



Waldzustandsbericht 2019



Vorwort



Liebe Leserinnen, liebe Leser,

die Auswirkungen des Klimawandels setzen dem Wald in Hessen in einem stärkeren Ausmaß zu als bislang erwartet. Der Wald zeigt sich in diesem Jahr an vielen Orten Hessens in einem schlechten Zustand.

Das Vegetationsjahr 2019 war wie das vorherige Jahr zu trocken und zu warm. Sommerliche Temperaturen bereits an Ostern und Hitzeperioden im Sommer mit Rekordtemperaturen von über 40° C in Hessen begünstigten nicht nur die Entwicklung von Borkenkäfern, sondern führten auch zu einer hohen Anzahl an Waldbränden. Die Serie von Sturmschäden hat sich in 2019 ebenfalls fortgesetzt.

Für jede Waldbesucherin und jeden Waldbesucher sichtbar zeigen sich Schäden an einzelnen Bäumen. Lokal sind auch ganze Waldbestände abgestorben. Am stärksten betroffen ist die Fichte, aber auch Buchen, Birken, Eschen und Lärchen leiden in diesem Jahr.

Die Ergebnisse des aktuellen Waldzustandsberichts zeigen das Ausmaß der Schäden und belegen damit den schlechtesten Gesundheitszustand seit dem Beginn der

Erhebungen in 1984. Die mittlere Kronenverlichtung aller Baumarten und Altersstufen ist nochmals um 3 %-Punkte auf 27 % angestiegen, dem höchsten Wert seit 1984. Auch die Absterberate und der Anteil starker Schäden weisen höchste Werte auf.

Neben den Ergebnissen der Waldzustandserhebung sind die anhaltenden Auswirkungen der Dürrejahre 2018 und 2019 sowie die aktuelle Waldschutzsituation weitere Schwerpunkte des vorliegenden Berichtes.

In dieser angespannten Situation gilt unser großer Dank allen Beschäftigten im Wald, die sich seit fast zwei Jahren mit großem Engagement unermüdlich für den Erhalt des Waldes einsetzen. Ohne gut ausgebildete und engagierte Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter sowie fachlich hervorragende Forstunternehmer hätten wir keine Chance, die aktuelle Katastrophe erfolgreich zu bewältigen.

Hessen ist erfreulicherweise ein sehr waldreiches Land. Wesentliche Stütze für eine intakte Umwelt ist daher gerade bei uns ein gesunder, vielfältiger und klimaresilienter Wald. Die Hessische Landesregierung ist sich Ihrer Verantwortung und der vor ihr liegenden Aufgaben bewusst.

Die Folgen aus Sturm, Dürre und Borkenkäferkalamität in 2018 und 2019 gilt es über alle Besitzarten hinweg zu bewältigen. Maßnahmen des Waldumbaus und der Wiederbewaldung werden somit in den kommenden Jahren zum zentralen Kern der forstlichen Förderung werden. Die Fördermittel des Bundes und des Landes sollen dabei für kommunale und private Waldflächen verwendet werden, in denen klimastabilere und standortgerechte Laub- oder Mischwälder aufgebaut werden.

Eine landesweite Beratung aller Waldbesitzerinnen und Waldbesitzer zur Baumartenwahl und künftigen Risiken und Anpassungsmöglichkeiten im Wald unter den Bedingungen des Klimawandels soll durch eine Klimarisikokarte, die im Rahmen des Integrierten Klimaschutzplans Hessen 2025 erstellt wird, ermöglicht werden. Bereits ab dem nächsten Jahr sollen sich zudem weitere Projekte des Klimaschutzplanes mit den Auswirkungen der extremen Witterung auf die Vitalität und Produktivität unserer Hauptbaumarten sowie mit möglichen alternativen Baumarten für Hessen beschäftigen.

Angesichts großer Kahlfächen erarbeitet das Land ein Konzept für die Wiederbewaldung und führt in diesem Zusammenhang noch in diesem Jahr ein Fachsymposium „Baumarten im Hessischen Wald der Zukunft“ mit Wissenschaft und Verbänden durch. Die Ergebnisse werden allen Waldbesitzenden zur Verfügung gestellt.

Wir alle sind gefordert, durch unsere Unterstützung im Umwelt- und Klimaschutz auch einen Beitrag zum langfristigen Erhalt unseres hessischen Waldes zu leisten. Die Möglichkeiten sind vielfältig, sei es durch die Nutzung öffentlicher Verkehrsmittel, energiebewusstes Heizen oder die Verwendung von langlebigen Holzprodukten.

Mit freundlichen Grüßen

Ihre

Priska Hinz
Hessische Ministerin für Umwelt, Klimaschutz,
Landwirtschaft und Verbraucherschutz
Wiesbaden, im November 2019



Inhaltsverzeichnis

	Seite
Vorwort	2
Inhaltsverzeichnis	3
Hauptergebnisse	4
Uwe Paar und Inge Dammann	
Forstliches Umweltmonitoring und Integrierter Klimaschutzplan Hessen 2025	6
Johannes Eichhorn, Uwe Paar und Inge Dammann	
WZE-Ergebnisse für alle Baumarten	9
Uwe Paar und Inge Dammann	
Buche	11
Eiche	13
Fichte	14
Kiefer	15
Wald in der Rhein-Main-Ebene	16
Uwe Paar und Inge Dammann	
Witterung und Klima	17
Johannes Suttmöller	
Auswirkungen der Stürme und der Dürre 2018/2019 auf die Vitalität der Wälder in Nordwestdeutschland	21
Johannes Eichhorn, Johannes Suttmöller, Birte Scheler, Markus Wagner, Inge Dammann, Henning Meesenburg und Uwe Paar	
Insekten und Pilze	32
Martin Rohde, Rainer Hurling, Gitta Langer, Johanna Bußkamp und Pavel Plašil	
Wiederbewaldung von Schadflächen in Anpassung an den Klimawandel	36
Ralf-Volker Nagel	
Weiß-Tanne (<i>Abies alba</i>) als Baumart im Klimawandel	38
Matthias Paul, Aki Michael Höltnen, Samuel Schleich, Matthias Moos und Wilfried Steiner	
Stoffeinträge	41
Birte Scheler	
Literaturverzeichnis	43
Impressum	44

Hauptergebnisse

Waldzustandserhebung (WZE)

Die mittlere Kronenverlichtung der Waldbäume in Hessen (alle Baumarten) erreicht in 2019 mit 27 % den höchsten Wert seit Beginn der Zeitreihe in 1984.

Bei den älteren Bäumen ist die Kronenverlichtung von 28 % (2018) auf 30 % angestiegen. Die mittlere Kronenverlichtung der jüngeren Bäume liegt mit 17 % ebenfalls auf dem höchsten Niveau seit 36 Jahren.

Der Anteil starker Schäden liegt in 2019 mit knapp 7 % doppelt so hoch wie im Mittel der Jahre 1984–2019. Dies ist der mit Abstand höchste Wert in der Zeitreihe. Die Absterberate (2,3 %, alle Bäume, alle Alter) hat sich im Vergleich zum langjährigen Mittel versiebenfacht. Zusätzlich mussten knapp 6 % der Bestände nach Windwurf und Borkenkäferbefall außerplanmäßig genutzt werden.

Die Ergebnisse der Waldzustandsaufnahme in 2019 belegen für den hessischen Wald den schlechtesten Vitalitätszustand seit Beginn der Erhebungen in 1984.

Die Absterberate und die Ausfallrate werden zu 50 % bzw. 72 % von der Baumart Fichte bestimmt.

Die Baumarten im Einzelnen

Eine deutlich ausgeprägte Verschlechterung des Vitalitätszustandes zeigt sich für die Hauptbaumart Fichte.

Die Kronenverlichtung der Hauptbaumart Buche hat sich ebenfalls verschlechtert. Die der Eiche und Kiefer liegt auf einem ähnlichen Niveau wie im Vorjahr.

Rhein-Main-Ebene

Die Waldzustandserhebung weist für 2019 eine erneut verschlechterte Situation für die Rhein-Main-Ebene nach. Die Absterberate liegt mit 5 % deutlich über dem Mittelwert der Zeitreihe.

