

# Waldzustandsbericht 2022



## Vorwort



Sehr geehrte Leserinnen und Leser,

die Schleswig-Holsteinischen Wälder sind ein kostbares Gut, sie erbringen Nutz-, Schutz- und Erholungsfunktionen im Einklang. Als Rohstofflieferanten versorgen sie uns mit dem Baustoff Holz und liefern als Brennholz Wärme. Unsere bewirtschafteten Wälder sind Lebensräume für eine vielfältige Tier- und Pflanzenwelt. Viele Menschen finden in ihnen einen Ort der Ruhe und Erholung – gerade in der Corona-Situation wurden unsere Wälder als Freizeitraum neu entdeckt. Zudem reinigen sie die Luft, spenden Sauerstoff, geben Schatten und schützen den Boden vor Erosion. Jeder Waldboden filtert Wasser und schützt so unser Trinkwasser. Angesichts unserer Herausforderungen zur Erreichung der Klimaschutzziele sind unsere bewirtschafteten Wälder als Kohlenstoffsenken von sehr großer

Bedeutung. Unsere nachhaltige Forstwirtschaft sichert alle Waldfunktionen. Umso wichtiger sind die Anstrengungen aller Waldbesitzarten, unsere Wälder stabil und gesund für kommende Generationen zu erhalten und mit dem Blick auf die Klimaanpassung weiterzuentwickeln.

In welchem Zustand befinden sich die schleswig-holsteinischen Wälder im Jahr 2022? Auf diese Frage gibt der hier vorgelegte Bericht Antworten. Die Baumarten reagieren unterschiedlich auf die abiotischen und biotischen Faktoren, die sie umgeben. Ein Maß für ihre Gesundheit ist das Kronenbild. Die gute Nachricht ist deshalb, dass sich die mittlere Kronenverlichtung der Waldbäume in Schleswig-Holstein im Jahr 2022 gegenüber dem Vorjahr nicht verändert – und somit auch nicht verschlechtert – hat.

Der Anteil starker Schäden für den Gesamtwald in Schleswig-Holstein ist erfreulicherweise 2022 weiter rückläufig. Große Sorge bereiten uns allerdings wertvolle Baumarten. Das Eschensterben setzt sich ungebremst fort, wir verlieren die Esche als ertragreichen Baum – insbesondere für nasse, schwierige Standorte. Auch der schleswig-holsteinische Charakterbaum, die Eiche, zeigt in diesem Jahr eine stärkere Kronenverlichtung.

Im Auftrag der Landesregierung wird der Waldzustand jedes Jahr in Schleswig-Holstein erfasst. Die Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt (NW-FVA) erstellt dabei maßgeblich die Analysen und ordnet die Veränderungen ein. Ich freue mich, Ihnen das Ergebnis für das Jahr 2022 vorstellen zu dürfen.

In anderen Bundesländern geht es den Wäldern zum Teil wesentlich schlechter, die Bäume hier profitieren vom atlantischen Klima. Dennoch wird sich der fortschreitende Klimawandel verstärkt auch auf unsere Wälder in Schleswig-Holstein auswirken. Ein aktives, waldbauliches Handeln stärkt unsere Wälder und passt sie langfristig an die Auswirkungen des Klimawandels an.

Stabile und vielfältige Wälder sind unser Ziel und ein wichtiger Beitrag für eine lebenswerte Zukunft!

Werner Schwarz

Minister für Landwirtschaft, ländliche Räume, Europa und Verbraucherschutz  
des Landes Schleswig-Holstein



Foto: J. Evers

<b>Inhaltsverzeichnis</b>	Seite
Vorwort	2
<b>Hauptergebnisse</b>	4
<b>Forstliches Umweltmonitoring</b> Ulrike Talkner, Caroline Klinck und Uwe Paar	6
<b>WZE-Ergebnisse für alle Baumarten</b> Caroline Klinck und Uwe Paar	8
Buche	10
Eiche	12
Fichte	14
Kiefer	15
Andere Laub- und Nadelbäume	16
<b>Witterung und Klima</b> Johannes Suttmöller	18
<b>Stoffeinträge</b> Birte Scheler	23
<b>Auswirkungen großflächiger Schadflächen auf den Wasser- und Stoffhaushalt von Wäldern</b> Birte Scheler	26
<b>Alternative Baumarten – ein Lösungsbeitrag für die Klimaanpassung der Wälder in Schleswig-Holstein?</b> Stefan Lieven, Franziska Fasse, Maik Werning, Ralf-Volker Nagel	29
<b>Douglasie ist nicht gleich Douglasie – zur Bedeutung von Herkünften und genetischen Ressourcen</b> Aki Michael Höltken, Martin Hofmann und Wilfried Steiner	35
<b>Die dritte Bodenzustandserhebung im Wald (BZE III) hat begonnen</b> Jan Evers und Oliver van Straaten	39
Impressum	40

# Hauptergebnisse

## Waldzustandserhebung (WZE)

Die Waldzustandserhebung 2022 zeigte in Schleswig-Holstein einen gegenüber dem Vorjahr unveränderten Zustand des Gesamtwaldes. Gemessen an der Gesamtzeitreihe der Waldzustandserhebung seit 1984 sind für die letzten vier Jahre leicht erhöhte Werte der mittleren Kronenverlichtung und der Absterberate zu erkennen. Der Anteil starker Schäden liegt auf dem Niveau des langjährigen Mittels.

Die mittlere Kronenverlichtung für alle Baumarten und alle Alter beträgt in diesem Jahr 20 %. Gegenüber 2021 erhöhte sich die Kronenverlichtung bei den Eichen, bei den beiden Gruppen der anderen Laub- bzw. Nadelbäume sanken die Verlichtungswerte auf jeweils 17 %.

Der Anteil starker Schäden für den Gesamtwald in Schleswig-Holstein ist 2022 weiter rückläufig. Nach 2,7 % im Vorjahr wurden 2022 2,3 % der Stichprobenbäume als stark geschädigt eingestuft. Gleich bzw. nahezu gleich blieben die Anteile starker Schäden bei den Fichten sowie bei den Eichen. Bei allen andern Baumarten gingen die Werte zurück.

Die diesjährige Absterberate ist mit 0,4 % doppelt so hoch wie der langjährige Durchschnitt (0,2 %). Die Absterberate ist bei der Gruppe der anderen Nadelbäume mit 0,8 % am höchsten. Am niedrigsten ist sie mit jeweils 0 % bei Buche und Eiche.

Die Ausfallrate lag 2022 mit 1,9 % deutlich über dem langjährigen Mittel von 0,7 %. Die höchsten Ausfälle gab es bei der Gruppe der anderen Laubbäume (3,8 %), bei Kiefer (2,3 %) und Fichte (3 %). Eichen wurden keine außerplanmäßig entnommen.

Die Baumartenverteilung in der WZE-Stichprobe 2022 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 2021/2022 (Oktober bis September) fielen im Flächenmittel von Schleswig-Holstein 784 mm Niederschlag. Dies entsprach dem langjährigen Mittelwert von 782 mm. Die Bodenwasserspeicher waren zu Beginn der Vegetationszeit weitgehend aufgefüllt, so dass es auch während der längeren Trockenperiode im Sommer zu keiner ausgeprägten Dürre kam. Mit einer Mitteltemperatur von 10,2 °C war das Vegetationsjahr 2021/2022 wiederum eines der wärmsten seit Messbeginn. Der langfristige Erwärmungstrend hält damit unvermindert an. Dabei waren alle Monate teilweise deutlich wärmer als im langjährigen Mittel der Periode 1961 bis 1990.

## 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 und von anorganischem Stickstoff hat weiter abgenommen. 2021 betrug der Sulfat-



Foto: M. Schmidt



Foto: O. Schwerdtfeger

schwefeleintrag mit der Gesamtdeposition 3,4 kg je Hektar, der anorganische Stickstoffeintrag lag bei 12,2 kg je Hektar. In keinem Jahr seit 1989 war der Stickstoffeintrag niedriger als 2021, beim Sulfateintrag ist es der zweitniedrigste Wert nach dem extrem niederschlagsarmen Jahr 2018.

### **Auswirkungen großflächiger Schadflächen auf den Wasser- und Stoffhaushalt von Wäldern**

Die Ergebnisse aus einem der wenigen langjährig untersuchten forsthydrologischen Forschungsgebiete (Elsterbach, Nordhessen) belegen, dass großflächige Störungen der Waldstruktur Störungen im Stoffhaushalt verursachen und Nährstoffverluste nach sich ziehen. Ein wichtiger Schlüsselprozess ist in diesem Zusammenhang die vermehrte Bildung von Nitrat (Überschussnitrifikation) aufgrund des veränderten Kleinklimas auf Kahlflächen bei gleichzeitig geringerer Stickstoffaufnahme durch die Vegetation. Erhöhte Nitratausträge können zum einen eine Belastung für das Grund- und Trinkwasser darstellen, außerdem verursachen sie je nach Standort erhöhte Austräge anderer Nährstoffe, deren Abnahme auf nährstoffarmen Standorten für die kommende Waldgeneration kritisch werden kann.

### **Alternative Baumarten – ein Lösungsbeitrag für die Klimaanpassung der Wälder in Niedersachsen?**

Im Rahmen der Klimaanpassung der Wälder ist das Interesse der forstlichen Praxis an sogenannten Alternativen Baumarten in den letzten Jahren vor dem Hintergrund der massiven Waldschäden stark gestiegen. Nach dem Ansatz der Klimaanalogen rücken aktuell vor allem südeuropäische und vorderasiatische Nadel- und Laubbaumarten in den Fokus, für die im nordwestdeutschen Raum wissenschaftliche Anbauversuche jedoch überwiegend fehlen. Der Anbau dieser Arten birgt daher ökonomische, aber vor allem auch ökologische Risiken. Deshalb arbeitet die NW-FVA in einem aktuellen Forschungsprojekt daran, die größten Wissenslücken zu

potenziell geeigneten Baumarten mit Hilfe von etablierten Praxisanbauten zu schließen. Erste Entscheidungshilfen für die Praxis sind nach Projektabschluss Ende 2023 zu erwarten, speziell auf Schleswig-Holstein angepasste Empfehlungen frühestens 2024.

### **Douglasie ist nicht gleich Douglasie – zur Bedeutung von Herkünften und genetischen Ressourcen**

Die Witterungsbedingungen der letzten Jahre haben bei vielen heimischen Baumarten zu Vitalitätsverlusten bis hin zum Absterben geführt. Deshalb ist das Interesse an fremdländischen, trocken- und hitzeresistenten Baumarten gestiegen. Zur Douglasie gibt es seit über 100 Jahren Wachstums- und Herkunftsversuche. Letztere deckten teilweise große Unterschiede der Toleranz gegenüber Witterungsextremen zwischen verschiedenen Herkünften auf. Empfohlen werden in Deutschland vor allem Herkünfte aus dem nördlichen und nordöstlichen Teil oder sogar aus höheren Lagen des Verbreitungsgebietes der Küstenform.

Vermehrungsgut aus Samenplantagen ist für die forstliche Praxis vorrangig zu empfehlen, denn dies verspricht nicht nur gute Wuchseigenschaften, sondern vor allem eine besonders hohe genetische Vielfalt und damit Anpassungsfähigkeit.

### **Die dritte Bodenzustandserhebung im Wald (BZE III) hat begonnen**

Die Bodenzustandserhebung im Wald liefert Informationen zum Zustand und zu Veränderungen von Bodeneigenschaften sowie zum Bestand, der Vegetation und Ernährungssituation der Waldbäume. Sie wird bundesweit einheitlich in den Jahren 2022–2024 auf einem 8 km x 8 km-Stichprobenetz durchgeführt und folgt damit der BZE I (1990) und BZE II (2006). Im Vordergrund der kommenden Auswertungen stehen die Veränderung von Kohlenstoff- und Stickstoffvorräten sowie wichtiger Nährstoffvorräte im Waldboden und Auflagehumus.

# Forstliches Umweltmonitoring

Ulrike Talkner, Caroline Klinck und Uwe Paar

<https://doi.org/10.5281/zenodo.7326873>

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. In den 1990er 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 Nährstoff- und Wasserhaushalt von Wäldern (Experimentalflächen)

Die Verknüpfung und Kombination von Level I, II und III 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.

## 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 x 2 km) mit jetzt 129 Stichprobenpunkten eingerichtet. 2022 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 2022. Sie sind mit qualitätssichernden Maßnahmen sorgfältig überprüft.

Für den Parameter mittlere Kronenverlichtung zeigt die Tabelle Seite 7 die 95 %-Konfidenzintervalle (Vertrauensbereiche)



Wartung der Messgeräte auf der Level II-Fläche Bornhöved

Foto: O. Schwerdtfeger

für die Baumarten und Altersgruppen der WZE-Stichprobe 2022. Je weiter der Vertrauensbereich, desto unschärfer sind die Aussagen. Die Weite des Vertrauensbereiches wird im Wesentlichen beeinflusst durch die Anzahl der Stichprobenpunkte in der jeweiligen Auswerteeinheit und die Streuung der Kronenverlichtungswerte. Für relativ homogene Auswerteeinheiten (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

*95 %-Konfidenzintervalle für die Kronenverlichtung der Baumarten- und Altersgruppen der Waldzustandserhebung 2022 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	770	72	4x2 km	1,7
	bis 60 Jahre	210	27	4x2 km	1,4
	über 60 Jahre	560	50	4x2 km	1,6
Eiche	alle Alter	442	64	4x2 km	1,6
	bis 60 Jahre	136	23	4x2 km	1,8
	über 60 Jahre	306	49	4x2 km	1,4
Fichte	alle Alter	526	59	4x2 km	1,9
	bis 60 Jahre	160	20	4x2 km	3,8
	über 60 Jahre	366	43	4x2 km	2,0
Kiefer	alle Alter	171	20	4x2 km	1,0
	bis 60 Jahre	24	4	4x2 km	2,5
	über 60 Jahre	147	16	4x2 km	1,0
andere Laub- bäume	alle Alter	688	79	4x2 km	1,6
	bis 60 Jahre	421	41	4x2 km	1,2
	über 60 Jahre	267	48	4x2 km	2,7
andere Nadelbäume	alle Alter	475	52	4x2 km	2,0
	bis 60 Jahre	181	21	4x2 km	2,4
	über 60 Jahre	294	33	4x2 km	2,4
alle Baumarten	alle Alter	3072	128	4x2 km	0,9
	bis 60 Jahre	1132	61	4x2 km	1,1
	über 60 Jahre	1940	93	4x2 km	0,9

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

## Mittlere Kronenverlichtung

Die mittlere Kronenverlichtung ist der arithmetische Mittelwert der in 5 %-Stufen erhobenen Kronenverlichtungswerte 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 letzten und der aktuellen Erhebung abgestorben sind und noch am Stichprobenpunkt stehen. Durch Windwurf und Durchforstung ausgefallene Bäume gehen nicht in die Absterberate, sondern in die Ausfallrate ein.

## Ausfallrate

Das Inventurverfahren der WZE ist darauf ausgelegt, die aktuelle Situation der Waldbestände unter realen (Bewirtschaftungs-) Bedingungen abzubilden. Daher scheidet in jedem Jahr ein Teil der Stichprobenbäume aus dem Aufnahme-kollektiv aus. Der Ausfallgrund wird für jeden Stichprobenbaum dokumentiert. Gründe für den Ausfall sind u. a. Durchforstungsmaßnahmen, methodische Gründe (z. B., wenn der Stichprobenbaum nicht mehr zu den Baumklassen 1–3 gehört), Sturmschäden oder außerplanmäßige Nutzung aufgrund von Insektenschäden.

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

Die im Bericht aufgeführte Ausfallrate ergibt sich aus den infolge von Sturmschäden, Trockenheit und Insekten- oder Pilzbefall 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

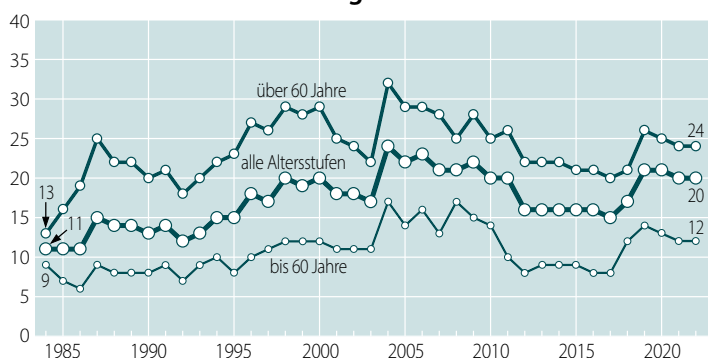
Caroline Klinck und Uwe Paar  
<https://doi.org/10.5281/zenodo.7326881>

## Mittlere Kronenverlichtung

Die Waldzustandserhebung 2022 weist für die Waldbäume in Schleswig-Holstein (alle Baumarten, alle Alter) wie im Vorjahr eine mittlere Kronenverlichtung von 20 % auf. Die Werte veränderten sich damit seit 2019 kaum.

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 ab 2020 wieder besser belaubt waren, erhöhte sich 2020 die Kronenverlichtung bei Fichte und ist seitdem stabil. Ältere Eichen und Kiefern reagierten moderat auf die Witterungsbedingungen der letzten Jahre. In der Gruppe der anderen Nadelbäume weisen die Sitkafichten seit 2020 vermehrt Schäden auf. 2022 lagen die Kronenverlichtungswerte der über 60jährigen Sitkafichten bei im Mittel 34 %.

### Mittlere Kronenverlichtung in %



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

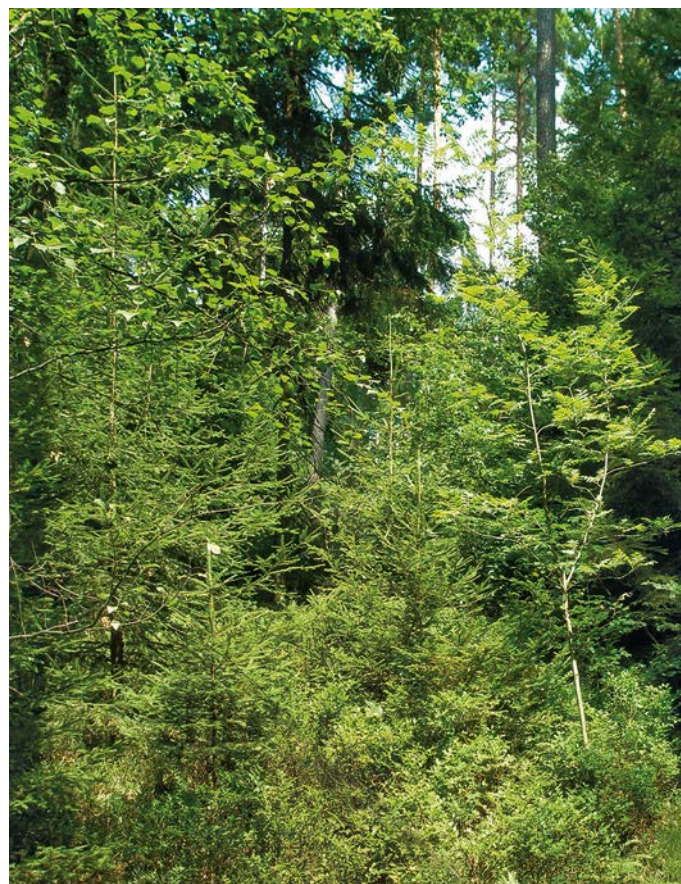
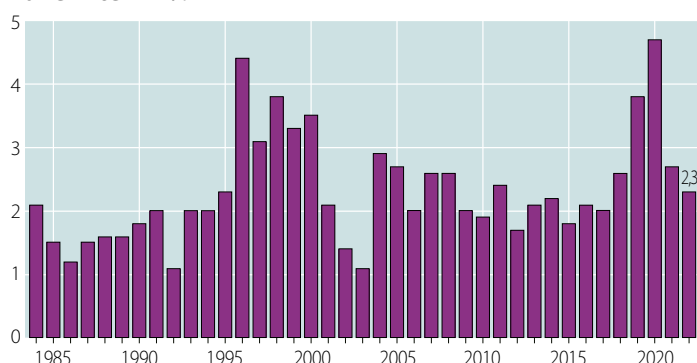


Foto: W. Klotz

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.

Einen bedeutsamen Einfluss auf das Gesamtergebnis hat die Altersstruktur der Waldbestände, denn in den jüngeren Beständen (bis 60 Jahre) sind Schadsymptome sehr viel weniger verbreitet als in den älteren Waldbeständen. Wie 2021 liegt 2022 die mittlere Kronenverlichtung der über 60-jährigen Waldbestände mit 24 % doppelt so hoch wie die der jüngeren Waldbestände (12 %). Im WZE-Kollektiv sind fast zwei Drittel der Stichprobenbäume älter als 60 Jahre.

## Anteil starker Schäden

Nach einem Anstieg der starken Schäden nach 2019 wurde 2022 2,3 % der Waldfläche als stark geschädigt eingestuft und sank damit im Vergleich zum Vorjahr leicht ab. Die Spanne reicht von 1,2 % (Kiefer) bis 3,5 % (andere Laubbäume). Bäume mit einer Kronenverlichtung von über 60 % werden als stark geschädigt bezeichnet. Im Vergleich zu Bäumen mit vollbelaubten Baumkronen kommt es bei Bäumen mit geringerer Belaubung zu Einschränkungen in der Versorgung der Bäume mit Wasser und Energie. Das Vermögen der Bäume, sich an wechselnde Bedingungen anzupassen, wird eingeschränkt.



