

# Waldzustandsbericht 2021







Liebe Leserin und lieber Leser,

das Klima ist im Wandel und damit auch unsere Wälder. Dürre, Stürme, Artensterben und Schädlinge treffen in den Wäldern aufeinander und wir müssen daran arbeiten, unsere Wälder auf den voranschreitenden Klimawandel vorzubereiten. Die Grundlage dafür bildet der seit elf Jahren in Zusammenarbeit mit der Nordwestdeutschen Forstlichen Versuchsanstalt erstellte Waldzustandsbericht für Schleswig-Holstein, dessen aktuelle Ausgabe ich Ihnen hier vorstellen darf.

Beim Aufbau klimaangepasster, stabiler Wälder müssen künftig standortsheimische Baumarten eine zentrale Rolle einnehmen. Mit der Bewahrung und Erhöhung der genetischen Variationsbreite dieser Baumarten kann die Anpassungsfähigkeit an sich wechselnde Umweltbedingungen gestärkt werden.

Die mittlere Kronenverlichtung für alle Baumarten und alle Alter beträgt in diesem Jahr 20 %. Bei keiner Baumartengruppe treten signifikante Veränderungen gegenüber 2019 und 2020 auf. Der Anteil starker Schäden für den Gesamtwald in Schleswig-Holstein ist 2021 allerdings erfreulicherweise rückläufig.

Mit Hilfe der von der Nordwestdeutschen Forstlichen Versuchsanstalt entwickelten Modelle lässt sich abschätzen, wie sich das Wachstum der Hauptbaumarten Eiche, Buche, Fichte und Kiefer unter veränderten Klimabedingungen in Schleswig-Holstein zukünftig entwickeln wird.

Moore haben eine überregionale Bedeutung für den Biotop- und Klimaschutz. In Wäldern befinden sich Moore, die aufgrund jahrzehntelanger Entwässerung und forstwirtschaftlicher Nutzung heute teilweise nicht mehr als solche zu erkennen sind. Daher bilden diese einen Schwerpunkt von Renaturierungsbemühungen in Schleswig-Holstein.

Die Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt leistet mit ihrer Arbeit einen wesentlichen Beitrag, um die Folgen des Klimawandels besser abschätzen zu können.

An dieser Stelle möchte ich mich bei allen Akteuren für die geleistete Arbeit im letzten Jahr bedanken und sie, liebe Leserinnen und Leser, lade ich ein, sich anhand der ausgewählten Themenbeiträge über aktuelle Forschungsergebnisse der Nordwestdeutschen Forstlichen Versuchsanstalt zu informieren.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Jan Albrecht'.

Jan Philipp Albrecht

Minister für Energiewende, Landwirtschaft, Umwelt, Natur und Digitalisierung  
des Landes Schleswig-Holstein



## Inhaltsverzeichnis

|                                                                                                                            | Seite |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Vorwort                                                                                                                    | 2     |
| <b>Inhaltsverzeichnis</b>                                                                                                  | 3     |
| <b>Hauptergebnisse</b>                                                                                                     | 4     |
| <b>Forstliches Umweltmonitoring</b><br>Ulrike Talkner, Inge Dammann und Uwe Paar                                           | 6     |
| <b>WZE-Ergebnisse für alle Baumarten</b><br>Inge Dammann und Uwe Paar                                                      | 8     |
| Buche                                                                                                                      | 10    |
| Eiche                                                                                                                      | 12    |
| Fichte                                                                                                                     | 14    |
| Kiefer                                                                                                                     | 15    |
| Andere Laub- und Nadelbäume                                                                                                | 16    |
| <b>Witterung und Klima</b><br>Johannes Suttmöller                                                                          | 18    |
| <b>Stoffeinträge</b><br>Birte Scheler                                                                                      | 23    |
| <b>Anpassungspotenziale heimischer Baumarten</b><br>Aki Michael Höltnen, André Hardtke und Wilfried Steiner                | 25    |
| <b>Wachstum von Eiche, Buche, Fichte und Kiefer im Klimawandel</b><br>Matthias Schmidt, Jan Schick und Thorsten Zeppenfeld | 29    |
| <b>Waldmoore – Erfassung und Renaturierungsperspektiven</b><br>Maria Aljes, Philipp Küchler und Marcus Schmidt             | 33    |
| Impressum                                                                                                                  | 36    |



# Hauptergebnisse

## Waldzustandserhebung (WZE)

Die Ergebnisse der Waldzustandserhebung 2021 sind für den Gesamtwald in Schleswig-Holstein gegenüber den beiden Vorjahren nahezu unverändert. Gemessen an der Gesamtzeitreihe der Waldzustandserhebung seit 1984 zeigen sich für die letzten drei Jahre erhöhte Werte der mittleren Kronenverlichtung und der Absterberate.

Die mittlere Kronenverlichtung für alle Baumarten und alle Alter beträgt in diesem Jahr 20 %. Bei keiner Baumartengruppe treten signifikante Veränderungen gegenüber 2020 auf.

Der Anteil starker Schäden für den Gesamtwald in Schleswig-Holstein ist 2021 rückläufig. Nach 4,7 % im Vorjahr sind 2021 2,7 % der Stichprobenbäume als stark geschädigt eingestuft worden. Allein bei den anderen Nadelbäumen ist der Rückgang der starken Schäden deutlich, für die anderen Baumartengruppen sind die Veränderungen gegenüber dem Vorjahr gering.

Die diesjährige Absterberate liegt mit 0,6 % über dem langjährigen Durchschnitt (0,2 %). Am höchsten ist die Absterberate 2021 bei der Gruppe der anderen Laubbäume (1 %), am niedrigsten bei der Kiefer (0 %).

Die Ausfallrate entspricht 2021 mit 0,8 % fast dem langjährigen Mittel (0,7 %). Es sind vor allem Eschen entnommen worden.

Die Baumartenverteilung in der WZE-Stichprobe 2021 in Schleswig-Holstein ergibt für die Buche einen Flächenanteil von 25 %, die Fichte ist mit 17 %, die Eiche mit 14 % und die Kiefer mit 6 % an der WZE-Stichprobe vertreten. Die anderen Laub- und Nadelbäume nehmen zusammen einen Anteil von 38 % ein.

## Witterung und Klima

Im Vegetationsjahr 2020/2021 fiel die Niederschlagsbilanz mit rund 750 mm im Flächenmittel des Landes ausgeglichen aus. Die Vegetationszeit war in weiten Teilen Schleswig-Holsteins deutlich feuchter als normal, sodass das pflanzenverfügbare Wasser in den Waldböden ausreichte, um die Wasserversorgung der Waldbestände zu gewährleisten. Auch das Vegetationsjahr 2020/2021 war im Vergleich zur Klimaperiode



Foto: J. Evers

1961-1990 zu warm. Die Jahresmitteltemperatur lag um 1,4 K über dem langjährigen Wert von 8,3 °C. Besonders das kühle Frühjahr sorgte dafür, dass die Temperaturerhöhung nicht stärker ausfiel. Ein Vergleich der Klimaperiode 1961-1990 mit der neuen Referenzperiode von 1991-2020 zeigt deutlich, dass die Klimaveränderung in Schleswig-Holstein bereits zu einer signifikanten Erwärmung geführt hat.

## 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 als auch von anorganischem Stickstoff hat 2020 weiter abgenommen. 2020 betrug der Sulfatschwefeleintrag mit der Gesamtdosition 3,8 kg je Hektar, der anorganische Stickstoffeintrag lag bei 14,2 kg je Hektar. Dies sind nach dem extrem niederschlagsarmen Jahr 2018 die jeweils zweitniedrigsten Werte der 32-jährigen Zeitreihe.

## 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.



Foto: J. Evers



# Hauptergebnisse

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

## Wachstum von Eiche, Buche, Fichte und Kiefer im Klimawandel

Mit an der NW-FVA entwickelten Standort-Leistungs-Modellen lässt sich abschätzen, wie sich das Wachstum der Hauptbaumarten Eiche, Buche, Fichte und Kiefer unter veränderten Klimabedingungen in verschiedenen Regionen in Schleswig-Holstein und Niedersachsen entwickeln wird. In Schleswig-Holstein werden Wälder bei Bad Segeberg und östlich von Mölln betrachtet. Für Niedersachsen führt der Transekt von den Harburger Bergen über die Heide und den Harz bis in den Kaufunger Wald. Für die Wälder werden die Projektionen der Mittelhöhe und der Leistungsklasse für die Jahre 2000 und 2100 gegenübergestellt.

Die Modellschätzungen projizieren für alle vier Baumarten für 2100 eine Bonitätsverbesserung in der Region Bad Segeberg im Vergleich zum Jahr 2000. Für die Wälder östlich von Mölln ist für Eiche, Fichte und Kiefer ebenfalls eine Verbesserung der Wuchsleistung zu erwarten, für Buche ist das Ergebnis nicht eindeutig, da einige Klimäläufe eine Verschlechterung anzeigen. Insgesamt zeichnet sich bei Eiche und Kiefer für die untersuchten Standorte in Schleswig-Holstein eine Steigerung der Wuchsleistung ab, bei Buche und Fichte kann zukünftig auf 26 bzw. 78 % der Standorte von einer Verbesserung der Wuchsleistung ausgegangen werden.

## 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.



Foto: J. Evers



# Forstliches Umweltmonitoring

Ulrike Talkner, Inge Dammann und Uwe Paar

<https://doi.org/10.5281/zenodo.5717771>

Das Forstliche Umweltmonitoring hat eine langjährige Geschichte und eröffnet damit einen guten Einblick in die Veränderung der Waldökosysteme. Die Umweltbedingungen haben sich in den vergangenen Jahrzehnten kontinuierlich verändert, aber das Ausmaß und die Geschwindigkeit der aktuellen Klimaveränderungen sind in der Geschichte des Forstlichen Umweltmonitorings einmalig. Die Waldschäden zu Zeiten des sauren Regens waren deutlich zu sehen, doch übertreffen die aktuellen Schäden in bestimmten Regionen und für einige Baumarten das damalige Ausmaß. Seit den 1980er Jahren wurden erfolgreich politische Maßnahmen ergriffen, um die versauernden Einträge in die Wälder zu minimieren. Nun stellt sich die Frage, ob wir auch erfolgreich in der Eindämmung des Klimawandels sein werden. Fest steht, dass die Reduzierung der CO<sub>2</sub>-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 (Experimentalfächen)

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

Die methodischen Instrumente des Forstlichen Umweltmonitorings sind europaweit nach den Grundsätzen des ICP Forests (2016) harmonisiert. Die Waldzustandserhebung (WZE) liefert als Übersichtserhebung Informationen zur Vitalität der Waldbäume unter dem Einfluss sich ändernder Umweltbedingungen. Das Stichprobenraster der Waldzustandserhebung ist darauf ausgelegt, die gegenwärtige Situation des Waldes landesweit repräsentativ abzubilden. Das Ergebnis ist das Gesamtbild des Waldzustandes für das Bundesland. Die Stichprobe der Waldzustandserhebung vermittelt ein zahlenmäßiges Bild zu dem Einfluss von Stürmen, Witterungsextremen sowie Insekten- und Pilzbefall. Lokale Befunde, wie sturmgefallene Bäume oder ein extremer Befall der Kiefer durch Pilze, können allerdings von dem landesweiten Ergebnis abweichen. Verschiedene Auswertungen belegen eine hohe Repräsentativität des Rasternetzes für verschiedene Fragestellungen.



Elektronische Zuwachsmessung

Foto: J. Weymar

## Waldzustandserhebung – Methodik und Durchführung Aufnahmeumfang

Die Waldzustandserhebung erfolgt auf mathematisch-statistischer Grundlage. Auf einem systematisch über Schleswig-Holstein verteilten Rasternetz werden seit 1984 an jedem Erhebungspunkt 24 Stichprobenbäume begutachtet. Für den Zeitraum 1984-2012 beträgt die Rasterweite des landesweiten Stichprobennetzes 2 x 2 km, 2 x 4 km, 4 x 2 km und 4 x 4 km mit 148 bis 200 Erhebungspunkten. Alle Stichprobenbäume wurden mit gleicher Gewichtung bei der Berechnung der Ergebnisse berücksichtigt.

Im Vorfeld der Erhebung 2013 wurde ein landesweit einheitliches Erhebungsraster (4 km x 2 km) mit jetzt 129 Stichprobenpunkten eingerichtet. 2021 konnten 128 Erhebungspunkte in die Inventur einbezogen werden. Dieser Aufnahmeumfang ermöglicht repräsentative Aussagen zum Waldzustand auf Landesebene sowie Zeitreihen für die Baumarten Buche, Eiche, Fichte, Kiefer und die Gruppen der anderen Laub- und Nadelbäume.

Die Aufnahmen zur Waldzustandserhebung erfolgten im Juli und August 2021. Sie sind mit qualitätssichernden Maßnahmen sorgfältig überprüft.

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



# Forstliches Umweltmonitoring

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

## 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 Schleswig-Holstein. Das 95 %-Konfidenzintervall (= Vertrauensbereich) gibt den Bereich an, in dem der wahre Mittelwert mit einer Wahrscheinlichkeit von 95 % liegt.*

| Baumarten-gruppe  | Alters-gruppe                               | Anzahl Bäume | Anzahl Plots | Raster | 95%-Konfidenz-intervall (+/-) |
|-------------------|---------------------------------------------|--------------|--------------|--------|-------------------------------|
| Buche             | alle Alter<br>bis 60 Jahre<br>über 60 Jahre | 771          | 71           | 4x2 km | 3,5                           |
|                   |                                             | 208          | 25           | 4x2 km | 3,0                           |
|                   |                                             | 563          | 50           | 4x2 km | 3,5                           |
| Eiche             | alle Alter<br>bis 60 Jahre<br>über 60 Jahre | 439          | 64           | 4x2 km | 3,3                           |
|                   |                                             | 134          | 22           | 4x2 km | 3,5                           |
|                   |                                             | 305          | 49           | 4x2 km | 2,8                           |
| Fichte            | alle Alter<br>bis 60 Jahre<br>über 60 Jahre | 525          | 59           | 4x2 km | 3,8                           |
|                   |                                             | 157          | 18           | 4x2 km | 7,4                           |
|                   |                                             | 368          | 43           | 4x2 km | 3,9                           |
| Kiefer            | alle Alter<br>bis 60 Jahre<br>über 60 Jahre | 169          | 20           | 4x2 km | 1,9                           |
|                   |                                             | 24           | 4            | 4x2 km | 6,7                           |
|                   |                                             | 145          | 16           | 4x2 km | 2,0                           |
| andere Laubbäume  | alle Alter<br>bis 60 Jahre<br>über 60 Jahre | 698          | 79           | 4x2 km | 3,6                           |
|                   |                                             | 420          | 40           | 4x2 km | 2,7                           |
|                   |                                             | 278          | 47           | 4x2 km | 6,4                           |
| andere Nadelbäume | alle Alter<br>bis 60 Jahre<br>über 60 Jahre | 470          | 51           | 4x2 km | 4,5                           |
|                   |                                             | 178          | 20           | 4x2 km | 6,9                           |
|                   |                                             | 292          | 33           | 4x2 km | 6,4                           |
| alle Baumarten    | alle Alter<br>bis 60 Jahre<br>über 60 Jahre | 3072         | 128          | 4x2 km | 1,8                           |
|                   |                                             | 1121         | 58           | 4x2 km | 2,3                           |
|                   |                                             | 1951         | 93           | 4x2 km | 2,0                           |



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 Aufnahmekollektiv aus. Der Ausfallgrund wird für jeden Stichprobenbaum dokumentiert. Gründe für den Ausfall sind u. a. Durchforstungsmaßnahmen, methodische Gründe (z. B. wenn der Stichprobenbaum nicht mehr zu den Baumklassen 1-3 gehört), Sturmschäden oder außerplanmäßige Nutzung aufgrund von Insektenschäden.

Dort, wo an den WZE-Punkten Stichprobenbäume ausfallen, werden nach objektiven Vorgaben Ersatzbäume ausgewählt. Sind aufgrund großflächigen Ausfalls der Stichprobenbäume keine geeigneten Ersatzbäume vorhanden, ruht der WZE-Punkt, bis eine Wiederbewaldung vorhanden ist.

Die im Bericht aufgeführte Ausfallrate ergibt sich aus den infolge von Sturmschäden, Trockenheit und Insekten- oder Pilzbefall (insbesondere durch Borkenkäfer) am Stichprobenpunkt entnommenen Bäumen.

## Literatur

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



# WZE-Ergebnisse für alle Baumarten

Inge Dammann und Uwe Paar  
<https://doi.org/10.5281/zenodo.5717785>

## Mittlere Kronenverlichtung

Die Waldzustandserhebung 2021 weist eine mittlere Kronenverlichtung für die Waldbäume in Schleswig-Holstein (alle Baumarten, alle Alter) von 20 % auf und bleibt damit gegenüber den beiden Vorjahren unverändert.

