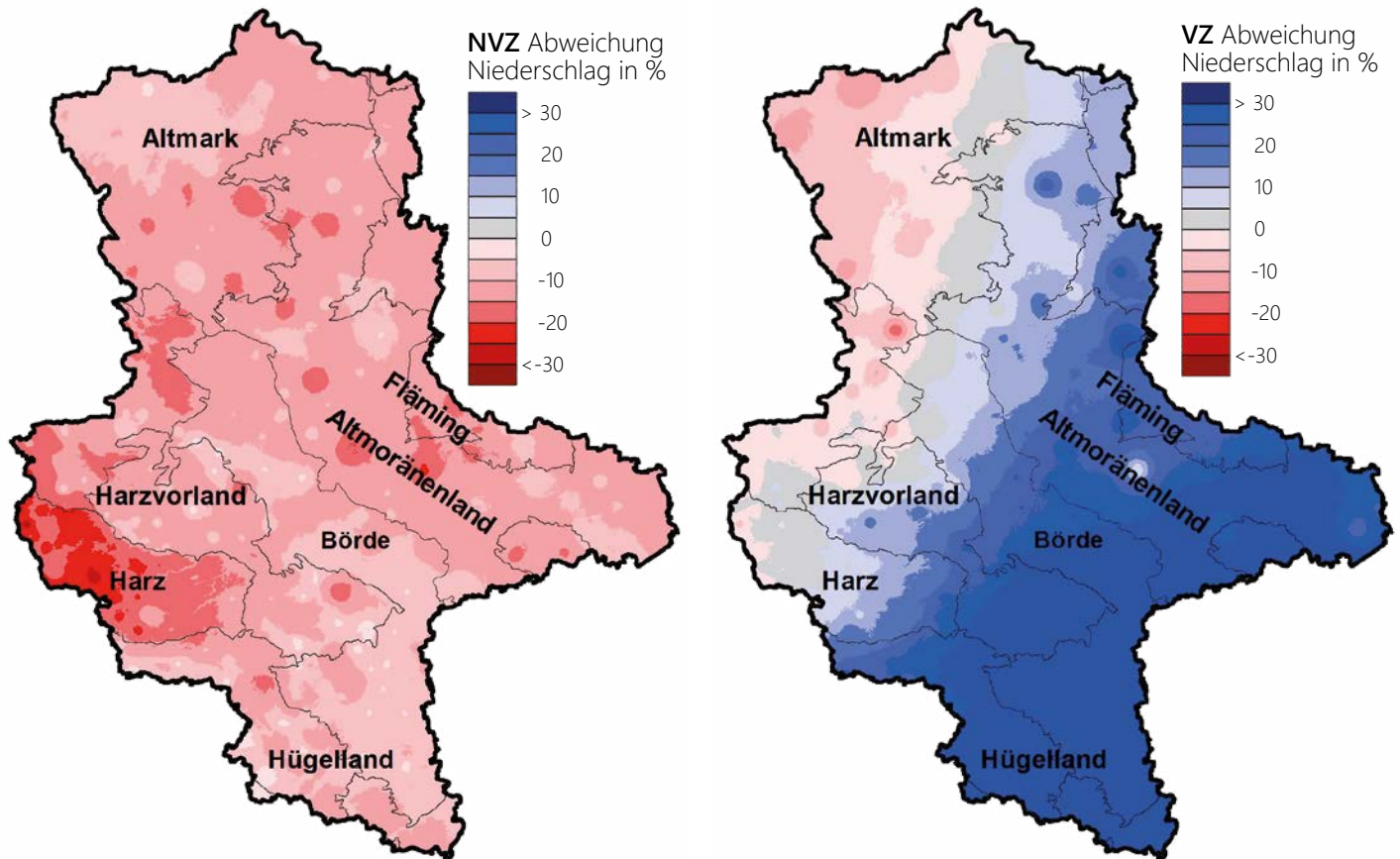
Deutscher Wetterdienst, 2020: Monatlicher Klimastatus Deutschland. DWD, Geschäftsbereich Klima und Umwelt, Offenbach, www.dwd.de/klimastatus
 Deutscher Wetterdienst, 2021: Monatlicher Klimastatus Deutschland. DWD, Geschäftsbereich Klima und Umwelt, Offenbach, www.dwd.de/klimastatus

Witterung und Klima

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



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



Insekten und Pilze

Martin Rohde, Rainer Hurling, Gitta Langer, Johanna Bußkamp, Pavel Plašil und Ines Graw

<https://doi.org/10.5281/zenodo.5588439>

Borkenkäfer

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

2020 war in diesen stark bis extrem betroffenen Befallsbereichen eine zeitgerechte, vollständige Aufarbeitung von Schadholz oft nicht möglich und in Teilbereichen entkam eine sehr hohe Anzahl an **Buchdruckern** (*Ips typographus*) in die Überwinterung.

Die Witterung während der Käfersaison 2021 verlief recht wechselhaft. Kurze wärmere Phasen wurden oft durch kühlere, regnerische Phasen unterbrochen. Die überwiegend eher kühl-nasse Witterung der ersten Wochen des Frühjahrs ließ zunächst nur kleinere Flugaktivitäten der Borkenkäferarten zu. Ab der Wärmeperiode um Pfingsten herum setzte dann vielerorts stark ausgeprägter Schwärmflug des Buchdruckers ein. Teils extreme Mengen sehr vitaler Käfer trafen auf meist gegenüber den Vorjahren besser wasserversorgte und damit abwehrbereitere Fichten. Trotzdem kam es in den Befallschwerpunkten 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

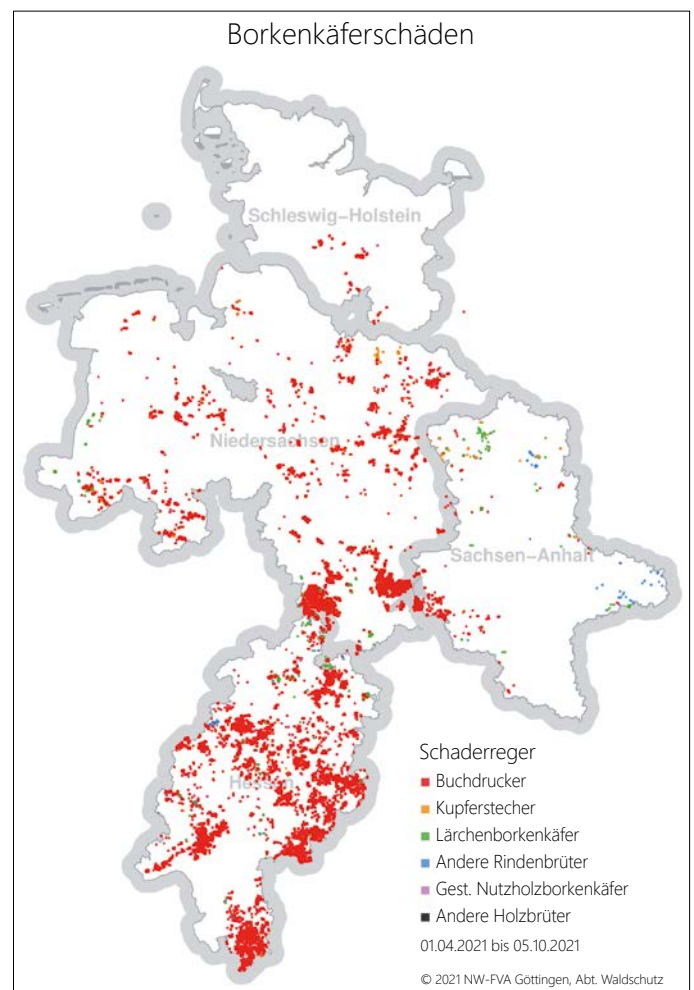


Ausweichbefall durch Buchdrucker an jungen Fichten
Fotos: links: L. Böge, rechts: S. Bauling

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,



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.

Eichenfraßgesellschaft und Kieferngrößschädlinge

Zur Überwachung des **Eichenprozessionsspinners** (*Thaumetopoea processionea* L.) erfolgten im Jahr 2020 Nesterzählungen in insgesamt 106 Eichenbeständen des Landeszentrums Wald (LZW) durch die Betreuungsförstämter Annaburg, Letzlingen und Westliche Altmark. Der Schwellenwert wurde dabei in 26 Beständen überschritten. Eine Einsendung von Eigelegen des Eichenprozessionsspinners an die NW-FVA zur genauen Einschätzung der Populationsdichte durch Untersuchung der Schlupfrate bzw. Parasitierung ließ aber nur eine geringe Fraßgefährdung durch den Eichenprozessionsspinner erwarten.