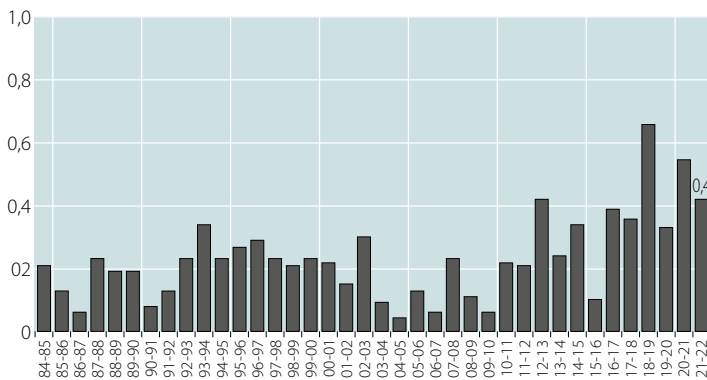
## Absterberate

In die Absterberate fallen Bäume, die erstmalig eine Kronenverlichtung von 100 % aufweisen. Im Mittel der Beobachtungsjahre ergibt sich mit 0,2 % eine sehr geringe Absterberate. Mit 0,4 % ist der Wert 2022 nur noch leicht erhöht (2021: 0,6 %). 2022 sind keine Buchen und keine Eichen im WZE-Kollektiv abgestorben, die höchste Absterberate weist die Gruppe der anderen Nadelbäume auf (0,8 %).

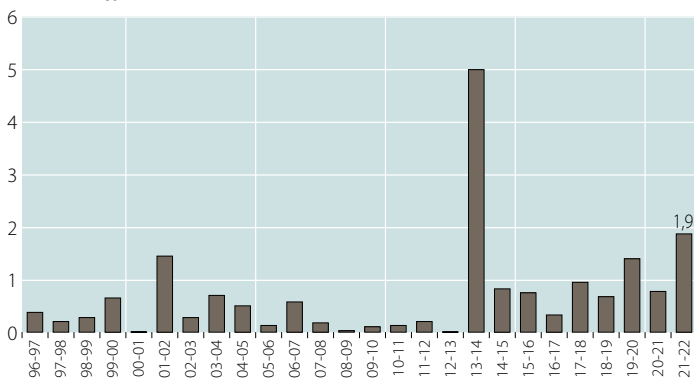
## Ausfallrate

In die Ausfallrate zählen alle infolge von Sturmwurf, Trockenheit, Insekten- und Pilzbefall am Stichprobenpunkt entnommenen Bäume. Im Zeitraum 1997–2022 liegen die jährlichen Ausfallraten zwischen 0,02 und 5 %, im Mittel bei 0,7 %. Durch

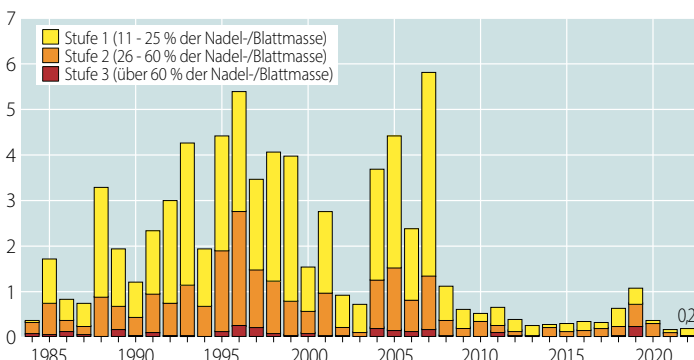
### Jährliche Absterberate (stehende Bäume), alle Alter in %



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



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



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. 2022 wurde mit 1,9 % der zweithöchste Wert erreicht. Ursache dafür ist die Wintersturmserie „Ylenia“, „Zeynep“ und „Antonia“, die im Februar 2022 über Schleswig-Holstein zog.

## 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. 2022 liegt der Wert bei 0,2 %.

## Fazit

Die mittlere Kronenverlichtung für den Gesamtwald in Schleswig-Holstein ist 2022 gegenüber dem Vorjahr unverändert. Bei Buche blieben die Verlichtungswerte fast konstant, während sich die Eichen leicht verschlechterten. Einen leichten Anstieg der Kronenverlichtung gab es auch bei jüngeren Fichten, bei den älteren Fichten gab es keine Veränderung zum Vorjahr. Die Verlichtungswerte der anderen Laub- und Nadelbäume (alle Alter) gingen zurück. Der Anteil starker Schäden ist weiterhin erhöht. Der Anteil der als Schadholz entnommenen Bäume (Ausfallrate) ist 2022 überdurchschnittlich hoch, die Absterberate dagegen ist nur noch leicht erhöht.



Foto: M. Spielmann

# Buche

## Ältere Buche

Nachdem die älteren Buchen 2019 eine hohe mittlere Kronenverlichtung aufwiesen (33 %), gingen die Werte seitdem zurück. 2022 lag die mittlere Kronenverlichtung wie im Vorjahr bei 24 %.

In den ersten beiden Erhebungsjahren waren die Kronenverlichtungswerte der Buchen vergleichsweise niedrig, in den Folgejahren stiegen sie sprunghaft an. Höchstwerte 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 Variabilität der Verlichtungswerte ist die Intensität der Fruchtbildung, da starke Fruktifikation mit vorübergehend erhöhter Kronenverlichtung einhergeht.

### Mittlere Kronenverlichtung in %

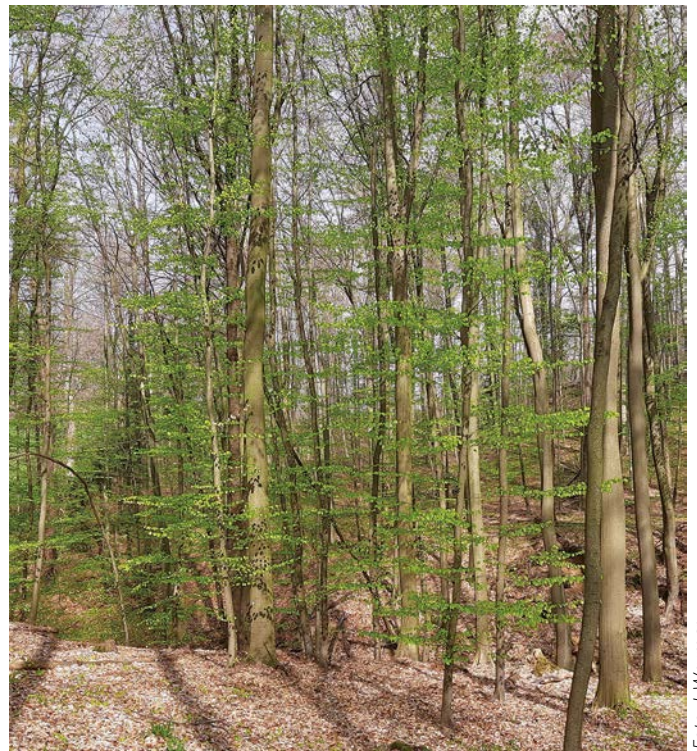
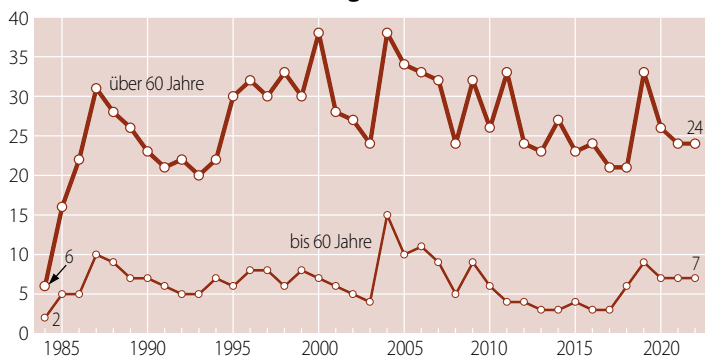


Foto: J. Weymar

## 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 mit 9 % erhöht, hob sich aber nicht deutlich von den Befunden früherer Jahre ab. 2022 betrug die mittlere Kronenverlichtung wie im Vorjahr 7 %.

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

## Starke Schäden

Wie beim Verlauf der mittleren Kronenverlichtung traten auch beim Anteil starker Schäden bei den Buchen (alle Alter) im Beobachtungszeitraum erhebliche Schwankungen zwischen 0,2 und 10,8 % auf. 2022 liegt der Anteil stark geschädigter Buchen mit 1,4 % unter dem langjährigen Mittel (2,7 %).

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

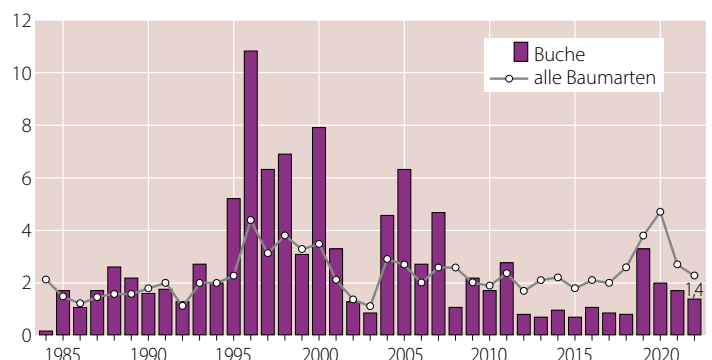
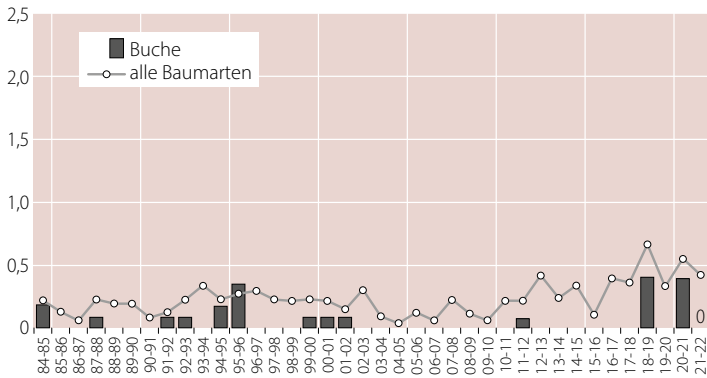


Foto: T. Ullrich

## 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, sie liegt im Mittel der Jahre 1984–2022 bei 0,06 %. Nachdem 2019 und 2021 überdurchschnittlich viele Buchen abgestorben waren, lag die Absterberate 2022 wieder bei 0 %.

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



## Ausfallrate

Die durchschnittliche Ausfallrate ist bei den Buchen vergleichsweise niedrig (0,3 %). 2014, 2015 und 2018 sind durch Sturmschäden vermehrt Buchen ausgefallen. Durch die Stürme im Februar 2022 erhöhte sich die Ausfallrate auch bei Buche auf 1,4 %, was einen neuen Maximalwert in der Zeitreihe darstellt.

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

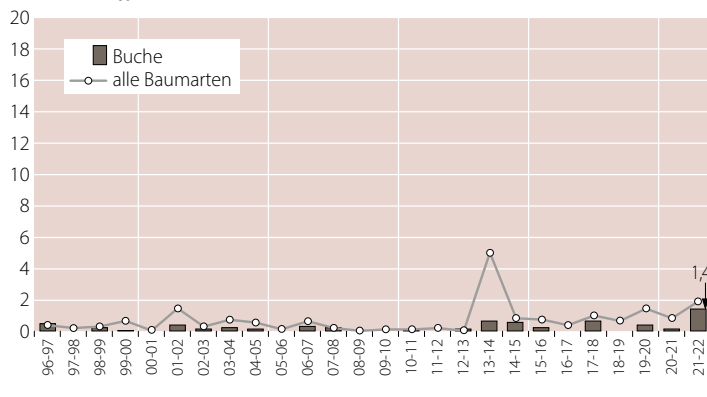


Foto: H. J. Arndt

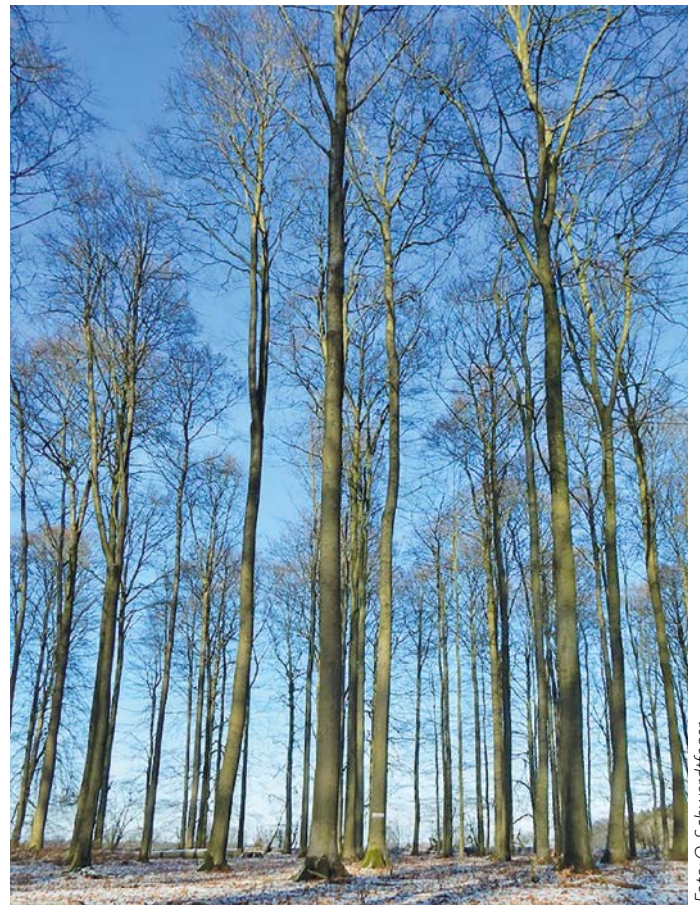
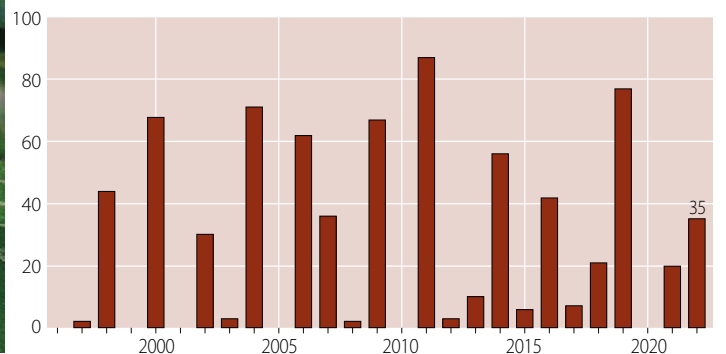


Foto: O. Schwerdtfeger

## 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 strahlungsreicher Jahre sowie einer erhöhten Stickstoffversorgung der Bäume. Die intensivste Fruchtbildung wurde 2011 festgestellt, als 87 % der älteren Buchen mittlere oder starke Fruchtbildung aufwiesen. 2022 haben 35 % 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 1996–2022 alle 2,5 Jahre eine starke Mast. Literaturrecherchen hingegen ergaben jeweils für 20-Jahresintervalle, bezogen auf den Zeitraum 1839–1987, Abstände zwischen zwei starken Masten von 3,3 bis 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 mit unter 15 % sehr niedrige Verlichtungswerte aus. Es folgte ein rascher Anstieg der Verlichtung mit besonders hohen Kronenverlichtungswerten bis über 30 % in den Jahren 1999 sowie 2004 und 2005. Seitdem bewegten sich die Werte auf diesem erhöhten Niveau und lagen 2022 bei 27 %.

Die Entwicklung des Kronenzustandes der Eichen wird durch Insekten- und Pilzbefall beeinflusst. Die periodische Vermehrung von Insekten der sogenannten Eichenfraßgesellschaft trägt maßgeblich zu Schwankungen der Belaubungsdichte der Eichen bei. Seit 2014 wurden jedoch kaum mittlere oder starke Schäden durch Insektenfraß beobachtet. 2022 lag der Anteil von Eichen mit mittlerem oder starkem Fraß bei 1,3 %.

## Jüngere Eiche

Die Kronenverlichtung der Eichen in der Altersstufe bis 60 Jahre liegt deutlich unter der der älteren Eichen. Von 1984–2003 wurden Verlichtungswerte zwischen 2 und 8 % ermittelt. Der Trockensommer 2003 verursachte einen Anstieg auf 8 bis 12 %. Von 2012–2017 wurden wieder niedrigere Verlichtungswerte festgestellt. Seit 2018 stieg die mittlere Kronenverlichtung auch bei den jüngeren Eichen wieder an und lag 2022 bei 12 %.

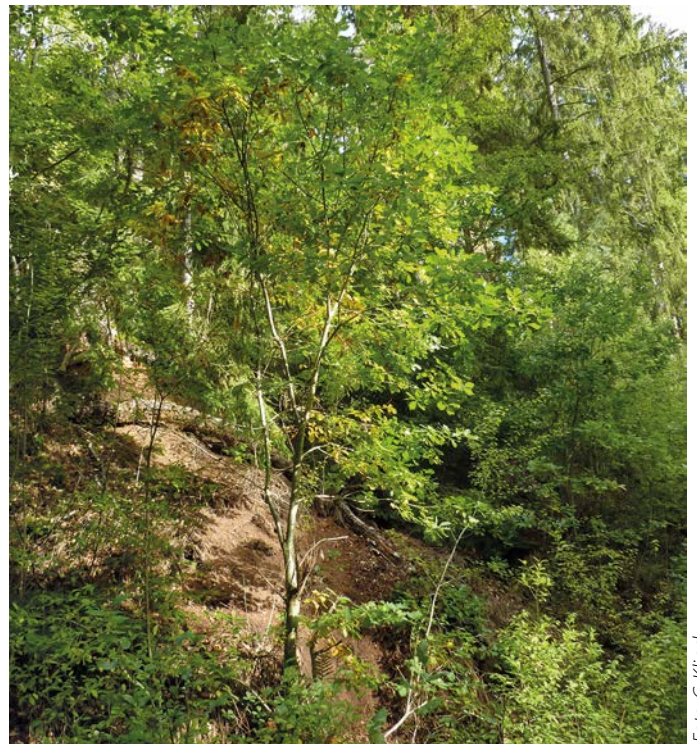
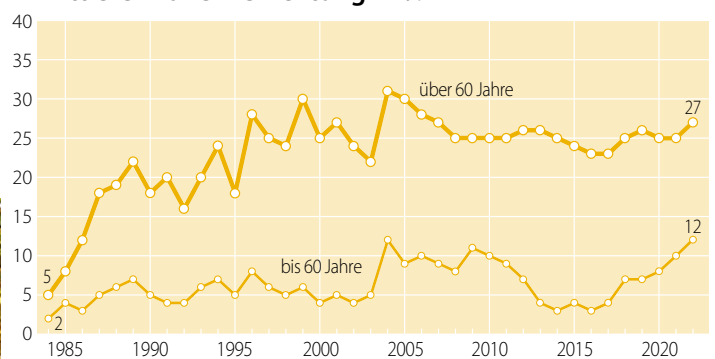


Foto: C. Klirck

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, 2022 wurden 1,4 % der Eichen als stark geschädigt eingestuft.

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

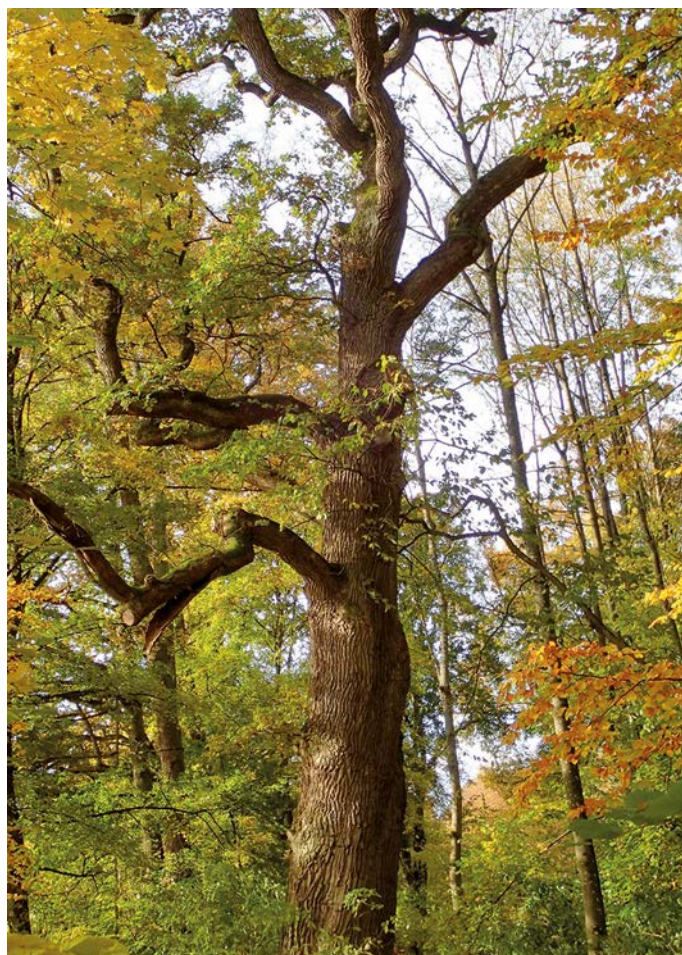
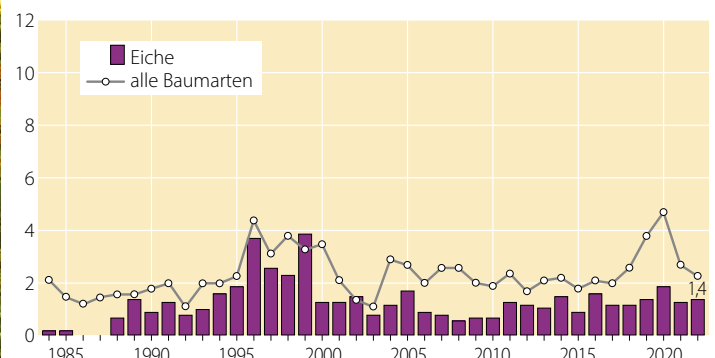


Foto: T. Ullrich

## Absterberate

Im Mittel der Jahre 1984–2022 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 %). 2022 sind keine Eichen aus dem WZE-Kollektiv abgestorben.