Nachdem in den ersten drei Erhebungsjahren (1984-1986) relativ geringe Verlichtungswerte (11 %) ermittelt wurden, stiegen in den Folgejahren die Verlichtungswerte an, am höchsten waren sie 2004 (24 %). Die Zunahme der Kronenverlichtung im Jahr 2004 ist bei allen Baumartengruppen aufgetreten. Buchen, Eichen, Fichten und Kiefern hatten im Anschluss an das Extremjahr 2003 die höchsten Verlichtungswerte in der Zeitreihe. In den Folgejahren gingen die Verlichtungswerte zurück. Nach einer stabilen Phase von 2012 bis 2017 führte die Trockenheit 2018 zunächst bei den anderen Laubbäumen zu Trockenstresssymptomen und einem Anstieg der Kronenverlichtung. 2019 stiegen auch die Verlichtungswerte der älteren Fichten und Buchen an. Während die Buchen und die anderen Laubbäume 2020 und 2021 wieder besser belaubt waren, stiegen die Fichtenwerte 2020 an und stagnieren 2021. Ältere Eichen und Kiefern reagierten nur moderat auf die Witterungsbedingungen der letzten Jahre. In der Gruppe der anderen Nadelbäume weisen die Sitkafichten seit 2020 vermehrt Schäden auf.

Die Buchen und die anderen Laubbäume, zu denen u. a. Birke, Esche und Ahorn gehören, nehmen zusammen fast die Hälfte der Waldfläche in Schleswig-Holstein ein. Die Ergebnisse der Waldzustandserhebung für den Gesamtwald sind daher stark durch die Verlichtungswerte dieser beiden Baumartengruppen geprägt.

Mittlere Kronenverlichtung in %

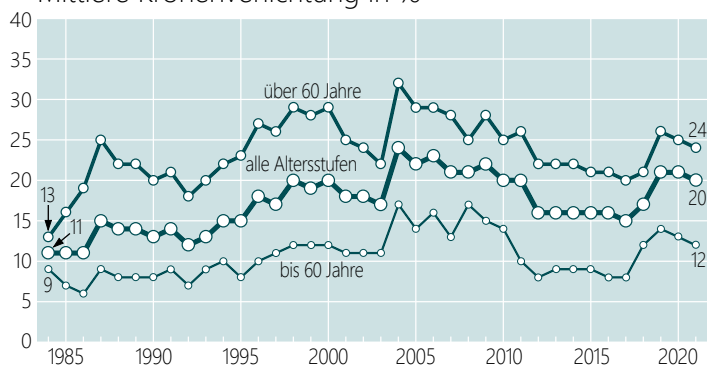


Foto: J. Evers

Einen bedeutsamen Einfluss auf das Gesamtergebnis hat die Altersstruktur der Waldbestände, denn in den jüngeren bis 60-jährigen Beständen sind Schadsymptome sehr viel weniger verbreitet als in den älteren über 60-jährigen Waldbeständen. Die mittlere Kronenverlichtung der über 60-jährigen Waldbestände liegt mit 24 % doppelt so hoch wie die der jüngeren Waldbestände (12 %). Im WZE-Kollektiv sind zwei Drittel der Stichprobenbäume älter als 60 Jahre.

## Anteil starker Schäden

Nach einem Anstieg der starken Schäden 2019 und 2020 wurden 2021 2,7 % der Waldfläche als stark geschädigt eingestuft. Die Spanne reicht von 1,6 % (Eiche) bis 4,2 % (andere Laubbäume).

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 %

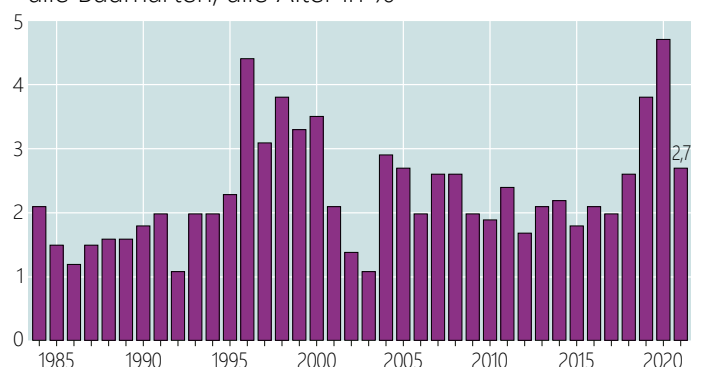


Foto: J. Evers



# WZE-Ergebnisse für alle Baumarten

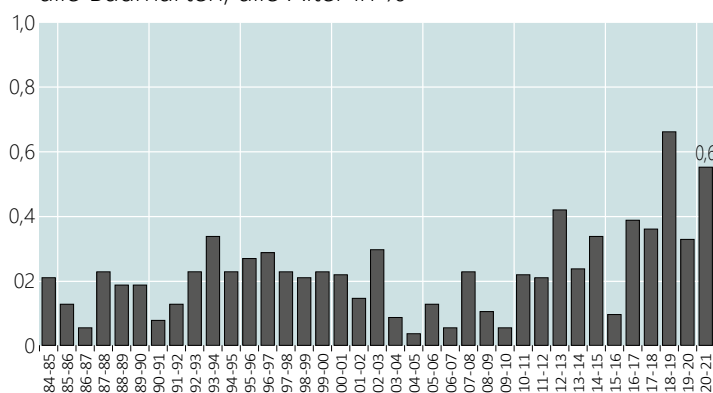
## Absterberate

Zur Absterberate werden Bäume gezählt, die zum Zeitpunkt der Erhebung noch stehen, aber neu abgestorben sind. Im Mittel der Beobachtungsjahre ergibt sich mit 0,2 % eine sehr geringe Absterberate. Mit 0,6 % ist 2021 der zweithöchste Wert in der Zeitreihe seit 1984 erreicht. Nur 2019 war die Absterberate höher (0,7 %). 2021 ist keine Kiefer im WZE-Kollektiv abgestorben, die höchste Absterberate weist die Gruppe der anderen Laubbäume auf (1 %).

## Ausfallrate

Die Ausfallrate ist das Ergebnis der infolge von Sturmwurf, Trockenheit, Insekten- und Pilzbefall am Stichprobenpunkt entnommenen Bäume. Im Zeitraum 1997-2021 liegen die

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



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

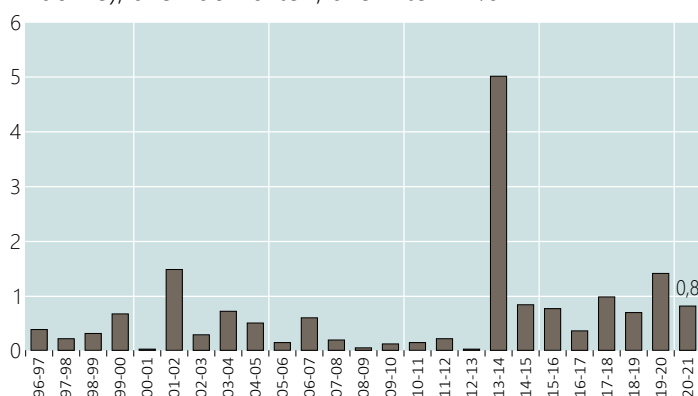


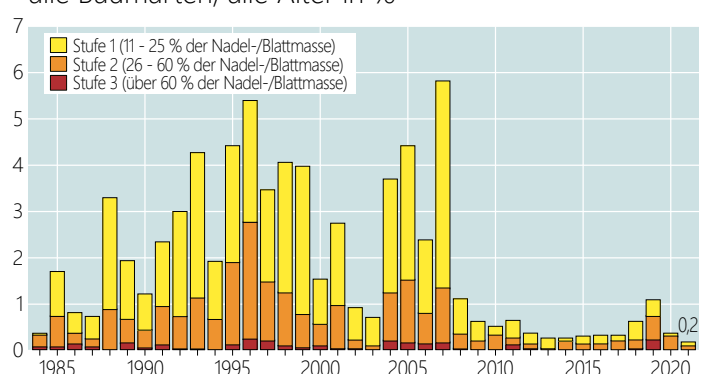
Foto: J. Evers

jährlichen Ausfallraten zwischen 0,02 und 5 %, im Mittel bei 0,7 %. Durch die Orkane „Christian“ und „Xaver“ im Herbst/ Winter 2013 waren die Ausfälle durch Sturmschäden bei der WZE 2014 höher als in anderen Jahren. Vor allem Fichten und die Gruppe der anderen Nadelbäume waren betroffen. 2021 sind 0,8 % der Stichprobenbäume ausgefallen.

## Vergilbungen

Vergilbungen der Nadeln und Blättern sind im Beobachtungszeitraum insgesamt wenig aufgetreten. Der Anteil an Bäumen mit Vergilbungen über 10 % der Nadel- bzw. Blattmasse liegt zwischen 0,2 und 6 %. Ein zeitlicher Trend zeichnet sich nicht ab, seit 2008 sind aber durchgehend niedrige Vergilbungswerte ermittelt worden.

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



## Fazit

Die mittlere Kronenverlichtung für den Gesamtwald in Schleswig-Holstein ist 2021 gegenüber den beiden Vorjahren unverändert. Für die älteren Eichen und Kiefern blieben die Verlichtungswerte in den letzten Jahren fast konstant, bei der älteren Buche gab es 2019 einen kurzfristigen Anstieg, die älteren Fichten und die anderen Laub- und Nadelbäume (alle Alter) behalten 2021 ein erhöhtes Schadniveau bei. Der Anteil starker Schäden und der Anteil der als Schadholz entnommenen Bäume (Ausfallrate) sind 2021 durchschnittlich, die Absterberate ist gegenüber dem Mittelwert erhöht.



Foto: J. Evers



# Buche

## Ältere Buche

Nachdem die älteren Buchen 2019 eine hohe mittlere Kronenverlichtung aufwiesen (33 %), sind die älteren Buchen 2021 mit 24 % mittlerer Kronenverlichtung wieder besser belaubt. In den ersten beiden Erhebungsjahren war die Belaubungsdichte der Buchen vergleichsweise niedrig, in den Folgejahren stiegen die Kronenverlichtungswerte sprunghaft an. Höchstwerte der Kronenverlichtung traten in den Jahren 2000 und 2004 auf. Seit 1987 liegen die Verlichtungswerte der älteren Buchen relativ hoch und erhebliche Schwankungen von Jahr zu Jahr sind typisch für die Zeitreihe. Eine Ursache für die zunehmende Variabilität der Verlichtungswerte ist die Intensität der Fruchtbildung.

## Jüngere Buche

Bei den Buchen sind die Unterschiede in der Belaubungsdichte zwischen jüngeren und älteren Beständen besonders stark ausgeprägt. Die jüngeren Buchen wiesen seit 2010 ein geringes Kronenverlichtungsniveau um 5 % auf. 2019 war der Wert erhöht (9 %), hob sich aber nicht deutlich von den Befunden früherer Jahre ab. 2021 beträgt die mittlere Kronenverlichtung 7 %.

Da die Blühreife der Buche erst mit einem Alter von 40 bis 60 Jahren einsetzt, wird die Kronenentwicklung der jüngeren Buchen kaum durch die Fruchtbildung beeinflusst.

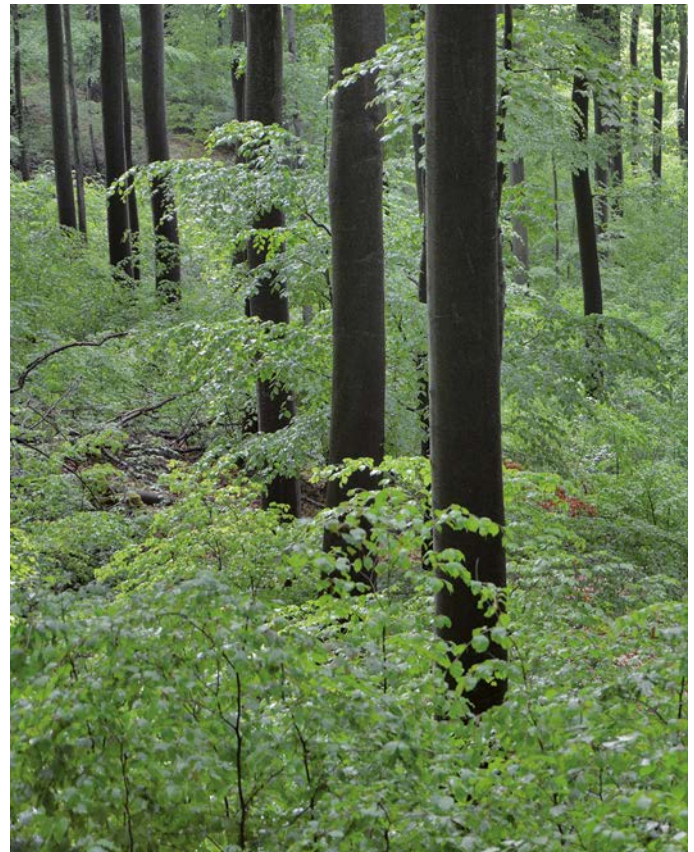
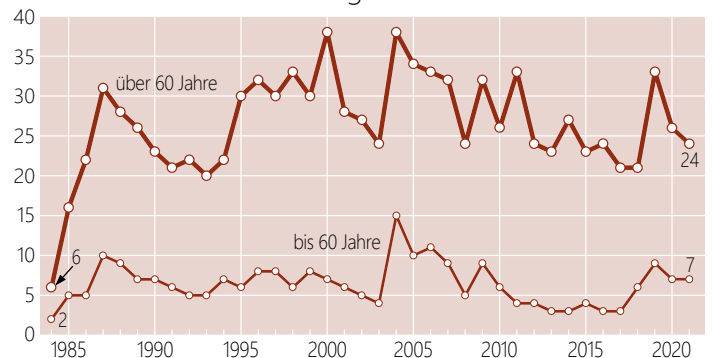


Foto: J. Evers



Foto: J. Evers

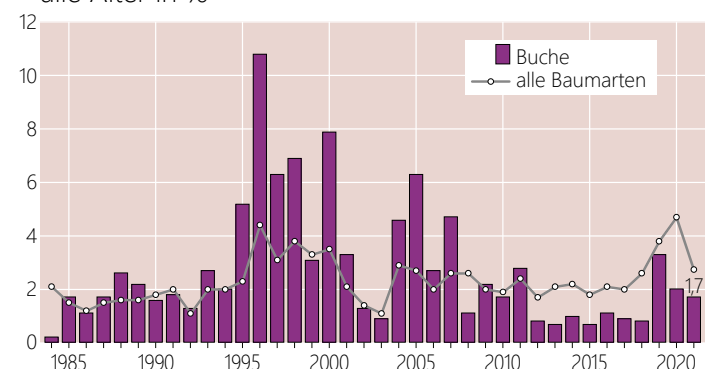
Mittlere Kronenverlichtung in %



## Starke Schäden

Wie beim Verlauf der mittleren Kronenverlichtung, treten auch beim Anteil starker Schäden bei den Buchen (alle Alter) im Beobachtungszeitraum erhebliche Schwankungen zwischen 0,2 und 10,8 % auf. 2021 liegt der Anteil stark geschädigter Buchen mit 1,7 % unter dem langjährigen Mittel (2,7 %).

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





# Buche

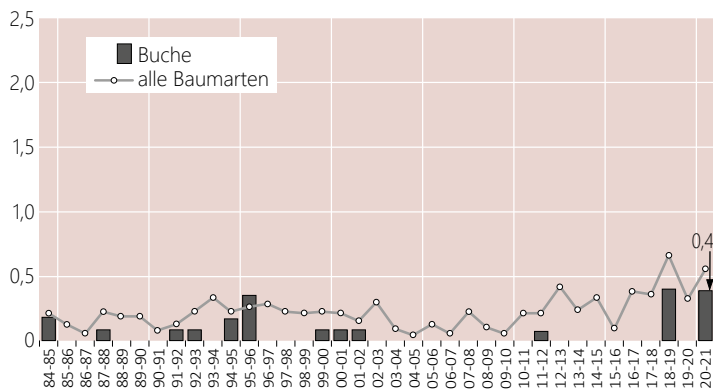
## Absterberate

Obwohl die Anteile starker Schäden bei den Buchen in einzelnen Jahren angestiegen waren, führte dies nicht zu einer Steigerung der Absterberate. Im Vergleich zu den anderen Hauptbaumarten weisen die Buchen die niedrigste Absterberate auf. Im Mittel der Jahre 1984-2021 liegt sie bei 0,06 %. 2021 ist die Absterberate erhöht (0,4 %). Gerade weil in den letzten Jahrzehnten kaum Buchen abgestorben sind, sind die Absterbeerscheinungen 2019 und 2021 besonders auffällig.

## Ausfallrate

Die durchschnittliche Ausfallrate ist bei den Buchen vergleichsweise niedrig (0,2 %). 2014, 2015 und 2018 sind durch Sturmschäden vermehrt Buchen ausgefallen. 2021 sind 0,1 % der Buchen als Schadholz entnommen worden.