Durch die Betreuungsförstämter Westliche Altmark und Dessau sowie die Kulturstiftung Dessau-Wörlitz durchgeführte Fraßbonituren in Eichenbeständen auf insgesamt 1.306 Hektar ergaben auf ca. 454 Hektar überwiegend mittleren Fraß durch den Eichenprozessionsspinner. Weitere Schäden durch den Eichenprozessionsspinner wurden auf 35 Hektar in den Betreuungsförstämtern Annaburg, Elb-Havel-Winkel und Naumburg gemeldet.

Auf insgesamt 852 Hektar wurde eine Fraßbonitur der **Eichenfraßgesellschaft** durchgeführt. Es wurden 264 Hektar als unbefressen, 223 Hektar als gering befreissen, 260 Hektar im mittleren Fraßgrad und 105 Hektar als starker Fraß bis Kahlfraß im Waldschutzmeldeportal der NW-FVA dokumentiert.



Eichenprozessionsspinner

Foto: NW-FVA

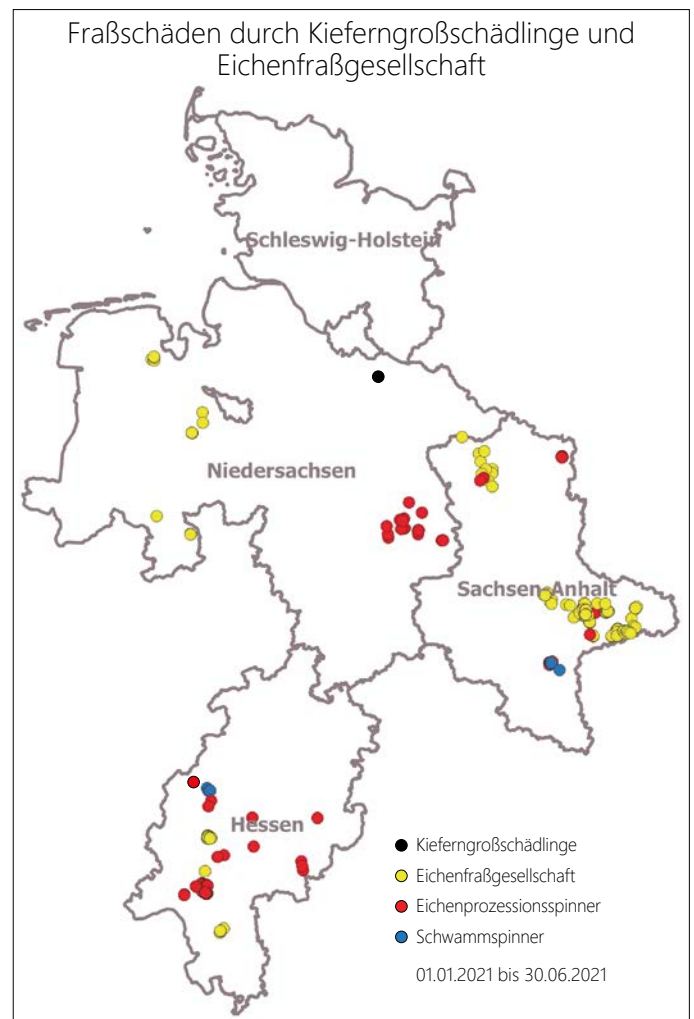


Schwammspinner: Falter und Puppe

Foto: NW-FVA

Im Rahmen der Überwachung des **Schwammspinners** (*Lymantria dispar* L.) wurden im Winter 2020/2021 durch die Betreuungsförstämter Annaburg, Harz und Naumburg in insgesamt vier Waldbeständen Suchen nach Eispiegeln des Schwammspinners durchgeführt. Die Größe der Eispiegel, die Eizahlen sowie Schlupfratenbestimmung bestätigte die Retrogradation des Schwammspinners. Er verursachte lediglich im Betreuungsförstamt Naumburg (Revier Halle) Fraßschäden auf 10 Hektar.

Merkliche Fraßereignisse durch die **Kieferngrößschädlinge** und die **Nonne** wurden 2021 nicht festgestellt.

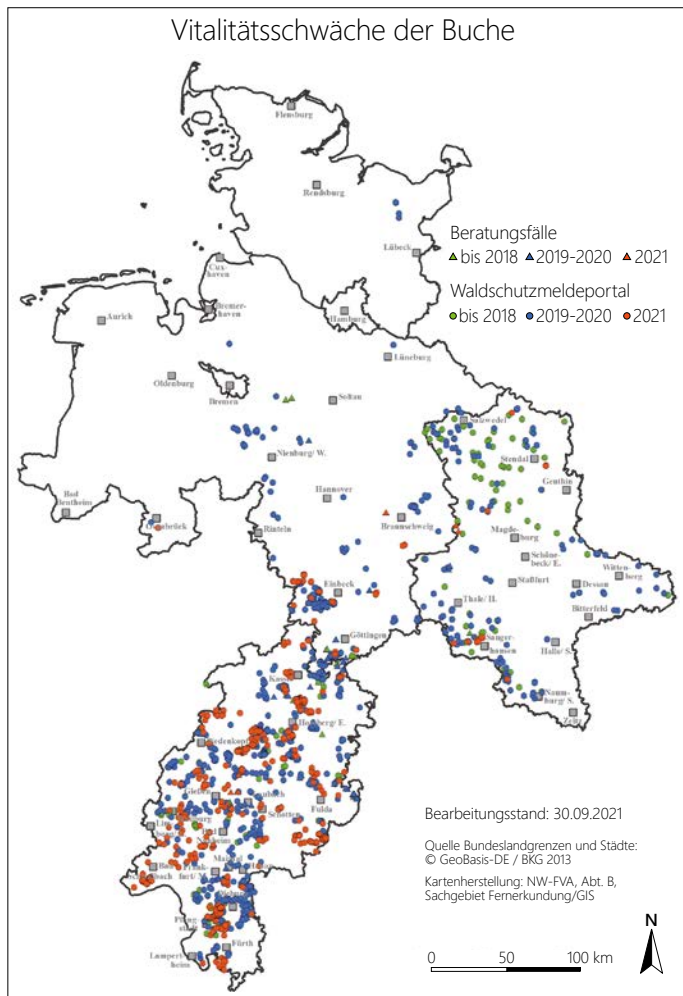


Auftreten der blatt- und nadelfressenden Schadinsekten in den Eichen- und Kiefernbeständen 2021 in den Trägerländern der NW-FVA
Quelle: Waldschutzmeldeportal der NW-FVA (WSMP)

Insekten und Pilze



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



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

Komplexe Schäden an Rotbuche

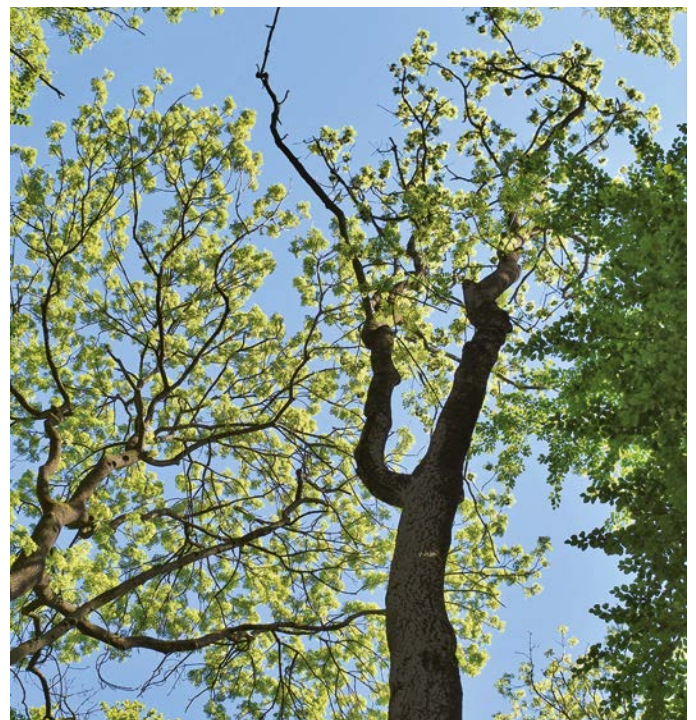
Wie auch in den drei vergangenen Jahren wurden weit verbreitet und teilweise bestandesbedrohend Absterberscheinungen infolge der Hitze und Trockenheit bei Rotbuchen in Niedersachsen, Hessen und Sachsen-Anhalt beobachtet, die sich dem Schadbild der so genannten **Buchen-Vitalitätsschwäche** zuordnen lassen.