Witterung und Klima

Das Vegetationsjahr 2018/2019 war das zweite Jahr in Folge, das deutlich zu trocken und zu warm ausfiel. Mit einer Mitteltemperatur von 10,2 °C (+2,0 K) und einer Niederschlagssumme von 671 mm (85 % des Niederschlagssolls) im Flächenmittel des Landes war es im Vergleich zu den langjährigen Mittelwerten der Klimanormalperiode 1961



Buchestamm mit Sonnenbrand

Foto: J. Weymar

bis 1990 deutlich zu trocken und zu warm. Insgesamt waren von 12 Monaten 11 zu warm und 8 teilweise deutlich zu trocken. Neben der Trockenheit wurden die Wälder in Hessen auch in 2019 durch Sturmereignisse, wie dem Sturmtief „Eberhard“ am 10. März 2019, zusätzlich geschwächt.

Auswirkungen der Stürme und der Dürre 2018/2019 auf die Vitalität der Wälder in Nordwestdeutschland

2018 und 2019 waren durch extreme Witterungsbedingungen geprägt. Ein maßgeblicher, sich gegenseitig verstärkender Einfluss ging von einer Abfolge von Stürmen, Dürrephasen sowie Borkenkäferbefall aus. Dies hat erhebliche Schäden in den Wäldern verursacht. Von den vier Trägerländern der NW-FVA ist Sachsen-Anhalt besonders betroffen, vergleichsweise weniger Störungen finden sich in Schleswig-Holstein.

Während die Bäume im Jahr 2018 bis in den Sommer in weiten Teilen ihren Wasserbedarf aus dem ausreichend im Winterhalbjahr 2017/2018 aufgefüllten Bodenwasserspeicher decken konnten, war auf rund 30 % der Waldfläche der Bodenwasserspeicher im Frühjahr 2019 nur unzureichend aufgefüllt. Besonders ungünstig war die Situation in Sachsen-Anhalt, im östlichen und südlichen Niedersachsen und in Südhessen.

In beiden Jahren traten in den Wäldern der Trägerländer deutlich erhöhte starke Schäden und Absterberaten auf. Hohe Werte wurden für die Fichte in Hessen, Niedersachsen und Sachsen-Anhalt festgestellt. Die Aufeinanderfolge von zwei Dürrejahren hat bei vielen Baumarten Reaktionen ausgelöst. Trockenstresssymptome wurden insbesondere auch bei der Buche festgestellt. Abgestorbene Buchen – bisher seltene Ausnahme in der Zeitreihe der Waldzustandserhebung – waren 2019 häufiger zu beobachten. Birken, Eschen und Lärchen starben ebenfalls vermehrt ab. Die Ausfallrate der Bäume war in beiden Jahren deutlich erhöht. Räumlich und zeitlich sind klare Zusammenhänge mit der extremen Witterungssituation zu erkennen.



Foto: J. Weymar

Hauptergebnisse

Wachstumsreaktionen auf Flächen des Intensiven Umweltmonitorings zeigten einen deutlichen Zusammenhang zur Entwicklung der Bodenfeuchte.

Die Erfahrungen aus früheren Dürreperioden legen nahe, dass auch in den folgenden Jahren mit Spätfolgen zu rechnen ist.

Insekten und Pilze

Das Schadensausmaß durch Borkenkäfer an Fichte war seit Jahrzehnten nicht so hoch wie in den Extremsommern 2018 und 2019. Anhaltende Trockenheit und Wärme schwächten die Abwehrkraft der Fichte gegen Borkenkäfer und begünstigten den Bruterfolg unter der Rinde. Lärchen waren ähnlich stark betroffen. An weiteren Baumarten wie Buche und Kiefer traten verschiedene Käferarten als zum Teil sekundäre Schädlinge in großer Anzahl auf.

Auch für stärkere Absterbeerscheinungen durch Pilze war die besondere Witterungssituation ein auslösender Faktor. Kiefer, Buche, Eiche, Ahorn, Esche und Hainbuche waren betroffen.

Wiederbewaldung von Schadflächen in Anpassung an den Klimawandel

In weiten Teilen des Zuständigkeitsbereichs der NW-FVA sind durch den Sturm „Friederike“ und zwei Dürresommer hintereinander in erheblichem Umfang Blößen entstanden. Die Wiederbewaldung dieser Freiflächen stellt die Forstwirtschaft vor große Herausforderungen, denn auf Freiflächen herrschen extreme klimatische Bedingungen mit starker Austrocknung und Verdunstung durch hohe Sonneneinstrahlung und Wind. Eine Klassifizierung des Trockenstressrisikos der Baumarten im Anhalt an die Standortwasserbilanz unterstützt die Forstbetriebe und Waldbesitzer bei der Baumartenwahl zur Wiederbewaldung. Die Standortwasserbilanz berücksichtigt die künftig durch den Klimawandel stark gesteigerte Verdunstung, um eine klimaangepasste, stabile Wiederbewaldung zu erreichen.



Foto: M. Spielmann

Stoffeinträge

Neben dem Eintrag mit dem Niederschlag gelangen durch die Filterwirkung der Baumkronen zusätzlich Nähr- und Schadstoffe aus trockener Deposition (Gase und Partikel) in den Wald.

In Hessen war 2018 ein besonders niederschlagsarmes Jahr. Im Hessenmittel betrug die Niederschlagsmenge unter Buche rund 76 % des Mittels der Jahre 2008-2017, unter Fichte 76 % (Fürth i. Od.) bzw. 79 % (Königstein).

Der Sulfatschwefeleintrag betrug 2018 im Hessenmittel unter Buche nur noch 2,0 kg je Hektar, unter Fichte lag er bei 3,2 (Königstein) bzw. 3,4 (Fürth i. Od.) kg je Hektar. Hier zeigt sich deutlich der Erfolg verschiedener Maßnahmen zur Luftreinhaltung, durch die der Schwefeleintrag um rund 90 % gesenkt werden konnte.

Die anorganischen Stickstoffeinträge (Ammonium und Nitrat) haben auf allen untersuchten Flächen ebenfalls signifikant abgenommen. Der anorganische Stickstoffeintrag betrug 2018 unter Buche 9,2 (Hessenmittel) und unter Fichte 18,2 (Königstein, Fürth i. Od.) kg je Hektar.



Foto: J. Evers

Forstliches Umweltmonitoring und Integrierter Klimaschutzplan Hessen 2025

Johannes Eichhorn, Uwe Paar und Inge Dammann

Die Richtlinie für die Bewirtschaftung des hessischen Staatswaldes (RiBeS 2018) benennt als Gesamtziel, dass der Hessische Staatswald als Ökosystem zu erhalten und zu entwickeln ist, um auf dieser Grundlage eine optimale Kombination seiner Wirkungen für die Gesellschaft zu leisten. Einen Beitrag hierzu leistet auch die Waldökosystemforschung, für die der Staatswald gemäß der RiBeS 2018 als ein Zeichen seiner besonderen Gemeinwohlverpflichtung Waldflächen zur Verfügung stellt.

Wie ist das Ausmaß der Schäden mit Blick auf die Veränderungen der Wälder über die Jahre richtig einzuordnen? Worin liegen die Besonderheiten der Witterung in den extremen Jahren 2018 und 2019? Ist der Wald als Ganzes betroffen oder unterscheiden sich Regionen? Reagieren die Baumarten gleich sensitiv? Antworten auf diese Fragen zu geben, ist eine wesentliche Aufgabe des Forstlichen Umweltmonitorings.

Die Forstliche Umweltkontrolle berät Verwaltung und Politik auf fachlicher Grundlage und erarbeitet Beiträge für Entscheidungshilfen der forstlichen Praxis. Die rechtliche Grundlage für Walderhebungen in der Forstlichen Umweltkontrolle stellt § 41a des Gesetzes zur Erhaltung des Waldes und zur Förderung der Forstwirtschaft (Bundeswaldgesetz – BWaldG) dar. Die Rechtsgrundlagen sichern eine

methodische Vergleichbarkeit über lange Zeiträume und über Ländergrenzen. Dies wird konkretisiert durch die Verordnung über Erhebungen zum Forstlichen Umweltmonitoring (ForUmV 2013) und durch das Durchführungskonzept Forstliches Umweltmonitoring (BMEL 2016).