Jährliche Absterberate (stehende Bäume), alle Alter in %



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

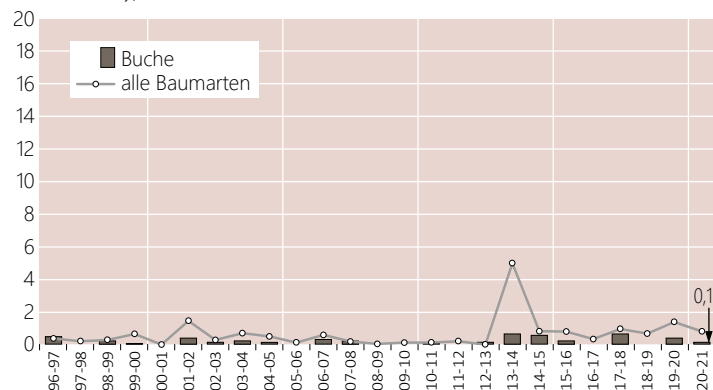


Foto: J. Weymar

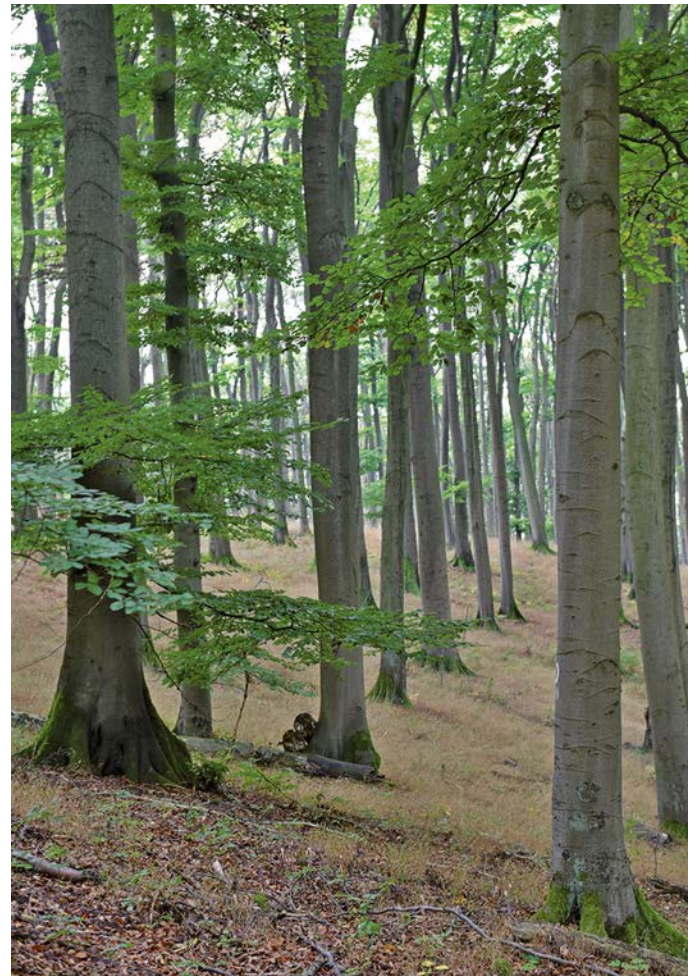
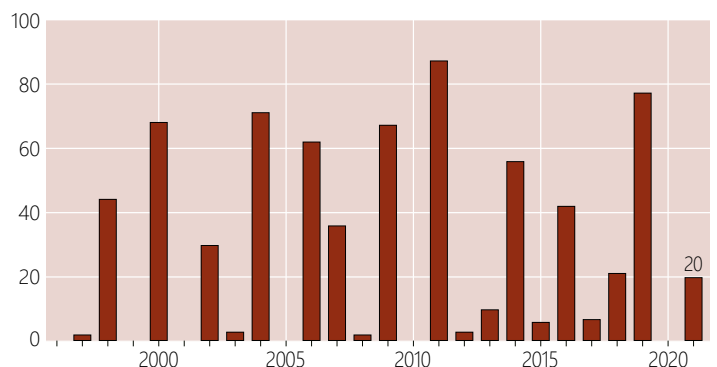


Foto: J. Evers

## Fruchtbildung

Die Ergebnisse zur Fruchtbildung im Rahmen der Waldzustandserhebung zeigen für die Buchen die Tendenz, in kurzen Abständen und vielfach intensiv zu fruktifizieren. Dies steht im Zusammenhang mit einer Häufung warmer Jahre sowie einer erhöhten Stickstoffversorgung der Bäume. Die intensivste Fruchtbildung wurde 2011 festgestellt, 87 % der älteren Buchen wiesen mittlere oder starke Fruchtbildung auf. 2021 haben 20 % mittel oder stark fruktifiziert. 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 Zeitraum 1996-2021 alle 2,6 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 %





# Eiche

## Ältere Eiche

Die Zeitreihe der mittleren Kronenverlichtung der älteren Eichen weist zu Beginn relativ niedrige Verlichtungswerte aus, es folgt ein rascher Anstieg der Verlichtung mit besonders hohen Kronenverlichtungswerten in den Jahren 1999 sowie 2004 und 2005. Seitdem sind die Werte nur leicht zurückgegangen. Ab 2008 wird ein relativ konstanter Kronenverlichtungswert (2021: 25 %) ermittelt.

Die Entwicklung des Kronenzustandes der Eichen wird durch Insekten- und Pilzbefall beeinflusst. Die periodische Vermehrung von Insekten der so genannten Eichenfraßgesellschaft trägt maßgeblich zu Schwankungen der Belaubungsdichte der Eichen bei. Seit 2014 wurden kaum mittlere oder starke Schäden durch Insektenfraß beobachtet.

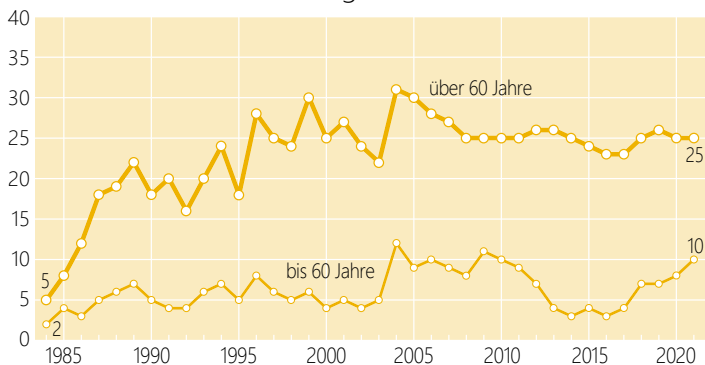


Foto: F. Reinbold

## Jüngere Eiche

Die Kronenentwicklung der Eichen in der Altersstufe bis 60 Jahre zeigt einen sehr viel günstigeren Verlauf als die Entwicklung der älteren Eichen. Von 1984–2003 wurden Verlichtungswerte zwischen 2 und 8 % ermittelt, nach dem Trockensommer 2003 lag die mittlere Kronenverlichtung höher (8 bis 12 %), von 2012–2017 wurden wieder niedrigere Verlichtungswerte festgestellt. Anschließend zeigt sich dann wieder ein Anstieg (2021: 10 %).

Mittlere Kronenverlichtung in %



## Starke Schäden

Der Mittelwert der starken Schäden in der Zeitreihe liegt für die Eiche (alle Alter) bei 1,3 %. Eine Phase mit erhöhten Anteilen starker Schäden (bis 3,9 %) wird für die Eichen im Zeitraum 1996–1999 in Verbindung mit intensivem Insektenfraß verzeichnet. Anschließend sind die starken Schäden wieder zurückgegangen, 2021 wurden 1,6 % der Eichen als stark geschädigt eingestuft.

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

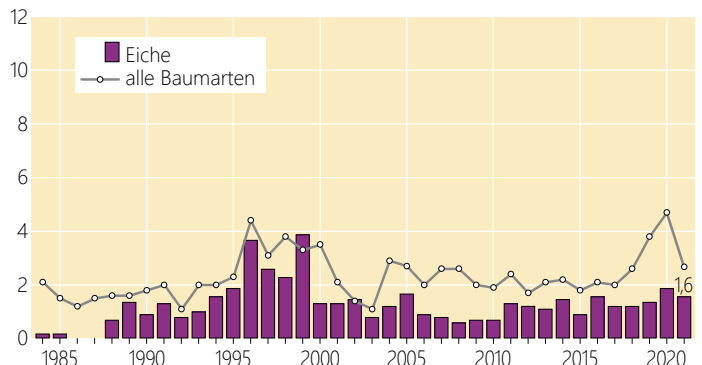


Foto: J. Weymar



# Eiche

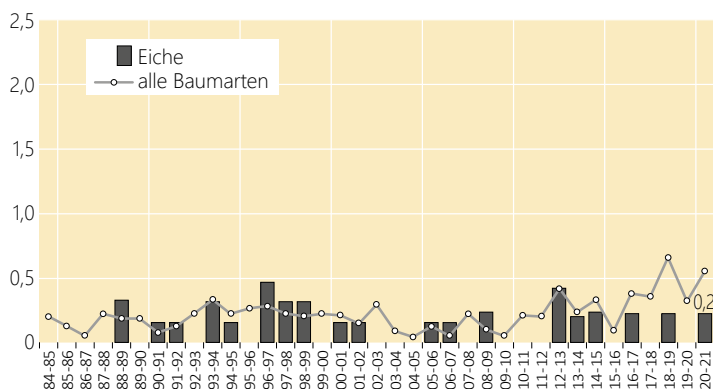


Foto: M. Spielmann

## Absterberate

Im Mittel der Jahre 1984-2021 ist die Absterberate der Eichen niedrig (0,1 %). Überdurchschnittliche Absterberaten wurden vor allem im Anschluss an starken Insektenfraß ermittelt, am höchsten war die Absterberate 1997 (0,5 %) und 2013 (0,4 %). 2021 sind 0,2 % der Eichen abgestorben.

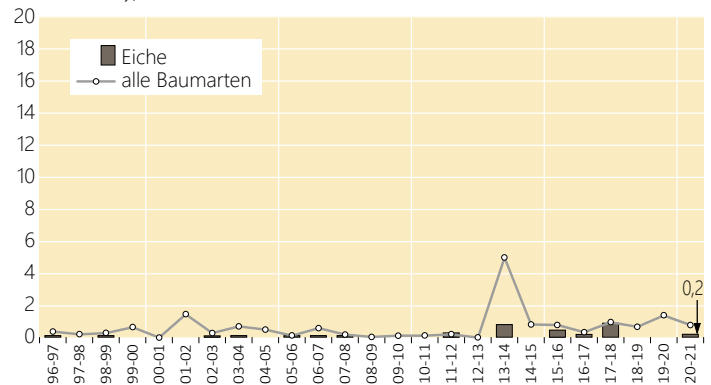
Jährliche Absterberate (stehende Bäume), alle Alter in %



## Ausfallrate

Die Ausfallrate der Eichen ist sehr niedrig und liegt in allen Erhebungsjahren unter dem Wert für den Gesamtwald in Schleswig-Holstein. 2014 (0,9 %) und 2018 (0,9 %) gab es Abweichungen vom Mittelwert der Ausfallrate (0,2 %). 2019 und 2020 sind keine Eichen außerplanmäßig (aufgrund von Sturmschäden oder Insektenbefall) entnommen worden, 2021 waren es 0,2 %.

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



## Fruchtbildung

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



Foto: J. Evers



# Fichte

## Ältere Fichte

Im Beobachtungszeitraum werden für die älteren Fichten von 1984 bis 2011 anhaltend hohe Kronenverlichtungswerte bis zu 37 % (2006) festgestellt. Ab 2012 ist ein deutlicher Rückgang der Verlichtungswerte zu verzeichnen. Seit 2019 setzt sich diese Entwicklung nicht fort, die mittlere Kronenverlichtung beträgt 2021 wie im Vorjahr 27 %.

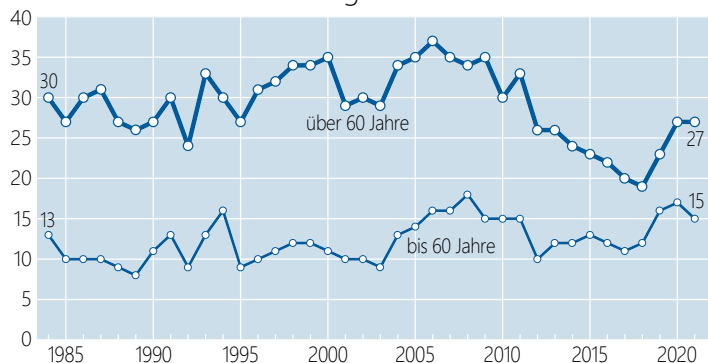
## Jüngere Fichte

Für die Fichten ist ein deutlicher Alterstrend festzustellen, in den letzten Jahren nähern sich die Verlichtungswerte beider Altersgruppen allerdings an. Für die jüngeren Fichten beträgt die mittlere Kronenverlichtung aktuell 15 %.

## Starke Schäden

Insgesamt (alle Alter) ergibt sich im Mittel aller Erhebungsjahre ein durchschnittlicher Anteil an starken Schäden von 2,4 %. Die Werte schwanken im Erhebungszeitraum ohne zeitlichen Trend zwischen 0,6 und 4,7 %. 2021 sind 2,7 % der Fichten stark geschädigt.

Mittlere Kronenverlichtung in %



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

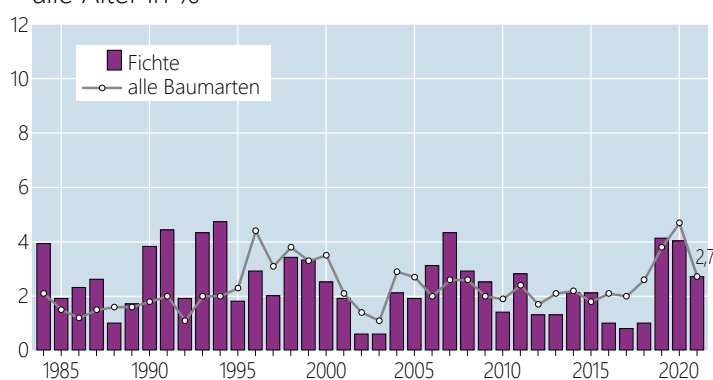


Foto: J. Weymar



Foto: J. Evers

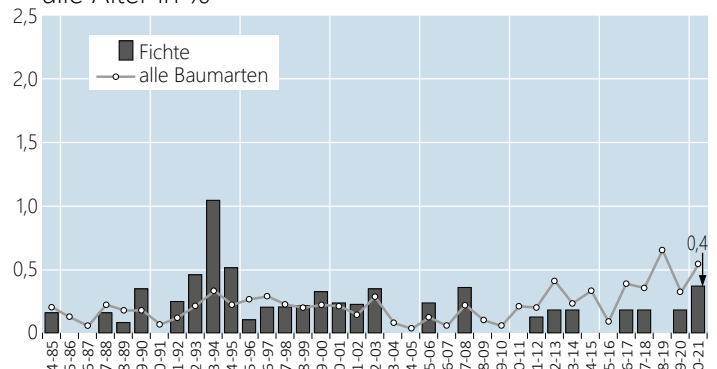
## Absterberate

Die Absterberate der Fichten liegt im Mittel der Jahre 1984-2021 bei 0,2 %. Die höchste Absterberate (1 %) für die Fichten wurde 1994 ermittelt. Im Jahr 2021 ist die Absterberate (0,4 %) überdurchschnittlich.

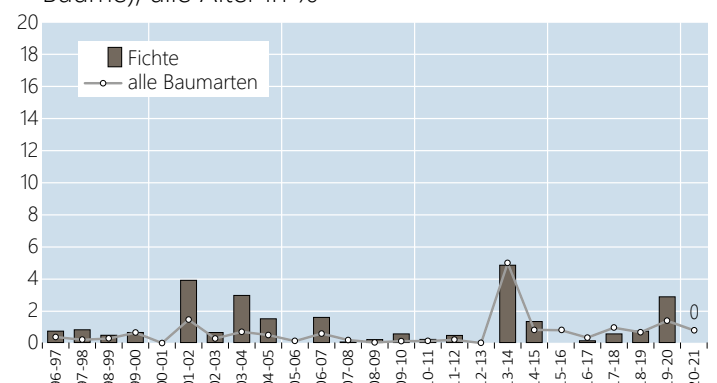
## Ausfallrate

Jährlich fallen im Mittel (1997-2021) 1 % der Fichten in der WZE-Stichprobe durch Sturmschäden oder Insektenbefall aus. Nach den Orkanen „Christian“ und „Xaver“ fielen 2014 besonders viele Fichten aus (4,8 %). 2021 musste keine Fichte im WZE-Kollektiv außerplanmäßig infolge von Sturm oder Insektenbefall entnommen werden.

Jährliche Absterberate (stehende Bäume), alle Alter in %



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





# Kiefer

## Ältere Kiefer

Die älteren Kiefern weisen seit 1986 niedrigere Kronenverlichtungswerte auf als die älteren Buchen, Eichen und Fichten. 2021 beträgt die mittlere Kronenverlichtung 16 %.