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

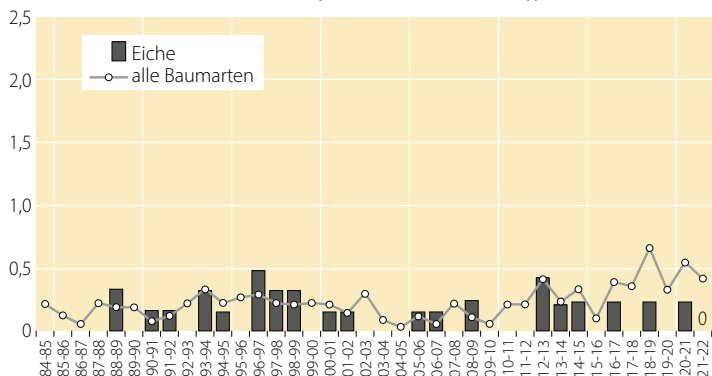


Foto: M. Spielmann

## 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 die höchsten Abweichungen vom Mittelwert der Ausfallrate (0,2 %). 2022 sind keine Eichen außerplanmäßig (aufgrund von Sturmschäden oder Insektenbefall) entnommen worden.

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

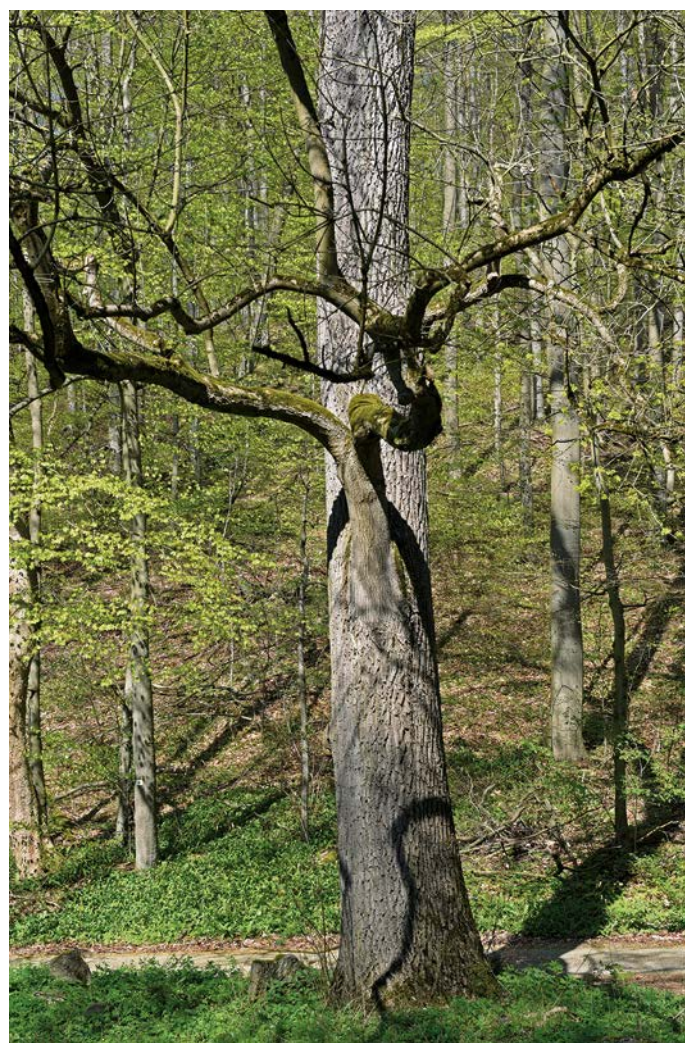
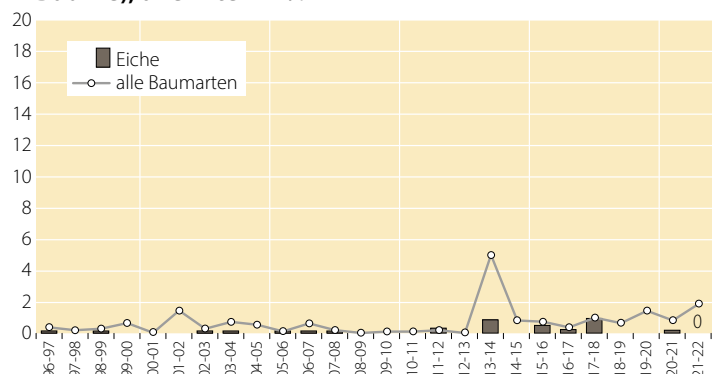


Foto: J. Evers

## 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. 17 % der Eichen zeigten 2022 eine mittlere bis starke Fruktifikation.



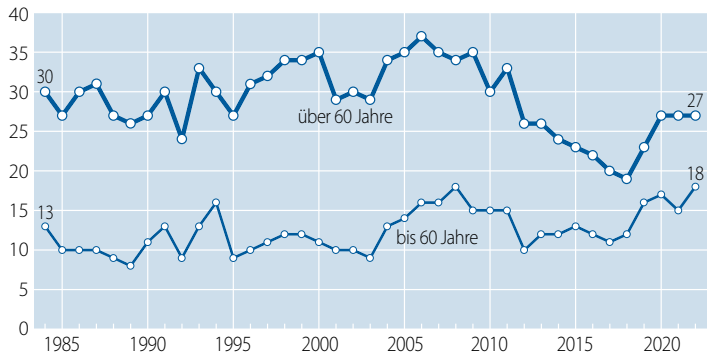
Foto: J. Weymar

# Fichte

## Ältere Fichte

Im Beobachtungszeitraum werden für die älteren Fichten 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 2022 wie in den beiden Vorjahren 27 %.

### Mittlere Kronenverlichtung in %



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

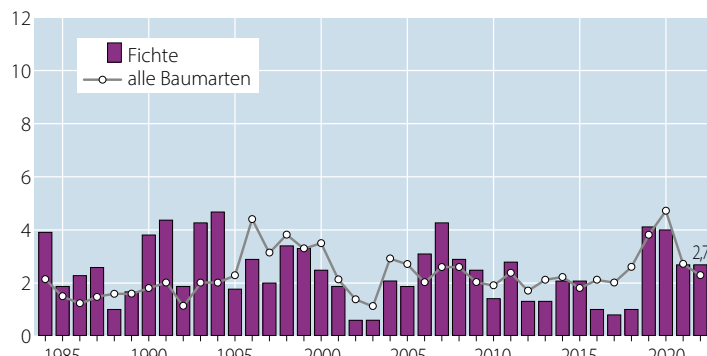


Foto: M. Spielmann

## Jüngere Fichte

Für die Fichten ist ein deutlicher Alterstrend festzustellen, in den letzten Jahren nähern sich die Verlichtungswerte beider Altersgruppen allerdings an. Aktuell beträgt die mittlere Kronenverlichtung für die jüngeren Fichten 18 %.

## Starke Schäden

Insgesamt (alle Alter) ergibt sich im Mittel aller Erhebungsjahre ein durchschnittlicher Anteil an starken Schäden von 2,5 %. Die Werte schwanken im Erhebungszeitraum ohne zeitlichen Trend zwischen 0,6 % und 4,7 %. 2022 sind wie im Vorjahr 2,7 % der Fichten stark geschädigt.

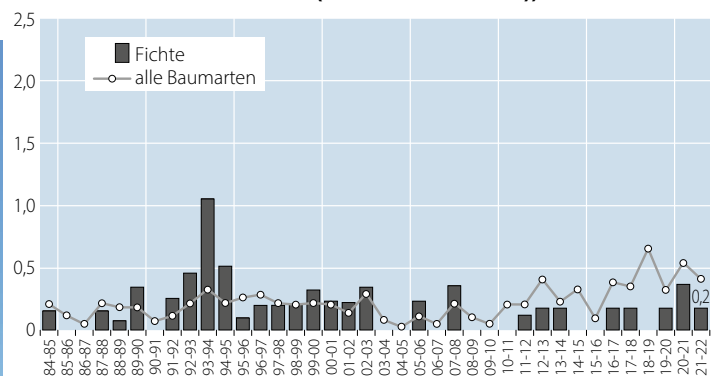
## Absterberate

Die Absterberate der Fichten liegt im Mittel der Jahre 1984–2022 bei 0,2 % mit einem Maximum von 1 % im Jahr 1994. Der Wert für 2022 liegt mit 0,2 % genau im Mittel.

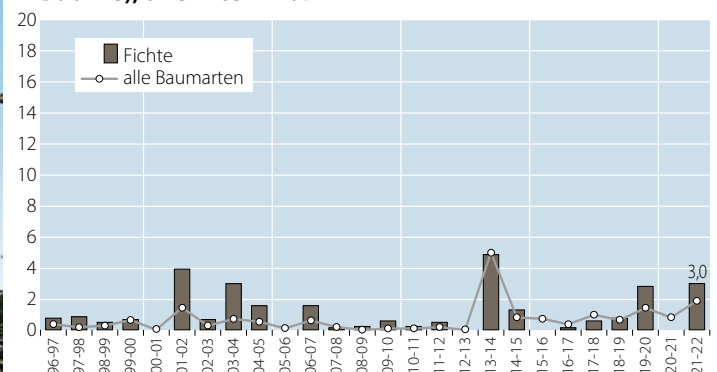
## Ausfallrate

Jährlich fallen im Mittel (1997–2022) 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 %). Auch 2022 ist die Ausfallrate deutlich erhöht: 3 % der Fichten im WZE-Kollektiv mussten 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

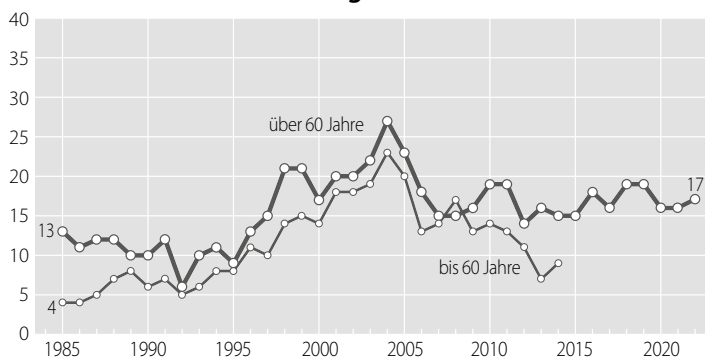
## Ältere Kiefer

Die älteren Kiefern weisen seit 1986 niedrigere Kronenverlichtungswerte auf als die älteren Buchen, Eichen und Fichten. 2022 beträgt ihre mittlere Kronenverlichtung 17 %.

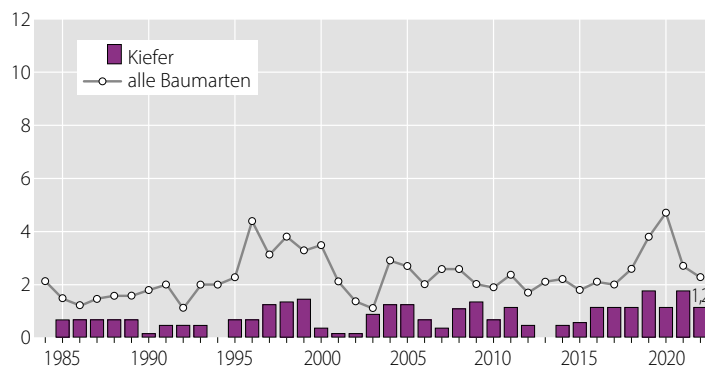
## Jüngere Kiefer

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.

### Mittlere Kronenverlichtung in %



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



## 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 traten kaum Schwankungen auf. Im Jahr 2022 wurden 1,2 % der Kiefern als stark geschädigt eingestuft.

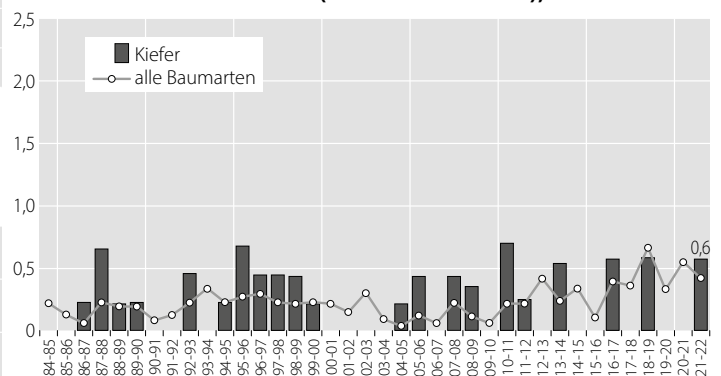
## Absterberate

Die Absterberate der Kiefern schwankt im Erhebungszeitraum zwischen 0 und 0,7 %, im Mittel der Zeitreihe beträgt sie 0,2 %. Nachdem 2020 und 2021 keine Kiefern abgestorben waren, lag der Wert 2022 bei 0,6 % und damit deutlich erhöht.

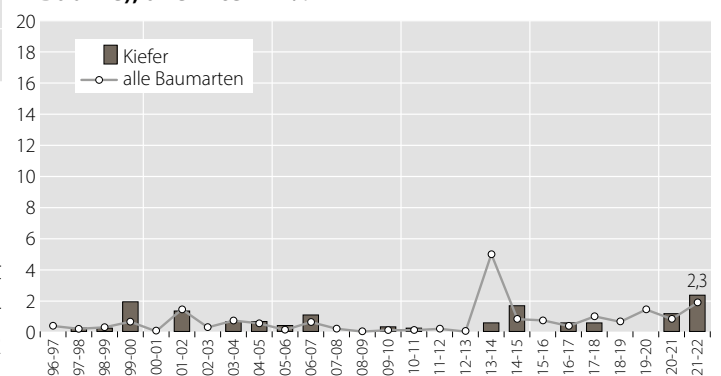


Foto: J. Evers

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



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



## Ausfallrate

Die durchschnittliche Ausfallrate beträgt bei Kiefer 0,5 %. Höhere Ausfälle in den Jahren 2000 und 2015 sind durch Sturmschäden bedingt. 2019 und 2020 mussten keine Kiefern als Schadholz entnommen werden. Nachdem 2021 mit 1,2 % eine überdurchschnittlich hohe Ausfallrate erreicht wurde, stieg sie 2022 auf einen Maximalwert von 2,3 % an.

## Andere Laub- und Nadelbäume

In Schleswig-Holstein wurden bei der Waldzustandserhebung 2022 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 Tendaussagen 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. Seitdem sinkt die mittlere Kronenverlichtung, sie ist aktuell mit 17 % aber immer noch erhöht.

Die mittlere Kronenverlichtung der anderen Nadelbäume (alle Alter) war 2020 auf den zweithöchsten Wert seit 1984 angestiegen. Auch hier sinkt sie seitdem und liegt 2022 bei ebenfalls 17 %.

### Mittlere Kronenverlichtung in %

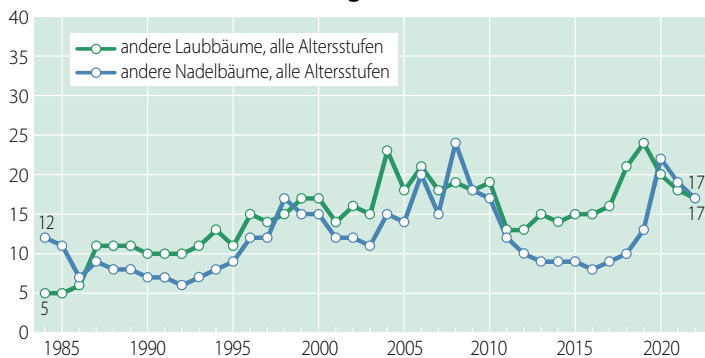


Foto: M. Spielmann

Spitzahorn



Foto: I. Dammann

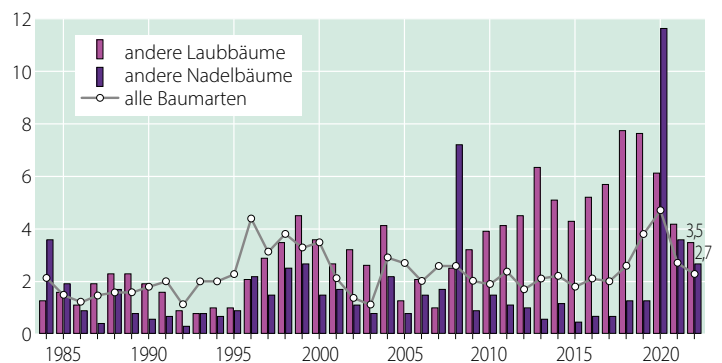
Birke

### 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. 2022 wurden 3,5 % 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 %. Maxima lagen in den Jahren 2008 und 2020. 2022 betrug der Anteil starker Schäden 2,7 %.

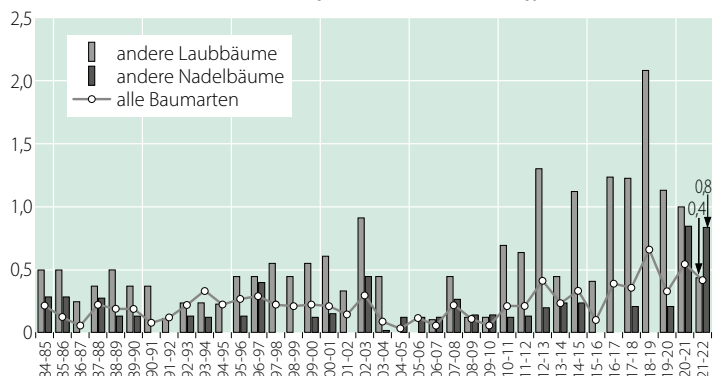
### Anteil starker Schäden (inkl. abgestorbener Bäume), alle Alter in %



### Absterberate

Die Absterberate der anderen Laubbäume liegt in fast allen Erhebungsjahren über dem Wert für alle Baumarten. Im langjährigen Mittel sind jährlich 0,6 % und im Jahr 2022 0,4 % der anderen Laubbäume abgestorben. Die Absterberate der anderen Nadelbäume liegt im Zeitraum 1984–2020 im Mittel bei 0,2 %. Seitdem ist die Rate deutlich erhöht und liegt 2022 bei 0,8 %.

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





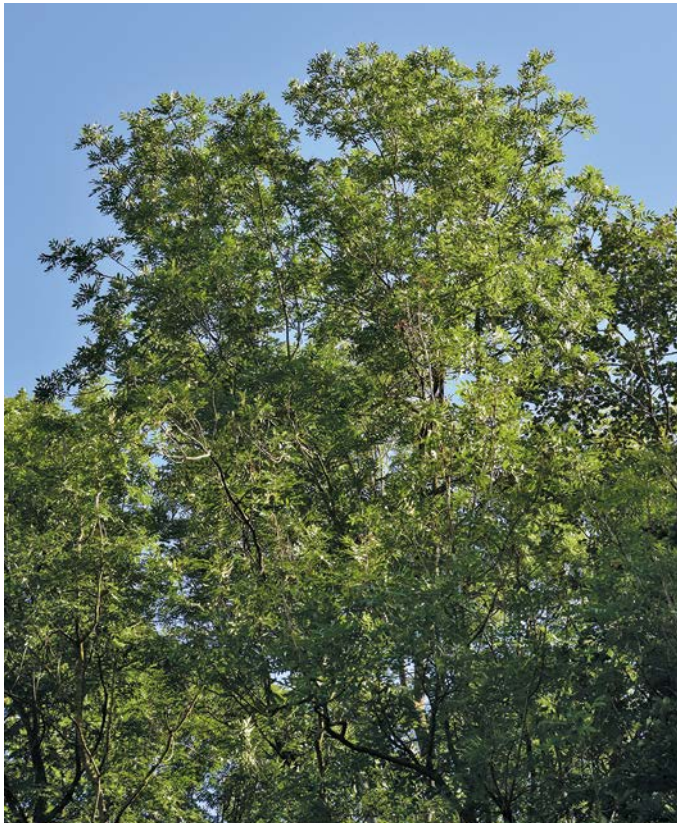


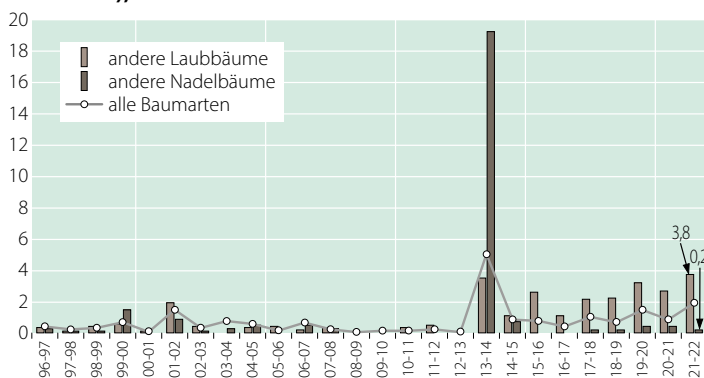
Foto: M. Spielmann

Esche

### Ausfallrate

Bei den anderen Laubbäumen wird seit 2014 eine Ausfallrate festgestellt, die deutlich über dem langjährigen Mittel von 1,1 % liegt. 2022 wurde mit 3,8 % ein neuer Maximalwert erreicht. Die Gruppe der anderen Nadelbäume war 2014 stärker als alle anderen Baumartengruppen durch Sturmschäden betroffen. Anschließend blieb die Ausfallrate niedrig, sie lag auch 2022 bei nur 0,2 %.

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



### 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 Jahren gingen die Werte leicht zurück und lagen 2022 bei 37 % (2020: 39 %, 2021: 38 %).

Die starken Schäden lagen bis 2007 unter 3 %, anschließend stiegen sie bis auf 32 % (2018 und 2019) an. 2022 sind 22 % der Eschen stark geschädigt. Ab 2011 wurden dann auch überproportionale Absterberaten bis 8,7 % (2019) festgestellt. Im Jahr 2022 sind 2,7 % der Eschen abgestorben. Auch die Ausfallrate ist sehr viel höher als bei anderen Baumarten (2022: 27 %). 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 ca. 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 lag bei 50 % und übertraf damit alle bisherigen Werte im Erhebungszeitraum. Mit einer mittleren Kronenverlichtung von 31 % ist 2022 eine deutliche Verbesserung festzustellen. Auch die starken Schäden gingen zurück (2020: 37 %, 2021: 9 %, 2022: 8 %). Die Vitalitätsschwächen spiegeln sich ebenfalls in den Absterberaten wider: auch 2022 wurde der Maximalwert von 2,8 % aus dem Vorjahr wieder erreicht. Wie schon 2021 wurde keine Sitkafichte außerplanmäßig als Schadholz entnommen.