Konzept

Grundsätzlich werden im Forstlichen Umweltmonitoring folgende Kategorien unterschieden:

- waldfächenrepräsentative Übersichtserhebungen auf einem systematischen Stichprobenraster (Level I),
- die intensive Dauerbeobachtung ausgewählter Waldökosysteme im Rahmen verschiedener Beobachtungsprogramme (Bodendauerbeobachtungsprogramm (BDF), Level II, Waldökosystemstudie Hessen (WÖSSH)) sowie
- Experimentalfächen, z. B. Vergleichsflächen zur Bodenschutzkalkung (Level III).

Die methodischen Instrumente der Ökosystemüberwachung sind europaweit harmonisiert nach den Grundsätzen des ICP Forests (2016).

Das Stichprobenraster der Waldzustandserhebung ist darauf ausgelegt, die gegenwärtige Situation des Waldes landesweit repräsentativ abzubilden. Ergebnis ist das Gesamtbild des Waldzustandes eines Bundeslandes. Die Stichprobe der Waldzustandserhebung vermittelt auch ein zahlenmäßiges Bild zu dem Einfluss von Stürmen, Witterungsextremen und Insekten- und Pilzbefall. Lokale Befunde wie sturmgefallene Bäume oder ein extremer Befall der Kiefer durch Pilze können von dem landesweiten Ergebnis abweichen.

Verschiedene Auswertungen belegen eine hohe Repräsentativität des Rasternetzes für verschiedene Fragestellungen zu den Wäldern in Hessen.

In Hessen umfasst das Level I-Netz 139 Inventurpunkte, das Intensive Forstliche Umweltmonitoring 11 Monitoringflächen und 27 Experimentalfächen.

Waldzustandserhebung – Methodik und Durchführung

Die Waldzustandserhebung ist Teil des Forstlichen Umweltmonitorings in Hessen. Sie liefert als Übersichtserhebung Informationen zur Vitalität der Waldbäume unter dem Einfluss sich ändernder Umweltbedingungen. Die Aufnahmen zur Waldzustandserhebung erfolgten im Juli und August 2019. Sie sind mit qualitätssichernden Maßnahmen sorgfältig überprüft.

Aufnahmeumfang

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

Die Rasterweite des landesweiten Stichprobennetzes beträgt 8 km x 8 km, in der Rhein-Main-Ebene werden zusätzliche Erhebungen im 4 km x 4 km-Raster durchgeführt. Die landesweite Auswertung erfolgte 2019 auf der Basis von 129 Punkten, für die Rhein-Main-Ebene wurden insgesamt 48 Punkte ausgewertet. Dieser Aufnahmeumfang ermöglicht



Borkenkäferbefall 2019

Foto: J. Weymar

Forstliches Umweltmonitoring und Integrierter Klimaschutzplan Hessen 2025



Aufnahmeteam der Waldzustandserhebung

Foto: J. Weymar

repräsentative Aussagen zum Waldzustand auf Landesebene und für die Rhein-Main-Ebene. Für den Parameter mittlere Kronenverlichtung zeigt die Tabelle unten die 95 %-Konfidenzintervalle für die Baumarten und Altersgruppen der WZE-Stichprobe 2019. 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

95 %-Konfidenzintervalle für die Kronenverlichtung der Baumartengruppen und Altersstufen der Waldzustandserhebung 2019 in Hessen. Das 95 %-Konfidenzintervall (= Vertrauensbereich) gibt den Bereich an, in dem der wahre Mittelwert mit einer Wahrscheinlichkeit von 95 % liegt.

Baumarten- gruppe	Alters- gruppe	Anzahl Bäume	Anzahl Plots	Raster	95%-Konfidenz- intervall (+/-)
Buche	alle Alter	1142	90	8x8 km	3,2
	bis 60 Jahre	122	20	8x8 km	6,8
	über 60 Jahre	1020	72	8x8 km	3,3
Eiche	alle Alter	330	55	8x8 km	4,3
	bis 60 Jahre	48	10	8x8 km	4,0
	über 60 Jahre	282	45	8x8 km	4,7
Fichte	alle Alter	526	54	8x8 km	5,6
	bis 60 Jahre	281	26	8x8 km	5,8
	über 60 Jahre	245	32	8x8 km	6,8
Kiefer	alle Alter	559	51	8x8 km	3,2
	bis 60 Jahre	30	7	8x8 km	5,3
	über 60 Jahre	529	45	8x8 km	3,1
andere Laubbäume	alle Alter	293	42	8x8 km	5,9
	bis 60 Jahre	185	22	8x8 km	7,6
	über 60 Jahre	108	22	8x8 km	8,6
andere Nadelbäume	alle Alter	246	42	8x8 km	7,3
	bis 60 Jahre	129	21	8x8 km	10,3
	über 60 Jahre	117	21	8x8 km	8,6
alle Baumarten	alle Alter	3096	129	8x8 km	2,1
	bis 60 Jahre	795	42	8x8 km	3,9
	über 60 Jahre	2301	101	8x8 km	2,1

Auswerteeinheiten mit relativ gering streuenden Kronenverlichtungen sind enge Konfidenzintervalle auch bei einer geringen Stichprobenanzahl sehr viel leichter zu erzielen als für heterogene Auswerteeinheiten, die sowohl in der Altersstruktur als auch in den Kronenverlichtungswerten ein breites Spektrum umfassen.

Aufnahmeparameter

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



Foto: J. Evers

Forstliches Umweltmonitoring und Integrierter Klimaschutzplan Hessen 2025

Mittlere Kronenverlichtung

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

Starke Schäden

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

Absterberate

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

Ausfallrate

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

Dort, wo an den WZE-Punkten Stichprobenbäume ausfallen, werden nach objektiven Vorgaben Ersatzbäume ausgewählt. Sind aufgrund großflächigen Ausfalls der Stichprobenbäume keine geeigneten Ersatzbäume vorhanden, ruht der WZE-Punkt, bis eine Wiederbewaldung vorhanden ist. Die im Bericht aufgeführte Ausfallrate ergibt sich aus den infolge von Sturmschäden, Trockenheit und Insekten- oder Pilzbefall (insbesondere durch Borkenkäfer) am Stichprobenpunkt entnommenen Bäumen.



Foto: M. Spielmann

Integrierter Klimaschutzplan Hessen

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

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

Ein weiteres, vorgesehenes Projekt des Integrierten Klimaschutzplans Hessen hat zum Ziel, häufige und weniger häufige Baumarten auf ihre Eignung für Wälder im Klimawandel zu überprüfen. Es wird insbesondere Wert auf eine standortgerechte Baumartenwahl und Bestandesbehandlung unter Berücksichtigung des Standorts-/Leistungsbezuges, aber auch mit Blick auf biotische oder abiotische Risiken gelegt. Dazu ist eine Analyse der Waldentwicklung in Hessen in den Jahren 2018 und 2019 vorgesehen.

Insgesamt haben die Maßnahmen zum Ziel, dazu beizutragen, gut durchmischte, artenreiche Wälder langfristig zu sichern, die klimaangepasst und klimaresilient sind. Als Ziel soll ein Entscheidungsunterstützungssystem für Waldbesitzer aller Besitzarten entwickelt werden.



Edersee 2019

Foto: J. Weymar

WZE-Ergebnisse für alle Baumarten

Uwe Paar und Inge Dammann

Die Ergebnisse der Waldzustandsaufnahmen in 2019 belegen für den hessischen Wald den schlechtesten Vitalitätszustand seit Beginn der Erhebungen in 1984.

Mittlere Kronenverlichtung

Die mittlere Kronenverlichtung der Waldbäume in Hessen (alle Baumarten) erreicht mit 27 % den höchsten Wert seit Beginn der Zeitreihe in 1984.