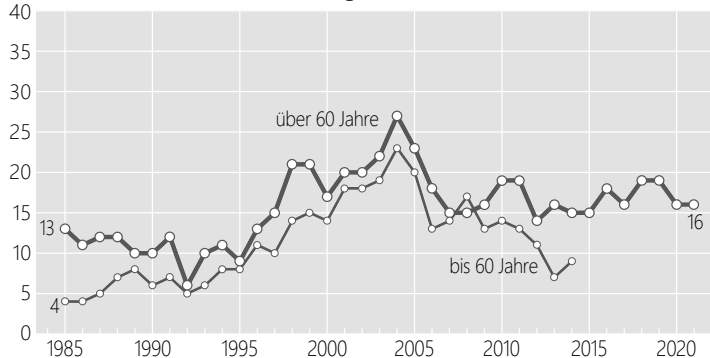
## Jüngere Kiefer

In den letzten Jahren hat die Anzahl der bis 60-jährigen Kiefern im Stichprobenkollektiv so stark abgenommen, dass keine Ergebnisse für diese Altersstufe dargestellt werden. Für den Zeitraum bis 2014 zeigen sich kaum Unterschiede im Kronenverlichtungsgrad zwischen den Altersgruppen. Die Entwicklung jüngerer und älterer Kiefern verläuft weitgehend parallel.

## Starke Schäden

Der Anteil starker Schäden liegt bei den Kiefern (alle Alter) im langjährigen Mittel der Erhebungsjahre bei 0,8 % und bleibt durchgehend unter dem Wert für alle Baumarten. Im Erhebungszeitraum treten kaum Schwankungen auf. Im Jahr 2021 wurden 1,8 % der Kiefern als stark geschädigt eingestuft.

Mittlere Kronenverlichtung in %



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

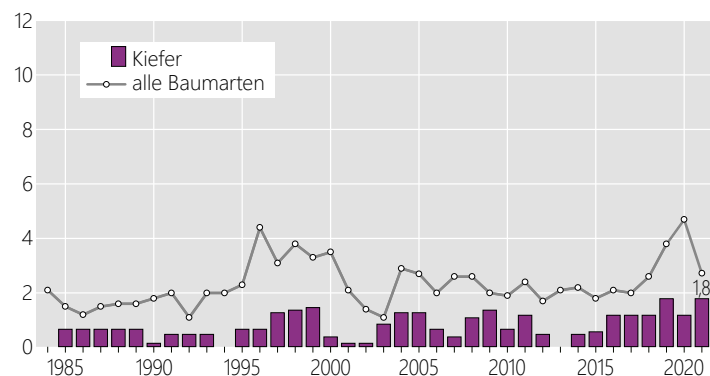


Foto: J. Evers



Foto: J. Evers

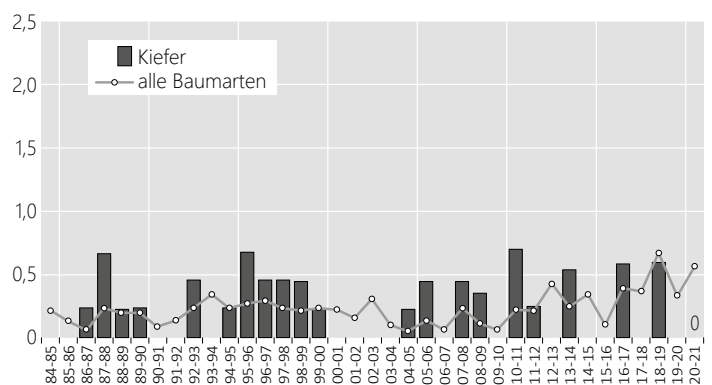
## Absterberate

Die Absterberate der Kiefern schwankt im Erhebungszeitraum zwischen 0 und 0,7 %, im Mittel der Zeitreihe beträgt sie 0,2 %. 2020 und 2021 sind keine Kiefern abgestorben.

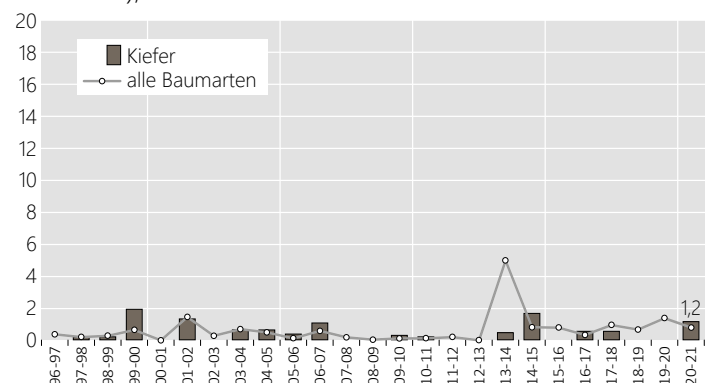
## Ausfallrate

Die durchschnittliche Ausfallrate beträgt 0,5 %. Höhere Ausfälle in den Jahren 2000 und 2015 sind durch Sturmschäden bedingt. 2019 und 2020 mussten keine Kiefern als Schadholz entnommen werden. 2021 ist die Ausfallrate überdurchschnittlich (1,2 %).

Jährliche Absterberate (stehende Bäume), alle Alter in %



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





## Andere Laub- und Nadelbäume

In Schleswig-Holstein wurden bei der Waldzustandserhebung 2021 als landesweite repräsentative Stichprobeninventur 30 Baumarten erfasst. Neben den Hauptbaumarten Kiefer, Fichte, Buche und Eiche kommt in den Wäldern Schleswig-Holsteins eine Vielzahl weiterer Baumarten vor. Jede Baumart für sich genommen ist in der Stichprobe der Waldzustandserhebung allerdings zahlenmäßig so gering vertreten, dass allenfalls Trendaussagen zur Kronenentwicklung möglich sind. Bei der Darstellung der Ergebnisse der Waldzustandserhebung werden sie daher in den Gruppen andere Laubbäume und andere Nadelbäume zusammengefasst. Zu den anderen Laubbäumen gehören u. a. Birke, Esche und Erle, bei den anderen Nadelbäumen handelt es sich vorwiegend um Lärchen und Sitkafichten.

### Mittlere Kronenverlichtung

2019 erreichte die mittlere Kronenverlichtung der anderen Laubbäume (alle Alter) einen Höchststand (24 %) in der Zeitreihe der Waldzustandserhebung. 2020 und 2021 hat sich die Situation leicht verbessert, mit 18 % ist die mittlere Kronenverlichtung aber immer noch erhöht.

Die mittlere Kronenverlichtung der anderen Nadelbäume (alle Alter) war 2020 auf den zweithöchsten Wert seit 1984 angestiegen, 2021 ist die mittlere Kronenverlichtung nahezu unverändert (19 %).

### Starke Schäden

Der Anteil starker Schäden (alle Alter) liegt für die Gruppe der anderen Laubbäume im Erhebungszeitraum im Mittel bei 3,2 %. Seit 2010 wird dieser Durchschnittswert fortlaufend überschritten. 2021 wurden 4,2 % der anderen Laubbäume als stark geschädigt eingestuft.

Für die anderen Nadelbäume (alle Alter) gibt es starke Schwankungen beim Anteil starker Schäden, im Mittel sind es 1,8 %. 2008 und 2020 waren besonders viele Bäume stark geschädigt. 2021 beträgt der Anteil starker Schäden 3,6 %.



Hainbuche

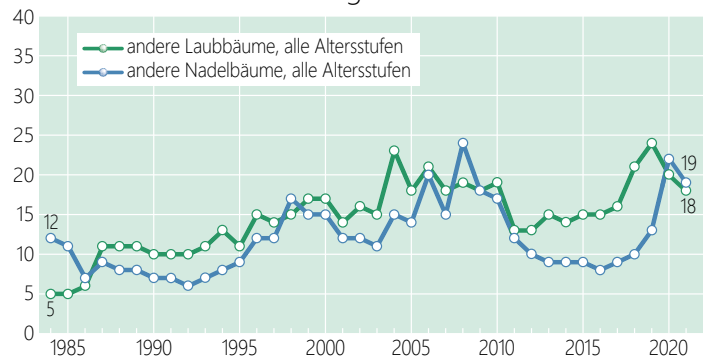
Foto: M. Spielmann



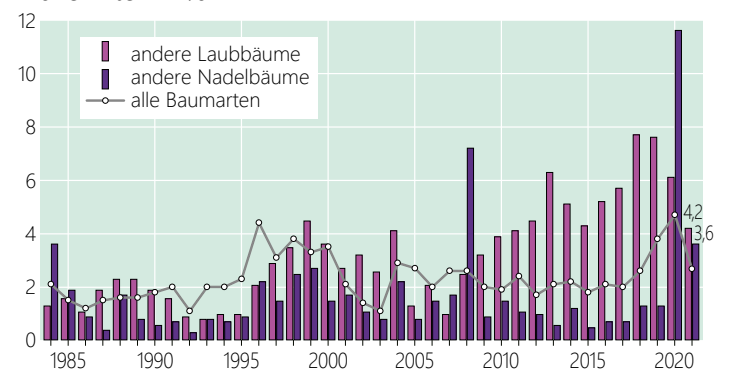
Spitzahorn

Foto: J. Evers

Mittlere Kronenverlichtung in %



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





# Andere Laub- und Nadelbäume

## Absterberate

Die Absterberate der anderen Laubbäume liegt in fast allen Erhebungsjahren über dem Wert für alle Baumarten. Im lang-jährigen Mittel sind jährlich 0,6 % der anderen Laubbäume abgestorben. 2021 liegt die Absterberate bei 1 %.

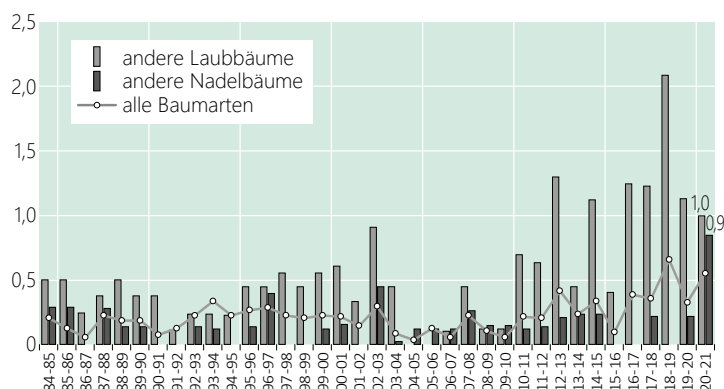
Die Absterberate der anderen Nadelbäume liegt von 1984-2020 durchgehend unter 0,5 %. 2021 befindet sich die Absterberate (0,9 %) auf dem Höchststand der Zeitreihe.

## Ausfallrate

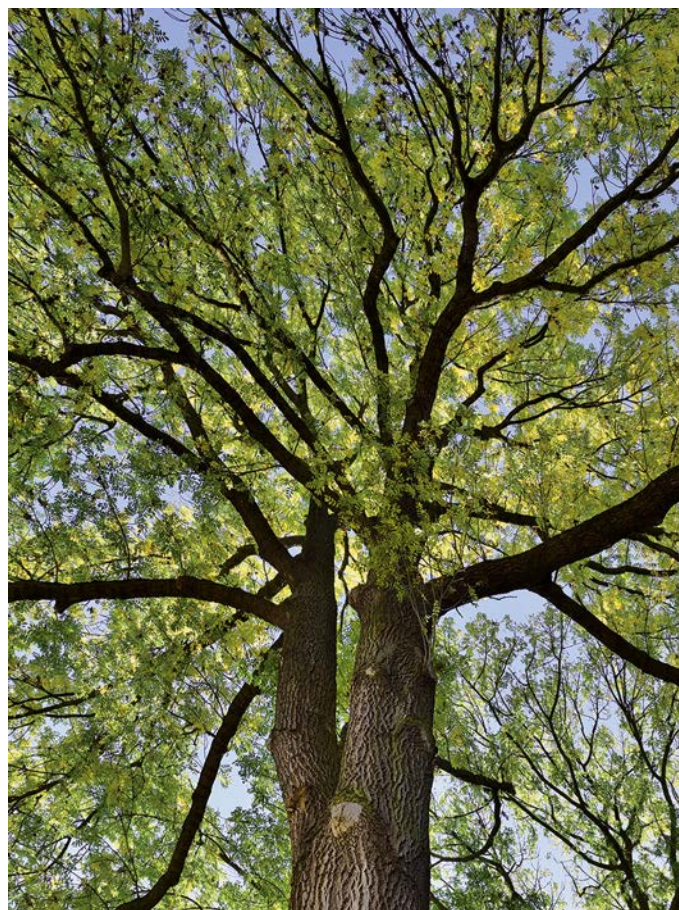
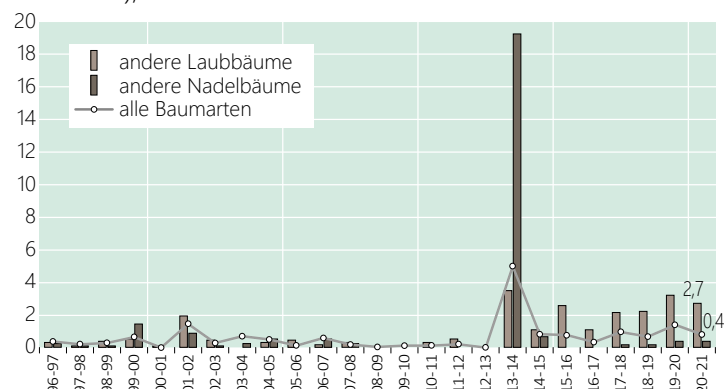
Bei den anderen Laubbäumen wird seit 2014 eine überdurchschnittliche Ausfallrate festgestellt. 2021 sind 2,7 % der Bäume als Schadholz entnommen worden.

Die Gruppe der anderen Nadelbäume war 2014 stärker als alle anderen Baumartengruppen durch Sturmschäden betroffen. Anschließend blieb die Ausfallrate niedrig (0 bis 0,7 %).

Jährliche Absterberate (stehende Bäume),  
alle Alter in %



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



Esche

Foto: J. Evers

## Esche

Die WZE-Ergebnisse der Eschen (alle Alter) heben sich deutlich von denen der anderen Baumarten ab. Bis 2003 waren die mittleren Kronenverlichtungen (3-16 %) niedrig. Ab 2004 erfolgte ein Anstieg, der 2019 einen Höchstwert (47 %) erreichte. In den letzten beiden Jahren gingen die Werte leicht zurück (2020: 39 %, 2021: 38 %).

Die starken Schäden lagen bis 2007 unter 3 %, anschließend stiegen sie bis auf 32 % (2018 und 2019) an. 2021 sind 19 % der Eschen stark geschädigt. Ab 2011 wurden dann auch überproportionale Absterberaten bis 8,7 % (2019) festgestellt. In diesem Jahr sind 3,3 % der Eschen abgestorben. Auch die Ausfallrate ist sehr viel höher als bei anderen Baumarten (2021: 15,6 %). Diese Entwicklung der Vitalitätsparameter ist vor allem durch das Auftreten des Eschentriebsterbens entstanden.

## Sitkafichte

Die Sitkafichte ist die häufigste Baumart in der Gruppe der anderen Nadelbäume. Sie ist mit einem Flächenanteil von 5 % in der WZE-Stichprobe vertreten.

2020 hatten die Schäden bei der Sitkafichte (alle Alter) – auch aufgrund von Befall durch die Fichtenröhrenlaus – erheblich zugenommen. Die mittlere Kronenverlichtung (50 %) übertraf alle bisherigen Werte im Erhebungszeitraum. Mit einer mittleren Kronenverlichtung von 34 % ist 2021 eine Verbesserung festzustellen. Auch die starken Schäden gingen zurück (2020: 37 %, 2021: 9 %). Die Absterberate allerdings war noch nie so hoch wie 2021 (2,8 %). 2021 wurde keine Sitkafichte außerplanmäßig als Schadholz entnommen.



Schwarzerle

Foto: M. Spielmann



# Witterung und Klima

Johannes Suttmöller

<https://doi.org/10.5281/zenodo.5717790>

Die kalendarischen Jahre 2020 und 2014 waren in Schleswig-Holstein mit einer Mitteltemperatur von 10,5 °C die wärmsten Jahre seit Messbeginn im Jahr 1881. Gegenüber der Klimaperiode 1961-1990 bedeutet dies eine Abweichung von 2,2 K.

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

Mit dem Jahr 2020 endete die international gültige Klimanormalperiode 1961-1990. Diese wurde durch die neue Referenzperiode 1991-2020 abgelöst. Ein Vergleich der Klimaperiode 1961-1990 mit der neuen Referenzperiode von 1991-2020 zeigt deutlich, dass die Klimaveränderung in Schleswig-Holstein 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. Im Vegetationsjahr 2020/2021 entsprach die Niederschlagsmenge mit 752 mm im Flächenmittel des Landes dem langjährigen Mittel. Im Gegensatz zu den vergangenen Jahren kam es zu keiner ausgeprägten Trockenperiode, sodass das pflanzenverfügbare Wasser in den Waldböden während der Vegetationszeit ausreichte, um die Wasserversorgung der Waldbestände zu gewährleisten. Die Vegetationszeit war in weiten Teilen Schleswig-Holsteins deutlich feuchter als normal.

Die Jahresmitteltemperatur betrug im Vegetationsjahr 2020/2021 im Landesmittel 9,7 °C. Damit war auch dieses Jahr wärmer als das langjährige Mittel. Die Jahresmitteltemperatur lag um 1,4 K über dem Mittelwert von 8,3 °C der Periode 1961-1990. Besonders das kühle Frühjahr hatte zur Folge, dass die Temperaturerhöhung nicht stärker ausfiel.