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

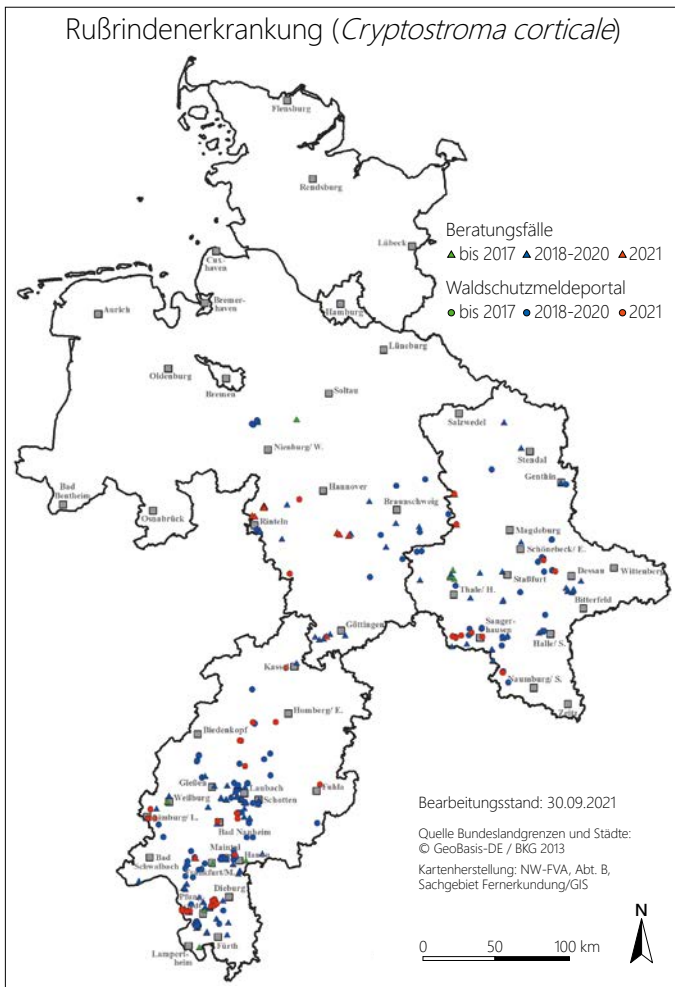
Wie in den Vorjahren kam es auch 2021 zum auffälligen Auftreten der **Rußrindenerkrankung** des Ahorns.

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 Spitzahorn (*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.

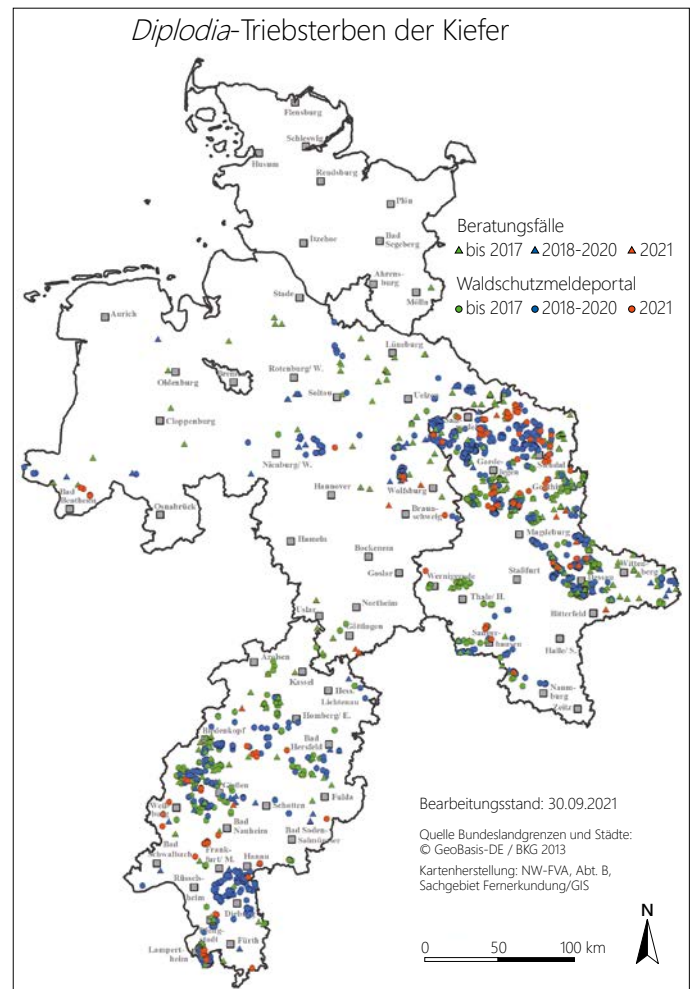


Schadensfälle an Ahorn mit der Rußrindenerkrankung in den Trägerländern der NW-FVA – Quellen: Beratungsfälle und Auswertung des Waldschutzmeldeportals der NW-FVA (WSMP)

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.5588465>

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 Sachsen-Anhalt wurde der Stoffeintrag in Kiefernbestände des nordostdeutschen Tieflandes erstmals 1985 bis 1989 durch die Forschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft Eberswalde erfasst (Simon u. Westendorff 1991). Im Rahmen des Intensiven forstlichen Umweltmonitorings werden seit 1998 bzw. 2013 die Stoffeinträge in drei Kiefernbeständen in Nedlitz (Fläming), Klötze (Altmark) und Colbitz (Letzlinger Heide) sowie in einen Douglasienbestand (Klötze) erfasst, um die Wirkung erhöhter Stoffeinträge sowie damit verbundener Risiken für Wälder, Waldböden und angrenzende Ökosysteme abschätzen zu können. Jeder Bestandesmessfläche (Kronentraufe) ist eine Freifläche (Freilandniederschlag) zugeordnet. Mit Hilfe eines Kronenraumbilanzmodells (Ulrich 1991) werden aus den gemessenen Stoffflüssen Gesamtdositionsraten berechnet.

Die Höhe der Stoffeinträge wird maßgeblich durch verschiedene Faktoren wie Niederschlagsmenge und -verteilung, Windgeschwindigkeit, Baumart, Bestandeshöhe, Kronenrauhigkeit oder lokale Emittenten bestimmt. Der Baumarteneffekt zeigt sich sehr gut in Klötze, wo eine Douglasien- und eine Kiefernfläche in unmittelbarer Nachbarschaft und somit unter gleichen klimatischen und luftchemischen Verhältnissen beobachtet werden. Aufgrund der dichteren Benadelung sind die Stoffeinträge unter Douglasie höher als unter Kiefer.



Foto: O. Schwerdtfeger

Niederschlag

2020 war in Sachsen-Anhalt ein weiteres niederschlagsarmes Jahr. Auf den drei Freiflächen fielen zwischen 26 mm (Nedlitz) und 82 mm je Quadratmeter weniger Niederschlag als im Mittel der Jahre 2010-2019. Der Bestandesniederschlag betrug zwischen 347 mm (Klötze Douglasie) und 468 mm (Nedlitz Kiefer) je Quadratmeter. Den Bäumen standen damit zwischen 84 % (Klötze Kiefer) und 100 % (Nedlitz Kiefer) der mittleren Niederschlagsmenge der vergangenen 10 Jahre zur Verfügung. Der Wasserhaushalt der Bestände war u. a. durch die höheren Temperaturen ein weiteres Jahr in Folge angespannt.

Schwefeleintrag

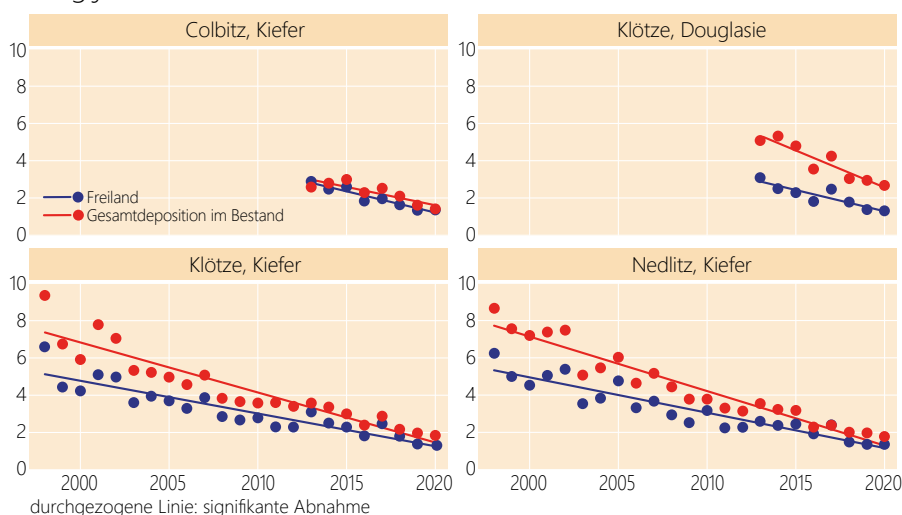
Durch die Substitution der Braunkohle als Hauptenergieträger, die konsequente Umsetzung von Maßnahmen zur Luftreinhaltung wie Rauchgasentschwefelung und die Einführung schwefelarmer Kraft- und Brennstoffe konnten die Schwefeldioxidemissionen wirksam reduziert werden. Der Schwefeleintrag in die Wälder Sachsen-Anhalts in gasförmiger und gelöster Form hat in Folge dieser Maßnahmen extrem abgenommen. Obwohl der Eintrag bereits auf einem relativ geringen Niveau lag, hat er 2020 im Vergleich zum Mittel Jahre 2010-2019 im Freiland nochmals zwischen 0,8 und 1,0 kg je Hektar und mit der Gesamtdosition zwischen 1,1 und 1,4 kg je Hektar abgenommen. Die relative Abnahme betrug zwischen 34 und 44 %. 2020 lag der Sulfatschwefeleintrag mit dem Bestandesniederschlag unter Kiefer bei 1,4 (Colbitz) bzw. 1,8 kg je Hektar (Klötze, Nedlitz) sowie unter Douglasie bei 2,7 kg je Hektar (Abb. links). Im Freiland lag er zwischen 1,3 (Klötze) und 1,4 kg je Hektar (Colbitz, Nedlitz).