Bei den älteren Bäumen ist die Kronenverlichtung von 28 % (2018) auf 30 % angestiegen. Die mittlere Kronenverlichtung der jüngeren Bäume liegt mit 17 % ebenfalls auf dem höchsten Niveau seit 36 Jahren.

Anteil starker Schäden

Der Anteil starker Schäden liegt in 2019 mit knapp 7 % mehr als doppelt so hoch wie im Mittel der Jahre 1984-2019. Dies ist der mit Abstand höchste Wert in der Zeitreihe.

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

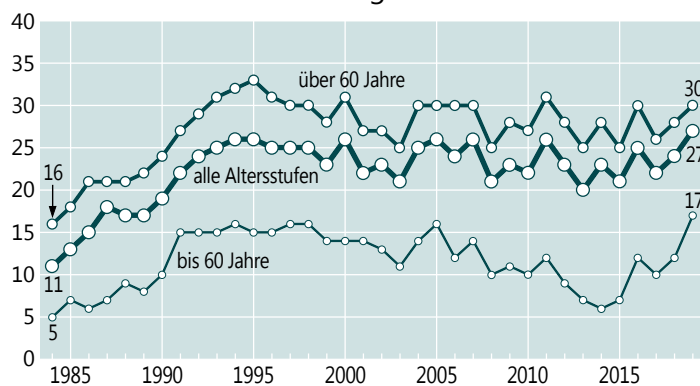


Foto: M. Spielmann

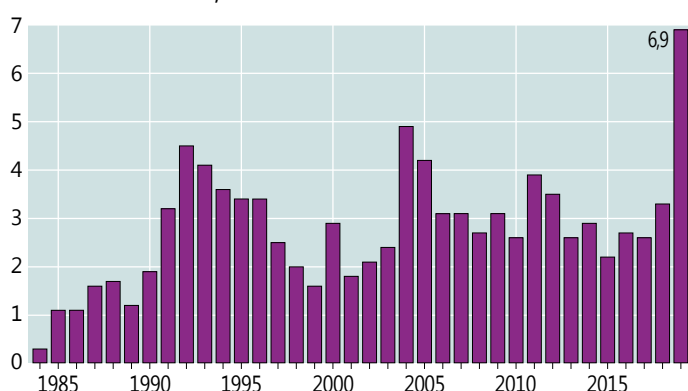


Foto: M. Spielmann

Mittlere Kronenverlichtung in %



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



WZE-Ergebnisse für alle Baumarten

Absterberate

Die Absterberate (alle Bäume, alle Alter) hat sich im Vergleich zum letzten Jahr versiebenfacht (2,3 %). 50 % der abgestorbenen Bäume sind Fichten.

Ausfallrate

Die Ausfallrate ist das Ergebnis der infolge von Sturmwurf, Trockenheit und Borkenkäferbefall außerplanmäßig genutzten Bäume. Sie liegt 2019 mit 5,9 % auf einem hohen Niveau. 72 % der ausgefallenen Bäume sind Fichten. Nur 2007 (Sturm „Kyrill“), 1990/1991 (Stürme „Vivian“ und „Wiebke“) und 1988 wurden höhere Ausfallraten festgestellt.

Vergilbungen

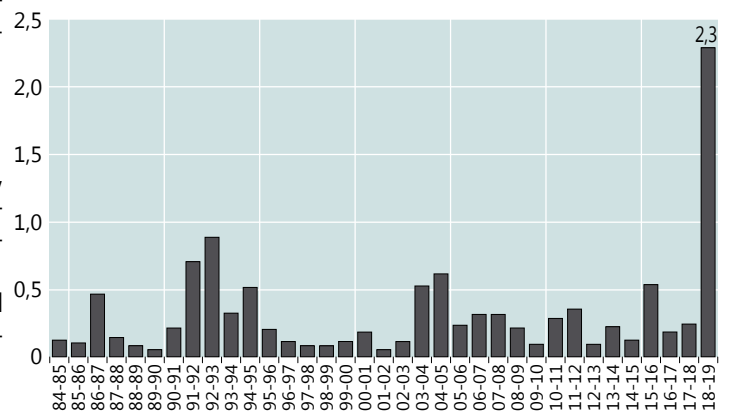
Vergilbungen der Nadeln und Blätter sind häufig ein Indiz für Magnesiummangel in der Nährstoffversorgung der Waldbäume. Mit Ausnahme des Jahres 1985 liegt der Anteil von Bäumen mit Vergilbungen der Blätter und Nadeln durchgehend auf einem eher geringen Niveau. Seit Mitte der 1990er Jahre gingen die Vergilbungserscheinungen nochmals deutlich zurück. Die von den Waldbesitzern und Forstbetrieben durchgeführten Waldkalkungen mit magnesiumhaltigen Kalken und der Rückgang der Schwefelemissionen haben dazu beigetragen, das Auftreten dieser Mangelerscheinung zu reduzieren.

Fazit

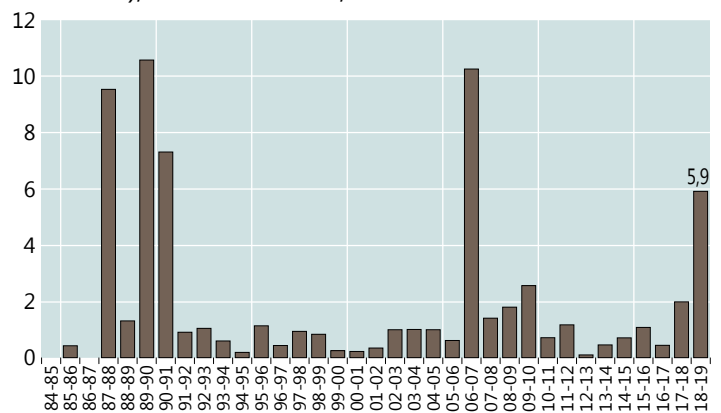
Die extremen Witterungsbedingungen der letzten beiden Jahre haben den Wald in Hessen verändert.

Die Ergebnisse der Waldzustandserhebung zeigen 2019 die seit 1984 höchsten Anteile an stark geschädigten und abgestorbenen Bäumen. Ebenso erreicht die Ausfallrate der als Schadholz entnommenen Bäume 2019 hohe Werte. 2018

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



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



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

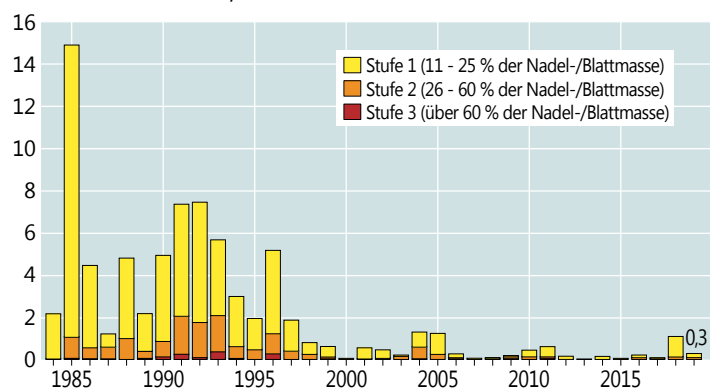


Foto: M. Spielmann

sind auf 2 % und 2019 auf weiteren 6 % der Waldfläche strukturelle Störungen entstanden. Vielfach haben diese zu Freiflächen, Blößen und Lücken in den Waldbeständen geführt.

Vieles weist darauf hin, dass sich die ungünstige Entwicklung 2020 fortsetzen wird. Dies ist wahrscheinlich, wenn der Bodenwasserspeicher im kommenden Winter nur ungenügend aufgefüllt wird, wenn die Bäume nur noch sehr wenig Laub oder Nadeln haben und dadurch in der Wasser- und Nährstoffversorgung eingeschränkt sind, wenn Wurzelsysteme durch Stürme angerissen sind, wenn bereits junge Bäume in ihrer Vitalität beeinträchtigt sind oder wenn weiterhin die Bedingungen für eine Vermehrung von Insekten und Pilzen günstig sind.