## Witterungsverlauf von Oktober 2020 bis September 2021

Im **Oktober** führten Westwindwetterlagen zu häufigen und flächendeckenden Niederschlägen. Mit 82 mm im Flächenmittel des Landes war der Monat rund 10 % feuchter als normal. Die Mitteltemperatur lag in Schleswig-Holstein bei 11,0 °C und damit 1,5 K über dem langjährigen Durchschnittswert (Abb. unten, Tabelle Seite 19). Die Witterung war im **November** überwiegend durch Hochdruckeinfluss geprägt. Die Niederschlagshöhe betrug 29 mm und damit nur rund 35 % des üblichen Solls. Aufgrund der jahreszeitlich bedingten geringen Verdunstung nahm die Bodenfeuchte jedoch kaum ab. Die Monatsmitteltemperatur von 7,7 °C übertraf

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

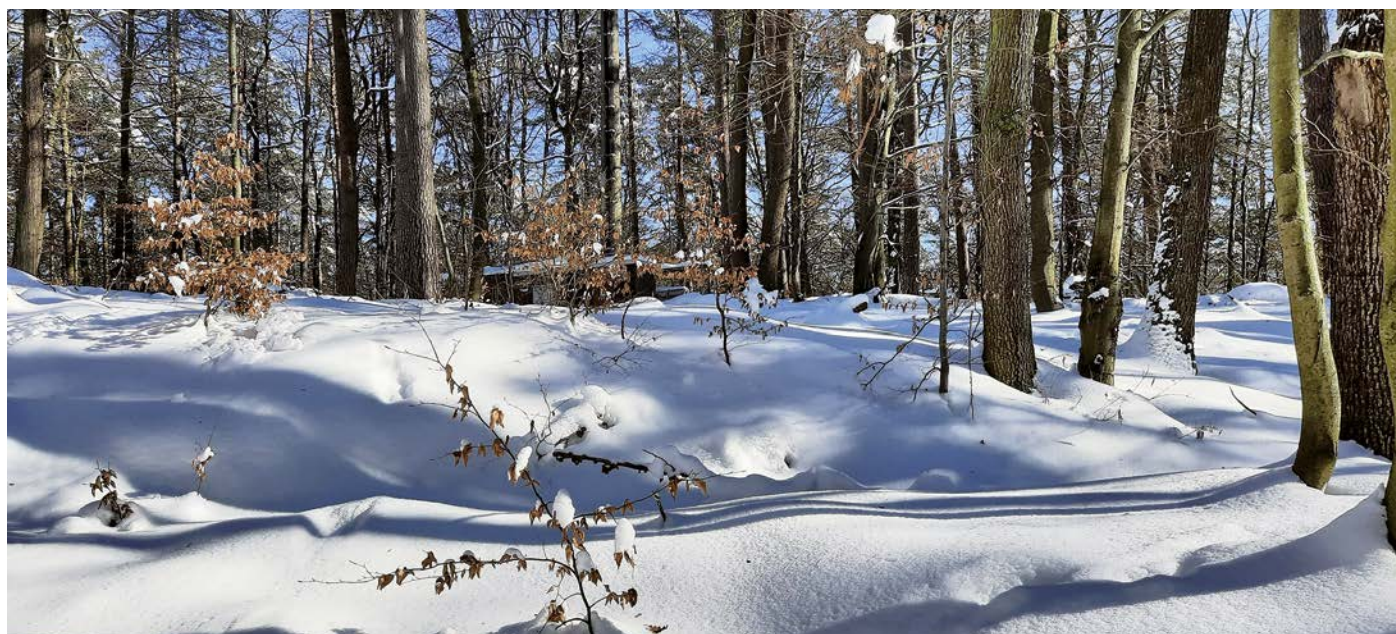
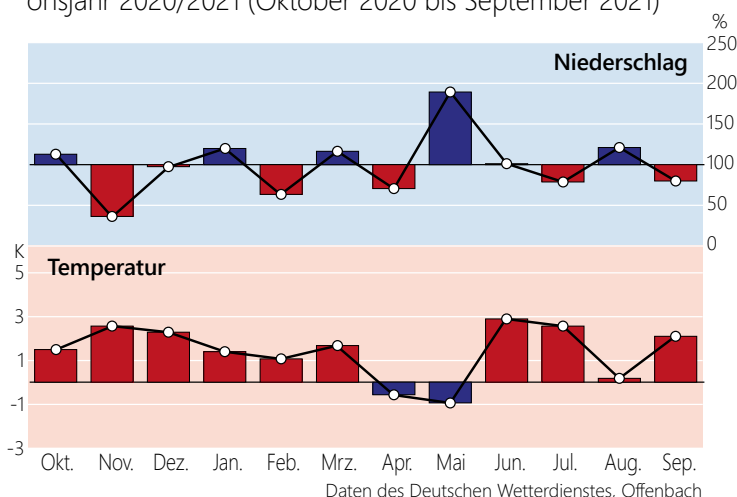


Foto: J. Weymar



# Witterung und Klima

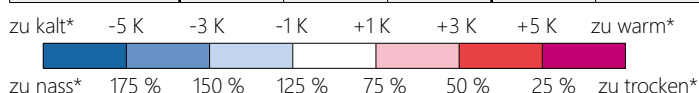


Foto: M. Spielmann

das langjährige Mittel um 2,6 K. Anfang des Monats wurden an vielen Stationen des DWD neue Allzeitrekorde der Tageshöchsttemperatur für November gemessen (z. B. Itzehoe 20,2 °C). Im **Dezember** wurden auf der Vorderseite von Tiefdruckgebieten über Westeuropa mit einer südlichen Luftströmung häufig milde Luftmassen nach Schleswig-Holstein herangeführt. Folglich fiel der Monat deutlich zu warm aus. Die Monatsmitteltemperatur von 4,2 °C lag um 2,4 K über dem Wert der Klimaperiode 1961-1990. Es fiel mit 71 mm annähernd die übliche Niederschlagsmenge. Zwar nahm die Bodenfeuchte weiter zu, lag jedoch im Südosten von Schleswig-Holstein weiter unter den langjährigen Mittelwerten. In den übrigen Landesteilen entsprach die Bodenfeuchtesituation den langjährigen Mittelwerten. Der Wechsel von kühlen und

*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            | 9,5           | 9,9           | 82                | 72            | 74            |
| November                     | 7,7             | 5,1           | 5,6           | 29                | 81            | 70            |
| Dezember                     | 4,2             | 1,8           | 2,8           | 71                | 73            | 76            |
| Januar                       | 1,7             | 0,3           | 1,9           | 74                | 62            | 70            |
| Februar                      | 1,8             | 0,7           | 2,1           | 25                | 41            | 54            |
| März                         | 4,9             | 3,2           | 4,3           | 60                | 52            | 53            |
| April                        | 6,1             | 6,6           | 8,2           | 33                | 48            | 39            |
| <b>Nicht-vegetationszeit</b> | <b>5,3</b>      | <b>3,9</b>    | <b>5,0</b>    | <b>374</b>        | <b>429</b>    | <b>436</b>    |
| Mai                          | 10,5            | 11,5          | 12,2          | 101               | 54            | 54            |
| Juni                         | 17,8            | 15,0          | 15,4          | 69                | 68            | 73            |
| Juli                         | 18,9            | 16,3          | 17,7          | 62                | 79            | 83            |
| August                       | 16,4            | 16,2          | 17,5          | 89                | 73            | 84            |
| September                    | 15,4            | 13,3          | 14,1          | 58                | 73            | 72            |
| <b>Vegetationszeit</b>       | <b>15,8</b>     | <b>14,5</b>   | <b>15,4</b>   | <b>378</b>        | <b>347</b>    | <b>366</b>    |
| <b>Vegetationsjahr</b>       | <b>9,7</b>      | <b>8,3</b>    | <b>9,4</b>    | <b>752</b>        | <b>776</b>    | <b>802</b>    |



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

milden Luftmassen prägte das Witterungsgeschehen im **Januar** 2021. Mit einer Mitteltemperatur von 1,7 °C ergab sich eine Abweichung von rund +1,4 K zum Mittel der Periode 1961-1990. Häufiger Tiefdruckeinfluss sorgte für reichlich Niederschlag, sodass mit 74 mm 20 % mehr Niederschlag fiel als üblich. Infolge der niederschlagsreichen Witterung füllten sich die Wasserspeicher der oberen Bodenschichten deutlich auf. Der **Februar** war durch extreme Wettergegensätze gekennzeichnet. In der ersten Monatshälfte sorgte sibirische Kaltluft für nächtliche Tiefsttemperaturen, die im Landesinneren teilweise unter -15 °C lagen. Ab Mitte des Monats führte subtropische Warmluft zu extremen Temperatursprüngen. In Göttingen wurde ein neuer Deutschlandrekord aufgestellt. Innerhalb von einer Woche stieg die Temperatur von -23,8 °C auf 18,1 °C (Differenz 41,9 K). Im Süden Deutschlands wurde teilweise eine Tageshöchsttemperatur von über 20 °C gemessen. Trotz der ausgeprägten Kälteperiode war der Februar 1,1 K wärmer als die durchschnittliche Monatsmitteltemperatur der Periode 1961-1990. Die Niederschläge erreichten mit 25 mm im Landesmittel nur rund 60 % der üblichen Niederschlagsmenge. Es folgte ein milder und abwechslungsreicher **März**. Im Landesmittel von Schleswig-Holstein fielen 60 mm Niederschlag. Damit wurde das übliche Soll um rund 15 % übertroffen. Die Monatsmitteltemperatur betrug 4,9 °C und lag damit um 1,7 K über dem langjährigen Durchschnittswert. Zum Monatsende verabschiedete sich der März mit frühsummerlicher Wärme bei Tageshöchsttemperaturen von deutlich mehr als 20 °C. Mit einsetzender Pflanzenentwicklung trockneten die Oberböden langsam aus, allerdings stellte sich die Bodenfeuchtesituation nicht annähernd so ungünstig dar, wie in den Jahren zuvor. Im **April** endete die 8-monatige Abfolge zu warmer Monate. Häufige Nordwetterlagen dämpften das Temperaturniveau. Die Monatsmitteltemperatur war mit 6,1 °C nur wenig höher als im März. Die Abweichung zum vieljährigen Mittelwert betrug



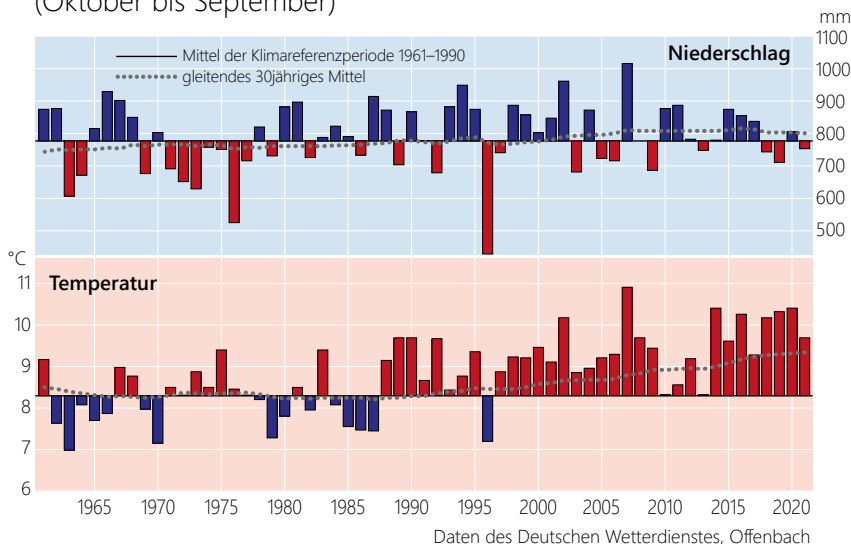
# Witterung und Klima



Foto: M. Spielmann

-0,5 K. Infolge der trocken-kühlen Witterung fielen mit 33 mm nur rund 70 % des Niederschlagsolls. 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 Tiefdrucktätigkeit zu häufigen Niederschlagsereignissen. Im Landesmittel fielen 101 mm Niederschlag und damit 90 % 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 -1,0 K zum langjährigen Monatsmittel. Infolge der niedrigen Temperaturen war auch die Verdunstung geringer als im Mai üblich. Die nasse und kühle Witterung führte dazu, dass im gesamten Land die Bodenwasservorräte aufgefüllt wurden und deutlich über den langjährigen Mittelwerten lagen. Der **Juni** zeigte sich von seiner hochsommerlichen Seite. Die Monatsmitteltemperatur von 17,8 °C wich um +2,8 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 Tageshöchst-

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 Schleswig-Holstein, Jahreswerte für das Vegetationsjahr (Oktober bis September)



Daten des Deutschen Wetterdienstes, Offenbach

temperaturen von mehr als 30 °C und einigen Tropennächten (Tagestiefsttemperatur >20 °C). Infolge häufiger auch großräumiger Gewitterlagen wurden im Landesmittel von Schleswig-Holstein 69 mm Niederschlag gemessen. Dies entspricht der üblichen Niederschlagsmenge, sodass sich die Bodenfeuchtesituation weiter günstig darstellte. Es folgte ein warmer jedoch sonnenscheinarmer **Juli**. Insgesamt fielen in Schleswig-Holstein im Flächenmittel 62 mm Niederschlag. Dies entspricht rund 80 % des langjährigen Mittels. Die Bodenwassergehalte waren in weiten Teilen des Landes weiterhin überdurchschnittlich. In Erinnerung wird das Unwettertief ‚Bernd‘ bleiben, das im Westen von Deutschland extreme Niederschläge auslöste und zu der Jahrhundertflut in einigen Mittelgebirgstälern in Rheinland-Pfalz und Nordrhein-Westfalen führte. Die Monatsmitteltemperatur betrug 18,9 °C und lag damit 2,6 K über dem langjährigen Wert der Klimaperiode 1961-1990. Der **August** war in Schleswig-Holstein sehr unbeständig. Mit 89 mm wurde das Monatsoll um 20 % übertroffen. Die Bodenfeuchtesituation stellte sich im gesamten Land günstig dar, da die Bodenwasserspeicher gut gefüllt waren. Der August war geringfügig wärmer als normal und es wurden nur wenige Sommer- und keine Hitzetage gemessen. Die Mitteltemperatur von 16,4 °C lag 0,2 K über dem langjährigen Wert der Periode 1961-1990. Zum Abschluss des Vegetationsjahres 2020/2021 folgte ein warmer, trockener und sonnenscheinreicher **September**. Es dominierten Hochdruckwetterlagen, sodass mit 58 mm im Landesdurchschnitt nur knapp 80 % des Niederschlagsolls fiel. Der September war mit einer Mitteltemperatur von 15,4 °C um 2,1 K wärmer als der langjährige Durchschnitt.

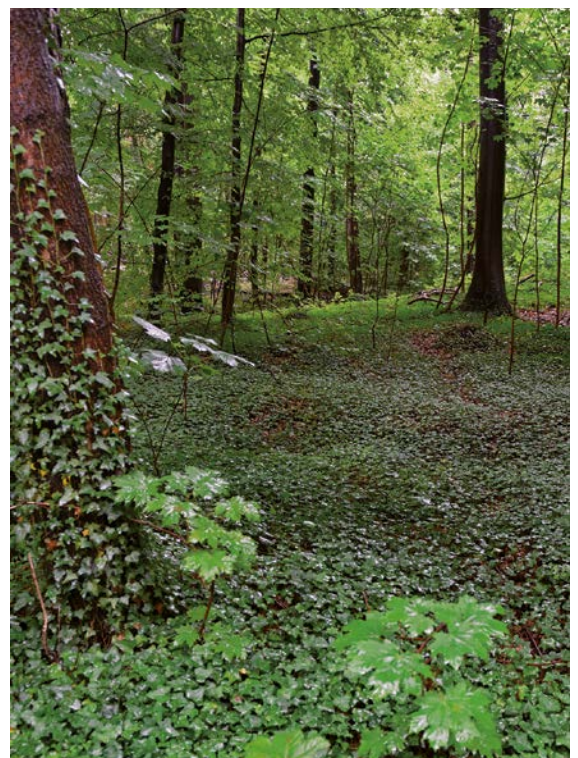


Foto: J. Evers



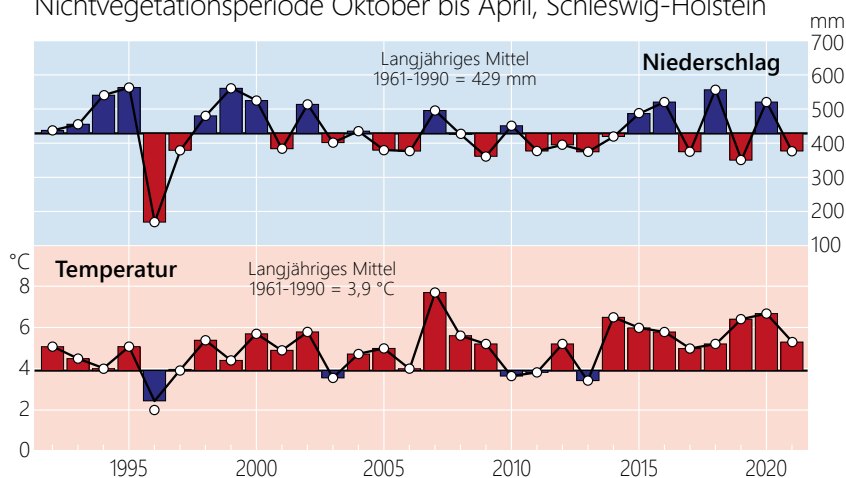
# Witterung und Klima

## Temperatur und Niederschlag im langjährigen Verlauf

Das Vegetationsjahr 2020/2021 war mit 9,7 °C im Flächenmittel von Schleswig-Holstein 1,4 K wärmer als der Mittelwert der Klimaperiode 1961-1990 und 0,3 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. Seite 20). In den vergangenen 10 Jahren hat sich das gleitende Mittel der letzten 30 Jahre um knapp 0,4 K erhöht. Dies würde bedeuten, dass bei gleichbleibendem Trend alle 25 Jahre die Jahresmitteltemperatur um 1 K ansteigt. Die Niederschlagsbilanz war im aktuellen Vegetationsjahr ausgeglichen (Abb. Seite 20). Es fielen 752 mm im Landesmittel.