Intensiv-Monitoringfläche Colbitz

Foto: NW-FVA

Sulfatschwefeleintrag ($\text{SO}_4\text{-S}$) im Freiland und im Bestand in kg je Hektar und Jahr



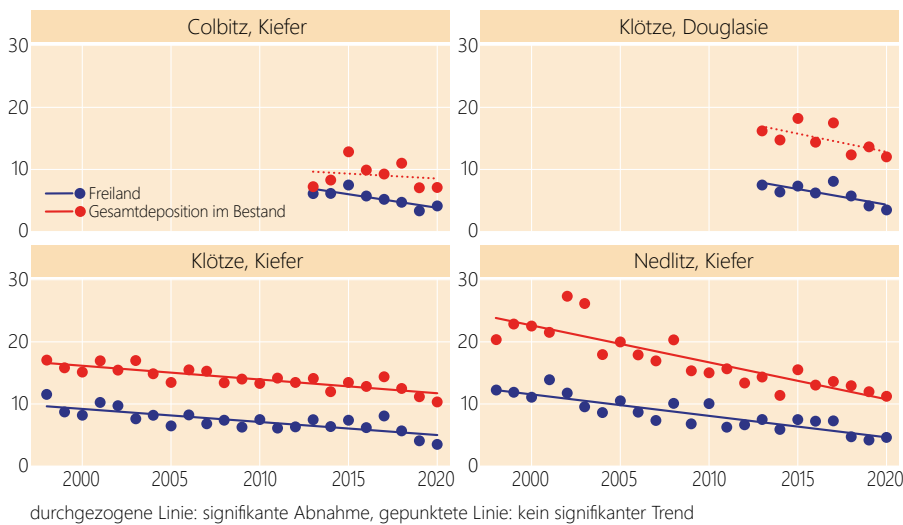
Stoffeinträge

Stickstoffeintrag

Stickstoff wird in oxidiert Form als Nitrat (Quellen: Kfz-Verkehr, Verbrennungsprozesse) und in reduzierter Form als Ammonium (landwirtschaftliche Quellen) in die Ökosysteme eingetragen. In Sachsen-Anhalt betrug der Ammoniumanteil am anorganischen Stickstoffeintrag im 10-jährigen Mittel (2011-2020) im Freiland zwischen 54 % (Klötze) und 58 % (Colbitz) und bei der Gesamtdeposition zwischen 56 % und 60 %.

Der Nitratstickstoffeintrag hat auf den langjährig untersuchten Flächen Klötze und Nedlitz sowohl im Freiland als auch der Gesamtdeposition seit Untersuchungsbeginn im Jahr 1998 signifikant abgenommen. Diese Abnahme hat sich in Klötze und in Nedlitz sowohl im Freiland als auch der Gesamtdeposition bei der Betrachtung der letzten 11 Jahre erfreulicherweise fortgesetzt. 2020 betrug der Nitratstickstoffeintrag im Freiland zwischen 1,7 (Colbitz) und 2 kg je Hektar

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



(Nedlitz), die Gesamtdeposition unter Kiefer zwischen 3,0 (Colbitz) und 4,6 kg je Hektar (Nedlitz) sowie unter Douglasie 5,6 kg je Hektar.

Der Ammoniumstickstoffeintrag hat auf den Flächen des Intensiven Monitorings in Sachsen-Anhalt seit Untersuchungsbeginn ebenfalls signifikant abgenommen. Im Zeitraum 2010-2020 wurde eine weitere signifikante Abnahme jedoch nur auf den Freiflächen beobachtet, während die Gesamtdeposition auf allen Bestandesflächen nur tendenziell abnahm. Im Freiland lag der Ammonium-Stickstoffeintrag 2020 zwischen 1,7 (Klötze) und 2,6 kg je Hektar (Nedlitz) und unter Kiefer zwischen 4,1 (Colbitz) und 6,6 kg je Hektar (Nedlitz). Unter Douglasie betrug er je Hektar 6,4 kg.

Auf den untersuchten Flächen überschreitet der anthropogen bedingte atmosphärische anorganische Stickstoffeintrag (Abb. links) im Mittel der letzten fünf Jahre (2016-2020) mit Werten bis zu 11,2 kg je Hektar unter Kiefer (Nedlitz) und 12,1 kg je Hektar unter Douglasie (Klötze) nach wie vor den geringen Bedarf der Wälder für das Baumwachstum. Stickstoffeinträge, die über dem Bedarf des Ökosystems für das Wachstum liegen, ziehen jedoch – ggf. zeitverzögert – gravierende negative Konsequenzen für den Wald selbst sowie angrenzende Ökosysteme wie Oberflächen- und Grundwässer nach sich.



Freifläche Klötze

Foto: H. Meesenburg

Stoffeinträge

Gesamtsäure

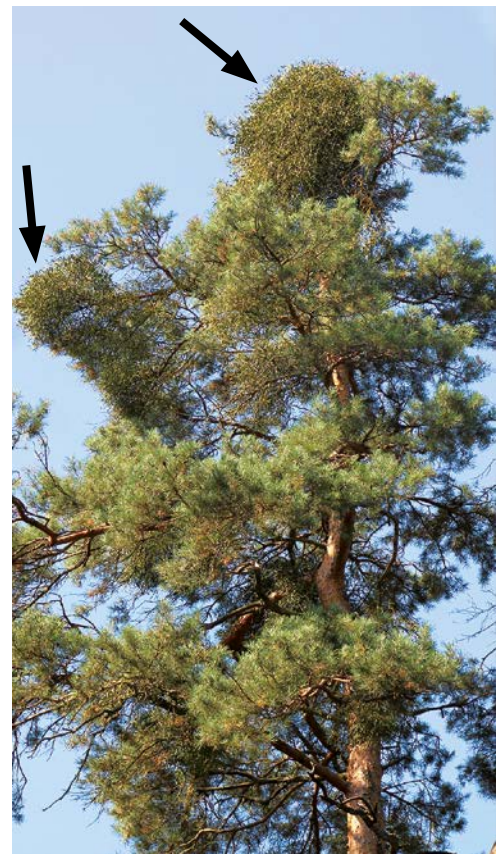
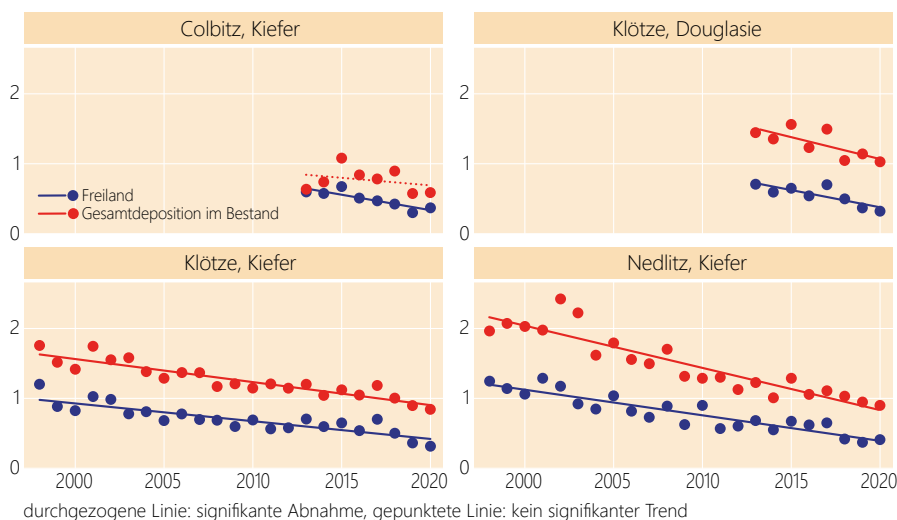
Der Gesamtsäureeintrag berechnet sich als Summe der Gesamtd deposition von Nitrat, Ammonium, Sulfat und Chlorid (jeweils nicht seesalzbürtige Anteile, Gauger et al. 2002).