Buche

Ältere Buche

Nach dem deutlichen Anstieg der Kronenverlichtung im Zeitraum von 1984 bis 1992 und einer Stagnation auf nahezu gleich bleibendem Niveau in der Zeit bis 1999 sind ab 2000 deutliche Schwankungen in der Ausprägung des Kronenzustandes der Buche festzustellen. Einen wesentlichen Einfluss dürften hierbei stärkere Fruktifikationsereignisse haben.

Die Kronenverlichtung blieb auf ähnlichem Niveau (2018: 31 %; 2019: 32 %); ein Mittelwert im Schwankungsbereich der letzten Jahre. Allerdings tritt 2019 verstärkt eine regionale Differenzierung ein. Insbesondere in der Rhein-Main-Ebene ist eine deutliche Verschlechterung des Kronenzustandes der Buche festzustellen.

Jüngere Buche

Bei der jüngeren Buche hat sich die mittlere Kronenverlichtung gegenüber dem letzten Jahr nahezu verdoppelt (2018: 9 %, 2019: 16 %). Der Wert für 2019 ist der höchste seit 1984.

Starke Schäden

Der Anteil der Buchen mit über 60 % Kronenverlichtung erreicht 2019 mit 5,4 % einen höheren Wert als 2018 (3 %), liegt aber im Niveau vergleichbar mit hohen Werten anderer Jahre.

Absterberate

Ein Vergleich mit anderen Baumarten in Hessen belegt, dass die Buche im Mittel der bisherigen Beobachtungsreihe (1984-2019) eine vergleichsweise geringe Absterberate aufweist. 2019 sind in der Stichprobe 0,3 % der Buchen abgestorben; gehäuft in der Rhein-Main-Ebene. Gerade weil in den letzten Jahrzehnten kaum Buchen abgestorben sind, sind die diesjährigen Absterbeerscheinungen besonders auffällig.

Ausfallrate

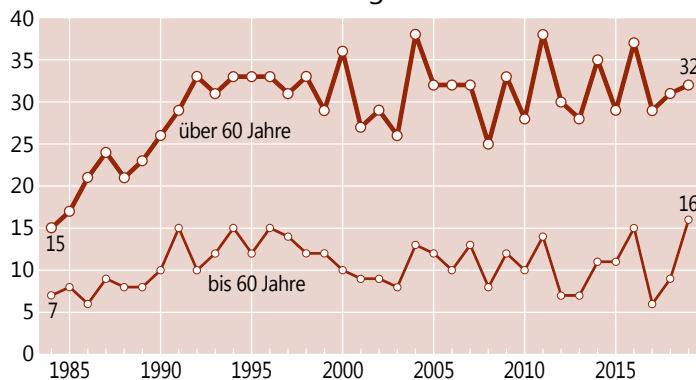
Eher gering sind aktuell sturm- und trockenheitsbedingte Ausfälle der Buche in Hessen (1,6 %).



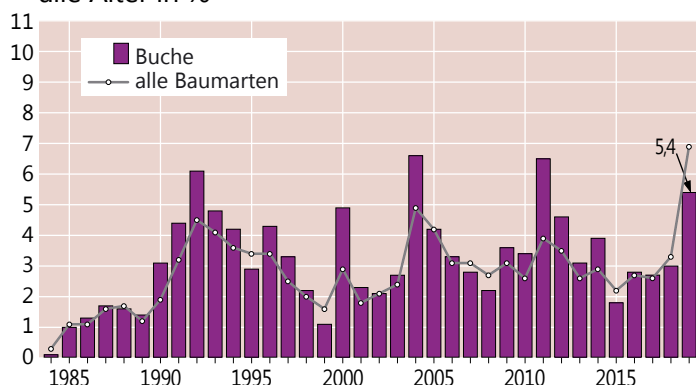
2019 bildeten die Buchen häufig kleine Blätter aus

Foto: J. Evers

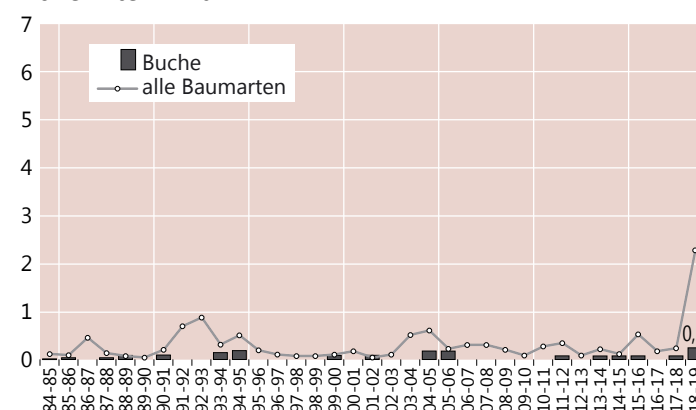
Mittlere Kronenverlichtung in %



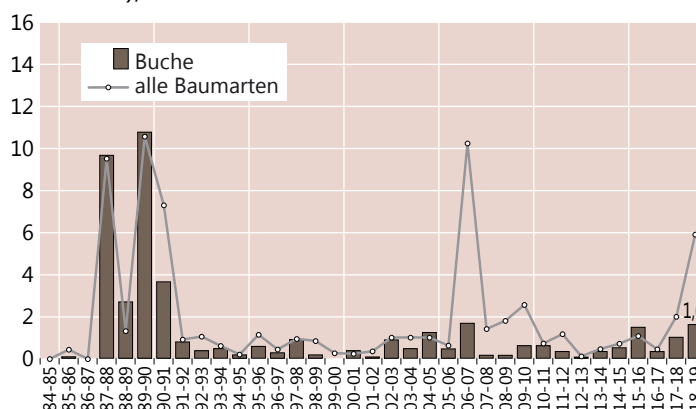
Anteil starker Schäden (inkl. abgestorbener Bäume), alle Alter in %



Jährliche Absterberate (stehende Bäume), alle Alter in %



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



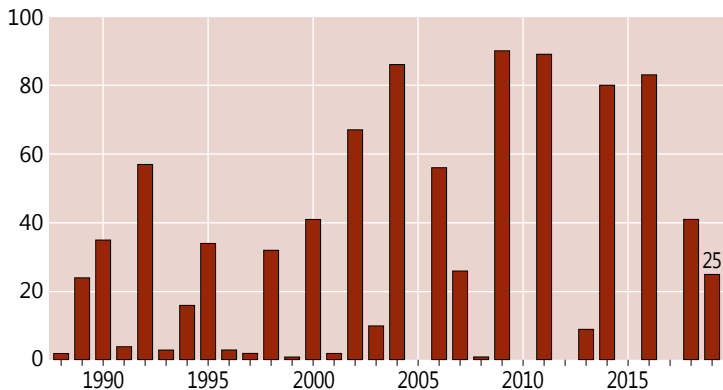
Buche

Fruchtbildung

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

Die Fruktifikation der Buche ist 2019 im mittleren bis nördlichen Hessen häufiger als in südlichen Landesteilen.

Anteil mittel und stark fruktifizierender älterer Buchen in %



Auffällige Kronenschäden an Altbuchen

Foto: J. Weymar

Fazit

Wichtige Indikatoren belegen für die Buche in Hessen auf großer Fläche eine vergleichsweise gute Stabilität. Die Buche nimmt in Hessen einen Anteil von 37 % der Waldfläche ein. Nach den Ergebnissen der Stichprobe Waldzustandserhebung kommen nur an 14 % der Buchenplots Reinbestände der Buche vor. Die Buche erfüllt demnach eine wichtige Funktion als waldbauliche Grundlage für artenreiche Mischwälder.

Auch nach zwei Jahren mit ausgeprägtem Trockenstress zeigt die Buche 2019 keine deutliche Veränderung der Kronenverlichtung.

Dieses Ergebnis darf aber nicht darüber hinwegtäuschen, dass in der Stichprobe seit Jahren erstmalig vermehrt abgestorbene Buchen aufgetreten sind. Auch weisen ergänzende Merkmale für die Buche auf wesentliche Risiken in der Zukunft hin.