Die Nichtvegetationszeit von Oktober 2020 bis April 2021 war 1,4 K milder als der langjährige Mittelwert der Klimaperiode 1961-1990. Die Mitteltemperatur betrug 5,3 °C (Abb. unten). Die Temperaturabweichungen vom langjährigen Mittel waren landesweit sehr ähnlich. Etwas wärmer als im mittleren Durchschnitt war es teilweise im Norden und Osten des Landes, während die Temperaturen in der Mitte und in den südöstlichen Landesteilen etwas weniger von den langjährigen Mittelwerten abweichen (Abb. Seite 22, oben links). In der Nichtvegetationszeit fielen im Landesmittel von Schleswig-Holstein 374 mm Niederschlag und damit rund 10 % weniger als im vieljährigen Soll (Abb. unten). Im nordöstlichen und östlichen Schleswig-Holstein betrug das Niederschlagsdefizit rund 20 %. Nur im äußersten Westen des Landes wurde das Niederschlags-soll annähernd erreicht, regional sogar leicht übertroffen (Abb. Seite 22, unten links).

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



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

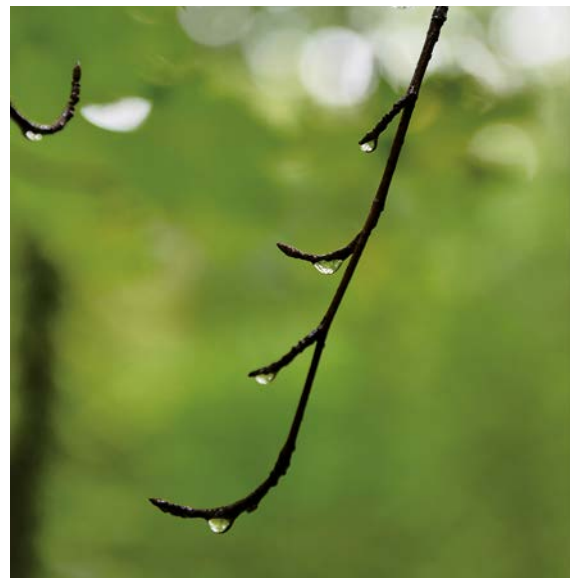
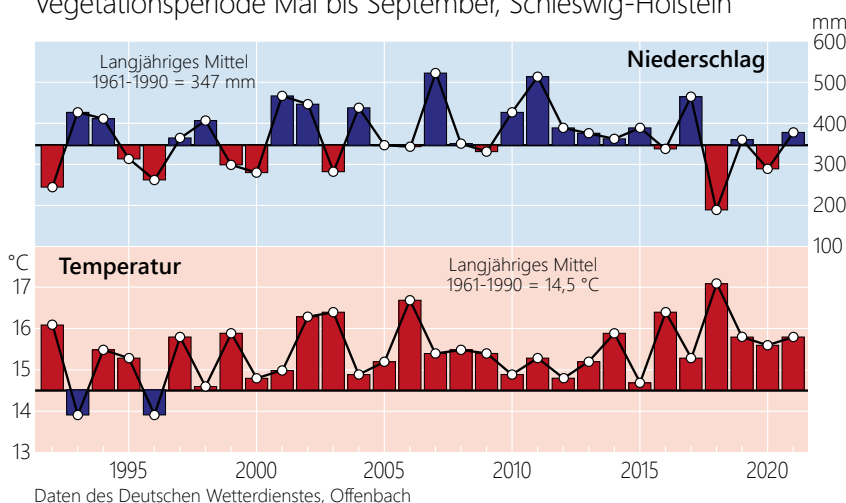


Foto: J. Evers

Die Vegetationszeit von Mai bis September 2021 war wärmer und feuchter als im Mittel der Periode 1961-1990 (Abb. unten). Im Flächenmittel des Landes Schleswig-Holstein betrug die Mitteltemperatur 15,8 °C (+1,3 K). Ähnlich wie in der Nichtvegetationszeit waren wiederum die nordöstlichen und östlichen Landesteile etwas wärmer als der mittlere Durchschnitt und der Süden und Südwesten etwas kühler (Abb. Seite 22, oben rechts). In der Vegetationszeit fielen landesweit im Mittel 378 mm Niederschlag. Dies sind knapp 10 % mehr als im langjährigen Mittel. Allerdings fiel nicht überall mehr Niederschlag als üblich (Abb. Seite 22, unten rechts). In einem Streifen in der nördlichen Mitte sowie ganz im Osten von Schleswig-Holstein wurde das Niederschlagssoll knapp erreicht bzw. ein leichtes Defizit beobachtet. Überdurchschnittlich nass war es dagegen in der gesamten Südhälfte des Landes mit Abweichung regional von bis zu +20 %.

## Fazit

- Auch das Vegetationsjahr 2020/2021 war mit einer Mitteltemperatur von 9,7 °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 752 mm dem langjährigen Mittel.
- Die Bodenfeuchtesituation in der Vegetationszeit stellte sich 2021 landesweit günstig dar.

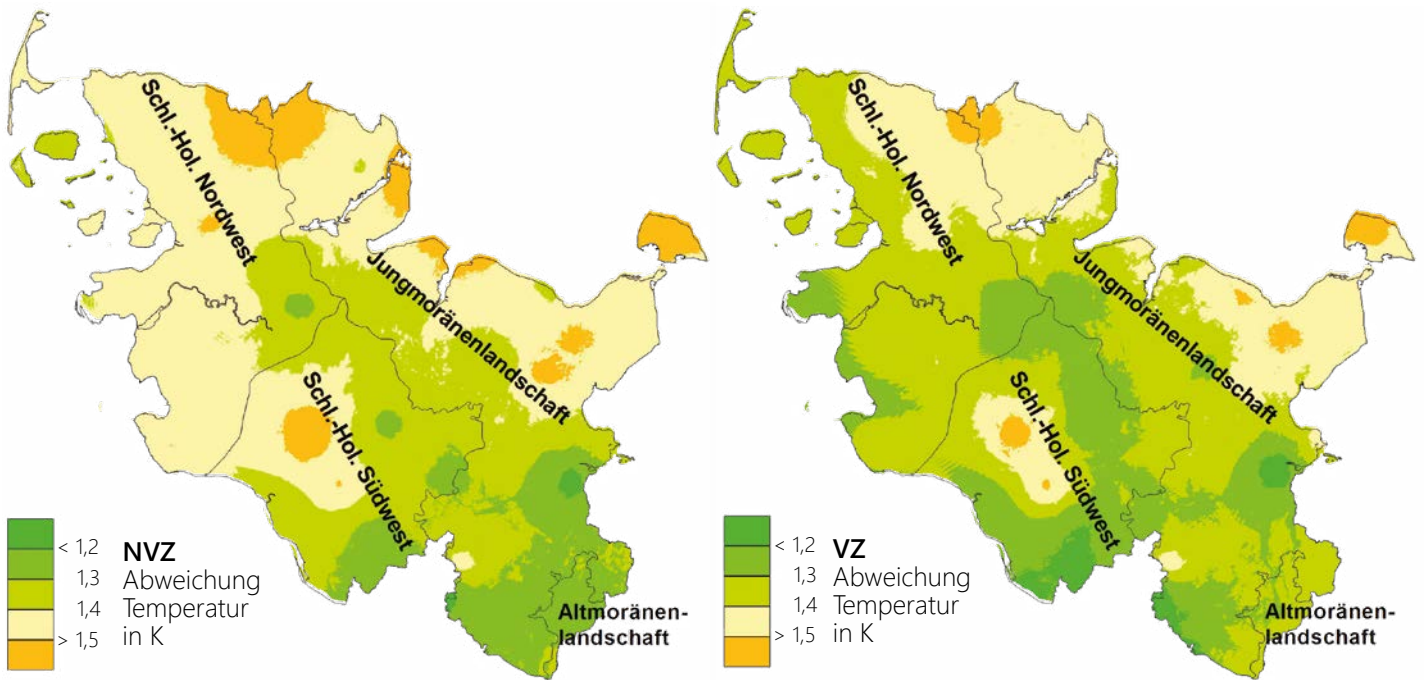
## Literatur

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

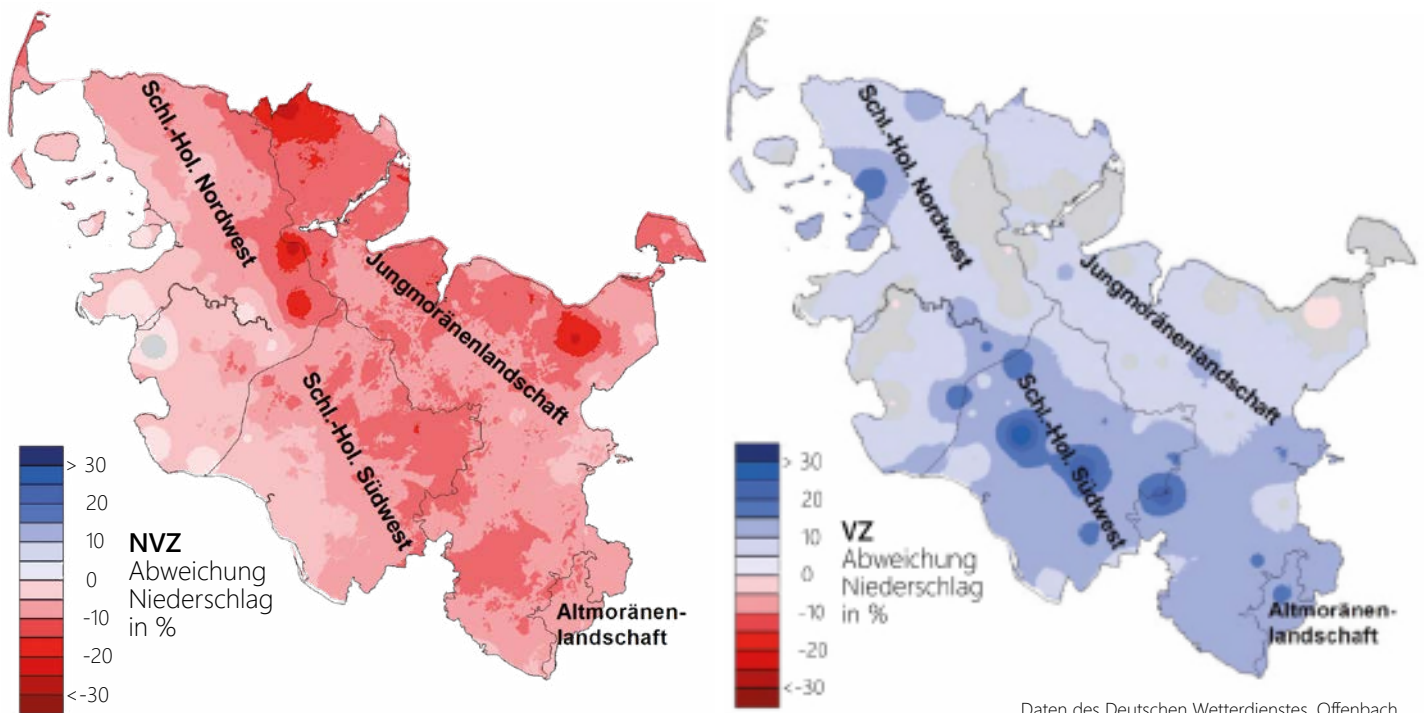


# Witterung und Klima

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



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



Daten des Deutschen Wetterdienstes, Offenbach



Foto: J. Evers



# Stoffeinträge

Birte Scheler

<https://doi.org/10.5281/zenodo.5717807>

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 Schleswig-Holstein wird seit 1989 im Rahmen des Intensiven Forstlichen Umweltmonitorings der Stoffeintrag in einem 116-jährigen Buchenbestand bei Bornhöved erfasst. Der Bestandesmessfläche (Kronentraufe) ist eine Freifläche (Freilandniederschlag) zugeordnet. Zusätzlich wird zur Erfassung des gesamten Bestandesniederschlags der Stammablauf gemessen und analysiert, der in Buchenbeständen quantitativ bedeutsam ist. Mittels eines Kronenraumbilanzmodells (Ulrich 1991) werden aus den gemessenen Stoffflüssen Gesamtdpositionsrationen berechnet.

Die Höhe der Stoffeinträge wird maßgeblich durch verschiedene Faktoren wie Niederschlagsmenge und -verteilung, Baumart, Bestandeshöhe, Kronenrauigkeit bzw. lokale Emittenten bestimmt. Aus diesem Grund sind die Stoffeinträge in niederschlagsärmeren Gebieten in der Regel niedriger als in niederschlagsreichen Gegenden und aufgrund des Laubabwurfs unter Buche geringer als unter Fichte und Douglasie.

## Niederschlag

2020 war in Bornhöved hinsichtlich der Niederschlagshöhe ein mehr oder weniger durchschnittliches Jahr. Im Freiland fielen 696 mm, der Bestandesniederschlag (Kronentraufe und Stammablauf) betrug 585 mm. Damit fielen im Freiland 51 mm (bzw. 7 %) und im Bestand 16 mm (bzw. 3 %) weniger Niederschlag als im Mittel der Jahre 2010-2019. Im Vergleich zum langjährigen Mittel seit Untersuchungsbeginn im Jahr 1989 fiel das Niederschlagsdefizit mit 8 % (Freilandniederschlag) bzw. 5 % (Bestandesniederschlag) etwas höher aus.



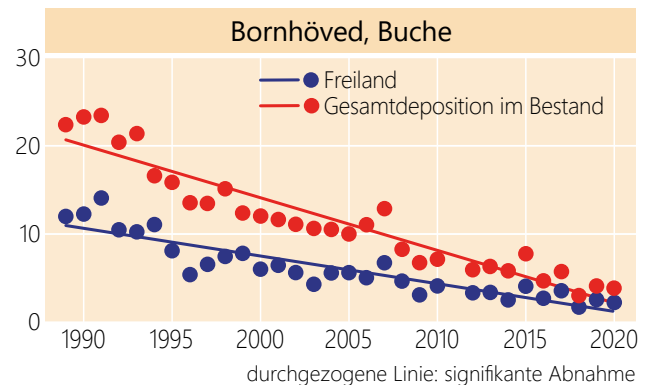
Foto: J. Evers

## Schwefeleintrag

Durch die konsequente Umsetzung von Maßnahmen zur Luftreinhaltung wie Rauchgasentschwefelung und die Einführung schwefelarmer Kraft- und Brennstoffe seit Mitte der 1980er Jahre wurden die Schwefeldioxidemissionen und in der Folge der Sulfatschwefeleintrag in Wälder wirksam reduziert. Obwohl er bereits auf einem relativ geringen Niveau lag, hat er 2020 im Vergleich zum Mittel Jahre 2010-2019 nochmals deutlich abgenommen.

Er betrug 2020 je Hektar 2,2 kg im Freiland und 3,8 kg im Buchenbestand. Von der Sulfatschwefelgesamtdposition unter Buche waren aufgrund der Nähe zum Meer 1,2 kg je Hektar bzw. 31 % seesalzbürtig.

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



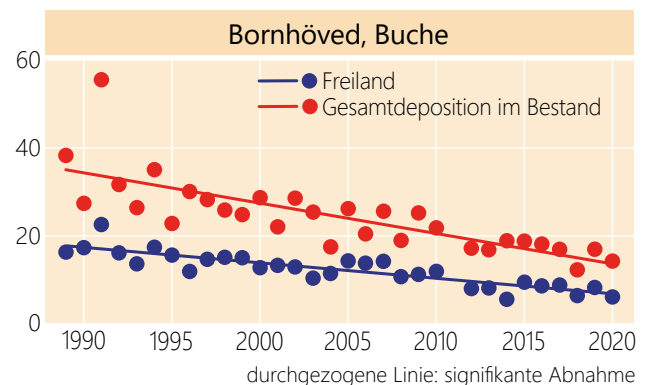
## Stickstoffeintrag

Stickstoff wird in oxidiert Form als Nitrat (Quellen: Kfz-Verkehr, Verbrennungsprozesse) und in reduzierter Form als Ammonium (landwirtschaftliche Quellen) in die Ökosysteme eingetragen.