2020 betrug der Gesamtsäureeintrag im Freiland zwischen 0,3 (Klötze) und 0,4 (Colbitz, Nedlitz), unter Kiefer zwischen 0,6 (Colbitz) und 0,9 (Nedlitz) sowie unter Douglasie 1,0 kmol_c je Hektar (Abb. unten).

Ein Teil des Säureeintrags wird durch ebenfalls mit dem Niederschlag eingetragene Basen neutralisiert. Diese Säureneutralisationskapazität durch Baseneintrag lag 2020 zwischen gut 0,1 (Klötze Kiefer) und 0,3 kmol_c je Hektar (Nedlitz Kiefer) bzw. zwischen 17 % (Klötze Kiefer) und 41 % (Colbitz Kiefer) des Säureeintrags. Der Eintrag basischer Stäube spielte in Sachsen-Anhalt bis zum Einbau moderner Filteranlage in Kraftwerken nach der Wiedervereinigung eine große Rolle, heute hingegen nur noch in Einzelfällen, z. B. in der Nähe von Steinbrüchen. Ein weiterer Teil der Säureeinträge wird im Waldboden gepuffert, da bei der Verwitterung Basen freigesetzt werden.

Die nachhaltige Säurepufferkapazität aus Verwitterung reicht auf den oft nährstoffarmen Waldstandorten jedoch auch unter Berücksichtigung der Baseneinträge nicht aus, um die Säureeinträge vollständig zu kompensieren. Eine standortsangepasste Kalkung zum Schutz der Waldböden und der Erhaltung ihrer Filterfunktion für das Grundwasser kann empfohlen werden.

Gesamtsäureeintrag im Freiland und im Bestand in kmol_c je Hektar und Jahr



Intensiv-Monitoringfläche Nedlitz: Der Mistelbefall hat zugenommen. Foto: J. Weymar

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.



Intensiv-Monitoringfläche Klötze (Kiefer)

Foto: H. Meesenburg

Literatur:

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

Simon K-H und Westendorff K (1991): Stoffeinträge mit dem Niederschlag in Kiefernbeständen des nordostdeutschen Tieflandes in den Jahren 1985–1989. Beiträge Forstwirtschaft 25(4), 177–180

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.5588798>

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

Die Naturverjüngung spielt bei bestandesbildenden Arten wie der Buche auch künftig eine wichtige Rolle. DNA-Analysen haben ergeben, dass genetische Vielfalt insbesondere durch eine kleinräumige Naturverjüngung über längere Zeiträume gefördert wird. Bei dieser Vorgehensweise sind über die Jahre besonders viele Bäume an der Reproduktion beteiligt und die genetische Ausstattung der Nachkommen wird zusätzlich durch variierende Polleneinträge aus umliegenden Beständen bereichert. Dies führt zu einer Akkumulation einer Vielzahl von Genotypen, die der Selektion an sich ändernde Umweltbedingungen zur Verfügung stehen. Anders kann es

bei großflächig angelegter Naturverjüngung „aus einem Guss“ aussehen (Überhaltbetrieb oder Großschirmschlag): Nur wenige Samenjahrgänge und eine reduzierte Zahl an Paarungspartnern können dazu führen, dass weniger Genotypen erzeugt und für Anpassungsprozesse zur Auswahl stehen. Auch Zielstärkennutzung ist unter bestimmten Voraussetzungen als kritisch zu betrachten: Werden die vitalsten und konkurrenzstärksten Bäume schon entnommen, bevor sie zur Naturverjüngung haben beitragen können, kann es in der Folgegeneration zu Verlusten an genetischer Vielfalt kommen. Hier kann eine genetische „Auffrischung“ durch künstliche Einbringung geeigneter Herkünfte ratsam sein.

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

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



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

Anpassungspotenziale heimischer Baumarten



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

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

Verwendungszonen für die Traubeneiche

Der Traubeneiche kommt künftig eine große Bedeutung zu, insbesondere für die Bepflanzung der in den letzten Jahren entstandenen riesigen Freiflächen. Ihr Anteil an der Bestockung wird voraussichtlich auch noch weiter zunehmen, da sie sich doch wesentlich toleranter gegenüber Dürreperioden zeigt als z. B. die Buche (Leuschner et al. 2001; Mette et al. 2013). Die Eiche reagiert aber nicht gänzlich unempfindlich gegenüber Trockenstress. In internationalen Versuchen konnte nachgewiesen werden, dass Herkünfte aus trockeneren Regionen eine bessere Anpassung zeigen, oder – im umgekehrten Fall – die Überlebensraten abnehmen, wenn Herkünfte in wärmere und trockenere Regionen verbracht werden.

Neben einheimischen Saatgutquellen geraten daher vermehrt ausländische Quellen, besonders aus südosteuropäischen Ländern, in den Fokus der Diskussion. Eichen aus den dort bereits herrschenden wärmeren und trockeneren Klimaten versprechen in unseren Regionen ein höheres Anpassungspotenzial. Jedoch besteht die Gefahr, dass besonders die südlicheren Herkünfte auch zukünftig von auftretenden Spätfrösten geschädigt werden. Dies konnte bereits in Anbauversuchen nachgewiesen werden und zeigt, dass einheimische Herkünfte mittelfristig nicht ersetzt werden können (Kätzel et al. 2019).

Ein älterer Traubeneichen-Herkunftsversuch mit über 50 deutschen Herkünften ergab, dass schon innerhalb Deutschlands ein enormes Anpassungspotenzial zur Verfügung steht. So zeigen Herkünfte aus trockeneren Regionen ein besseres Wachstum, wenn sie auf feuchtere Standorte verbracht werden. Auf Basis dieser Erkenntnis wurde an der NW-FVA ein Projekt (OakZones) gestartet, welches diesen Zusammenhang genauer untersucht. Dafür werden Herkünfte anhand der 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 Veredlung für die Anlage einer Samenplantage zur Produktion von genetisch vielfältigem Vermehrungsgut Foto: NW-FVA

Anpassungspotenziale heimischer Baumarten



Bestäubung, Fruktifikation und Saatguterte 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 Reliktorkommen sind meist geprägt durch geringe Populationsgrößen, ungünstige Altersstrukturen (fehlende Verjüngung), Hybridisierung mit Kultursorten bzw. fremdländischen Arten und – in der Folge – deutlichen Verlusten an genetischer Vielfalt. Ferner unterliegen viele dieser Arten nicht dem Forstvermehrungsgutgesetz. Daher besteht zusätzlich die Gefahr, dass durch Einbringung ungeeigneten Pflanzguts aufgrund fehlender rechtlicher Bestimmungen auch noch lokale genetische Strukturen und Anpassungsmuster verloren gehen.

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

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

Fazit

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

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

Literatur

- Fussi B, Kunz M, Tröber U, Leinemann L, Kätzel R, Eusemann P, Liesebach H, Becker F, Kuchma O, Kersten B, Voth W, Karopka M, Höltken AM, Havel S, Rose B, Wolf H, Kahlert K, Hosius B (2021): GENMON – Einrichtung eines genetischen Monitorings für Buche und Fichte in Deutschland zur Bewertung der genetischen Anpassungsfähigkeit der Baumarten gegenüber Umweltveränderungen. Schlussbericht zum Waldklimafond-Vorhaben der Fachagentur für Nachwachsende Rohstoffe (FNR).
- Höltken AM, Hennig A, Kleinschmit J, Arndt HJ, Steiner W (2017): Erhaltung und Produktion gebietseigener genetischer Vielfalt in Ex-situ-Populationen: Umsetzung der Ergebnisse aus DNA-Studien am Wildapfel (*Malus sylvestris* (L.) Mill.). *Naturschutz und Landschaftsplanung* 49: 126-134
- Höltken AM, Eusemann P, Kersten B, Liesebach H, Kahlert K, Karopka M, Kätzel R, Kuchma O, Leinemann L, Rose B, Tröber U, Wolf H, Voth W, Kunz M, Fussi B (2020): Das Verbundprojekt GENMON: Einrichtung eines genetischen Langzeit-Monitorings in Buchenbeständen (*Fagus sylvatica* L.). In: Liesebach M. (ed.) *Forstpflanzenzüchtung für die Praxis* : 6. Tagung der Sektion Forstgenetik/Forstpflanzenzüchtung vom 16.-18. Sept. 2019 in Dresden: Tagungsband, Braunschweig, Johann Heinrich von Thünen-Institut. Thünen-Report 76, S 230-245
- Kätzel R, Becker F, Kanter G, Hlawati N, Löffler S (2019): Herkunftsversuche als Bewährungsprobe bei Witterungsextremen: Südosteuropäische Herkünfte der Trauben-Eiche (*Quercus petraea* MATT. LIEBL.) in Brandenburg – Eine erste Auswertung. In: *Die Auswirkungen des Dürrejahres 2018 auf den Wald in Brandenburg*. Eberswalder Forstliche Schriftenreihe Band 67. 115 S
- Leuschner C, Backes K, Hertel D, Schipka F, Schmitt U, Terborg O, Runge M (2001): Drought response at leaf, stem and fine root levels of competitive *Fagus sylvatica* L. and *Quercus petraea* (Matt.) Liebl. *Trees in dry and wet years*. *Forest Ecology and Management* 149(1-3): 33-46
- Mette T, Dolos K, Meinardus C, Bräuning A, Reineking B, Blaschke M, Pretsch H, Beierkuhnen 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, Cocchiaro 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.5588911>

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).