- 2019 wurde ein besonders ausgeprägter Anteil an kleinen Blättern festgestellt; besonders ausgeprägt im nördlichen hessischen Schiefergebirge.
- Buchen schützen sich vor zu hoher Wasserabgabe durch eingerollte Blätter. Der Wert für eingerollte Blätter erreicht 2019 ein hohes Ergebnis; regional vor allem in den westlichen Mittelgebirgen Hessens.
- In der Rhein-Main-Ebene sind Wälder durch extreme Witterungsbedingungen besonders betroffen. Auch der Gesundheitszustand der Buche erscheint hier deutlich ungünstiger als in anderen Regionen Hessens.

Gerade bei der Buche treten Reaktionen zeitlich entkoppelt zu Witterungsextremen auf. Eine länderübergreifende Betrachtung zur Situation der Buche enthalten die Seiten 21-31 (Auswirkungen der Stürme und der Dürre 2018/2019 auf die Vitalität der Wälder in Nordwestdeutschland). Es ist davon auszugehen, dass für die Buche wesentliche Nachwirkungen der Jahre 2018 und 2019 auch in den kommenden Jahren festzustellen sind.



Foto: J. Evers

Eiche

Ältere Eiche

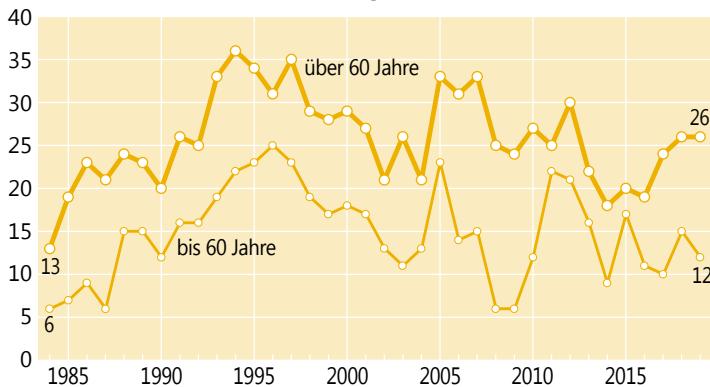
Die Kronenverlichtung der älteren Eiche in 2019 liegt auf dem Niveau des Vorjahres (26 %).

Die Entwicklung der Kronenverlichtung der Eiche wird insgesamt stark durch das unterschiedlich ausgeprägte Vorkommen der Eichenfraßgesellschaft bestimmt. In 2018 und 2019 zeigen nur 2 % bzw. 3 % der älteren Eichen mittlere oder starke Fraßschäden.

Jüngere Eiche

Die Kronenverlichtung der jüngeren Eiche beträgt in 2019 12 %. Dies ist ein eher niedriger Wert in der Zeitreihe.

Mittlere Kronenverlichtung in %



Starke Schäden

Phasen mit erhöhten Anteilen starker Schäden an Eichen stehen in der Regel in Verbindung mit intensivem Insektenfraß. In 2019 liegt der Anteil starker Schäden für die Eiche bei 3,9 %.

Absterberate

Die Absterberate der Eiche liegt im langjährigen Mittel bei 0,3 %. 2019 sind 0,9 % der Eichen – ausschließlich in Südhessen – abgestorben.

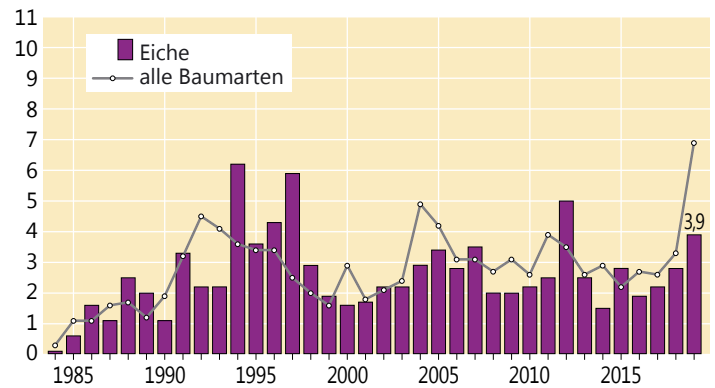
Ausfallrate

In 2019 sind im WZE-Kollektiv bei der Eiche in Hessen weder Ausfälle durch Sturm noch durch Insektenbefall vorgekommen.

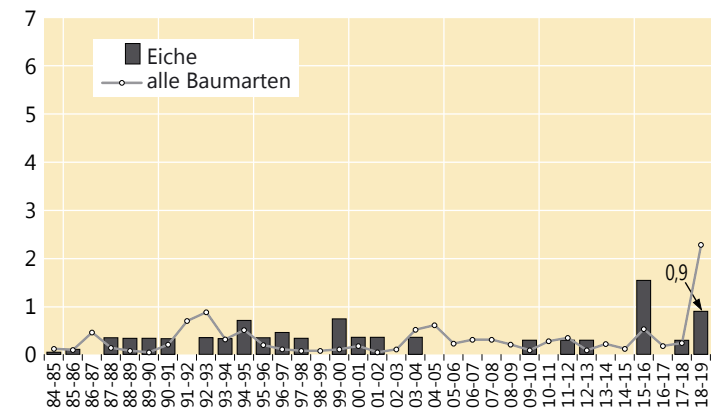


Foto: J. Weymar

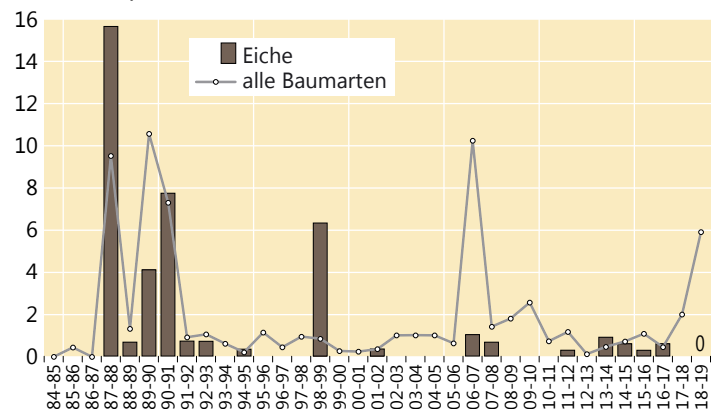
Anteil starker Schäden (inkl. abgestorbener Bäume), alle Alter in %



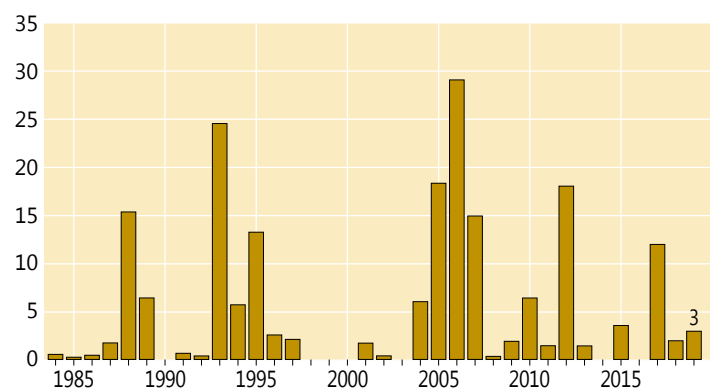
Jährliche Absterberate (stehende Bäume), alle Alter in %



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



Anteil mittlerer und starker Fraßschäden an älteren Eichen in %



Fichte

Erhebliche Schäden sind in 2018 und 2019 in den Fichtenbeständen durch Sturm, Trockenheit und Borkenkäferbefall entstanden. 2019 ist die Fichte im Vergleich der Baumarten die am stärksten geschädigte Baumart im hessischen Wald. Dies bezieht sich auf die Mittelwerte der Kronenverlichtung, der starken Schäden wie auch der Absterbe- und Ausfallraten.

Ältere Fichte

Bei der älteren Fichte hat sich die mittlere Kronenverlichtung von 29 % im Vorjahr sprunghaft auf 38 % verschlechtert. Dies ist mit Abstand der höchste Wert in der Zeitreihe.