Sitkafichte

Foto: J. Evers

# Witterung und Klima

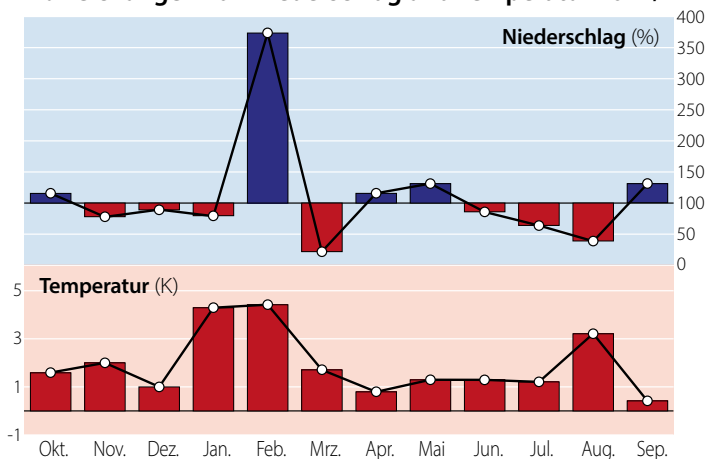
Johannes Suttmöller

<https://doi.org/10.5281/zenodo.7326890>

Für eine flächenhafte Aussage für das Land Schleswig-Holstein 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 50 Meter Raster interpoliert. Infolge einer veränderten Parametrisierung in der Regionalisierungsmethodik kommt es zu geringfügigen Abweichungen bei den mittleren Niederschlagssummen und Temperaturmittelwerten im Vergleich zum letztjährigen Bericht. 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. Um den anthropogen verursachten Erwärmungstrend zu verdeutlichen, werden im Text die Monatsmittelwerte des aktuellen Vegetationsjahres weiterhin mit den langjährigen Werten der international gültigen Klimareferenzperiode 1961–1990 verglichen.

Das aktuelle Vegetationsjahr 2021/2022 reiht sich in die sehr warmen Jahre der jüngsten Vergangenheit ein. Seit den 1990er Jahren ist eine Häufung überdurchschnittlich warmer Jahre zu beobachten. Mit einer Mitteltemperatur von 10,2 °C war das Vegetationsjahr 2021/2022 wiederum eines der wärmsten seit Messbeginn. Die Niederschlagsmenge entsprach mit 784 mm im Flächenmittel des Landes dem langjährigen Mittel. Im Gegensatz zu den anderen Ländern im Zuständigkeitsbereich der NW-FVA kam es in Schleswig-Holstein zu keiner ausgeprägten Dürre, so dass das pflanzenverfügbare Wasser in den Waldböden während der Vegetationszeit ausreichte, um die Wasserversorgung der meisten

## Abweichungen von Niederschlag und Temperatur 2021/22



Abweichungen von Niederschlag und Temperatur vom Mittel der Klimareferenzperiode 1961–1990 (durchgezogene schwarze Linie) in Schleswig-Holstein, Monatswerte für das Vegetationsjahr 2021/2022 (Oktober 2021 – September 2022).

Daten des Deutschen Wetterdienstes, Offenbach

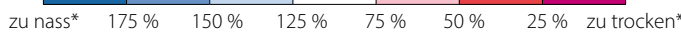
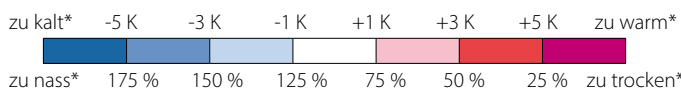
Waldbestände zu gewährleisten. Nur die Wälder im Südosten des Landes waren während der Sommermonate einer längeren Trockenperiode ausgesetzt. Da die Bodenwasserspeicher zu Beginn der Vegetationszeit weitgehend aufgefüllt waren, kam es zu keiner signifikanten Zunahme der Waldschäden.

## Witterungsverlauf von Oktober 2021 bis September 2022

Der **Oktober** 2021 war in Schleswig-Holstein etwas feuchter als normal und wärmer als im langjährigen Mittel der Klimareferenzperiode 1961–1990. Mit 84 mm fielen im Flächenmittel rund 115 % der üblichen Niederschlagsmenge. Dabei war es im Nordwesten des Landes besonders nass, während im Süden regional nur wenig mehr als die Hälfte der üblichen Niederschlagsmenge fiel. Die Monatsmitteltemperatur betrug 11,2 °C und lag um 1,7 K über dem Durchschnittswert (Abb. und Tab. unten). Im **November** setzte sich die milde Witterung fort. Mit einer Mitteltemperatur von 7,2 °C war der Monat 2,1 K zu warm. Das langjährige Niederschlagsmittel wurde um rund 25 % unterschritten (62 mm). Es folgte ein sonnenscheinärmer und milder **Dezember**. Dabei fielen im Flächenmittel 65 mm Niederschlag. Dies entspricht rund 90 % des Niederschlagssolls. Mit einer Monatsmitteltemperatur von 2,8 °C war der Dezember 2021 um 0,9 K zu warm. Die Witterung im **Januar** 2022 war durch trübes und überwiegend mildes Wetter geprägt. Die Monatsmitteltemperatur betrug 4,7 °C und lag damit 4,4 K über dem langjährigen

Temperaturmittelwerte und Niederschlagssummen für das Vegetationsjahr 2021/2022 (Oktober 2021–September 2022) sowie die langjährigen Mittelwerte der Referenzperioden 1961–1990 und 1991–2020

	Temperatur (°C)			Niederschlag (mm)		
	2021/22	1961–1990**	1991–2020**	2021/22	1961–1990**	1991–2020**
Oktober	11,2	9,5	9,9	84	73	75
November	7,2	5,1	5,7	62	82	70
Dezember	2,8	1,9	2,9	65	74	77
Januar	4,7	0,3	1,9	49	63	71
Februar	5,1	0,7	2,1	154	41	55
März	4,9	3,2	4,3	10	52	53
April	7,4	6,6	8,2	56	48	39
<b>Nicht-vegetationszeit</b>	<b>6,2</b>	<b>3,9</b>	<b>5,0</b>	<b>480</b>	<b>433</b>	<b>440</b>
Mai	12,8	11,5	12,2	70	53	54
Juni	16,3	15,0	15,4	58	68	73
Juli	17,5	16,3	17,7	51	80	84
August	19,4	16,2	17,6	27	74	84
September	13,7	13,3	14,2	98	74	72
<b>Vegetationszeit</b>	<b>15,9</b>	<b>14,5</b>	<b>15,4</b>	<b>304</b>	<b>349</b>	<b>367</b>
<b>Vegetationsjahr</b>	<b>10,2</b>	<b>8,3</b>	<b>9,3</b>	<b>784</b>	<b>782</b>	<b>807</b>



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

Mittelwert. Infolge häufiger Hochdruckwetterlagen fielen nur 49 mm (80 %) Niederschlag. Im **Februar** überwogen stürmische Westwindwetterlagen und um die Monatsmitte überquerte eine Serie von Orkantiefs das Land. So wurde am 18. Februar in Büsum eine Orkanböe von 143 km/h gemessen und in Hohn bei Rendsburg von 128 km/h. Der Monat war mit einer Mitteltemperatur von 5,1 °C und einer positiven Temperaturabweichung von 4,4 K sehr mild. Infolge der zahlreichen Tiefdruckgebiete wurde das Niederschlagsoll um mehr als das dreieinhalbfache im Landesmittel übertroffen. Dabei fielen 154 mm Niederschlag, wobei die mittleren Landesteile besonders nass waren. Infolge der hohen Niederschläge, wurden auch die tieferen Bodenschichten gut durchfeuchtet. Es folgte ein extrem trockener und der sonnenscheinreichste **März** seit Beobachtungsbeginn im Jahr 1951. Für das Flächenmittel von Schleswig-Holstein wurden nur 10 mm Niederschlag berechnet. Dies entspricht 20 % der langjährigen mittleren Niederschlagshöhe. Im äußersten Südosten des Landes wurde regional nahezu kein Niederschlag gemessen (Station Lübeck/Blankensee 4,2 mm). Der März war mit einer Mitteltemperatur von 4,9 °C sogar kühler als der Februar, aber immer noch um 1,7 K wärmer als im langjährigen Mittel der Periode 1961–1990. Die trockene Witterung führte zu einer deutlichen Abnahme der Bodenwassergehalte in den oberen Bodenschichten. Der **April** war in Schleswig-Holstein etwas feuchter als im langjährigen Mittel. Es fielen 56 mm Niederschlag. Obwohl die Nächte häufig frostig waren, lag die Mitteltemperatur mit 7,4 °C um 0,8 K über dem langjährigen Mittelwert. Der **Mai** war ebenfalls feuchter als normal. Das Flächenmittel des Niederschlags von 70 mm bedeutet ein Überschuss von rund 30 %, wobei im mittleren Schleswig-Holstein teilweise mehr als 50 % des Solls gemessen wurde. Der Mai war mit 12,8 °C um 1,3 K zu warm. Der



Foto: J. Evers

**Juni** war sonnenscheinreich, warm und etwas zu trocken. Die Monatsmitteltemperatur von 16,3 °C lag um 1,3 K über dem Wert der Referenzperiode. Mit 58 mm im Flächenmittel fielen rund 85 % des langjährigen Mittels. In den südöstlichen Landesteilen wurde das Niederschlagsoll teilweise nicht einmal zu 50 % erreicht, so dass die Bodenfeuchte in den oberen Bodenschichten stark abnahm. Auch im **Juli** hielt die warme und trockene Witterung an. Vielfach wurden um die Monatsmitte Tageshöchsttemperaturen von deutlich über 35 °C (Grambek am 20. Juli 39,1 °C) gemessen. Die Mitteltemperatur lag in Schleswig-Holstein mit 17,5 °C um 1,2 K über den langjährigen Durchschnittswerten. Die Niederschlagshöhe von 51 mm im Flächenmittel bedeutet ein Defizit von knapp 40 % im Vergleich zur Periode 1961–1990, so dass die Bodenwassergehalte weiter abnahmen. Auch im **August** setzte sich die trockene und sehr warme Witterung fort. Rund 35 % (27 mm) der langjährigen Niederschlagsmenge wurden für das Flächenmittel berechnet. Punktuelle Starkniederschläge führten nur vorübergehend zu einer leichten Aufweitung der

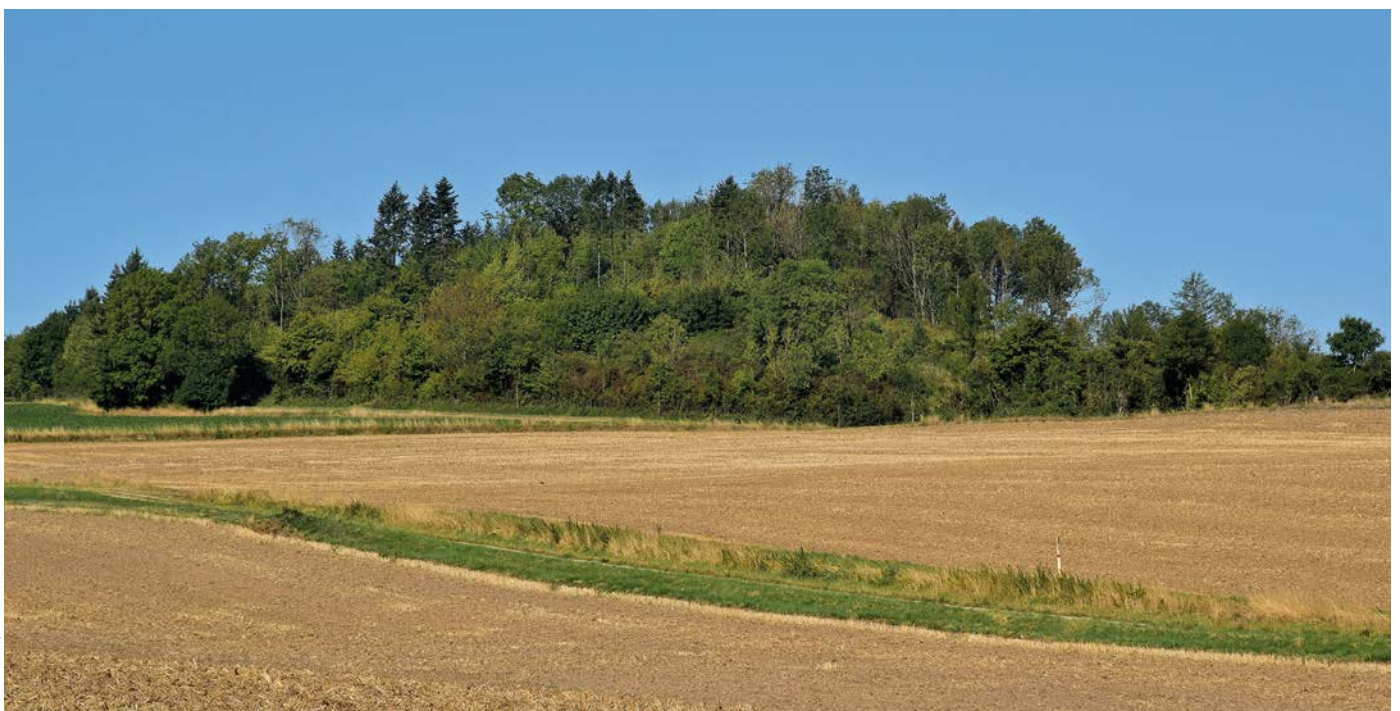
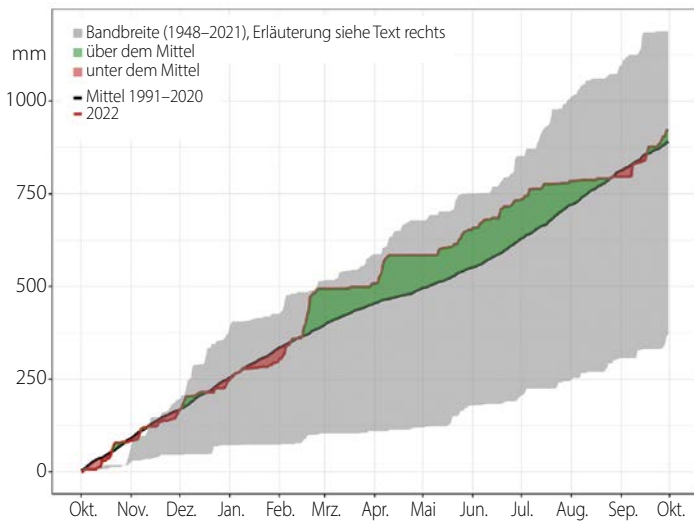


Foto: M. Spielmann

### Akkumulierter Niederschlag im Vegetationsjahr an der Klimastation Schleswig



oberen Bodenschichten. Die Monatsmitteltemperatur von 19,4 °C lag um 3,2 K über dem Durchschnittswert. Damit war der August 2022 einer der wärmsten seit Messbeginn im Jahr 1881. Zum Ende des Vegetationsjahres 2021/2022 wurden im **September** überdurchschnittlich hohe Niederschlagsmengen in Schleswig-Holstein gemessen. Das Flächenmittel des Niederschlags von 98 mm bedeutet ein Überschuss von rund 30 %. Die hohen Niederschläge beendeten die Trockenheit der vorausgegangenen Monate. Nach sommerlichem Beginn kühlte es ab der zweiten Septemberdekade deutlich ab, so dass die Monatsmitteltemperatur von 13,7 °C nur 0,4 K über dem langjährigen Mittelwert der Referenzperiode 1961–1990 lag.

Im Vergleich zu den übrigen Bundesländern im Zuständigkeitsbereich der NW-FVA trat in Schleswig-Holstein keine ausgeprägte Dürresituation auf. Dies verdeutlicht auch der aufsummierte Niederschlag an der Klimastation Schleswig des

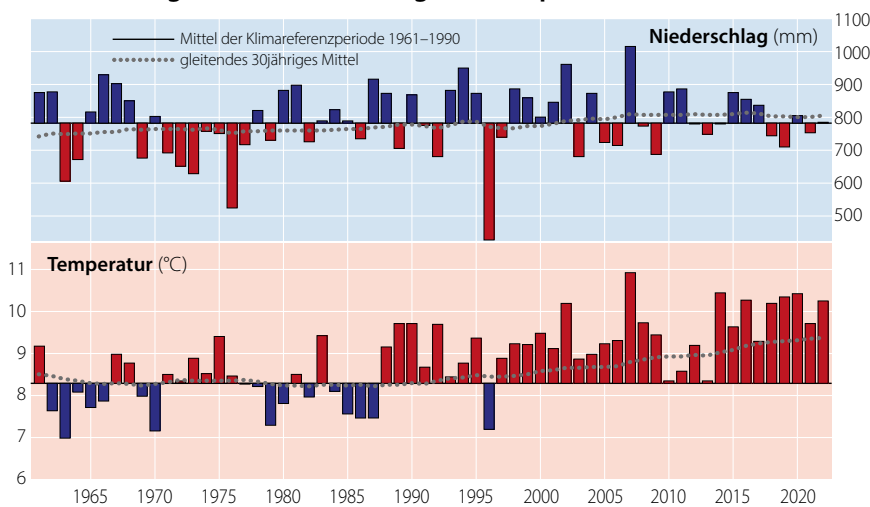
DWD für das vergangene Vegetationsjahr im Vergleich zu den Jahren 1948 (Messbeginn) bis 2021 (Abb. links). In der Zeitreihe gibt es keine Datenlücken, so dass der gesamte Messzeitraum berücksichtigt werden konnte. Die Bandbreite wird durch das im Beobachtungszeitraum trockenste Jahr (1996) und niederschlagsreichste Jahr (1966) aufgespannt.

Die aufsummierten Tagesniederschläge an der Station Schleswig schwanken von Oktober 2021 bis Mitte Februar 2022 um den Verlauf der mittleren Niederschlagssummenkurve. Infolge der hohen Niederschläge im Februar und April 2022 liegen die aufsummierten Niederschläge bis Mitte Juli rund 100 mm über dem langjährigen Mittel. Danach wird infolge einer längeren niederschlagsarmen Periode, die bis Anfang September andauert, die mittlere Niederschlagskurve kurzzeitig unterschritten. Da im September überdurchschnittlich hohe Niederschläge an der Station Schleswig gemessen wurden, lag der Jahresniederschlag im vergangenen Vegetationsjahr um rund 30 mm über dem Mittel der aktuellen Referenzperiode 1991–1990.

### Temperatur und Niederschlag im langjährigen Verlauf

Das Vegetationsjahr 2021/2022 war mit 10,2 °C im Flächenmittel von Schleswig-Holstein 1,9 K wärmer als der Mittelwert der Klimareferenzperiode 1961–1990 und 0,9 K wärmer im Vergleich zur aktuellen Periode 1991–2020. Dabei waren 9 von 12 Monaten mehr als 1 K wärmer und kein Monat kälter als die langjährigen Mittelwerte (Abb. und Tab. Seite 18). Der langfristige Erwärmungstrend setzt sich ungehindert fort, wie das gleitende Mittel der letzten 30 Jahre verdeutlicht (gepunktete Linie in der Abb. unten). Im Flächenmittel von Schleswig-Holstein fielen 784 mm Niederschlag. Dies entsprach damit dem langjährigen Mittelwert von 782 mm.

### Abweichungen von Niederschlag und Temperatur 1961–2022



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



Foto: C. Klinck

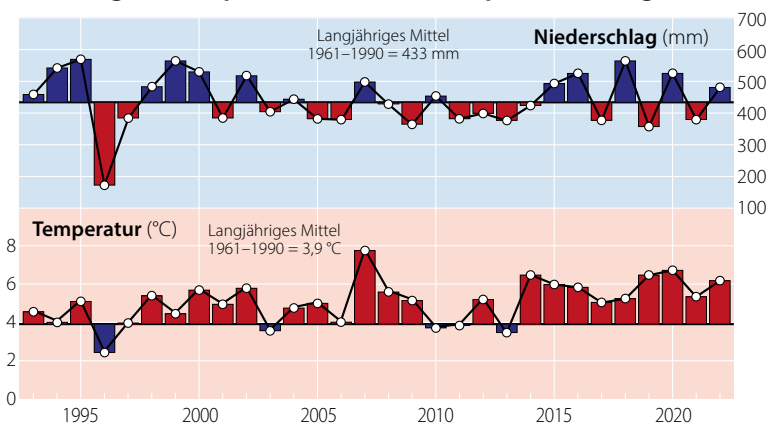
Die Nichtvegetationszeit von Oktober 2021 bis April 2022 war 2,3 K wärmer als der langjährige Mittelwert. Die Mitteltemperatur betrug 6,2 °C (Abb. unten). In den nordwestlichen Landesteilen lag die positive Temperaturabweichung regional bei 2,5 K, während die Temperaturen im Südosten regional weniger als 2 K von den langjährigen Mittelwerten abwichen (Abb. Seite 22 oben links). In der Nichtvegetationszeit fielen im Flächenmittel von Schleswig-Holstein 480 mm Niederschlag und damit rund 10 % mehr als im langjährigen Mittel (Abb. unten). Etwas zu trocken war es im Osten der Altmoränenlandschaft (Abb. Seite 22 unten links).