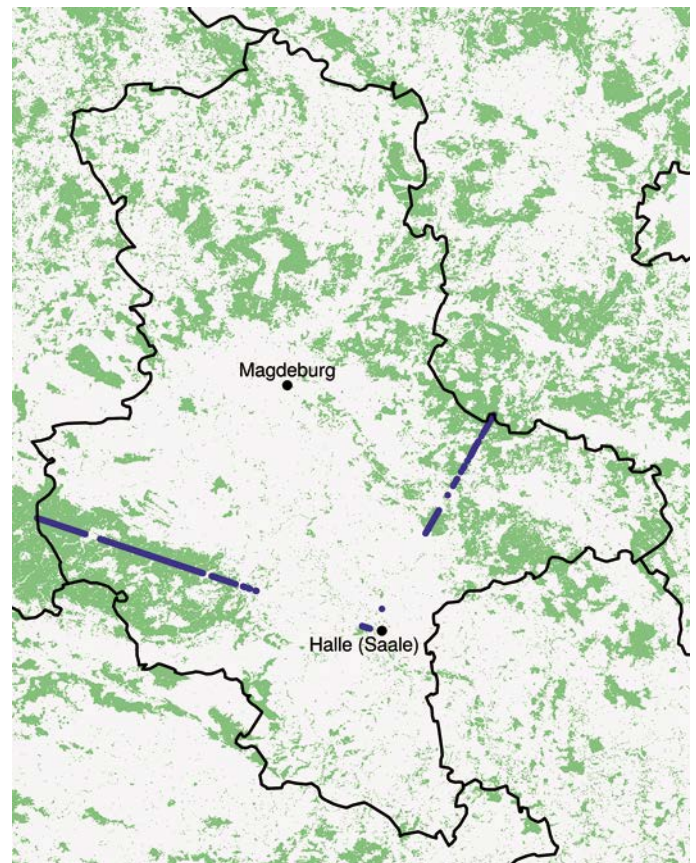


Foto: J. Evers

Ergebnisse

Im Folgenden werden Projektionen der absoluten Mittelhöhenbonität und der Leistungsklasse (LKL = dGZmax) für die Jahre 2000 und 2100 entlang eines Transektes vom Hohen Fläming über Dessau, Halle (Saale), das obere Selketal (Harz) bis zum Brocken 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 Standortunterschiede bedingte Streuung der projizierten Bonitäten durch einen Glättungsalgorithmus reduziert. Hier werden nur die Höhenbonitäten detaillierter analysiert. Bei einer Analyse der Leistungsklassen wäre zu beachten, dass die Volumenzuwächse der Baumarten bei gleicher Höhenbonität deutliche Unterschiede aufweisen.

Insbesondere für die Eiche, aber auch für Kiefer und Buche sind die Schätzungen für das Jahr 2000 in den Hochlagen des Oberharzes unsicher, da sie im Randbereich der Daten liegen,



Transekt vom Hohen Fläming über Dessau, Halle (Saale) und das obere Selketal (Harz) bis zum Brocken. Für diesen Transekt wird die Wuchsleistung für die Jahre 2000 und 2100 projiziert. Der Transekt beinhaltet ausschließlich Waldflächen.

Wachstum von Eiche, Buche, Fichte und Kiefer im Klimawandel

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 Wuchseistung zu analysieren.

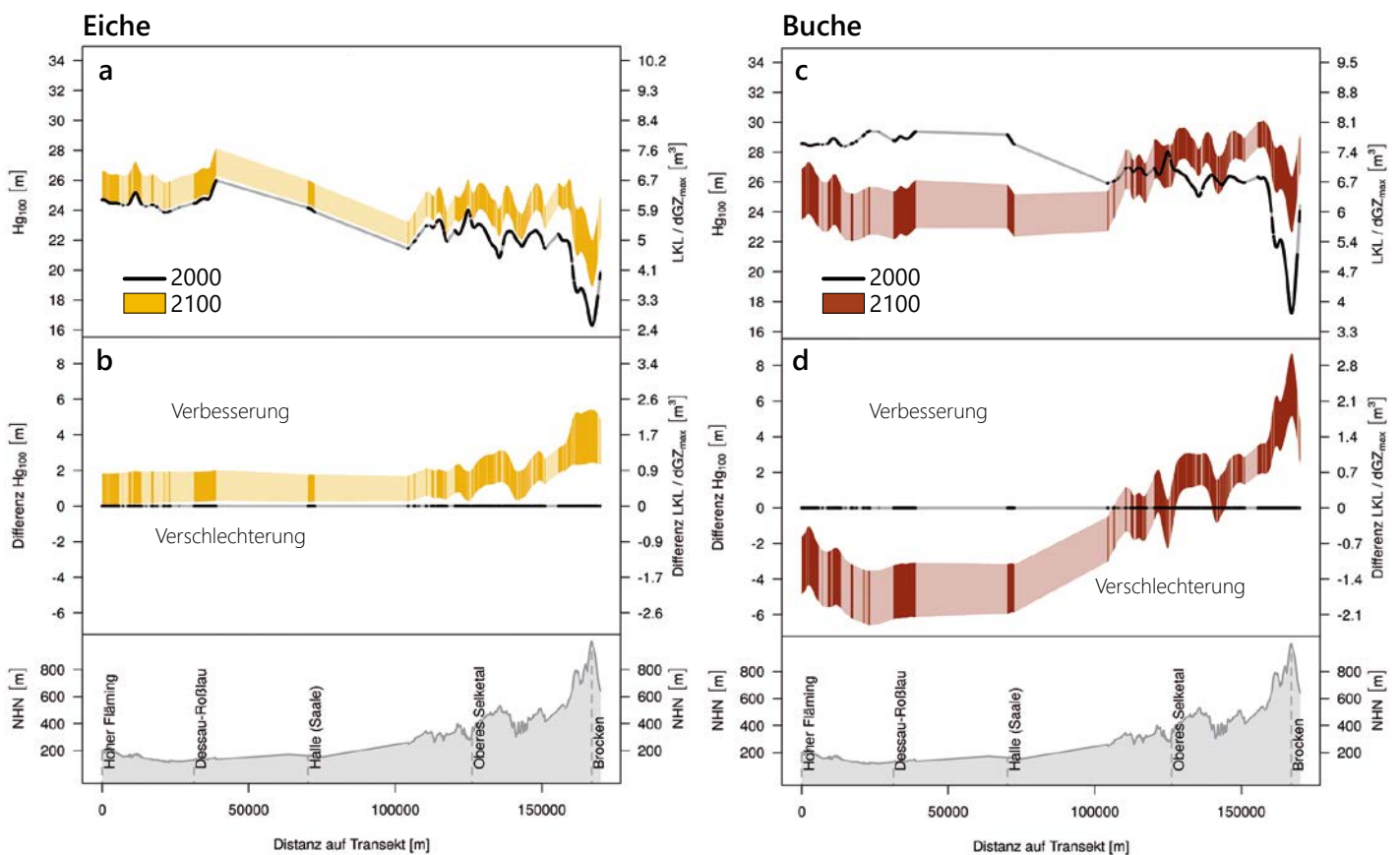
Für das Jahr 2000 zeigen die Modellschätzungen für **Eiche** im Bereich zwischen Fläming und Harzrand etwas höhere Bonitäten als im Harz. Ab einer Seehöhe von 450 m sinken die Bonitäten dann zum Brocken hin stark ab (Abb. unten, **Eiche a**). Der Vergleich mit den Projektionen für das Jahr 2100 zeigt für die Eiche ausnahmslos Bonitätsverbesserungen, wobei die Klimäläufe zwischen Fläming und Harzrand eine Zunahme von 0,1 - 2 m aufweisen (Abb. unten, **Eiche b**). Ab dem Harzrand nehmen die Bonitätsverbesserungen bis zu einer Seehöhe von 450 m weiter leicht zu, um in Richtung Brocken deutlich auf Werte zwischen 2 - 5 m anzusteigen. Im Vergleich mit den anderen Baumarten zeigt die Eiche die geringste Variabilität zwischen den verschiedenen Klimäläufen.