Jüngere Fichte

Die sprunghafte Veränderung der Fichte ist ebenfalls bei der jüngeren Fichte (Alter bis 60 Jahre) festzustellen. Die Kronenverlichtung übertrifft aktuell den Wert des letzten Jahres um den Faktor 2 (17 % in 2019 gegenüber 8 % in 2018). Dies ist ebenfalls der höchsten Wert seit Beginn der Erhebungen in 1984.

Starke Schäden

Im Mittel aller Erhebungsjahre liegt der Anteil starker Schäden bei 1,8 %. Aktuell sind dagegen 10,1 % der Fichten stark geschädigt.

Insbesondere der starke Borkenkäferbefall Ende der Vegetationszeit 2018 und in 2019 hat zu einer sehr ungünstigen Vitalitätsentwicklung der Fichte in 2019 geführt.

Absterberate

Die Absterberate der Fichte liegt im Mittel der Jahre 1984-2018 bei 0,4 %. Für 2019 liegt der Wert bei 6,7 %. Die bislang höchsten Absterberaten traten 1992-1995 (bis 2 %), 2004 und 2005 (bis 1,4 %) sowie 2008 und 2009 (bis 1,1 %) jeweils nach extremen abiotischen und biotischen Schadereignissen auf. Zu den wesentlichen abiotischen Schadursachen zählen insbesondere Stürme und Trockenheit, zu den biotischen insbesondere Borkenkäfer. Die Daten belegen die Dimension der Schäden an der Baumart Fichte in diesem Jahr.

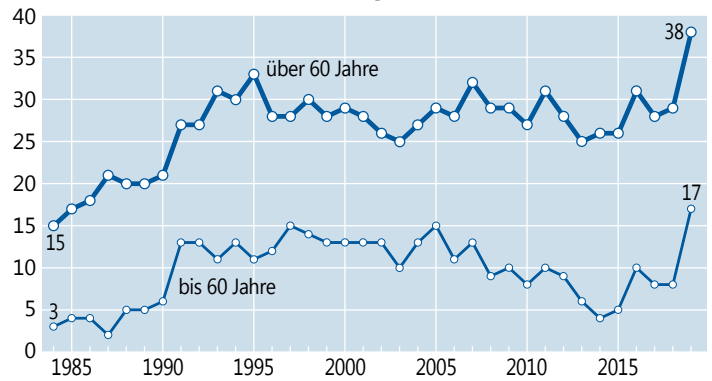
Ausfallrate

2018 und 2019 haben Frühjahrsstürme vor allem Wälder im Norden des Landes getroffen. Vielerorts sind 2019 Fichten durch Sturm und Borkenkäferbefall ausgefallen (23 %). Hervorzuheben ist, dass ein Plot durch Sturmwurf, ein weiterer durch Sturm und Borkenkäferbefall, sowie drei Plots durch Borkenkäferbefall ausgefallen sind.

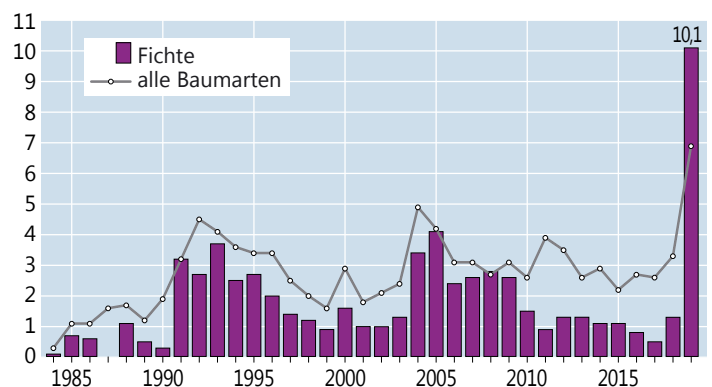


Foto: J. Weymar

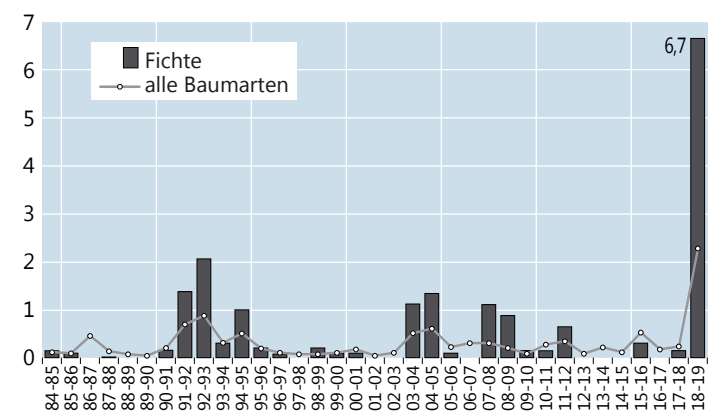
Mittlere Kronenverlichtung in %



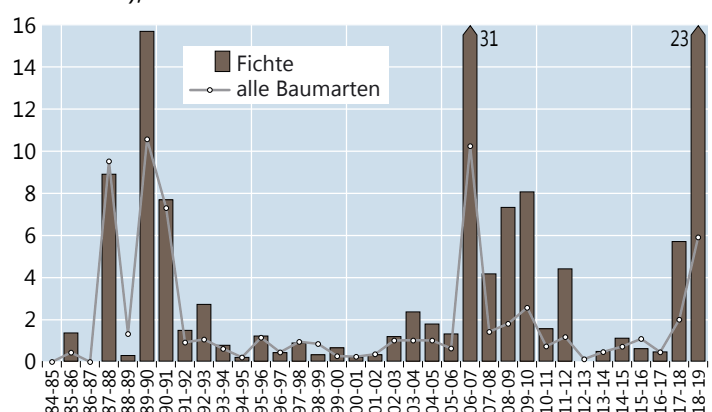
Anteil starker Schäden (inkl. abgestorbener Bäume), alle Alter in %



Jährliche Absterberate (stehende Bäume), alle Alter in %



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



Kiefer

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

Ältere Kiefer

Zunächst erscheint die Kiefer auch 2019 landesweit als relativ stabil. Die mittlere Kronenverlichtung der älteren Kiefer liegt mit 24 % auf dem Niveau des Vorjahres. Die aktuellen Werte sind sogar etwas geringer als die höheren Vergleichszahlen Mitte der 1990er Jahre.

Jüngere Kiefer

Die mittlere Kronenverlichtung der jüngeren Kiefer erreicht 2019 im Vergleich der Zeitreihe mit 27 % einen relativ hohen Wert.

Starke Schäden

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

Der Anteil starker Schäden ist bei der Kiefer von 4 % im letzten Jahr auf 6,8 % angestiegen. In der bisherigen Zeitreihe lagen die Vergleichswerte weitgehend unter 5 %. In der regionalen Analyse fallen relativ viele schlecht benadelte Kiefern in der Rhein-Main-Ebene, aber auch im westhessischen Bergland auf.

Absterberate

Auf aktuell erhöhte Risiken für die Baumart Kiefer verweist auch der Anteil aktuell abgestorbener Bäume. Die Absterberate der Kiefer (alle Alter) schwankt im Erhebungszeitraum zwischen 0 und 2 %, der Mittelwert 1984 bis 2018 liegt bei 0,5 %. Aktuell wird mit 3,2 % der höchste Wert seit Beginn der Erhebungen erreicht, der sechsfache Wert des Mittels vergangener Jahre. Auch hier findet sich eine Häufung in der Rhein-Main-Ebene.

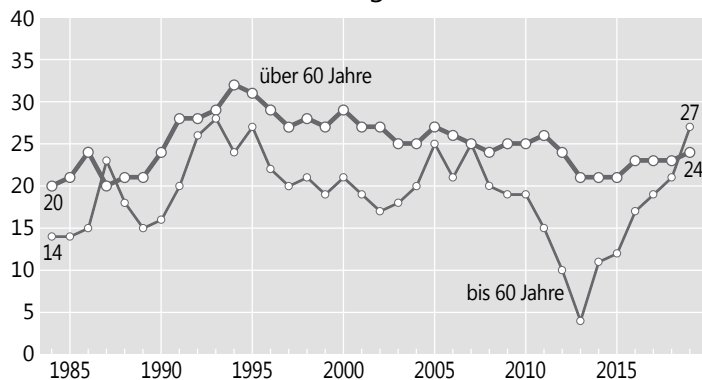
Ausfallrate

Die Ausfallrate der Kiefer ist im Vergleich zu den Vorjahren leicht erhöht (4,3 %).