Die Vegetationszeit von Mai bis September 2022 war ebenfalls überdurchschnittlich warm und etwas zu trocken. Die Mitteltemperatur betrug 15,9 °C und lag damit 1,4 K über dem langjährigen Mittelwert (Abb. unten). Überdurchschnittlich hoch war die Temperaturabweichung mit bis zu 2,0 K im Osten und Süden des Landes, während im Westen die Temperaturen nur um 1,2 K von den Mittelwerten abwichen (Abb. Seite 22 oben rechts). Im Flächenmittel des Landes Schleswig-Holstein fiel mit 304 mm knapp 90 % der langjährigen Niederschlagsmenge (Abb. unten). Besonders niederschlagsarm war es in der gesamten Südosthälfte des Landes (Abb. Seite 22 unten rechts). Das Niederschlagsdefizit betrug hier bis zu 30 %. Im Nordwesten von Schleswig-Holstein wurde das Niederschlagsoll erreicht.

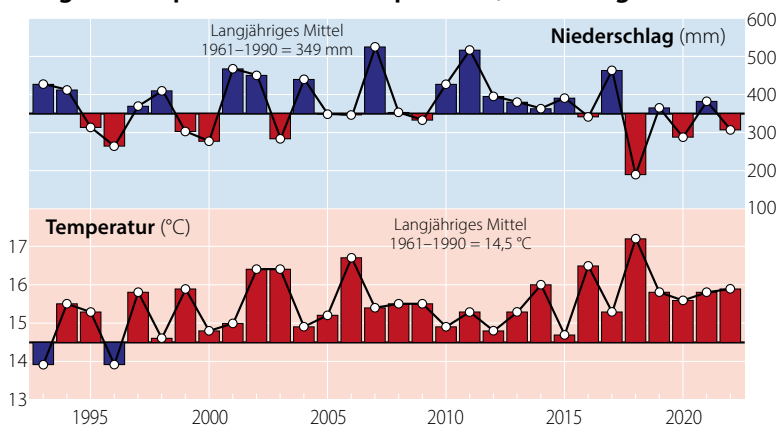


Foto: F. Heitkamp

### Langjährige Klimawerte (1993–2022) Nichtvegetationsperiode Oktober bis April, Schleswig-Holstein



### Langjährige Klimawerte (1993–2022) Vegetationsperiode Mai bis September, Schleswig-Holstein



Daten des Deutschen Wetterdienstes, Offenbach

### Fazit

- Das Vegetationsjahr 2021/2022 war mit einer Mitteltemperatur von 10,2 °C eines der wärmsten Jahre seit Beobachtungsbeginn im Jahr 1881. Der langjährige Erwärmungstrend setzte sich unvermindert fort.
- Alle Monate waren teilweise deutlich wärmer als im langjährigen Mittel der Periode 1961 bis 1990.
- Mit 784 mm wurde das langjährige Niederschlagsoll erreicht, wobei die Sommermonate in den südlichen und östlichen Landesteilen sehr trocken waren.
- Die Niederschläge reichten aus, dass die Böden trotz einer längeren Trockenperiode im Sommer nicht bis in tiefere Bodenschichten austrockneten. Eine ausgeprägte Dürre wie in anderen Bundesländern trat nicht auf.

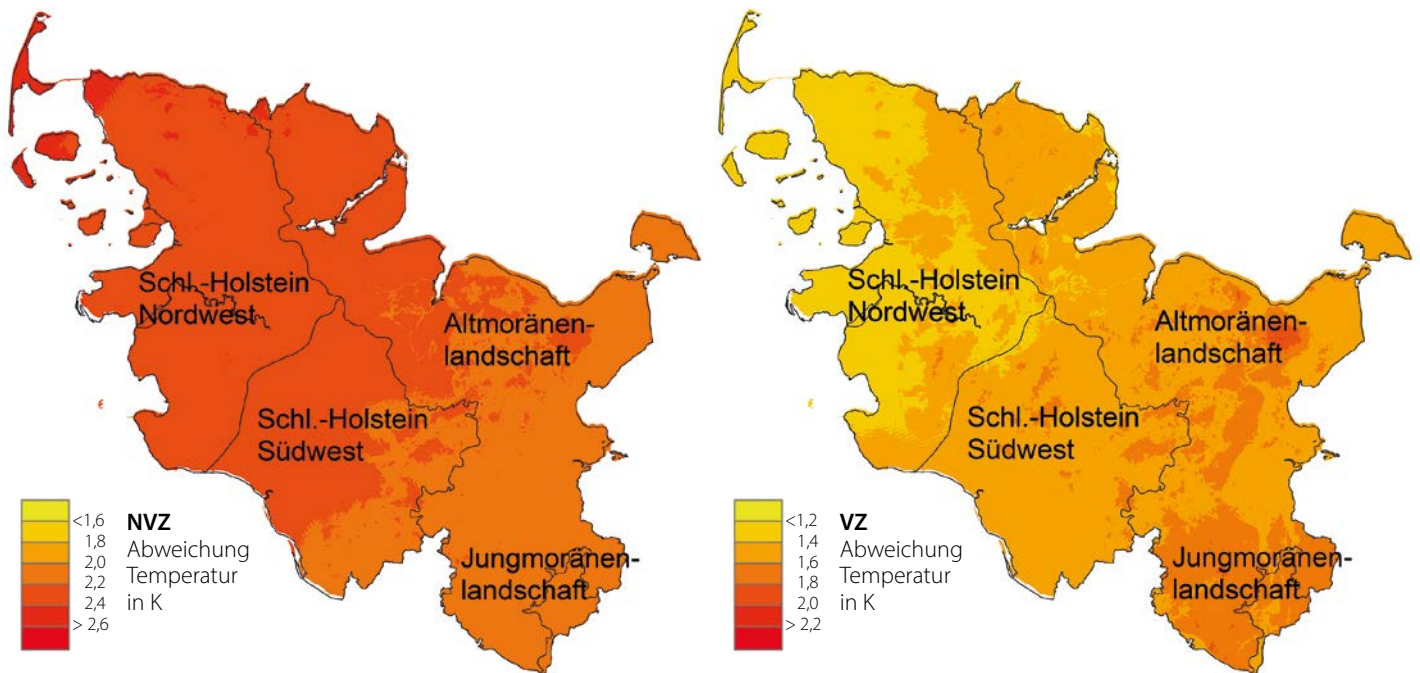
### Literatur

- Deutscher Wetterdienst (2021): Monatlicher Klimastatus Deutschland. DWD, Geschäftsbereich Klima und Umwelt, Offenbach, [www.dwd.de/klimastatus](http://www.dwd.de/klimastatus)
- Deutscher Wetterdienst (2022): Monatlicher Klimastatus Deutschland. DWD, Geschäftsbereich Klima und Umwelt, Offenbach, [www.dwd.de/klimastatus](http://www.dwd.de/klimastatus)
- Sutmöller J, Wagner, M, Meesenburg, H, Scheler B (2022): Der Bodenfeuchtezustand der Waldböden im Vegetationsjahr 2021 – Ist die Bodentrockenheit in Nordwestdeutschland beendet? AFZ-DerWald Heft 11: 24–27

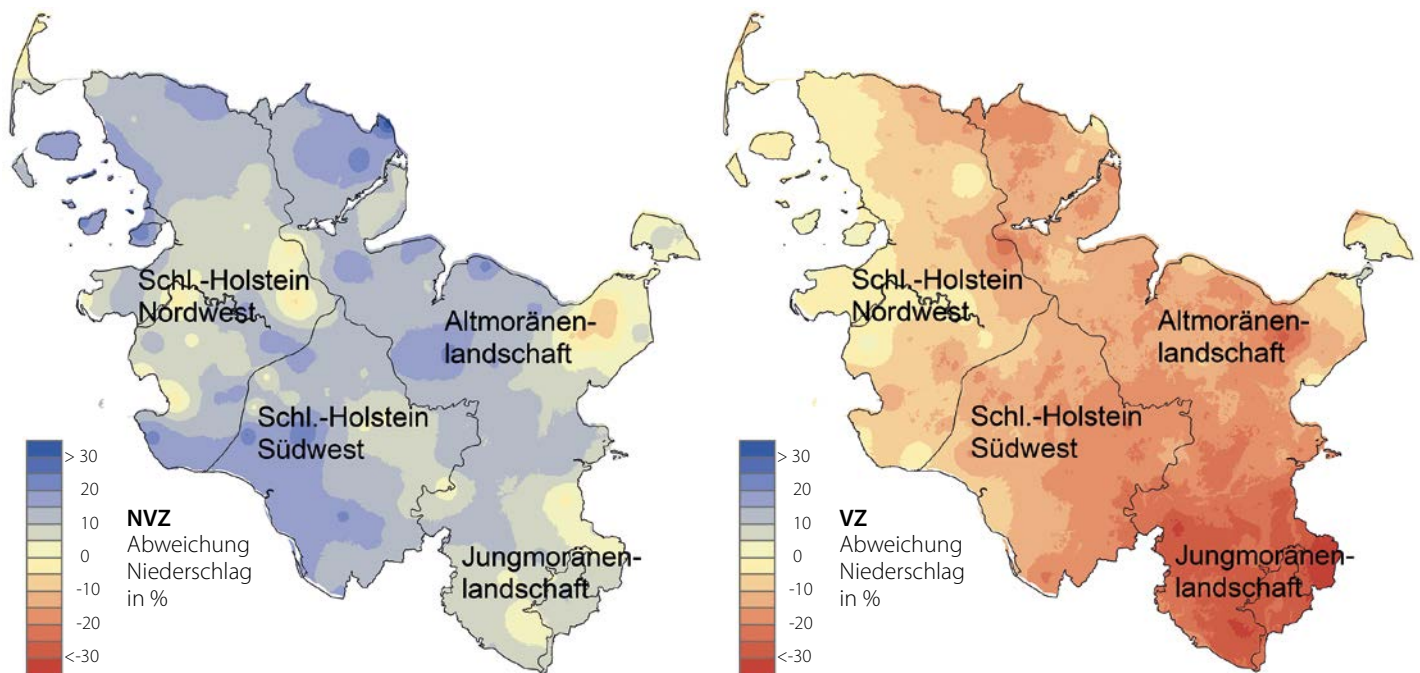
Foto: M. Spielmann



**Abweichung der Temperatur vom langjährigen Mittel (1961–1990)  
in der Nichtvegetationszeit (NVZ) 2021/2022 und in der Vegetationszeit (VZ) 2022**



**Abweichung der Niederschlagssumme vom langjährigen Mittel (1961–1990)  
in der Nichtvegetationszeit (NVZ) 2021/2022 und in der Vegetationszeit (VZ) 2022**



Daten des Deutschen Wetterdienstes, Offenbach

# Stoffeinträge

**Birte Scheler**

<https://doi.org/10.5281/zenodo.7326907>

Mit dem Niederschlag gelangen verschiedene Nähr- und Schadstoffe in gelöster Form in den Wald. Zusätzlich werden diese Stoffe in gas- und partikelförmiger Form 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 sogenannte 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 115jährigen 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 Gesamtdpositionsraten berechnet.

Die Höhe der Stoffeinträge wird maßgeblich durch verschiedene Faktoren wie Niederschlagsmenge und -verteilung, Baumart, Bestandeshöhe, Kronenrauigkeit bzw. lokale Emit-

ten 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

2021 war in Bornhöved hinsichtlich der Niederschlagshöhe ein feuchteres Jahr. Im Freiland fielen 843 mm, der Bestandesniederschlag (Kronentraufe und Stammablauf) betrug 652 mm. Damit fielen im Freiland 102 mm (bzw. 14 %) und im Bestand 61 mm (bzw. 10 %) mehr Niederschlag als im Mittel der Jahre 2011–2020. Im Vergleich zum langjährigen Mittel seit Untersuchungsbeginn im Jahr 1989 fiel das Niederschlagsplus mit 11 % (Freilandniederschlag) bzw. 6 % (Bestandesniederschlag) etwas geringer aus.

## 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. Trotz höherer Niederschlagsmengen hat er mit dem Bestandesniederschlag im Vergleich zum Vorjahr weiter abgenommen.



Foto: O. Schwerdtfeger

Messung der Bodenfeuchte auf der Level II-Fläche Bornhöved

Er betrug 2021 pro Hektar 2,3 kg im Freiland und 3,4 kg im Buchenbestand. Dies war der zweitniedrigste (Bestand) bzw. drittniedrigste (Freiland) Eintrag seit 1989. Von der Schwefelgesamtdeposition unter Buche waren aufgrund der Nähe zum Meer 1,4 kg pro Hektar bzw. 40 % seesalzbürtig.

### Stickstoffeintrag

Stickstoff wird als Nitrat (oxidierte Form) und als Ammonium (reduzierte Form) in das Ökosystem eingetragen. Die Stickoxidemissionen (NOx) haben im Zeitraum 1990–2020 um 66 %, die Ammoniakemissionen um 25 % abgenommen. Trotz einer überproportional starken Abnahme der Stickoxidemissionen im Bereich „Verkehr“ stammen immer noch 40 % aus diesem Bereich, gefolgt von der Energiewirtschaft (22 %) sowie den privaten Haushalten und Kleingewerbe (12 %). Die

Ammoniakemissionen stammen unverändert zu ca. 95 % aus der Landwirtschaft (UBA 2022).

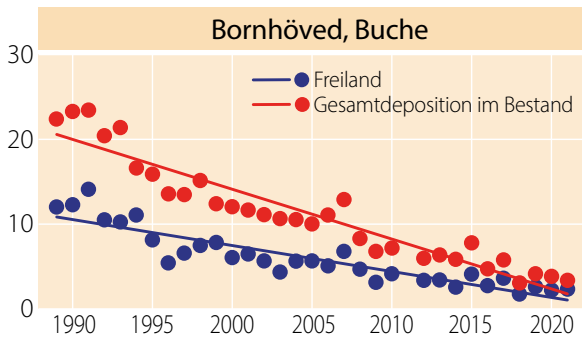
Infolge der Reduktion der Emission sind die Stickstoffeinträge im Freiland und mit der Gesamtdeposition im Beobachtungszeitraum deutlich zurückgegangen.

Bezogen auf das Mittel der Jahre 1989–1991 betrug die Reduktion der Nitratsinträge (Mittel 2019–2021) im Freiland und mit der Gesamtdeposition unter Buche 57 %. Im Zeitraum 2012–2021 sind sie nur mit der Gesamtdeposition weiter leicht gesunken, während sie im Freiland mit jährlichen Schwankungen auf dem erreichten Niveau verharren.

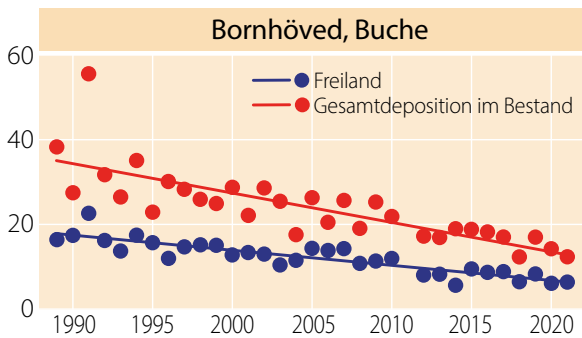
2021 betrug der Nitratsinträge je Hektar unter Buche 6,3 kg und im Freiland 3 kg.

Die Reduktion der Ammoniuminträge lag bei 67 % im Freiland bzw. 68 % mit der Gesamtdeposition. In den letzten 10 Jahren sind sie mit der Gesamtdeposition weiter leicht ge-

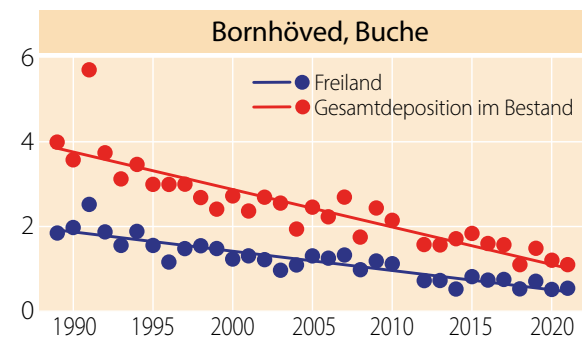
### Sulfatschwefeleintrag (SO<sub>4</sub>-S inkl. seesalzbürtigem Anteil) im Freiland und im Bestand in kg je Hektar und Jahr



### Stickstoffeintrag (NH<sub>4</sub>-N + NO<sub>3</sub>-N) im Freiland und im Bestand in kg je Hektar und Jahr



### Gesamtsäureeintrag im Freiland und im Bestand in kmol<sub>c</sub> je Hektar und Jahr



durchgezogene Linie: signifikante Abnahme



Freifläche mit Klimamessurm auf der Level II-Fläche Bornhöved

Foto: O. Schwerdtfeger





Stammablauf-Messanlage auf der Level II-Fläche Bornhöved

sunken, blieb im Freiland jedoch mit jährlichen Schwankungen auf einem gleichbleibenden Niveau.

2021 betrug der Ammoniumstickstoffeintrag in Bornhöved unter Buche 5,9 kg und im Freiland 3,6 kg je Hektar.

Da die Ammoniumeinträge in Bornhöved stärker abgenommen haben als die Nitratreinträge, ist der relative Anteil des Ammoniums am anorganischen Stickstoffeintrag von rund 63 % (Mittel 1989–1991) auf 58 % im Freiland und 48 % unter Buche im Jahr 2021 gesunken.

Obwohl der anthropogen bedingte anorganische Stickstoffeintrag seit Beginn der Untersuchungen deutlich abgenommen hat, überschreitet er im Mittel der letzten 5 Jahre (2017–2021) mit 14,5 kg je Hektar und Jahr auf der Buchenfläche in Bornhöved nach wie vor den Bedarf des Bestandes für das Baumwachstum. Stickstoff, der nicht für das Wachstum der Vegetation benötigt wird, reichert sich im Ökosystem an. Im Fall von Störungen der Stoffkreisläufe durch Kalamitäten wie Windwurf oder Schädlingsbefall wird der Stickstoff rasch mineralisiert, was bei hohen Vorräten im Boden zu stark erhöhten Nitratausträgen führen kann. Nitrat wird im Bodenwasser von Nährstoffkationen wie Calcium, Magnesium oder Kalium und sauren Kationen wie Aluminium begleitet. Dadurch verliert das Ökosystem wichtige Nährstoffe aus den ohnehin meist nährstoffarmen Waldböden. Auf sauren Böden kann die vermehrte Lösung von Aluminium einen Säureschub verursachen. Außerdem werden angrenzende Ökosysteme wie Oberflächen- und Grundgewässer ggf. durch hohe Nitratausträge gefährdet. Eine weitere Reduktion der Stickstoffemissionen ist zum Schutz der Ökosysteme wichtig.

## Gesamtsäureeintrag

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

2021 betrug der Gesamtsäureeintrag pro Hektar im Freiland 0,5 kmol<sub>c</sub>. Unter Buche betrug er 1,1 kmol<sub>c</sub> und war

damit 0,4 kmol<sub>c</sub> pro Hektar geringer als im Mittel der Jahre 2011–2020. 13 Prozent des Säureeintrags konnte 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 auch unter Berücksichtigung der Baseneinträge nicht aus, um die Säureeinträge vollständig zu kompensieren. Eine standortangepasste Kalkung zum Schutz der Waldböden und der Erhaltung ihrer Filterfunktion für das Grundwasser kann auf nährstoffarmen Standorten empfohlen werden.

*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, Erismann JW, Vermeulen AT, Nagel H-D (2002): Kartierung ökosystembezogener Langzeittrends atmosphärischer Stoffeinträge und Luftschadstoffkonzentrationen in Deutschland und deren Vergleich mit Critical Loads und Critical Levels. Forschungsvorhaben im Auftrag des BMU/UBA, FE-Nr. 299 42 210, Institut für Navigation, Univ. Stuttgart, 207 S
- Simon K-H, Westendorff K (1991): Stoffeinträge mit dem Niederschlag in Kiefernbeständen des nordostdeutschen Tieflandes in den Jahren 1985–1989. Beiträge Forstwirtschaft 25(4), 177–180
- UBA (2022): <https://www.umweltbundesamt.de/daten/luft/luftschadstoff-emissionen-in-deutschland/stickstoffoxid-emissionen#entwicklung-seit-1990>
- Ulrich B (1991): Beiträge zur Methodik der Waldökosystemforschung. Berichte des Forschungszentrums für Waldökosysteme/Waldsterben. Reihe B, Bd. 24, 204–210

# Auswirkungen großflächiger Schadflächen auf den Wasser- und Stoffhaushalt von Wäldern

Birte Scheler

<https://doi.org/10.5281/zenodo.7326938>

1972 wurde das Forsthydrologische Forschungsgebiet Reinhardswald am Rande des nordöstlichen Kasseler Beckens eingerichtet, um grundlegende Erkenntnisse über Zusammenhänge zwischen dem Niederschlagsgeschehen und dem Abfluss eines Baches mit bewaldetem Einzugsgebiet zu gewinnen. Für die Beantwortung neuerer Fragestellungen, beispielsweise zu Auswirkungen des Klimawandels auf Abflussmenge und -verteilung oder den Einfluss großflächiger Störungen auf den Wasser- und Stoffhaushalt, sind solche langjährigen Untersuchungen von unschätzbarem Wert.

Das Einzugsgebiet des Elsterbachs ist 426 Hektar groß, weist einen Höhenabfall von 465 m auf 220 m ü. NN auf und ist zu 95 % bewaldet. Der Bach speist sich aus zwei Gewässerarmen, deren Quellgebiete geologisch sehr unterschiedlich sind, was sich in der chemischen Zusammensetzung der beiden Gewässer deutlich zeigt. Der nordöstliche Arm (Elsterbach „staunass“) entspringt in den vom Buntsandstein dominierten, staunassen Plateaulagen. Er fällt in den Sommermonaten zeitweise trocken, bei hohen Abflüssen überwiegt hingegen sein Anteil am Gesamtabfluss durch einen schnellen, lateralen Makroporenabfluss der in den ebenen Plateaulagen vorherrschenden Stagnogleye (Molkeböden). Der nordwestliche Arm („Elsterbach Basalt“) kommt aus dem basaltisch geprägten Gebiet mit tiefgründigen, gut wasserdurchlässigen, überwiegend eutrophen Böden und fließt dauerhaft.