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



Foto: J. Evers

jedoch große Unterschiede zwischen den beiden Laubbaumarten, da für den Bereich vom Fläming bis zum Harzrand für alle Klimäläufe Bonitätsverschlechterungen von 1 - 6,5 m auftreten (Abb. unten, **Buche d**). In den tieferen Lagen des Harzes werden sowohl geringe Verschlechterungen als auch geringe Verbesserungen projiziert. Ab 400 m treten dann ausnahmslos Bonitätsverbesserungen auf, die am Brocken einen Maximalwert von 9 m erreichen. Aufgrund der deutlich empfindlicheren Reaktion der Buche gegenüber sich ändernden Klimafaktoren weisen Buche und Eiche im Tiefland im Jahr 2100 sehr ähnliche absolute Bonitäten auf, im Harz bleibt der absolute Bonitätsvorsprung der Buche bis 550 m in etwa gleich, während die Buche im Oberharz gegenüber der Eiche mit zunehmender Höhenlage deutlich stärker vom projizierten Klimawandel profitiert.



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 vom Hohen Fläming bis zum Brocken. 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

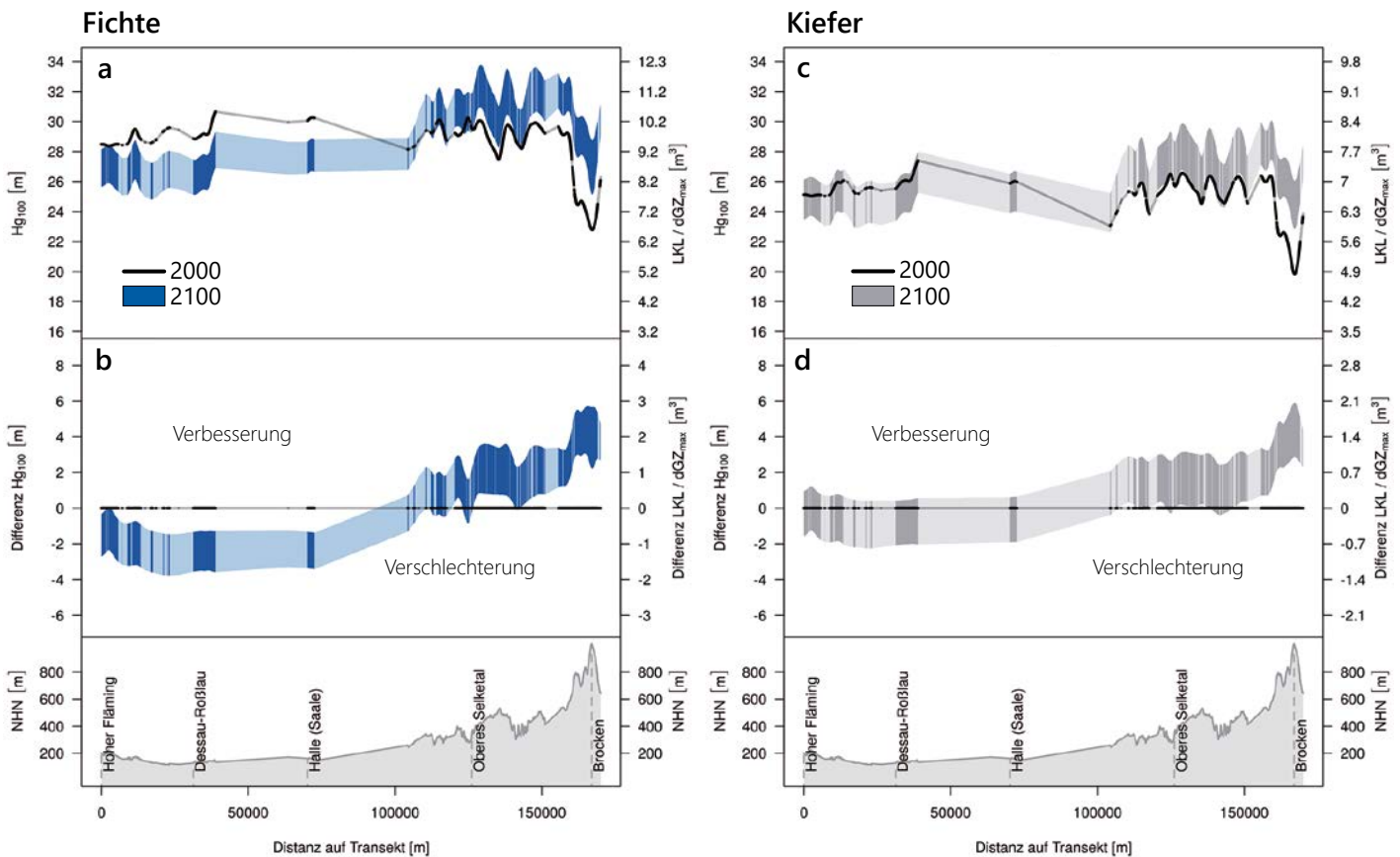


Foto: M. Spielmann

Für die **Fichte** werden für das Jahr 2000 vom Fläming bis zu Seehöhen von 450 m (Harz) relativ ähnliche Bonitäten geschätzt (Abb. unten, **Fichte a**). Ab dieser Höhenlage nimmt die Bonität der Fichte erst langsam und in Richtung des Brockens stark ab. Aufgrund ihrer geringen Ansprüche bzgl. der Temperatursumme sind die relativen Bonitätsveränderungen zwischen den mittleren Höhenlagen und den Hochlagen aller-

dings geringer als bei Buche und Eiche. Das Bonitätsniveau der Fichte liegt zwischen Fläming und Harz in etwa auf dem der Buche, im Harz deutlich darüber, wobei ihr Vorsprung mit steigender Seehöhe zunimmt. Bzgl. der Projektionen für das Jahr 2100 zeigt die Fichte ein ähnliches Muster wie die Buche. Vom Fläming bis zum Harzrand treten fast ausnahmslos Bonitätsverschlechterung von bis zu 4 m auf, im Harz werden bis 550 m Bonitätsverbesserungen zwischen 0,5 - 3,5 m projiziert, die mit weiter steigender Seehöhe auf 2,5 - 6 m ansteigen (Abb. unten, **Fichte b**). Allerdings sind weder die Bonitätsverschlechterungen zwischen Fläming und Harzrand noch die Verbesserungen ab 550 m so stark ausgeprägt wie bei der Buche. Daraus ergibt sich, dass die Bonitäten der Fichte in den Projektionen im Tiefland etwas über denen der Buche liegen. Im Harz bleibt der Abstand zwischen Fichte und Buche im Mittel etwa gleich, wobei große Unterschiede zwischen den einzelnen Standorten auftreten.

Wie für Fichte weisen die Bonitätsschätzungen für die **Kiefer** für das Jahr 2000 vom Fläming bis zu Seehöhen von 450 m (Harz) ein ähnliches Niveau auf und nehmen zum Brocken hin deutlich ab (Abb. unten, **Kiefer c**). Beim Vergleich mit den Projektionen für das Jahr 2100 weist die Kiefer zwischen Fläming und Harzrand ein Muster auf, das zwischen dem der Eiche und dem der Fichte liegt (Abb. unten, **Kiefer d**). So treten sowohl Klimäläufe mit Bonitätsverbesserungen als auch mit -verschlechterungen auf. Bereits ab dem Harzrand zeigen sich fast ausnahmslos Bonitätsverbesserungen, die wie bei Buche und Fichte ab 550 m deutlich ansteigen. Das Bonitätsniveau



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 Klimäläufe des ReKliEs-De-Kernensembles auf Basis des RCP 8.5 Klimaszenarios (farbige Bänder) entlang des in der Abb. Seite 34 dargestellten Transektes vom Hohen Fläming bis zum Brocken. 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

der Kiefer liegt aktuell im Tiefland etwas über dem der Eiche. Für das Jahr 2100 werden für beide Baumarten sehr ähnliche Bonitäten projiziert. Im Harz liegen die aktuellen Bonitäten der Kiefer bis 550 m etwas unterhalb und in den Hochlagen etwas oberhalb der Werte für die Buche. Für das Jahr 2100 werden für Kiefer und Buche im Harz ähnliche Bonitäten projiziert, wobei auch hier Unterschiede zwischen den einzelnen Standorten auftreten.