In Bornhöved betrug der Ammoniumanteil am anorganischen Stickstoffeintrag im 10-jährigen Mittel (2011-2020) im Freiland 62 % und an der Gesamtdposition 55 %.

Der Nitratstickstoffeintrag hat seit dem Untersuchungsbeginn im Jahr 1989 sowohl im Freiland als auch unter Buche signifikant abgenommen. Dieser deutliche Rückgang hat sich in den letzten 10 Jahren fortgesetzt. 2020 betrug der Nitratstickstoffeintrag in Bornhöved je Hektar

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





# Stoffeinträge

tar 2,3 kg im Freiland und 6,4 kg als Gesamtdeposition unter Buche. Unter Buche ist dies nach dem extrem niederschlagsarmen Jahr 2018 der zweitniedrigste, im Freiland der niedrigste Wert der 32-jährigen Zeitreihe.

Der Ammoniumstickstoffeintrag hat in Bornhöved seit 1989 ebenfalls signifikant abgenommen. Im Gegensatz zum Nitratreintrag ist beim Ammoniumeintrag in den letzten 10 Jahren jedoch kein weiterer deutlicher Rückgang zu beobachten. 2020 betrug er im Freiland 3,8 und unter Buche 7,8 kg je Hektar. Unter Buche ist dies – wie beim Nitratsstickstoff – der zweitniedrigste, im Freiland der drittniedrigste Wert seit 1989.

Trotz des langfristig beobachteten Rückgangs überschreitet der anthropogen bedingte anorganische Stickstoffeintrag aus der Atmosphäre im Mittel der letzten 5 Jahre (2016-2020) mit 15,7 kg je Hektar unter Buche nach wie vor den Bedarf der Wälder für das Baumwachstum. Dieser überschüssige Stickstoff reichert sich zunächst im Ökosystem an. Wird die Speicherkapazität überschritten oder kommt es zu abrupten Störungen im Ökosystem durch Kalamitäten wie Windwurf oder Schädlingsbefall, wird der Stickstoff rasch mineralisiert. Dieser Prozess hat durch den damit verbundenen Verlust basischer Nährstoffkationen aus den ohnehin meist nährstoffarmen Waldböden gravierende negative Konsequenzen für das Ökosystem Wald. Angrenzende Ökosysteme wie Oberflächen- und Grundgewässer werden ggf. durch hohe Nitratausträge gefährdet.



Foto: M. Spielmann

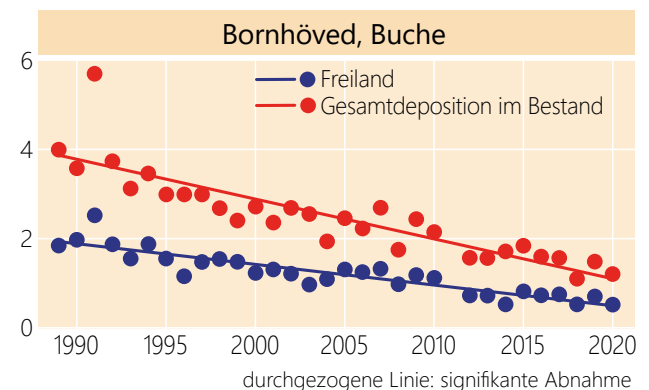
## Gesamtsäure

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

2020 betrug der Gesamtsäureeintrag je Hektar im Freiland 0,5 kmol<sub>c</sub>. Unter Buche betrug er 1,2 kmol<sub>c</sub> und war damit 0,4 kmol<sub>c</sub> je Hektar geringer als im Mittel der Jahre 2010-2019. 12 % des Säureeintrags konnten durch mit dem Niederschlag ebenfalls eingetragene Basen neutralisiert werden.

Ein weiterer Teil der Säureeinträge wird im Waldboden durch Basen gepuffert, die im Rahmen der Verwitterung freigesetzt werden. Die nachhaltige Säurepufferung 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<sub>c</sub> je Hektar und Jahr



*anthropogen = durch menschliche Aktivitäten verursacht*  
*Deposition = Ablagerung von Stoffen*  
*Eutrophierung = Nährstoffanreicherung*  
*kmol<sub>c</sub> (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<sub>c</sub> je Hektar.*

## Literatur:

- Gauger T, Anshelm F, Schuster H, Draaijers GPJ, Bleeker A, Erisman JW, Vermeulen AT, Nagel HD (2002): Kartierung ökosystembezogener Langzeittrends atmosphärischer Stoffeinträge und Luftschadstoffkonzentrationen in Deutschland und deren Vergleich mit Critical Loads und Critical Levels. Forschungsvorhaben im Auftrag des BMU/UBA, FE-Nr. 299 42 210, Institut für Navigation, Univ. Stuttgart. 207 S
- Ulrich B (1991): Beiträge zur Methodik der Waldökosystemforschung. Berichte des Forschungszentrums für Waldökosysteme/Waldsterben. Reihe B, Band 24, 204-210



# Anpassungspotenziale heimischer Baumarten

Aki Michael Höltnen, André Hardtke und Wilfried Steiner  
<https://doi.org/10.5281/zenodo.5717821>

## 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 Umweltheterogenität ausgesetzt. Deshalb sind Bäume von Natur aus mit einem gut ausgestatteten genetischen „Werkzeugkasten“ ausgerüstet. Zahlreiche Studien belegen, dass schon einzelne Bäume eine deutlich höhere individuelle genetische Vielfalt aufweisen als die meisten kurzlebigeren Organismen. Dies eröffnet ihnen einen größeren Toleranzbereich an physiologisch-morphologischen Reaktionen (Plastizität).

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

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



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



# Anpassungspotenziale heimischer Baumarten

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

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

## Natürliche oder künstliche Verjüngung?

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

## Buche: Vielfalt klimarelevanter Merkmale

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

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

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

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

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



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



# Anpassungspotenziale heimischer Baumarten



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

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

## Verwendungszonen für die Traubeneiche

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

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

Ein älterer Traubeneichen-Herkunftsversuch mit über 50 deutschen Herkünften ergab, dass schon innerhalb Deutschlands ein enormes Anpassungspotenzial zur Verfügung steht. So zeigen Herkünfte aus trockeneren Regionen ein besseres Wachstum, wenn sie auf feuchtere Standorte verbracht werden. Auf Basis dieser Erkenntnis wurde an der NW-FVA ein Projekt (OakZones) gestartet, welches diesen Zusammenhang genauer untersucht. Dafür werden Herkünfte anhand der Standortwasserbilanz identifiziert und Pflanzen für eine Versuchsserie angezogen. Diese werden anschließend auf

Versuchsflächen ausgepflanzt, die den vollständigen Bereich der Standortwasserbilanz abbilden. In den nächsten Jahren wird die Versuchsserie detaillierte Erkenntnisse über die Anpassungspotenziale der jeweiligen Herkünfte liefern.

Aktuell kann Saat- und Pflanzgut der Eiche aus unterschiedlichen Regionen ohne gesetzliche Einschränkungen in Deutschland verwendet werden. Die Verwendung wird nur über Empfehlungen gesteuert, die allerdings über Erlasse oder Förderauflagen eine weitgehende Verbindlichkeit aufweisen. Diese Verwendungs- oder Herkunftsempfehlungen enthalten aber kaum Regelungen, die das adaptive Potenzial der Herkünfte einbeziehen. Auf Basis der neuen Versuchsserie ist die Abgrenzung von Verwendungszonen geplant, die das Anpassungspotenzial der einzelnen Herkünfte an spezifische Standortbedingungen genauer berücksichtigen. Mit Hilfe der Verwendungszonen kann schlussendlich besser an die konkreten oder zukünftig erwarteten Bedingungen angepasstes Material empfohlen werden, das wiederum für stabilere Bestände sorgt. Zusätzlich können neue Saatguterntebestände identifiziert werden, die in den jeweiligen Verwendungszonen eine bessere Anpassung versprechen.

## Genressourcen-Management bei seltenen Baumarten

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



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



# Anpassungspotenziale heimischer Baumarten



Bestäubung, Fruktifikation und Saatguternte in einer Samenplantage der Elsbeere

Fotos: NW-FVA

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

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

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

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

## Fazit

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

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

## Literatur

- Fussi B, Kunz M, Tröber U, Leinemann L, Kätzel R, Eusemann P, Liesebach H, Becker F, Kuchma O, Kersten B, Voth W, Karopka M, Höltnen AM, Havel S, Rose B, Wolf H, Kahlert K, Hosius B (2021): GENMON – Einrichtung eines genetischen Monitorings für Buche und Fichte in Deutschland zur Bewertung der genetischen Anpassungsfähigkeit der Baumarten gegenüber Umweltveränderungen. Schlussbericht zum Waldklimafond-Vorhaben der Fachagentur für Nachwachsende Rohstoffe (FNR).
- Höltnen AM, Hennig A, Kleinschmit J, Arndt HJ, Steiner W (2017): Erhaltung und Produktion gebietseigener genetischer Vielfalt in Ex-situ-Populationen: Umsetzung der Ergebnisse aus DNA-Studien am Wildapfel (*Malus sylvestris* (L.) Mill.). Naturschutz und Landschaftsplanung 49: 126-134.
- Höltnen AM, Eusemann P, Kersten B, Liesebach H, Kahlert K, Karopka M, Kätzel R, Kuchma O, Leinemann L, Rose B, Tröber U, Wolf H, Voth W, Kunz M, Fussi B (2020): Das Verbundprojekt GENMON: Einrichtung eines genetischen Langzeit-Monitorings in Buchenbeständen (*Fagus sylvatica* L.). In: Liesebach M. (ed.) Forstpflanzenzüchtung für die Praxis : 6. Tagung der Sektion Forstgenetik/Forstpflanzenzüchtung vom 16.-18. Sept. 2019 in Dresden: Tagungsband, Braunschweig, Johann Heinrich von Thünen-Institut. Thünen-Report 76, S 230-245.
- Kätzel R, Becker F, Kanter G, Hlawati N, Löffler S (2019): Herkunftsversuche als Bewährungsprobe bei Witterungsextremen: Südosteuropäische Herkünfte der Trauben-Eiche (*Quercus petraea* MATT. LIEBL.) in Brandenburg – Eine erste Auswertung. In: Die Auswirkungen des Dürrejahres 2018 auf den Wald in Brandenburg. Eberswalder Forstliche Schriftenreihe Band 67. 115 S.
- Leuschner C, Backes K, Hertel D, Schipka F, Schmitt U, Terborg O, Runge M (2001): Drought response at leaf, stem and fine root levels of competitive *Fagus sylvatica* L. and *Quercus petraea* (Matt.) Liebl. Trees in dry and wet years. Forest Ecology and Management 149(1-3): 33-46.
- Mette T, Dolos K, Meinardus C, Bräuning A, Reineking B, Blaschke M, Pretzsch H, Beierkuhnlein C, Gohlke A, Wellstein C (2013): Climatic turning point for beech and oak under climate change in central Europe. Ecosphere 4(12): 1-19.
- Pfenninger M, Reuss F, Kiebler A, Schönnenbeck P, Caliendo C, Gerber S, Cocchiara B, Reuter S, Blüthgen N, Mody K, Mishra B, Bálint M, Thines M, Feldmeyer B (2021): Genomic basis for drought resistance in European beech forests threatened by climate change. eLife 2021: 10:e65532.



# Wachstum von Eiche, Buche, Fichte und Kiefer im Klimawandel

Matthias Schmidt, Jan Schick und Thorsten Zeppenfeld

<https://doi.org/10.5281/zenodo.5717913>

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

## Methodik

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



Foto: J. Evers

## Ergebnisse

Im Folgenden werden Projektionen der absoluten Mittelhöhenbonität und der Leistungsklasse (LKL = dGZmax) für die Jahre 2000 und 2100 entlang eines Transektes von Bad Segeberg über die Wälder östlich von Mölln, die Harburger Berge bei Hamburg, die Lüneburger Heide, den Elm bei Braunschweig, den Harz und den Göttinger Wald bis zum Kaufunger Wald für Eiche, Buche, Fichte und Kiefer dargestellt. Um die klimaabhängigen Trends entlang des Transektes klarer erkennen zu können, wurde die tlw. starke, durch kleinräumige 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. Für die Eiche weisen die Schätzungen für das Jahr 2000 in den Hochlagen des Harzes



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



# Wachstum von Eiche, Buche, Fichte und Kiefer im Klimawandel

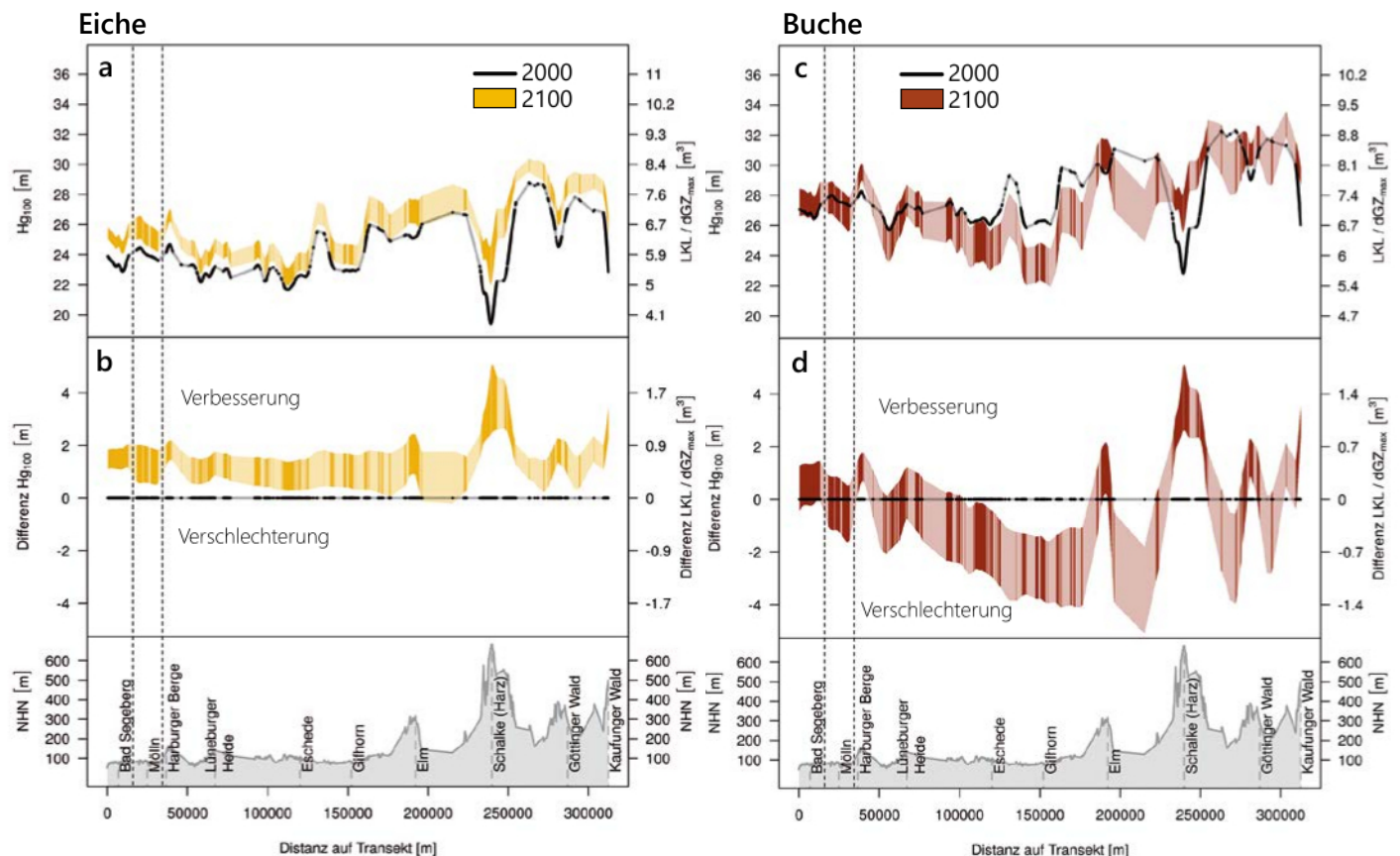
eine höhere Unsicherheit auf, da sie im Randbereich der Daten liegen, die die Grundlage des SLM bilden. In den Gebieten mit aktuell schon hohen Temperatur- und niedrigen Niederschlagssummen liegen die Projektionen für das Jahr 2100 in Abhängigkeit von den verschiedenen Klimäläufen und baumartenspezifischen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

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

Für das Jahr 2000 zeigen die Modellschätzungen für **Eiche** ein Muster, das im Norddeutschen Tiefland vor allem durch die Geologie bestimmt wird (Abb. unten, **Eiche** a). So werden innerhalb des Tieflands die besten Bonitäten auf Geschiebelehm oder -mergeln projiziert, wie sie entlang des Transektes in den Harburger Bergen, partiell zwischen Eschede und Gifhorn sowie südöstlich von Gifhorn vorkommen. Geringere Bonitäten werden auf sandigen Substraten geschätzt, wie sie entlang des Transektes westlich von Bad Segeberg, östlich von Mölln und von der Lüneburger Heide bis nach Gifhorn dominieren. Im Mittelgebirgsraum sind die geschätzten Bonitäten dagegen deutlich mit der Höhenlage korreliert. So werden die besten Bonitäten in den tiefsten Lagen zwischen Elm, Harz, Göttinger Wald und Kaufunger Wald projiziert. Diese liegen in Südniedersachsen noch über denen der besten Tieflandsstandorte. Die geringsten Bonitäten werden im Bergland in

den höchsten Lagen des Kaufunger Waldes und vor allem des Harzes geschätzt, wo auf der Schalke (762 m) die geringste Bonität des gesamten Transektes projiziert wird. Der Vergleich mit den Projektionen für das Jahr 2100 zeigt für die Eiche fast ausnahmslos Bonitätsverbesserungen (Abb. unten, **Eiche** b). Nur zwischen Elm und Harz weisen einzelne Klimäläufe geringfügige Verschlechterungen auf. Im Tiefland werden die größten Bonitätsverbesserungen in Schleswig-Holstein und den Harburger Bergen projiziert, wobei die Unterschiede insgesamt relativ gering sind. Im Bergland sind die Bonitätsverbesserungen in den tieferen Lagen bis 250 m Höhenlage ähnlich wie im Tiefland. Mit zunehmender Höhenlage werden im Elm, Göttinger Wald, Kaufunger Wald und Harz deutlich ansteigende Bonitätsverbesserungen geschätzt, die auf der Schalke einen Maximalwert von 5 m erreichen.