Im Teileinzugsgebiet „staunass“ (131 Hektar) dominierte vor dem Sturm „Friederike“ im Januar 2018 die Fichte mit einem

Flächenanteil von 75 %, das Teileinzugsgebiet „Basalt“ (83 Hektar) ist hingegen zu 81 % mit Laubholz bestockt, der Fichtenanteil beträgt nur 19 %. Die Bestockung des Gesamteinzugsgebiets bestand zu 42 % aus Fichte, 39 % Buche, 6 % Eiche und 13 % sonstigen Baumarten.

Wie sich die Bestockung des Einzugsgebiets seit Januar 2018 durch Sturmwurf sowie massiven Borkenkäferbefall in den folgenden Jahren verändert hat, wurde von der Abteilung Waldschutz, Sachgebiet Fernerkundung und GIS der NW-FVA anhand von georeferenzierten Orthofotos nachgezeichnet.

Die durch „Friederike“ entstandenen Freiflächen waren mit 5 % (Teileinzugsgebiet „staunass“), gut 2 % (Teileinzugsgebiet „Basalt“) bzw. 4,3 % (Gesamteinzugsgebiet) der Holzbodenfläche vergleichsweise moderat. Durch massiven Borkenkäferbefall in den Folgejahren vergrößerte sich der Anteil kalamitätsbedingter Freiflächen an der Holzbodenfläche bis zum Herbst 2020 jedoch auf 26 % (Teileinzugsgebiet „staunass“) respektive 10 % (Teileinzugsgebiet „Basalt“) und 17 % (Gesamteinzugsgebiet).

Hinzu kommt im Jahr 2021 noch stehendes Totholz auf 21 % der Holzbodenfläche (2020: 12 %) des Einzugsgebiets „staunass“ bzw. 3 % (2020: 2 %) des Teileinzugsgebiets „Basalt“ und auf 9 % (2020: 5 %) der Holzbodenfläche des Gesamteinzugsgebiets. In der Summe betrug der Anteil der verschiedenen Kalamitätsflächen an der ursprünglichen Holzbodenfläche im Herbst 2021 zwischen 47 % (Teileinzugsgebiet „staunass“), 27 % (Gesamteinzugsgebiet) bzw. 14 % (Einzugsgebiet „Basalt“). Die Rolle von stehendem Totholz ist im Hinblick auf den Wasser- und Stoffhaushalt noch weitgehend unerforscht.



Foto: B. Scheler

Kahlfläche und abgestorbene Fichten im Einzugsgebiet „staunass“

## Auswirkungen auf die Gewässerqualität

Die Gewässerqualität des Elsterbachs (Wehr) und seiner Zuflüsse zeigen einen ausgeprägt saisonalen Verlauf. Ursache hierfür sind im Wesentlichen die unterschiedlichen Abflussmengen. Bei niedrigen Abflüssen im Sommerhalbjahr handelt es sich hauptsächlich um Wasser aus tieferen Bodenschichten und dem Grundwasser. Hohe Abflüsse im Winterhalbjahr oder ganzjährig nach extremen Starkregenereignissen speisen sich hingegen größtenteils durch Wasser aus oberen, versauerten Bodenschichten.

Mit Werten um 3 mg je Liter (Median) und Maximalwerten von 10 mg je Liter war die Nitratkonzentration an der Messstelle Wehr im Zeitraum 1984–2003 relativ gering. Im hydrologischen Jahr 2021 wurde dann mit bis zu 22 mg je Liter Nitrat ein massiver Anstieg bei den Spitzenkonzentrationen beobachtet. Wesentlich deutlicher war der Anstieg der Nitratkonzentrationen im Bachwasser des Gewässerarms „staunass“ mit einem großen Anteil von Kahlflächen im Einzugsgebiet. An allen Probenahmeterminen wurden in diesem Bach im Vergleich zu früheren Jahren deutlich höhere Konzentrationen gemessen, der Median der Nitratkonzentration stieg von 3 mg je Liter auf 10,5 mg je Liter, die Spitzenkonzentration von 15 mg je Liter auf 23 mg je Liter an. Ursache hierfür dürften die Mineralisierungsprozesse auf den Kalamitätsflächen sein. Da das Anion Nitrat durch die basischen Kationen Kalium, Magnesium und Calcium sowie die sauren Kationen Aluminium und Mangan begleitet wird, sind steigende Nitratkonzentrationen mit höheren Verlusten wichtiger Nähr-elemente oder einer stärkeren Lösung von Aluminium und Mangan verbunden.

Bis 2003 wurde im Bachwasser kein Kohlenstoff analysiert, ein Vergleich zu den Gehalten bei weitgehend ungestörten Verhältnissen im Einzugsgebiet ist deshalb nicht möglich. Mit 6 mg je Liter (Median) und Spitzenkonzentrationen im Juli 2021 von 14 mg je Liter waren die Konzentrationen von gelöstem organischem Kohlenstoff (DOC) im Gesamteinzugsgebiet Elsterbach jedoch deutlich höher als in den Bächen des zweiten hessischen forsthydrologischen Forschungsgebiets Krofdorf bei Gießen. Im Gewässerarm „staunass“ des Elsterbachs wurden sogar DOC-Konzentrationen von 14 mg je Liter (Median) bzw. 33 mg je Liter (Maximum) gemessen.

## Auswirkungen auf die Abflussmenge

Der mittlere Niederschlag betrug im Zeitraum 1973–2005 783 mm, der mittlere Abfluss 246 mm, d. h. rund 30 % des Niederschlags flossen im Mittel im Vorfluter ab. Während im hydrologischen Winter (November–April) rund 48 % des Niederschlags fielen, flossen 70 % des Jahresabflusses in diesem Zeitraum ab.

Aufgrund des großen Anteils zusätzlicher unbestockter Flächen und der hierdurch verringerten Interzeption und Trans-



Foto: B. Scheler

Hochwasser am 21.05.2019 nach 60 mm Regen innerhalb von 10 Stunden. 77.000 Liter Wasser flossen an diesem Tag durch das Wehr.

piration könnte erwartet werden, dass ein höherer Anteil des Niederschlags im Vorfluter abfließt. Dies war in den beiden Jahren 2020 und 2021, für die lückenlose tägliche Abflussdaten vorliegen, jedoch nicht der Fall. In beiden Jahren war der Abfluss mit 20 % (2020) respektive 17 % (2021) des Niederschlags sogar sehr gering.

Dies dürfte einerseits eine Folge der seit Jahren beobachteten strukturellen Trockenheit in dem Waldökosystem sein, andererseits an der Niederschlagsverteilung liegen. So fiel in den hydrologischen Jahren 2020 und 2021 trotz durchschnittlicher Jahresniederschläge nur an vier bzw. zwei Tagen mehr als 20 mm Niederschlag.

### Niederschlags- und Abflussmengen im Vergleich

	Mittel 1973-2005	2020	2021
Niederschlag [mm/m <sup>2</sup> ] im Hydrologischen Jahr	783	715	737
Niederschlag [mm/m <sup>2</sup> ] November bis April	376	373	344
Abfluss [mm/m <sup>2</sup> ] im Hydrologischen Jahr	246	146	126
Abfluss [mm/m <sup>2</sup> ] November bis April	170	119	89

Hydrologisches Jahr: November des Vorjahres bis Oktober

## Nährstoffverluste mit dem Bachwasser

Der Stickstoffverlust (Nitrat-N) belief sich 2021 auf 3,1 kg je Hektar und war damit trotz sehr geringer Abflüsse 0,7 kg je Hektar höher als im Mittel der Jahre 1985–2003. Im Vergleich mit den ähnlich abflussarmen Jahren 1996 und 2001 betrug der zusätzliche Verlust je Hektar 2,5 kg resp. 1,6 kg Nitratstickstoff je Hektar. Der Verlust an gelöstem organischem Kohlenstoff (DOC) betrug 10,7 kg je Hektar bzw. 4560 kg insgesamt. Ein Vergleich mit früheren Jahren ist mangels Daten leider nicht möglich.

Der Nährstoffexport der wichtigen Nährelemente Calcium und Magnesium war 2021 mit 17,6 bzw. 6,9 kg je Hektar deutlich geringer als im Mittel der Jahre 1985–2003 (Calcium 40,1, Magnesium 16,6 kg je Hektar). Ursache hierfür sind vermutlich die deutlich zurückgegangenen Sulfatfrachten (Mittel 1985–2003: 48 kg je Hektar, 2021: 14,8 kg je Hektar) infolge der seit Mitte der 1980er sehr deutlich reduzierten Sulfateinträge. Der Kaliumverlust war mit 1,8 kg je Hektar zwar 1 kg je Hektar geringer als im Vergleich zum mehrjährigen Mittel (1985–2003), entsprach jedoch trotz stark reduzierter Sulfatfrachten in etwa den Kaliumverlusten der abflussarmen Jahre 1996 (1,5 kg je Hektar) und 2001 (1,8 kg je Hektar).

### Fazit

Die Ergebnisse aus dem langjährig untersuchten Forschungsgebiet Elsterbach belegen, dass großflächige Störungen der Waldstruktur Störungen im Stoffhaushalt verursachen und Nährstoffverluste nach sich ziehen. Ein wichtiger Schlüsselprozess ist in diesem Zusammenhang die vermehrte Bildung von Nitrat (Überschussnitrifikation) aufgrund des veränderten Kleinklimas auf Kahlfleichen bei gleichzeitig geringerer Stickstoffaufnahme durch die Vegetation, da die Bäume fehlen.

Erhöhte Nitratausträge können zum einen eine Belastung für das Grund- und Trinkwasser darstellen, außerdem verursachen sie je nach Standort erhöhte Austräge der Nährstoffkationen Kalium, Magnesium oder Calcium sowie der sauren Kationen Aluminium und Mangan.



Foto: B. Scheler

Elsterbach „staunass“ im Januar 2021



Foto: B. Scheler

Elsterbach „staunass“ im Mai 2022

Insbesondere auf sehr nährstoffarmen Standorten mit einer Basensättigung um 5 % über die gesamte Profiltiefe, wie sie im Einzugsgebiet Elsterbach „staunass“ vorherrschend sind, sind solche Nährstoffverluste aus dem oberen Mineralboden für die kommende Waldgeneration sehr kritisch.

Beim verstärkten Abbau organischer Substanz auf Freiflächen wird außerdem Kohlenstoff freigesetzt, der einerseits in Form von  $\text{CO}_2$  in die Atmosphäre abgegeben wird, andererseits in gelöster Form mit dem Bodenwasser in Richtung Grundwasser verlagert wird bzw. mit dem Bachwasser das Ökosystem verlässt.

Diese Ergebnisse zeigen, dass einige Auswirkungen der Kalamitäten „auf den ersten Blick“ nicht sichtbar sind.

### Ausblick

Die Stoffkonzentrationen schwanken in Abhängigkeit von Wasserführung und Jahreszeit stark, die Probenahme für die Bachwasseranalysen kann aber nur an Stichtagen (i. d. R. wöchentlich) ohne vorherige Kenntnis der Abflusshöhe durchgeführt werden. Um genauere Daten zur Berechnung der Stofffrachten zu erhalten, wurde im Februar 2022 am Wehr des Elsterbachs eine Multiparametersonde eingebaut, die stündlich die Nitrat-N- sowie DOC-Konzentration (gelöster organischer Kohlenstoff) erfasst.

Hierdurch wird es möglich sein, die Nährstoffverluste genauer zu berechnen und festzustellen, wann sich die infolge der Auswirkungen der Kalamität erhöhten Stoffkonzentrationen wieder auf dem Vor-Kalamitätsniveau einpendeln.

# Alternative Baumarten – ein Lösungsbeitrag für die Klimaanpassung der Wälder in Schleswig-Holstein?

**Stefan Lieven, Franziska Fasse, Maik Werning, Ralf-Volker Nagel**

<https://doi.org/10.5281/zenodo.7326941>

Die sich vollziehende Klimaveränderung und insbesondere die in vielen Teilen Deutschlands auftretenden gravierenden Waldschäden durch die seit 2018 praktisch anhaltenden Witterungsextreme haben das Interesse der forstlichen Praxis an sogenannten alternativen Baumarten stark gesteigert. Darunter verstanden werden sollen in diesem Beitrag Baumarten, die bisher keine größere Bedeutung als Haupt- und Mischbaumarten erlangt haben. Teilweise handelt es sich um bisher forstlich kaum verwendete fremdländische Baumarten, es sollen aber auch bisher sehr seltene heimische Baumarten eingeschlossen werden. Nachdruck verleiht diesem Anliegen, dass unter den projizierten Klimaänderungen bei einigen der derzeit bedeutendsten heimischen Baumarten mit einer erhöhten Absterberate zu rechnen ist (Schmiedinger et al., 2009). So zeigen die Ergebnisse der schleswig-holsteinischen Waldzustandserhebungen der vergangenen Jahre, dass die Buche, die Fichte sowie die anderen Laubbäume auf die Trockenheit mit gestiegenen Kronenverlichtungen reagiert haben (Dammann & Paar, 2021). Diese Baumarten nahmen 2012 mit rund 107.000 ha 64 % der Waldfläche Schleswig-Holsteins ein (Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL), 2016). Auch die Absterbe- und Ausfallrate lag im Waldzustandsbericht 2021 über den Mittelwerten

der Beobachtungsreihe (Dammann & Paar, 2021). Der langjährige Erwärmungstrend setzt sich in Schleswig-Holstein weiter fort. So zeigt ein Vergleich der Klimaperiode 1961–1990 mit der aktuellen Referenzperiode von 1991–2020 im Mittel bereits eine Erwärmung von 1,1 K (Sutmöller, 2021). Angesichts dessen verbindet sich das Interesse an Alternativbaumarten mit der Hoffnung auf eine bessere Anpassungsfähigkeit an ein künftig wärmeres und trockeneres Klima. Neben Dürren werden außerdem häufiger Stürme erwartet, Massenvermehrungen von Borkenkäfern und blattfressenden Insekten nehmen zu und Pilzkrankungen werden vermehrt die Bäume schädigen. Eine „Wunderbaumart“, die all dem gewachsen wäre, gibt es nicht, denn keine Baumart ist gleichermaßen widerstandsfähig gegen alle Gefährdungen. Umgekehrt sind bestimmte Risikofaktoren wie der Fichtenborkenkäfer regelrecht auf einzelne Baumarten, mitunter sogar in einem ganz bestimmten Altersbereich spezialisiert. Besteht ein Wald also nur aus gleichalten Bäumen einer einzigen Baumart, kann schnell der gesamte Bestand vernichtet werden. Fällt dagegen in artenreichen Beständen, am besten noch mit unterschiedlichen Baumaltern, eine Art aus, stirbt nicht gleich der gesamte Waldbestand. Entstehende Lücken können durch die anderen Baumarten wieder geschlossen werden oder bieten Platz für natürliche Verjüngung. Und selbst nach katastrophalen Stürmen oder Bränden bleibt von



Foto: M. Spielmann

gemischten Wäldern oft ein vielfältigeres Potenzial für die Neubesiedlung. So erhöhen Mischungen von Pionier- sowie mittel- und spätsukzessionalen Baumarten die Resilienz der Wälder gegen Störungsereignisse (Lüpke 2004; 2009). Die Empfehlungen für eine klimaangepasste Baumartenwahl werden deshalb in Schleswig-Holstein mit den bewährten Waldentwicklungstypen (WET) auch zukünftig auf Mischbestandstypen basieren, die im Hinblick auf die Klimaanpassung eine Überarbeitung erfahren haben. Beschrieben werden sie durch Mischungsanteile und Mischungsformen beteiligter Haupt-, Misch- und Begleitbaumarten und ihre standörtliche Zuordnung.

Weiter scheinbar im Widerspruch zu einem „Vorteil durch Vielfalt“ werden in den WET zunächst nach wie vor nur wenige Baumarten aus anderen Ländern und Klimabereichen für den Einsatz in den Wäldern Schleswig-Holsteins empfohlen. Warum ist das so und wie ist die weitere Perspektive?

### Frühere Anbauten fremdländischer Baumarten

Bereits zu Zeiten der Römer wurden die Baumarten Esskastanie, Walnuss und Speierling vornehmlich nach Süddeutschland eingeführt. Diese Baumarten werden aufgrund ihrer sehr frühen Ankunft bei uns als Archäophyten bezeichnet. Neben der Holznutzung hat damals vor allem auch die Versorgung von Mensch und Nutztieren mit Nahrung eine Rolle bei der Artenauswahl gespielt (Nyssen et al., 2016). Aufgrund



Foto: S. Lieven

*Alternativbaumarten in etablierten Praxisanbauten: mehrjährige Esskastanien-Kultur nach Zurücksterben mit vieltriebigen Stockausschlägen*



Foto: S. Lieven

*Der Speierling als wärmeliebende Baumart, die bereits vor 2000 Jahren mit dem Weinbau nach Deutschland kam, ist in den Wäldern aber bisher wenig vertreten.*

der bisherigen klimatischen Verhältnisse haben sie jedoch in Schleswig-Holstein als Waldbäume bisher keine erwähnenswerte Bedeutung erlangt.

Der jüngere forstliche Anbau eingeführter Baumarten in Deutschland begann Mitte des 18. Jahrhunderts. Der Bevölkerungsanstieg in der frühen Neuzeit, nicht nachhaltige Landnutzung und der steigende Energiebedarf einer beginnenden Industrialisierung, der vor fossilen Energieträgern zu großen Teilen durch Holzkohle gedeckt wurde, führten zu einer Degradierung der Wälder sowie zu Entwaldung und Holzknappeit (Nyssen et al., 2016). Eingeführte Arten sollten dazu beitragen die Leistungsfähigkeit der Wälder wieder zu erhöhen. Die Fehlschläge eines unsystematischen Anbaus führten ab 1880 zur Anlage wissenschaftlicher Anbauversuche durch den Verein Deutscher Forstlicher Versuchsanstalten. Von den ca. 50 seit dieser Zeit untersuchten Baumarten stammten die meisten aus Nordamerika und einige aus Ostasien. Baumarten aus Südeuropa und Kleinasien waren dagegen kaum vertreten, da klimatische Veränderungen damals noch keine Rolle spielten.

Mit Hilfe der Anbauversuche wurden Standortansprüche, Massen- und Wertleistung, Verwendbarkeit als Mischbaumarten, Widerstandsfähigkeit gegen Witterungsextreme und biotische Schäden sowie die Holzqualität wissenschaftlich untersucht. Noch heute gelten diese Kriterien zur Beurteilung der Anbaueignung. Mit steigendem Verständnis der

komplexen Waldökosysteme wurden die Anforderungen für eine Anbaueignung deutlich umfangreicher. Berücksichtigt werden nunmehr auch Kriterien wie die Durchwurzelung des Mineralbodens, Effekte der Baumart auf die Humusbildung und -umsetzung und die Integration der eingeführten Arten in die heimische Flora und Fauna (Otto, 1993; Vor et al., 2015). Invasive Arten nach § 7 BNatSchG werden von der Forstwirtschaft als ein ernst zu nehmendes Problem für die biologische Vielfalt angesehen. Bei einer drohenden Gefährdung natürlich vorkommender Ökosysteme, Biotope oder Arten beispielweise durch eine unkontrollierte Ausbreitung einer eingeführten Baumart wird diese als nicht anbauwürdig eingestuft. Ein Beispiel einer solchen invasiven Baumart ist die Spätblühende Traubenkirsche (*Prunus serotina* Ehrh.).

### Anbauwürdig, ökologisch zuträglich und nicht invasiv

Nach dem umfangreichen, aber berechtigten Katalog der Anforderungen, der einer „wahllosen“ Vielfalt entgegen steht, haben sich in den nunmehr 140-jährigen Untersuchungen nur Douglasie, Küstentanne und Roteiche als uneingeschränkt anbauwürdig (Danckelmann, 1884; Penschuck, 1935; Schwappach, 1911; Spellmann, 1994; Stratmann, 1988), ökologisch zuträglich (Otto, 1993) und nicht invasiv (Vor et al., 2015) erwiesen. Für ein engeres Standortspektrum und einen speziellen Einsatzbereich kommt noch die Japanlärche hinzu. Die wissenschaftliche Langzeitbeobachtung gibt diesem Urteil Sicherheit. Außerdem ist es für diese Baumarten inzwischen gelungen, weitere Fragen der waldbaulichen Behandlung, zu verwendender Herkünfte und ihrer Gefährdungen und Umweltauswirkungen differenziert zu beantworten. Die drei erstgenannten Baumarten sind folgerichtig als Haupt- bzw. Mischbaumarten Bestandteil in etlichen Waldentwicklungszielen der aktuellen Empfehlungen zur klimangepassten Baumartenwahl; und speziell in den luftfeuchten westlichen Bereichen Schleswig-Holsteins wird auch die Japanlärche eine gewisse Bedeutung behalten.



Foto: F. Fasce

Häufige und sehr zahlreiche Samenproduktionen der westlichen Hemlockstanne und eine Verbreitung der Samen durch Wind über z.T. sehr große Entfernungen führen stellenweise zu Expansionen der Baumart in benachbarte Bestände.

### Der Blick nach vorn: Neue Baumarten unter der Lupe

Angesichts der projizierten klimatischen Entwicklungen und vor dem Hintergrund der deutschlandweit katastrophalen Auswirkungen der vergangenen Extremjahre wird von der forstlichen Praxis die schnelle Erweiterung der Empfehlungen für alternative Baumarten gefordert. Dies hat auch den wissenschaftlichen Diskurs über die Einführung weiterer neuer alternativer Baumarten intensiviert (Avila et al., 2021; Brang et al., 2016; Frischbier et al., 2019; Liesebach et al., 2021; Schroeder et al., 2021). Nach dem Ansatz der Klimaanalogie über Artverbreitungsmodelle rücken nun vor allem südeuropäische und vorderasiatische Nadel- und Laubbaumarten in den Fokus. Ihr geografischer Ursprung verspricht am ehesten die Anpassung an erwartete mildere Winter und trocken-heiße Sommer. Umfassende Anbauversuche dieser Baumarten waren bis vor Kurzem für Nordwestdeutschland nicht verfügbar. Eine allererste Orientierung können deshalb bislang nur umfangreiche Literaturrecherchen bieten (vgl. Bayerische



Foto: J. Evers

Die nordamerikanische Roteiche ist auf einem breiten Standortspektrum anbauwürdig und kam mit der Dürre der vergangenen Jahre vergleichsweise gut zurecht.