Als allgemeines Muster lässt sich für alle Baumarten festhalten, dass für die Standorte des Oberharzes, auf denen aktuell die Temperatursumme der begrenzende Wachstumsfaktor ist, deutliche Bonitätsverbesserungen projiziert werden. In den tieferen Lagen des Harzes werden je nach Baumart nur geringere Verbesserungen und teilweise Verschlechterungen projiziert. Im Tiefland werden für die Eiche nur relativ geringe Bonitätsverbesserungen, für Kiefer überwiegend Verschlechterungen und für 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. Als Folge dieser Trends werden die Bonitäten von Buche, Fichte und Kiefer im Jahr 2100 im Harz (mit Ausnahme der Hochlagen) im Mittel über den Werten im Tiefland liegen. Bei Eiche weisen die Tieflandstandorte im Jahr

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

2100 weiterhin etwas höhere Bonitäten als im Harz auf, wobei sich der Bonitätsunterschied aber verringern wird. 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. links).

Für eine umfassende Bewertung des Anpassungspotenzials der Baumarten im Rahmen einer multifunktionale 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 K, Toussaint 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, Krohler F, Polley H, Schmitz F, Schwitzgebel F 2017: Die dritte Bundeswaldinventur (BWI 2012): Inventur- und Auswertemethoden, 124 S
- Schaap M, Kruit RW, Hendriks C, Kranenburg R, Segers A, 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.5589032>

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

Als Waldmoore werden Moore (>30 cm Torfmächtigkeit) und Anmoore (<30 cm Torfmächtigkeit oder Anmoortorfe) verstanden, deren Wassereinzugsgebiete bewaldet sind – unabhängig davon, ob hier die Moorfläche selbst offen oder Gehölzbeständen 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 Jahresschwänge 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 Überlebenschancen 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.5589147>

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.



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.

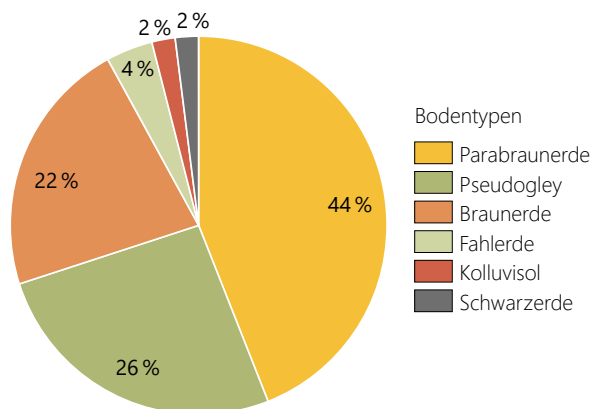
Bodentypen

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



Parabraunerde auf Lösslehm

Foto: H. Kasel



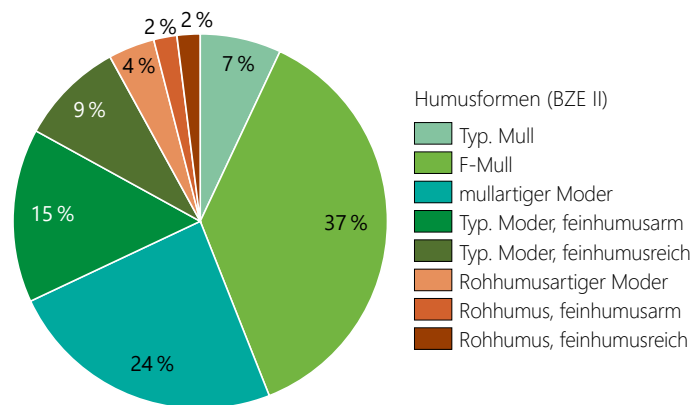
Verteilung der Bodentypen unter Wald in der Substratgruppe Lösslehm (BZE II, NW-FVA)

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 Kolluvisole. Unter Wald seltene Schwarzerden zeichnen sich durch tief in den Mineralboden eingearbeiteten Humus aus. Die prozentualen Anteile dieser Bodentypen unter Wald sind in der Abbildung auf Seite 41 dargestellt.

Humusformen

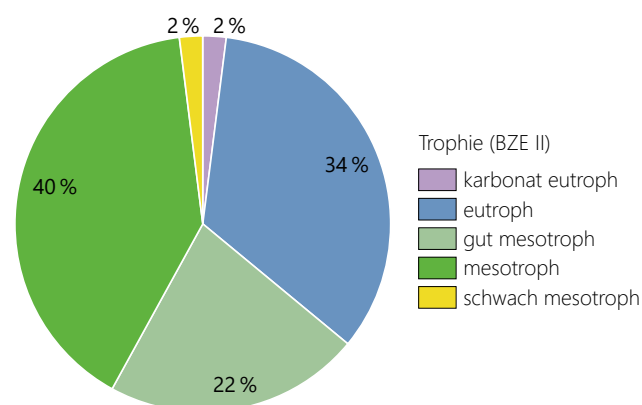
Die meisten Humusformen auf den Standorten der Lösslehme sind günstig: Insgesamt 44 % der betreffenden BZE-Punkte haben die Humusform Mull und 24 % die Humusform mullartiger Moder. 24 % der Lösslehmstandorte kennzeichnet der Moder. Auf 8 % kommen Rohhumusartiger Moder und Rohhumus vor, dies zeigt deutlich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



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

Trophie

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



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

Natürliche Waldgesellschaften und aktuelle Bestockung

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

Im Tiefland kommen neben den reicheren Waldmeister-Buchenwäldern die Flattergras-Buchenwälder vor. Zum Zeitpunkt der BZE II waren rund 60 % der Lösslehm-Standorte mit Laubwald – überwiegend Buche – und 40 % mit Nadelwald bestockt, hier hauptsächlich Fichtenbestände.

Physikalische und chemische Bodenkenngrößen

Aufgrund der typischen Porenverteilung mit vielen Mittelporen sowie wenig Grob- und Feinporen kann der Lössboden sehr viel Wasser speichern und gegen die Schwerkraft halten. Mit durchschnittlich knapp 200 mm nutzbarer Feldkapazität bis 1 m Bodentiefe speichern Lössböden von allen Waldböden die höchste Wassermenge. Die Trockenrohdichten liegen im mittleren Bereich, im Oberboden zwischen 1,0 bis 1,3 g/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, vergleht 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.

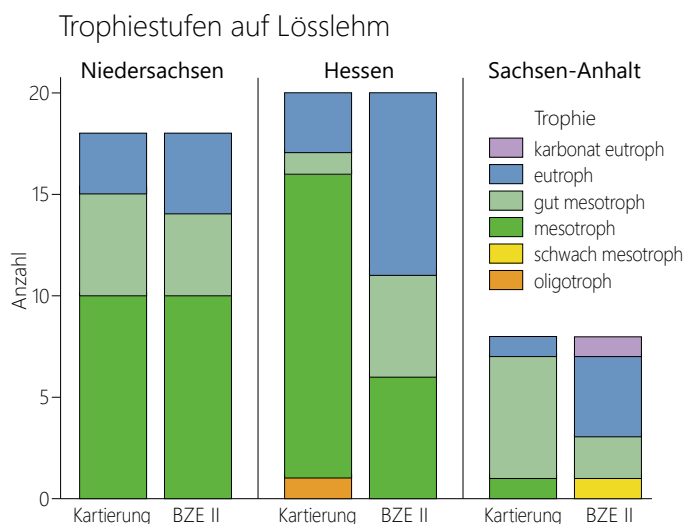
Je toniger ein Lössboden, desto höher ist seine Austauschkapazität und damit auch die mögliche Versorgung von Wäldern mit den austauschbaren Nährstoffen Calcium, Magnesium und Kalium. Der mittlere Vorrat an austauschbarem Calcium (Magnesium, Kalium) in Lössböden liegt in Niedersachsen bei knapp 5.000 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



SACHSEN-ANHALT

Ministerium für
Wirtschaft, Tourismus,
Landwirtschaft und Forsten

Impressum:

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

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

Titelfoto: Weymar J

Layout: Starick E

Herstellung: Nordwestdeutsche
Forstliche Versuchsanstalt

Druck: Printec Offset Kassel

Zitiervorschlag

Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt,
Ministerium für Wirtschaft, Tourismus, Land-
wirtschaft und Forsten des Landes Sachsen-
Anhalt (Hrsg.) (2021): Waldzustandsbericht
2021 für Sachsen-Anhalt, 44 S
<https://doi.org/10.5281/zenodo.5588321>

Zitate der Einzelbeiträge bitte nach
folgendem Schema:

Dammann I, Paar U (2021): WZE-Ergebnisse
für alle Baumarten. In: Nordwestdeutsche
Forstliche Versuchsanstalt, Ministerium für
Wirtschaft, Tourismus, Landwirtschaft und
Forsten des Landes Sachsen-Anhalt (Hrsg.):
Waldzustandsbericht 2021 für Sachsen-Anhalt.
S 8-17. <https://doi.org/10.5281/zenodo.5588382>

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.mwl.sachsen-anhalt.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



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