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



Projektionen der absoluten Mittelhöhenbonität ( $Hg_{100}$ ) und der Leistungsklasse ( $LKL/dGZ_{max}$ ) für Eiche (a) und Buche (c) für das Jahr 2000 (schwarze Linien) und für das Jahr 2100 und die 7 Klimäläufe des ReKliEs-De-Kernensembles auf Basis des RCP 8.5 Klimaszenarios (farbige Bänder) entlang des in Abb. Seite 29 dargestellten Transektes von Bad Segeberg bis zum Kaufunger Wald. Die Veränderungen zwischen den Projektionen für 2000 und 2100 zeigen die Diagramme b (Eiche) und d (Buche). Für Punkte außerhalb der Waldfläche, die am hellerem Farbton erkennbar sind, wurde zwischen den Projektionen benachbarter Waldflächen interpoliert. Die unteren Graphiken beschreiben das Profil der Seehöhe (NHN) entlang des Transektes.



# Wachstum von Eiche, Buche, Fichte und Kiefer im Klimawandel

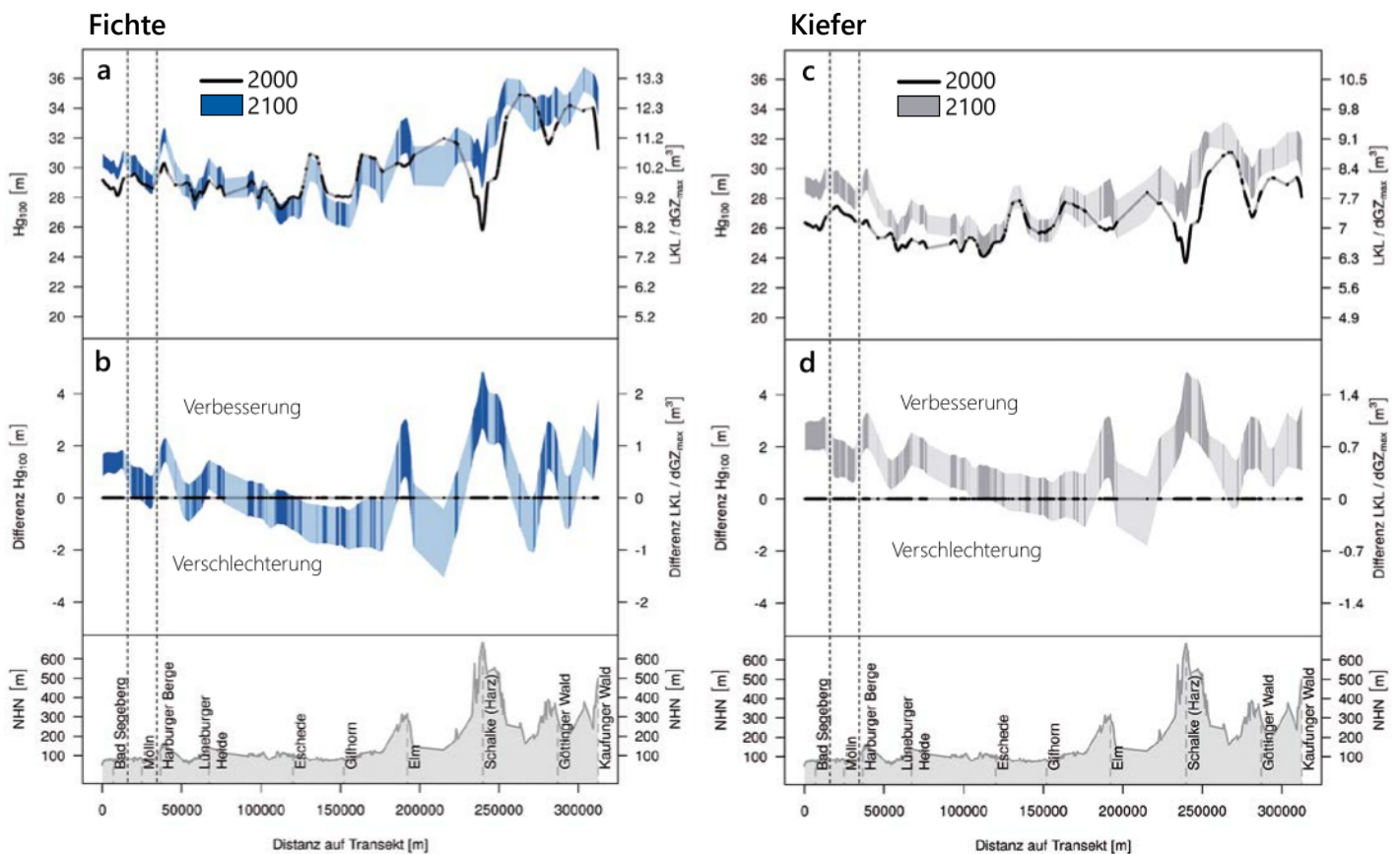


Foto: M. Spielmann

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

Für die **Fichte** weisen die Schätzungen für das Jahr 2000 ein ähnliches Muster wie bei Buche und Eiche auf. Allerdings liegen die Bonitäten – auch hier erwartungsgemäß – noch einmal deutlich höher als bei Buche (Abb. unten, **Fichte** a). Die

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



Projektionen der absoluten Mittelhöhenbonität ( $Hg_{100}$ ) und der Leistungsklasse ( $LKL/dGZ_{max}$ ) für Fichte (a) und Kiefer (c) für das Jahr 2000 (schwarze Linien) und für das Jahr 2100 und die 7 Klimälufe des ReKliEs-De-Kernensembles auf Basis des RCP 8.5 Klimaszenarios (farbige Bänder) entlang des in Abb. Seite 29 dargestellten Transektes von Bad Segeberg bis zum Kaufunger Wald. Die Veränderungen zwischen den Projektionen für 2000 und 2100 zeigen die Diagramme b (Fichte) und d (Kiefer). Für Punkte außerhalb der Waldfläche, die am helleren 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

che und Eiche. Bzgl. des grundsätzlichen Musters ähnelt die Kiefer der Fichte. So sind die Bonitätsrückgänge zwischen den mittleren Höhenlagen und den Hochlagen von Kaufunger Wald und insbesondere des Harzes weniger stark als bei Buche und Eiche. Besonderheiten der Kiefer sind die im Baumartenvergleich relativ guten Bonitäten östlich von Mölln und die relativ schlechten Bonitäten im Elm. Beim Vergleich mit den Projektionen für das Jahr 2100 weist die Kiefer ein Muster auf, das zwischen dem von Eiche und Fichte liegt (Abb. Seite 31, **Kiefer** d). So treten im südlichen Tieflandsbereich und zwischen Elm und Harz deutlich mehr Klimäläufe mit Bonitätsverschlechterungen auf als bei Eiche, aber deutlich weniger als bei Fichte. Auch gibt es bei Kiefer keine Bereiche, in denen in allen Klimäläufen Bonitätsverschlechterungen projiziert werden. Die stärksten Bonitätsverbesserungen zeigen sich wie bei den anderen Baumarten in den höheren Mittelgebirgslagen, wobei der Maximalwert ebenfalls auf der Schalke im Harz erreicht wird.

Als allgemeines Muster lässt sich für alle Baumarten festhalten, dass für die Hochlagen von Kaufunger Wald und Harz, wo aktuell die Temperatursumme der begrenzende Wachstumsfaktor ist, sehr deutliche Bonitätsverbesserungen projiziert werden. Klare Verbesserungen werden auch in den mittleren Mittelgebirgslagen bis 400 m, für die Harburger Berge und für

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

den Bereich bei Bad Segeberg geschätzt. In den übrigen Bereichen des Tieflandes und den tieferen Mittelgebirgslagen sind die Verbesserungen bei Eiche geringer. Die übrigen Baumarten weisen hier bereits Standorte bzw. Klimäläufe mit Bonitätsverschlechterungen auf. Dabei nimmt der Anteil mit Bonitätsverschlechterungen von Kiefer über Fichte zu Buche deutlich zu. Als Ursache für Bonitätsverschlechterungen sind sehr hohe zukünftige Temperatursummen oberhalb der Optimalbereiche und vor allem sehr geringe zukünftige Niederschlagssummen zu nennen, die das Wachstum begrenzen.

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

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

## Literatur

- Hübener H, Bülow K, Fooker C, Früh B, Hoffmann P, Höpp S, Keuler K, Menz C, Mohr V, Radtke K, Ramthun H, Spekat A, Steger C, Tousseint F, Warrach-Sagi K, Woldt M (2017): Ergebnisbericht REKLIES-DE – Regionale Klimaprojektionen Ensemble für Deutschland. 76 S., <http://reklies.hlnug.de/fileadmin/tmp/reklies/dokumente/ReKLIES-DE-Ergebnisbericht.pdf>
- Riedel T, Hennig P, Kroiher F, Polley H, Schmitz F, Schwitzgebel F (2017): Die dritte Bundeswaldinventur (BWI 2012): Inventur- und Auswertemethoden, 124 S
- Schaap M, Kruit RW, Hendriks C, Kranenburg R, Segers A, 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](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.5710142>

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

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

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

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

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

## Degradierung von Waldmooren – ein Rückblick

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

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



*Kleine Moore im Wald, wie diese hier im hessischen Burgwald, haben oft bessere Renaturierungsprognosen als solche im Offenland.*

Foto: P. Küchler



# Waldmoore - Erfassung und Renaturierungsperspektiven

des 18. Jahrhunderts und der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts eine sehr große Rolle im Bereich von Waldmoor-Standorten gespielt. Die dabei angelegten Grabensysteme wurden häufig noch bis in die jüngste Vergangenheit unterhalten. Mit zunehmenden technischen Möglichkeiten kam es teilweise sogar zum flächigen Umbruch von Waldmooren zum Zwecke der Aufforstung.

Besonders im norddeutschen Tiefland wurden heutige Waldmoore im Rahmen einer Kultivierung von „Ödland“ zum Zwecke einer landwirtschaftlichen Nutzung entwässert. Die oft wenig ertragreiche Landwirtschaft wurde dann vielfach nach 1950 aufgegeben und die Flächen wurden aufgeforstet oder es entstanden im Rahmen einer natürlichen Sukzession „Anflugwälder“ aus Birke und Kiefer auf dem weiterhin entwässerten Moor.



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

*Foto: P. Küchler*

## Perspektiven der Waldmoor-Renaturierung

Gegenüber landwirtschaftlich genutzten Mooren im Offenland haben Waldmoore meist günstigere Renaturierungsperspektiven. Denn oft wurden sie weniger tief entwässert und nur selten tief umgebrochen. Außerdem bestehen weniger Zielkonflikte, da die Waldmoorstandorte eine sehr geringe Bedeutung für die Holzproduktion haben. Daher ist allgemein beim Thema Waldmoore ein sehr breiter Konsens der relevanten Akteure aus Forstwirtschaft und Naturschutz festzustellen. Zudem besteht gerade bei Mooren in Waldgebieten weniger zersplitterter Grundbesitz als in landwirtschaftlichem Gelände, sodass eine Einbeziehung des gesamten Moorkörpers in ein Renaturierungsprojekt eher möglich ist.

Die meisten Wälder, die standörtlich bedingt über Moore verfügen, zeichnen sich durch zahlreiche kleine Moorstandorte aus. Die Renaturierung mehrerer davon schafft einen lokalen Biotopverbund für Moorarten und kann so ihr Überleben besser absichern als Einzelprojekte es vermögen.

## Vorgehen bei der Renaturierung

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



*Intakte, kohlenstoffbindende Moore haben ganzjährig flurnahe Wasserstände.*

*Foto: P. Küchler*



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

*Foto: Archiv Gisbert Backhaus*

## Nutzungsauffassung reicht nicht

In den meisten entwässerten Mooren sind aktive wasserbauliche Maßnahmen zur Wiedervernässung nötig, die gegebenenfalls noch durch Biotoppflegemaßnahmen begleitet werden müssen. Denn nur wenige entwässerte Moore verfügen noch über eine ausreichende Selbstregenerationsfähigkeit, sodass Torfwachstum die Entwässerungsgräben vollständig schließt und sich wieder moortypische Pflanzen einstellen. Meistens jedoch entwässern die Gräben oder auch tiefergelegte Bäche das Moor auch dann weiter, wenn sie nicht mehr unterhalten werden. Dann kommt es zu weiterer Torfzersetzung mit Klimagasfreisetzung und Verlust an Artenvielfalt. Im Extremfall tiefen sich die Gräben nach Auffassung sogar erosiv ein, sodass der Moorwasserspiegel dadurch noch weiter sinkt.

In einigen entwässerten Waldmooren nährstoffärmerer Standorte breiten sich nach einer Nutzungsauffassung zudem die eingebrachten Fichten weiter aus und verhalten sich hier als „invasive Art“, die Moorpflanzen ausschattet und zudem durch Interzeption und Verdunstung den Wasserhaushalt beeinträchtigt.



# Waldmoore - Erfassung und Renaturierungsperspektiven



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

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

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

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



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

## Erfolge und Erfolgskontrolle

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

## Ausblick

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

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

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



## 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: Evers J

Layout: Starick E

Herstellung: Nordwestdeutsche  
Forstliche Versuchsanstalt

Druck: Printec Offset Kassel

## Zitiervorschlag

Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt,  
Ministerium für Energiewende, Landwirtschaft,  
Umwelt, Natur und Digitalisierung des Landes  
Schleswig-Holstein (Hrsg.) (2021): Waldzu-  
standsbericht 2021 für Schleswig-Holstein, 36 S  
<https://doi.org/10.5281/zenodo.5717682>

Zitate der Einzelbeiträge bitte nach  
folgendem Schema:

Dammann I, Paar U (2021): WZE-Ergebnisse  
für alle Baumarten. In: Nordwestdeutsche  
Forstliche Versuchsanstalt, Ministerium für  
Energiewende, Landwirtschaft, Umwelt, Natur  
und Digitalisierung des Landes Schleswig-Hol-  
stein (Hrsg.): Waldzustandsbericht 2021 für  
Schleswig-Holstein. S 8-17.  
<https://doi.org/10.5281/zenodo.5717785>

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](http://www.nw-fva.de) und  
[www.schleswig-holstein.de/](http://www.schleswig-holstein.de/)  
Landesregierung

## 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 Schleswig-Holsteinischen Landesregierung herausgegeben. Sie darf weder von Parteien noch von Wahlwerberinnen und Wahlwerbern, Wahlhelferinnen und Wahlhelfern während eines Wahlkampfes zum Zwecke der Wahlwerbung verwendet werden. Dies gilt für Europa-, Bundestags-, Landtags- und Kommunalwahlen.

Missbräuchlich ist insbesondere die Verteilung auf Wahlveranstaltungen, an Informationsständen der Parteien sowie das Einlegen, Aufdrucken oder Aufkleben parteipolitischer Informationen oder Werbemittel. Untersagt ist gleichfalls die Weitergabe an Dritte zum Zwecke der Wahlwerbung. Auch ohne zeitlichen Bezug zu einer bevorstehenden Wahl darf die Druckschrift nicht in einer Weise verwendet werden, die als Parteinahme der Landesregierung zugunsten einzelner politischer Gruppen verstanden werden könnte. Die Beschränkungen gelten unabhängig davon, wann, auf welchem Weg und in welcher Anzahl diese Druckschrift dem Empfänger zugegangen ist. Den Parteien ist jedoch gestattet, die Druckschrift zur Unterrichtung ihrer eigenen Mitglieder zu verwenden.