Foto: F. Fasce

Der Tulpenbaum ist in einigen wenigen etablierten Praxisanbauten zu finden und wird darüber hinaus auch in den neuen Anbauversuchen auf seine Anbauwürdigkeit untersucht.



Foto: S. Lieven

Auf extrem flachgründigen Kalkstandorten zeigen vitale Elsbeeren ihr Potenzial als Alternativbaumart im Klimawandel.

Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (LWF) 2019, 2020; Avila et al. 2021). Dies birgt Unsicherheiten, da die Informationen zu vielen Baumarten unvollständig sind, insbesondere im Hinblick auf Anbauerfahrungen außerhalb des natürlichen Verbreitungsgebietes. Daraus erwachsende Risiken gilt es zwingend zu vermeiden, denn mit dem Anbau eingeführter Baumarten verbindet sich eine hohe Verantwortung. Sie schließt im Rahmen einer nachhaltigen, multifunktionalen Forstwirtschaft das Teilziel „Naturschutz im Wald“ mit ein. Daraus leitet sich die Verpflichtung ab, die Leistungsfähigkeit des Naturhaushaltes und die Nutzungsfähigkeit der Naturgüter nachhaltig zu sichern und die Pflanzen- und Tierwelt sowie die Vielfalt, Eigenart und Schönheit von Natur und Landschaft zu schützen (§ 1 BNatSchG)“; (Gossner, 2016; Rigling et al., 2016; Vor et al., 2015).

Die Auswirkungen eingeführter Baumarten auf Lebensgemeinschaften, Standorte und natürliche Prozesse sind bisher für viele der „neuen“ fremdländischen Alternativbaumarten kaum erforscht. Schadorganismen, sowohl Pilze als auch Insekten, werden häufig bereits mit dem Saatgut importiert (Franić et al., 2019). Jüngste Erfahrungen mit eingeschleppten Krankheiten und Schädlingen (z. B. das Eschentriebsterben oder der Asiatische Laubholzbockkäfer (*Anoplophora glabripennis*)) geben den Hinweis, dass auch heimische und gut angepasste Baumarten davon plötzlich existenziell bedroht sein können.

Ein Blick auf die Anbauerfahrungen mit Douglasie und Rot-eiche zeigt, welcher langer Weg zurückzulegen ist, um einen entsprechenden Wissensstand über systematisch angelegte Versuchsflächen zu erlangen. Um dennoch möglichst rasch belastbare erste Empfehlungen geben zu können, arbeiten laufende Forschungsprojekte der NW-FVA an einer schnelleren Schließung der größten Wissenslücken. Die Vorauswahl näher zu untersuchender Kandidaten erfolgte nach einer bundesländerübergreifenden Abstimmung (vgl. Liesebach et al. 2021), anhand von Literaturrecherchen sowie orientiert am vorrangigen Bedarf hinsichtlich standörtlicher und waldbaulicher Einsatzbereiche. Im Ergebnis dessen konzentrieren sich die derzeitigen Forschungen auf Arten aus dem Mittelmeerraum, Vorderasien und dem Kaukasusgebiet: Esskastanie, Orient-Buche, Baumhasel, Walnuss, Türkische Tanne, Troja- und Nordmantanne, Atlas- und Libanonzeder. Gleichrangig einbezogen werden seltene heimische Baumarten besonderer Standorte wie Winter- und Sommerlinde, Elsbeere, Spitzahorn, Speierling und die anderen Sorbus-Arten, Eibe, Feldahorn, Hainbuche und Vogelkirsche, die in der Vergangenheit weniger beachtet und erforscht wurden und von denen keine ökologischen Risiken zu erwarten sind. Unter ihnen sind jedoch keine für die Bauholznutzung so wichtigen Nadelbaumarten, abgesehen von der Weißtanne, die bisher nur als mäßig trocken tolerant gilt.

Die zügige Bereitstellung von Entscheidungshilfen soll durch ein mehrstufiges Vorgehen ermöglicht werden. Durch die Eigeninitiative früherer und heutiger Forstleute, in jüngerer Zeit insbesondere im Zusammenhang mit der Wiederbewaldung bereits entstandener Schadflächen, sind in der Praxis immer



Alternativbaumarten in etablierten Praxisanbauten: 17-jährige wüchsige Baumhasel

Foto: S. Lieven





Foto: S. Lieven

Die Orientbuche gilt als einer der Hoffnungsträger im Klimawandel und ist eine der Baumarten, die aktuell in Anbauversuchen untersucht wird.

wieder Flächen mit bisher wenig erforschten Baumarten bepflanzt worden. Sie besitzen, trotz fehlenden wissenschaftlichen Anspruchs bei ihrer Anlage, eine gewisse Aussagekraft zum Wachstum und der Standortanpassung der betreffenden Arten. Dies gilt insbesondere, wenn mehrere Flächen einer Art auf verschiedenen Standorten und von jungen bis in höhere Alter gemeinsam betrachtet und ausgewertet werden können.

In einer ersten Untersuchungsphase werden solche etablierten Praxisanbauten der zu untersuchenden Zielarten durch vorhandene Unterlagen, z. B. Forsteinrichtungsdaten und ergänzende systematische Abfragen bei den Forstbetrieben, ausfindig gemacht und in einer Datenbank erfasst. Dabei wurden länderübergreifend bisher ca. 2000 Bestände identifiziert,



Foto: J. Weymar

Die Hainbuche ist eine bisher weniger beachtete heimische Laubbaumart, die Dürre relativ gut widersteht.

die aufgrund ihrer Flächengröße sowie einer ausreichenden Bestandesdichte als potenziell geeignet erschienen. Diese identifizierten Potenzialflächen werden aktuell bereist und anhand von ordinalskalierten Kriterien bezüglich ihrer ökologischen Eigenschaften und Merkmalen der Vitalität bewertet. Im Ergebnis dessen zeigten sich über alle Baumarten hinweg rund ein Drittel (ca. 700) der Potenzialflächen als grundsätzlich für eine weitere Datenaufnahme und Auswertung geeignet. Die Anzahl der verfügbaren Flächen variiert jedoch zwischen den einzelnen Baumarten stark. Insbesondere seltener heimische Laubbaumarten sind in dem Flächenpotenzial zahlreich vertreten, sodass sich bei ihnen voraussichtlich eine gute Alters- und Standortsabdeckung erreichen lässt. Bei etlichen Baumarten mit einem Ursprung in Südeuropa und Kleinasien sind dagegen nur sehr wenige etablierte Bestände vorhanden.

Nach Vorauswertung der ersten Untersuchungsphase werden im zweiten Schritt für eine repräsentative Auswahl der Bestände auf Probeflächen Daten zum Wachstum erhoben, das ebenfalls ein Ausdruck der Vitalität ist. Zu beachten ist, dass ein Vorgehen, welches sich nur auf die etablierten Praxisanbauten beschränkt, hinsichtlich der abschließenden Beurteilung der Anbauwürdigkeit unvollständig bleibt, da Misserfolge, insbesondere nicht dokumentierte Totalausfälle, überhaupt nicht erfasst und in die Auswertung einbezogen werden können.

Daher wurden von der NW-FVA parallel zu den Untersuchungsvorhaben etablierter Praxisbestände zuletzt Anbauversuche mit Alternativbaumarten auf verschiedenen Standorten neu angelegt. Als Referenzbaumarten enthalten



Foto: H. J. Arndt

Die Eberesche ist eine heimische Pionierbaumart, die vorrangig an Waldrändern gefördert werden sollte.



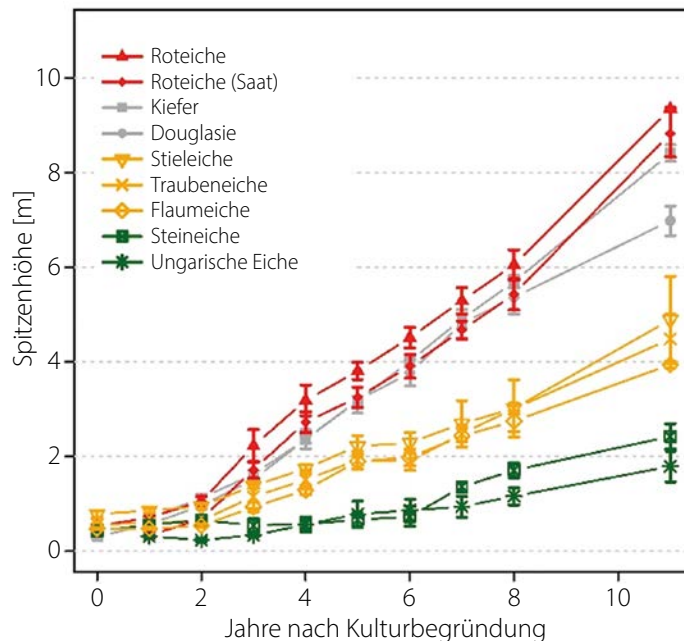
Foto: R. Merten

Anbauversuch mit mediterranen und heimischen Eichenarten sowie Roteiche, Kiefer und Douglasie im hessischen Forstamt Lampertheim. Links: Der Versuch im Juli 2019 und rechts: Höhenwachstum nach 11 Jahren, Mittelwerte und Standardabweichungen von drei Wiederholungen

diese Versuche auch die heimische Winterlinde und die bewährte Douglasie, um die Standortanpassung, Mortalität und Wuchsleistung zu der Untersuchungsbaumart besser einordnen zu können. Eine dieser Versuchsfelder, gefördert mit Mitteln der Otto-Henneberg-Stiftung, Poppenbüttel, liegt auch im klimatisch trockeneren südöstlichen Schleswig-Holstein. Solche wissenschaftlichen Versuche als wesentliche Grundlage fundierter Anbauempfehlungen erstrecken sich normalerweise über Zeiträume von mindestens mehreren Jahrzehnten. Nur in einer solch langen Testphase lassen sich neben Wuchsleistungen auch die Auswirkungen, positive sowie negative, auf das heimische Ökosystem ausreichend überprüfen.

Immerhin können die Versuche bereits nach wenigen Jahren Erkenntnisse zu geeigneten Pflanzensortimenten und Verfahren der Bestandesbegründung, artspezifischen Jugendgefahren und Überlebenswahrscheinlichkeiten in der Kulturphase sowie zum Jugendwachstum liefern. Bereits hier sind Überraschungen möglich. So zeigte ein Anbauversuch in der trocken-warmen Rhein-Main-Ebene Hessens die höchsten, v. a. durch Spätfröste bedingten Ausfälle von bis über 70 % an den mediterranen Eichenarten gegenüber sehr hohen Überlebensanteilen von Roteiche, Kiefer und Douglasie. Im Höhenwachstum blieben vor allem Steineiche und Ungari-

Höhenwachstum nach 11 Jahren



sche Eiche nach 11 Jahren weit hinter Roteiche und Kiefer zurück, während Ausfälle und Wachstum der Flaumeiche sich zusammen mit den heimischen Eichenarten im mittleren Bereich bewegten.

Erste Ergebnisse der Untersuchungen, die bislang Niedersachsen, Hessen, Sachsen-Anhalt und im Rahmen eines Kooperationsprojektes Mecklenburg-Vorpommern einschließen, sind Ende 2023 zu erwarten. Ein ergänzendes Projekt soll auch für Schleswig-Holstein initiiert werden. Die Projektergebnisse werden der Praxis in Form von handlungsorientierten Entscheidungshilfen zur Verfügung gestellt. Diese sollen neben einer fundierten Abschätzung von Potenzialen und Risiken auch eine Eingrenzung des standörtlichen Einsatzbereiches klimaangepasster Baumarten in Mischung mit heimischen Baumarten enthalten. Darauf aufbauend sollen mit den aussichtsreichsten vorausgewählten Kandidaten, von denen gleichzeitig geringe ökologische Risiken erwartet werden, umfangreichere wissenschaftlich begleitete Praxisanbauversuche gestartet werden sowie die Aufnahme bestimmter Baumarten als Begleitbaumarten in passende Waldentwicklungstypen erfolgen. Da von einer kurzfristigen Beantwortung aller Fragen nicht auszugehen ist, wird sich die Erweiterung der Baumartenpalette als ein dynamischer Prozess darstellen. Die Bewertung der Baumarten wird dabei laufend dem Erkenntnisfortschritt anzupassen sein. Keinesfalls können Alternativbaumarten allein die Probleme durch den Klimawandel für Wälder und Forstbetriebe kurz- bis mittelfristig lösen. Vielmehr sind sie ein Baustein im Rahmen aller Anpassungsmaßnahmen.

### Literatur

Download des Literaturverzeichnisses unter:  
<https://doi.org/10.5281/zenodo.xxxxxx>

# Douglasie ist nicht gleich Douglasie – zur Bedeutung von Herkünften und genetischen Ressourcen

Aki Michael Höltken, Martin Hofmann und Wilfried Steiner

<https://doi.org/10.5281/zenodo.7347457>

Die Witterungsbedingungen der letzten Jahre haben von Vitalitätsverlusten einzelner Bäume bis zum Absterben ganzer Waldflächen geführt. Deshalb ist auch das Interesse an fremdländischen Baumarten, die potenziell besser an prognostizierte Trocken- und Hitzeperioden angepasst sind, enorm gestiegen. Eine Überführung in die forstliche Praxis kann aber nur dann von Erfolg sein, wenn verschiedene Anforderungen erfüllt sind. Dazu zählen einerseits Massen- und Wertleistung, Standortanpassung sowie die Widerstandsfähigkeit gegenüber abiotischen und biotischen Schadfaktoren. Andererseits müssen auch komplexe ökosystemare Kriterien geprüft werden wie z. B. Invasivität, bodenkundliche Effekte oder Wechselwirkungen mit anderen Tier- oder Pflanzenarten. Diese Prüfung kann viele Jahrzehnte in Anspruch nehmen. Von überstürztem Handeln, insbesondere bei einer Reihe von „Alternativbaumarten“ aus dem mediterranen oder asiatischen Raum, kann deshalb nur abgeraten werden. Auch künftig werden Frostereignisse (Spätfröste, Früh- und Winterfröste) bei vielen dieser Baumarten hohe Ausfallraten bzw. erhebliche Beeinträchtigungen der Reproduktion verursachen. Bislang haben sich nach langjährigen Untersuchungen nur sehr wenige fremdländische Baumarten bei uns als uneingeschränkt anbauwürdig, ökologisch zuträglich und nicht invasiv erwiesen. Dazu zählt insbesondere die Douglasie (*Pseudotsuga menziesii* [MIRB] FRANCO) (Nagel 2022). Sie ist eine der wichtigsten forstlich genutzten Baumarten Nordamerikas. In Europa geht ihre Einführung auf das Jahr 1827 zurück, wo sie recht schnell durch ihr überlegenes Wachstum beeindruckte. Erste forstliche Anbauten erfolgten schon zwischen 1880 und 1890. Systematische, wissenschaftlich begleitete Herkunftsversuche wurden in Deutschland bereits in den Jahren 1910 in Chorin und 1912 in Kaiserslautern angelegt. Am umfangreichsten war eine von der IUFRO (International Union

of Forest Research Organizations) im Jahr 1965 initiierte Einsammlung von Saatgut im nahezu gesamten natürlichen Verbreitungsgebiet der Douglasie in den USA und Kanada, wovon in Deutschland ebenfalls umfangreiche Versuchsreihen angelegt wurden. Die Studien auf diesen Versuchsflächen dauern teilweise bis heute an, weshalb die Douglasie nicht nur die bei uns am häufigsten angebaute fremdländische Baumart ist, sondern auch die am besten untersuchte. Die abgeleiteten Ergebnisse ermöglichen eine sehr solide Grundlage zur Bewertung unterschiedlicher Douglasienherkünfte (=Provenienzen) hinsichtlich Leistung, Qualität und Anpassungsfähigkeit.

Geeignete Provenienzen der Douglasie zeigen auf den meisten Standorten Nordwestdeutschlands eine hohe Wuchsleistung und Qualität, obwohl sich die klimatischen Gegebenheiten teilweise deutlich von denen im natürlichen Verbreitungsgebiet unterscheiden. Jährlich wiederkehrende Großwetterlagen mit bis zu mehrere Monate andauernden sommerlichen Dürreperioden und hohen Temperaturen sind in ihren Ursprungsregionen der USA (Washington, Oregon) oder auch Kanadas (Britisch-Kolumbien) keine Seltenheit. Hierauf begründen sich nicht zuletzt die hohen Erwartungen an die Douglasie vor dem Hintergrund prognostizierter Klimaveränderungen. Darüber hinaus lässt sich die Douglasie waldbaulich leicht in heimische Waldökosysteme integrieren, um als Mischbaumart nicht mehr standortgemäße Baumarten abzulösen und damit waldbauliche Risiken zu senken bzw. zu verteilen (Spellmann et al. 2015, Höltken und Steiner 2022). Der Douglasie kommt auch für die Versorgung mit Nadelrohholz künftig eine steigende Bedeutung zu.

## Auf die Herkunft kommt es an

Im Ursprungsgebiet reicht die Verbreitung der Douglasie von Britisch-Kolumbien im Norden entlang der pazifischen Westküste bis nach Kalifornien im Süden (2200 km) und in einem zweiten Teilareal im Landesinneren bis nach Mexiko (fast 4500 km). Abweichende eiszeitliche Refugialgebiete, die Isolation von Teilarealen (geringer Austausch an Samen und Pollen) sowie standörtliche Unterschiede haben allerdings zu einer genetischen Differenzierung in verschiedene geographische Herkünfte geführt. Bereits bei der forstlichen Einführung der Douglasie in Deutschland zum Ende des 19. Jahrhunderts hat man eine „grüne“ Küstenform und eine „graue“ Inlandsform sowie Übergangsformen zwischen diesen beiden Varietäten unterschieden. Auch wenn die Abgrenzung im Einzelfall nicht immer einfach ist, ist diese Einteilung in den Grundzügen bis heute gültig.

Provenienzversuche haben gezeigt, dass auf den meisten Standorten NW-Deutschlands die „grüne“ Douglasie aus den Küstengebieten westlich der Kaskaden aus Washington und



Foto: M. Lau

Starke Küstendouglasie in einem Mischbestand mit Buche und Fichte

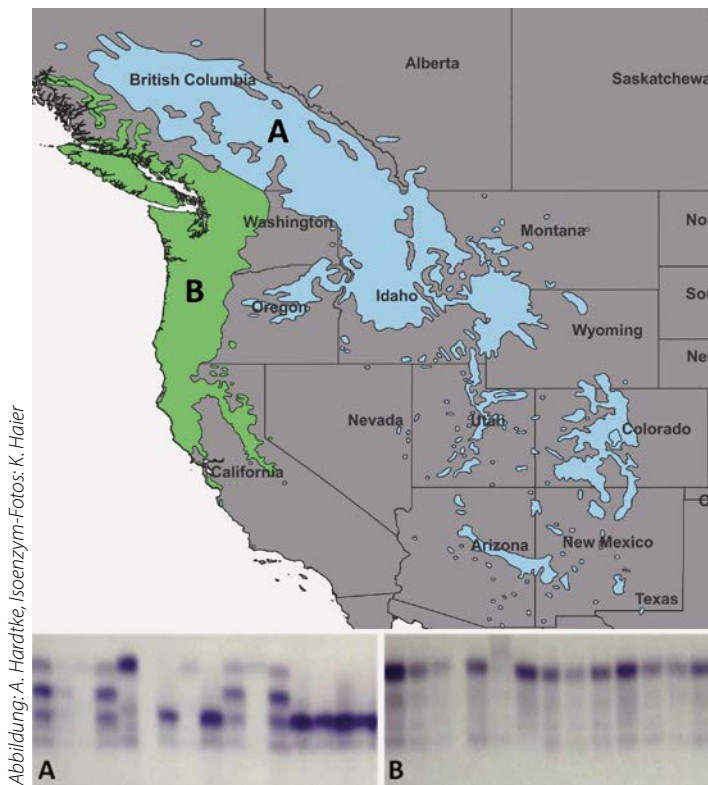


Abbildung: A. Hardtke, Isoenzym-Fotos: K. Häfner

Natürliche Verbreitung der Douglasie in den USA und in Kanada: Inlandsdouglasie (A, blaue Fläche), Küstendouglasie (B, grüne Fläche) und deren Unterscheidung mit Hilfe genetischer Methoden (hier: Isoenzym-Muster)

Oregon (USA) sowie aus dem Südwesten Britisch-Kolumbiens (Kanada) hinsichtlich Wuchsleistung und Qualität die besten Anbauerfolge liefert. Sie leidet durch ihr relativ spätes Austreiben bedeutend weniger an Spätfrostschäden und zeigt eine deutlich bessere Resistenz gegenüber Schadorganismen wie der Rostigen Douglasienschütte (*Rhabdocline pseudotsugae*) als die Inlandsform. Auch wenn die „graue“ Inlandsform eine bessere Winterfrosthärte zeigt, werden nach Modellierungen von Schüler und Chakraborty (2021) im erwarteten zukünftigen Klima nahezu alle potenziell geeigneten kontinentaleren Standorte nicht nur in Mittel- sondern auch in Osteuropa für die Inlandsherkünfte der Douglasie weitgehend verloren gehen. Eine Aufforstung mit diesem Material kann allein unter Berücksichtigung prognostizierter Klimaszenarien auf mitteleuropäischen Standorten deshalb nicht mehr empfohlen werden.

Andererseits zeigten sich in den ersten Anbauversuchen jedoch schon bald auch Probleme bei der Küstendouglasie, und zwar mit Früh- und Winterfrösten. Bis heute werden deshalb eher Herkünfte aus dem nördlichen und nordöstlichen Teil oder sogar aus höheren Lagen des Verbreitungsgebietes der „grünen“ Küstenform für den Anbau in Deutschland empfohlen. Diese Herkünfte zeichnen sich durch späten Austrieb und frühen Vegetationsabschluss aus. Dies ist ein Beleg dafür, dass es selbst innerhalb der Vorkommensgebiete der Küstendouglasie häufig zu kleinräumig ausgeprägter Differenzierung in Teilpopulationen kommt. Dies bestätigen indirekt auch Ergebnisse aus deutschen Versuchen, bei denen deut-

liche Unterschiede zwischen Herkünften festgestellt wurden, die in ihrem Ursprungsgebiet relativ dicht beieinander liegen. Da die Weichen für den erfolgreichen Anbau der Douglasie bereits zum Zeitpunkt der Saatguternte gestellt werden, evaluiert die NW-FVA (Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt) potenzielle Saatgutquellen der Douglasie für ihre Trägerländer Hessen, Niedersachsen, Sachsen-Anhalt und Schleswig-Holstein. Es hat sich allerdings gezeigt, dass die Beurteilung von Douglasienbeständen hinsichtlich ihres geographischen Ursprungs in Nordamerika allein nach phänotypischen Merkmalen nicht immer zuverlässig ist (Rau 2002). Da sich Populationen der „grünen“ und „grauen“ Douglasien aber labortechnisch voneinander unterscheiden lassen, werden an der NW-FVA zur genauen Klärung der Provenienzfrage Isoenzym-Untersuchungen durchgeführt. Dabei hat sich gezeigt, dass die meisten Saatgutvorkommen der Küstenform zugeordnet werden können, ein nicht unerheblicher Teil aber auch Inlandsformen oder Mischungen zwischen beiden Varietäten aufweist. Diese Art der genetischen Analyse, die an Altbäumen sowie an Vermehrungsgut vorgenommen werden kann, stellt deshalb eine wichtige Entscheidungsbasis bei der Beschaffung hochwertigen Vermehrungsgutes dar.

### Hohe Nachfrage nach Vermehrungsgut

Nach Daten der letzten Bundeswaldinventur (BWI3 aus dem Jahre 2012) stammten 73 % der Verjüngungsfläche der Douglasie aus künstlicher Verjüngung. Dieser Anteil dürfte aufgrund der witterungsbedingt aufgetretenen Waldschäden eher eine noch zunehmende Tendenz aufweisen. Bislang wird Vermehrungsgut der Douglasie größtenteils in zugelassenen Saatguterntebeständen (SEB) gewonnen. Deren behördliche Zulassung verlangt bestimmte, gesetzlich vorgeschriebene Mindestkriterien: Neben Formeigenschaften und Vitalität müssen SEB aus fruktifikationsfähigen Bäumen bestehen, die so zahlreich und gut verteilt sind, dass zwischen den Bäumen eine ausreichende gegenseitige Befruchtung gewährleistet ist. Vorgeschrieben sind mindestens 40 Bäume mit einem Mindestalter von 60 Jahren. Schon die Einhaltung dieser Minimalvorgaben engt die Verfügbarkeit



Zapfen der Douglasie

Foto: T. Boehl

geeigneter SEB aufgrund sich ändernder Waldbaustrategien aber zunehmend ein. Einerseits hat die Förderung von Struktur- und Artenvielfalt homogen aufgebaute, leicht zu beerntende Saatgutbestände vielerorts immer seltener werden lassen. Andererseits kann Zielstärkenutzung ein weiteres Problem in SEB darstellen, denn dadurch werden kontinuierlich und gezielt die genetischen Leistungsträger aus den Beständen entfernt. Insgesamt ist der Trend eindeutig: Dem steigenden Bedarf an qualitativ hochwertigem Douglasien-Saatgut steht eine abnehmende Verfügbarkeit geeigneter SEB gegenüber.

Genetische Analysen haben gezeigt, dass sich in den SEB je nach Bundesland ein sehr differenziertes Bild bezüglich der Zugehörigkeit zur Küsten- bzw. Inlandsform der Douglasie ergibt. In Sachsen-Anhalt konnte nahezu die Hälfte der untersuchten SEB der reinen Inlandsform bzw. Mischungen zwischen Küsten- und Inlandsformen zugeordnet werden. Diese Tatsache geht wahrscheinlich auf erste Auswertungen der zu Beginn des letzten Jahrhunderts angelegten Provenienzversuche in ostdeutschen Landesteilen zurück. Hier erwiesen sich einige Inlandsherkünfte als deutlich toleranter gegenüber Winterfrost und Frostrocknis. Dies führte dazu, dass bestimmte kanadische Inlandsherkünfte für höhere Lagen der Mittelgebirge sowie für die kontinentaler geprägten Klimagebiete des Pleistozäns Ostdeutschlands besonders empfohlen wurden. Die SEB Niedersachsens, Schleswig-Holsteins und Hessens stellten sich bis auf wenige Ausnahmen als reine Küstenherkünfte heraus (Höltken und Steiner 2022).

Eine weitere Saatgutquelle sind Samenplantagen (SP). SP sind gewissermaßen forstliche Sonderkulturen, die ausschließlich der Produktion von forstlichem Saatgut dienen (Paul et al. 2020). Die Ausgangsbäume einer SP sind bei der Douglasie das Ergebnis einer sogenannten „Plusbaumauswahl“. Das heißt, hier sind besonders vitale, angepasste, wüchsige, gutgeformte Bäume aus verschiedenen Vorkommen ausgewählt worden. Diese „Plusbäume“ werden, wie im Obstbau, über Pfropfreiser vegetativ vermehrt, so dass zu jedem Plus-

baum mehrere genetisch identische Kopien als Pfropflinge erzeugt werden. Anschließend werden die Pfropflinge nach einem speziellen Verteilungsmuster zu einer Reproduktionseinheit in SP gepflanzt, um hochwertiges forstliches Saatgut zu produzieren.

Vorteile von SP gegenüber SEB liegen in deutlich gesteigerten Erntemengen bei zeitlich-technisch einfacheren Beerntungsmöglichkeiten. Darüber hinaus haben genetische Untersuchungen ergeben, dass sich die bislang untersuchten SP im Bereich der NW-FVA ausnahmslos aus reinen Küstenprovenienzen der Douglasie zusammensetzen. Dies ist auch zu erwarten, da es sich entweder um Originalmaterial aus Ursprungsgebieten der „grünen“ Küstenvariante handelt oder problematische Herkünfte in den letzten Jahrzehnten kontinuierlich entfernt wurden, auch in Verbindung mit genetischen Analysen (Höltken und Steiner 2022).

### Genetischer Flaschenhals bei der Douglasie?

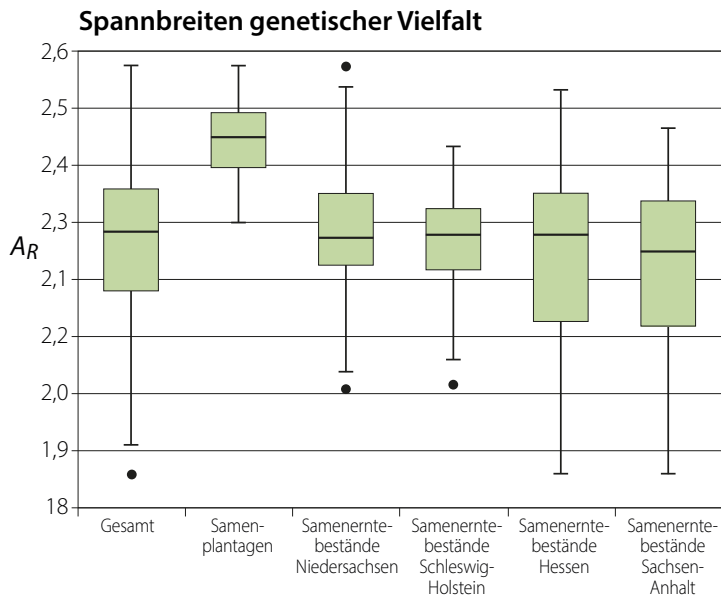
Eine wichtige Voraussetzung für genetische Anpassungsprozesse an sich ändernde Umweltbedingungen ist die Verfügbarkeit genetischer Vielfalt auf Bestandesebene. Nur dann können im Rahmen der geschlechtlichen Vermehrung verschiedene genetische Varianten zu einer Vielzahl von Samen und Sämlingen mit potenziell neuen Eigenschaften rekombiniert werden. Damit auch ein möglichst großes Zufallsangebot an unterschiedlichen Genotypen in den Beständen produziert wird und natürlichen Anpassungsprozessen zur Verfügung steht, haben Bäume besonders effiziente Strategien entwickelt: Mechanismen zur Inzuchtvermeidung, eine effiziente Pollen- und Samenausbreitung sowie eine enorme Anzahl an Nachkommen in überlappenden Generationen. In der Biologie spricht man von „effektiv großen Populationen“. Diese Eigenschaften gelten natürlich nicht nur für heimische, sondern auch für eingeführte Baumarten wie die Douglasie. Da die Douglasie in ihrer nordamerikanischen Heimat bestandesbildend ist und aus „effektiv großen Populationen“ besteht, kann davon ausgegangen werden, dass die teilweise deutlich geringeren Größen der künstlich angelegten mitteleuropäischen Bestände bezüglich der generationenübergreifenden Erhaltung genetischer Vielfalt eher nachteilig sind. Diverse Studien konnten eine Abnahme genetischer Vielfalt zwischen Elternbäumen und ihren Nachkommen bereits beobachten (Neophytou et al. 2019). Es besteht also die Gefahr, dass in nachfolgenden Generationen mit einem verstärkten genetischen Flaschenhals und damit einer immer geringeren genetischen Anpassungsfähigkeit oder sogar inzuchtbedingten Problemen (hoher Hohlkornanteil, Wertverluste in den Beständen) gerechnet werden kann (Liesebach et al. 2020). Diese negativen Auswirkungen können noch verstärkt werden, wenn es sich schon bei den Saatguterntebeständen um Nachkommen effektiv kleiner „Populationen“ (schlimmstenfalls einzelner Bäume) handelt.



Foto: T. Boehl

Ein Zapfenpflücker in der Krone einer Douglasie während der Beerntung

Um auch künftig Douglasienbestände mit hohen Anpassungskapazitäten zu etablieren, werden an der NW-FVA genetische Analysen nicht nur für die Unterscheidung der geographischen Herkünfte (Küsten- und Inlandsformen) vorgenommen, sondern auch für die Beurteilung der genetischen Vielfalt innerhalb einzelner Erntevorkommen.



Spannbreiten genetischer Vielfalt von Samenplantagen und Saatguterntebeständen der Douglasie (Parameter:  $A_R$  = allelic richness, nach Daten aus Höltken und Steiner 2022)

## Genetische Vielfalt: Vorteile von Samenplantagen

Die genetische Vielfalt unserer Samenplantagen (SP) liegt auf einem konstant höheren Niveau als in zugelassenen Saatguterntebeständen (SEB). Das betrifft nicht nur die Durchschnittswerte. In SEB sind auch größere Schwankungen in deutlich niedrige Wertebereiche zu verzeichnen.

Der  $A_R$  (allelic richness) ist eines von vielen Maßen für genetische Vielfalt und reagiert sensibel auf die Auswirkungen geringer Bestandsgrößen und damit auch auf Gefahren der genetischen Einengung (Flaschenhalseffekt). Es zeichnet sich ab, dass die Zusammenstellung von Plusbäumen in SP tendenziell zu einer Erhöhung genetisch „effektiver“ Populationsgrößen führt. Möglicherweise kann in SP eine deutlich geringere Mindestzahl an Genotypen für die Weitergabe genetischer Vielfalt an die Nachkommen ausreichend sein, da in SP meist deutlich mehr Pollen produziert wird und durch die zufällige Anordnung der Klone auf der Fläche eine viel bessere Durchmischung stattfinden kann. Auch Inzuchterscheinungen und eine damit verbundene Bildung von Hohlkörnern scheinen in SP deutlich geringer auszufallen als in SEB (Liesebach et al. 2020).

SP stellen deshalb ein wichtiges Element für die Erzeugung von Vermehrungsgut für die künstliche Begründung von Douglasienbeständen dar, insbesondere hinsichtlich der Erhaltung von genetischer Vielfalt und damit Anpassungs-

potenzial. Weitere Vorteile liegen auch in deren technisch einfacheren Beerntbarkeit und Pflege. Dennoch wird in absehbarer Zeit der größte Teil des Vermehrungsgutes der Douglasie aus SEB stammen. Mehrere, unabhängig voneinander durchgeführte wissenschaftliche Studien kommen hier aber zu dem Ergebnis, dass die bislang geltenden gesetzlichen Mindestkriterien für SEB und deren Beerntung gerade hinsichtlich der Erhaltung genetischer Vielfalt nicht ausreichen und dringend überarbeitet werden sollten. Diese Kriterien betreffen im Wesentlichen die minimale Anzahl an Altbäumen, Bestandesstrukturen (räumliche Anordnung der Bestäubungseinheiten) sowie die Anzahl der zu beerntenden Bäume (Liesebach et al. 2020).

## Empfehlungen für die Praxis

Vermehrungsgut aus Samenplantagen ist für die forstliche Praxis vorrangig zu empfehlen, denn dies verspricht nicht nur gute Wuchseigenschaften, sondern vor allem eine besonders hohe genetische Vielfalt und damit Anpassungsfähigkeit. In den forstlichen Herkunftsempfehlungen der Bundesländer werden Erkenntnisse aus genetischen Untersuchungen und Herkunftsversuchen berücksichtigt. Sie stellen somit eine praxistaugliche Entscheidungshilfe für die Wahl geeigneten Vermehrungsguts dar. Hier finden sich – soweit vorhanden – auch Hinweise auf Vermehrungsgut der Kategorie „Geprüft“, d. h. Material, das seine Wuchsüberlegenheit in Vergleichsprüfungen gezeigt hat.

## Literatur

- Höltken AM, Steiner W (2022): Genetische Ressourcen der Douglasie (*Pseudotsuga menziesii*) in Nordwestdeutschland: Erkenntnisse aus 15 Jahren Inventur. AFJZ, in Druck
- Liesebach H, Wojacki J, Pakull B, Eusemann P (2020): Genetische Diversität von Douglasiensaatgut aus zugelassenen Erntebeständen und Samenplantagen – Schlussfolgerungen für die Praxis. 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, S. 246-259
- Nagel R (2022): Geht da noch mehr? Eingeführte Baumarten in Nordwestdeutschland für Vielfalt und Klimaanpassung. proWALD, Magazin des Deutschen Forstvereins 2, 4–8
- Neophytou C, van Loo M, Hasenauer H (2019): Genetic diversity in introduced Douglas-fir and its natural regeneration in Central Europe. *Forestry* 2019: 1-10
- Paul M, Steiner W, Schleich S, Lau M, Leisten D, Moos M, Schmidt C (2020): Samenplantagen und Mutterquartiere als Beitrag zur Biologischen Vielfalt. In: Waldzustandsbericht 2020 für Hessen, Niedersachsen, Sachsen-Anhalt und Schleswig-Holstein
- Rau H-M (2002): Merkmale problematischer Douglasien-Herkünfte. *AFZ/Der Wald* 57:1276-1277
- Schüler S, Chakraborty D (2021): Limitierende Faktoren für den Douglasienanbau in Mitteleuropa im Klimawandel. *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen* 172: 84-93
- Spellmann H, Weller A, Brang P, Michiels H-G, Bolte A (2015): Douglasie (*Pseudotsuga menziesii* [Mirb.] Franco). In: Vor, Spellmann, Bolte, Ammer (Hrsg.) Potenziale und Risiken eingeführter Baumarten; Universitätsverlag Göttingen, Göttinger Forstwissenschaften, Band 7, S. 187-217

# Die dritte Bodenzustandserhebung im Wald (BZE III) hat begonnen

Jan Evers und Oliver van Straaten

<https://doi.org/10.5281/zenodo.7326947>

Die Bodenzustandserhebung im Wald liefert Informationen zum Zustand und zu Veränderungen von Bodeneigenschaften sowie zum Bestand, der Vegetation und Ernährungssituation der Waldbäume. Sie folgt damit dem Ansatz, möglichst ganzheitlich die verschiedenen Kompartimente in Waldökosystemen zu erfassen, integrativ auszuwerten und bewerten zu können.

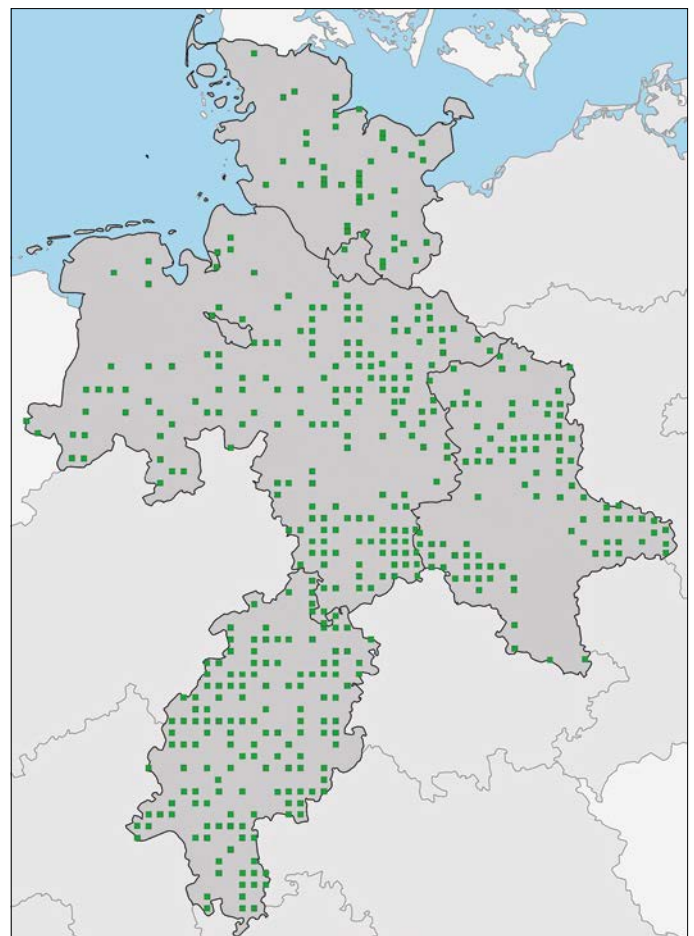
Die BZE III wird bundesweit einheitlich in den Jahren 2022–2024 auf einem 8 km x 8 km-Stichprobennetz durchgeführt und folgt damit der BZE I (1990) und BZE II (2006). Auf die Bundesländer Niedersachsen, Hessen, Sachsen-Anhalt und Schleswig-Holstein entfallen insgesamt 465 Stichprobenpunkte (siehe Karte rechts). Die BZE III findet in Wäldern aller Besitzarten statt.

Im Vordergrund der kommenden Auswertungen stehen die Veränderung von Kohlenstoff- und Stickstoffvorräten im Waldboden und Auflagehumus sowie wichtiger Nährstoffvorräte wie Calcium, Magnesium und Kalium. Diese Informationen werden für die internationale Treibhausgasberichterstattung (Kohlenstoff), die nachhaltige Nutzung von Wäldern (Nährstoffe) sowie die weitere Klärung der Wechselwirkung zwischen Waldzustand und anthropogenen Einflüssen wie z. B. Stickstoff- oder Säureeinträgen benötigt. Auch die Folgen des Klimawandels auf den Waldboden wie fehlendes Bodenwasser oder gestörter Humusabbau sind wichtige Arbeitsbereiche der BZE III.



Foto: J. Evers

Podsol aus unverlehmtem Sand in Nordwestniedersachsen



Netz der BZE III für die NW-FVA mit 465 Stichprobenpunkten



Foto: J. Evers

Braunerde-Pseudogley einer Basalt-Lössfließerde über Basalt bei Marburg

Rechtsgrundlage für diese Erhebung ist die Verordnung über Erhebungen zum Zustand des Waldbodens auf Grundlage des Bundeswaldgesetzes. Alle Eigentümer von BZE-Punkten sind vorab postalisch informiert worden. Anschließend wurden die BZE-Punkte eingemessen und es wurden Profilgruben angelegt und abgesichert. Bereits abgeschlossen ist im Sommer 2022 die Probenahme der Blätter von Eichen, Buchen und Hainbuchen sowie der Nadeln Europäischer Lärchen. Im Winter folgt die Nadelprobenahme von Fichten, Kiefern und Douglasien. Jetzt aktuell wird der Waldboden und Auflagehumus beprobt. Alle Blatt-, Nadel- und Bodenproben werden zentral im Umweltlabor der NW-FVA analysiert.

## 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: Klinck C, 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 Landwirtschaft, ländliche Räume,  
Europa und Verbraucherschutz des Landes  
Schleswig-Holstein (Hrsg.) (2022): Waldzustands-  
bericht 2022 für Schleswig-Holstein, 40 S  
<https://doi.org/10.5281/zenodo.7326485>

Zitate der Einzelbeiträge bitte nach  
folgendem Schema:

Klinck C, Paar U (2022): WZE-Ergebnisse  
für alle Baumarten. In: Nordwestdeutsche Forst-  
liche Versuchsanstalt, Ministerium für Landwirt-  
schaft, ländliche Räume, Europa und Verbrau-  
cherschutz des Landes Schleswig-Holstein  
(Hrsg.): Waldzustandsbericht 2022 für Schleswig-  
Holstein. S 8-17.  
<https://doi.org/10.5281/zenodo.7326881>

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

Der Waldzustandsbericht 2022  
ist abrufbar unter  
<https://www.nw-fva.de> und  
<https://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



Dr. Caroline Klinck  
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