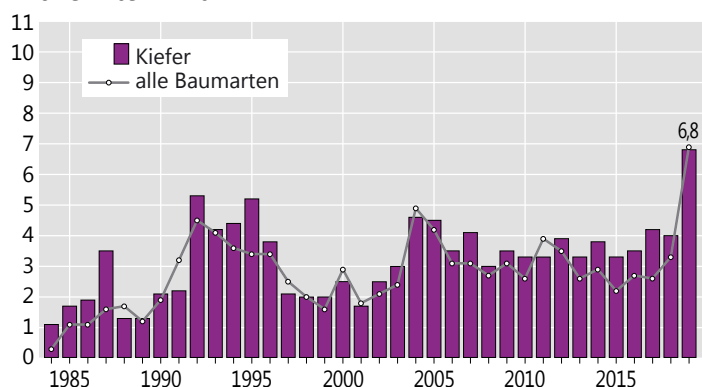


Foto: J. Evers

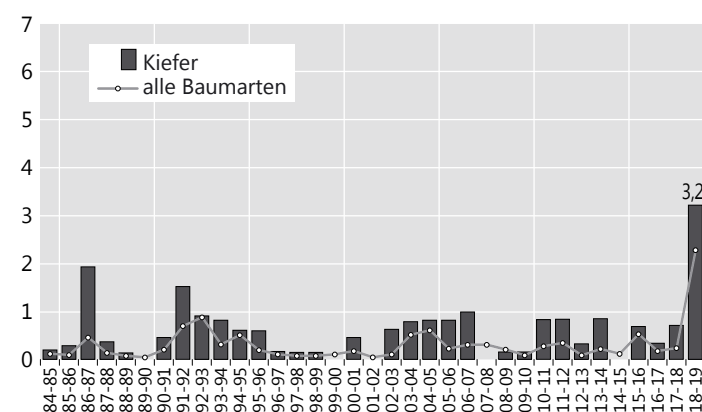
Mittlere Kronenverlichtung in %



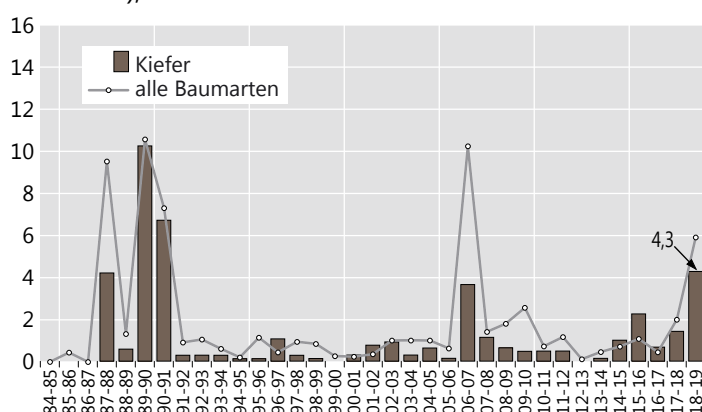
Anteil starker Schäden (inkl. abgestorbener Bäume), alle Alter in %



Jährliche Absterberate (stehende Bäume), alle Alter in %



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



Wald in der Rhein-Main-Ebene

Uwe Paar und Inge Dammann

Im Vergleich zum Vorjahr hat sich in der Rhein-Main-Ebene der Kronenzustand der älteren Bäume nochmals deutlich verschlechtert (2018: 30 %, 2019: 38 %). Die mittlere Kronenverlichtung der jüngeren Bäume beträgt 2019 21 %. Insbesondere die jüngeren Bäume zeigen in der langen Zeitreihe in der Rhein-Main-Ebene einen schlechteren Kronenzustand als in Gesamthessen.

Die Eiche zählt zu den charakteristischen Baumarten dieser Region. Im Vergleich zum Vorjahr hat sich der Kronenzustand der älteren Eiche sprunghaft verschlechtert (2018: 36 %; 2019: 46 %).

Die besondere Situation der Eiche in der Rhein-Main-Ebene wird im Vergleich zum landesweiten Eichenergebnis deutlich. Der Kronenzustand der älteren Eiche in Gesamthessen erreicht 2019 26 %. Im Vergleich dazu ist die Situation in der Rhein-Main-Ebene um 20 Prozentpunkte ungünstiger. Es ist in der Zeitreihe der bislang größte Abstand des Eichenwertes in der Rhein-Main-Ebene im Vergleich zum Landesergebnis. Der Kronenzustand der älteren Buche hat sich aktuell ebenfalls erheblich verschlechtert. Die mittlere Kronenverlichtung ist von 39 % auf den höchsten Wert seit 1984 angestiegen (51 %). Die Buche zeigt in der Rhein-Main-Ebene einen deutlich schlechteren Vitalitätszustand im Vergleich zum Landesdurchschnitt mit 32 %.

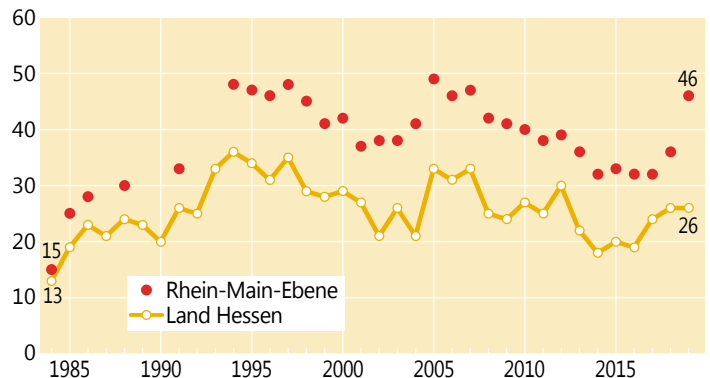
Wie die Eiche zählt auch die Kiefer zu den Baumarten, die an die ökologischen Bedingungen der Tieflagen besonders angepasst ist oder sein sollte. Sorge entsteht 2019 vor allem aus dem Befund einer deutlich erhöhten Absterberate der Kiefer in der Rhein-Main-Ebene und im angrenzenden Odenwald.

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

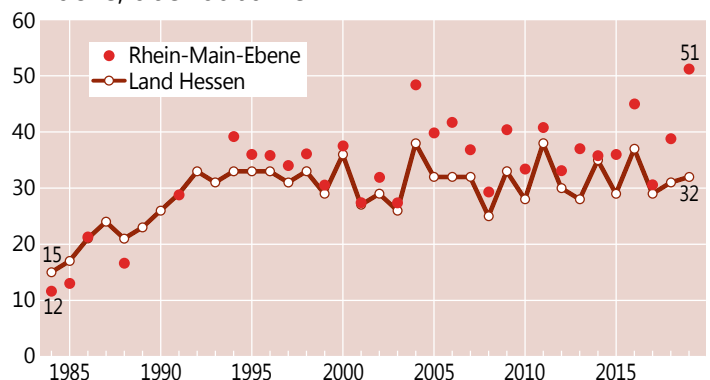
Die Waldzustandserhebung weist für 2019 eine erneut verschlechterte Situation für die Rhein-Main-Ebene nach. Auch die Absterberate liegt mit 4,7 % deutlich über dem Mittelwert der Zeitreihe. Eiche, Buche und Kiefer zeichnen ein besonders ungünstiges Bild; sowohl bei den älteren Bäumen als auch in der nachfolgenden jüngeren Waldgeneration. Bisher ergriffene Maßnahmen waren nicht in der Lage, die Walderhaltung wesentlich zu fördern. Die Stabilisierung der Wälder in der Rhein-Main-Ebene bleibt eine weiterhin vorrangige und anspruchsvolle Aufgabe.

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

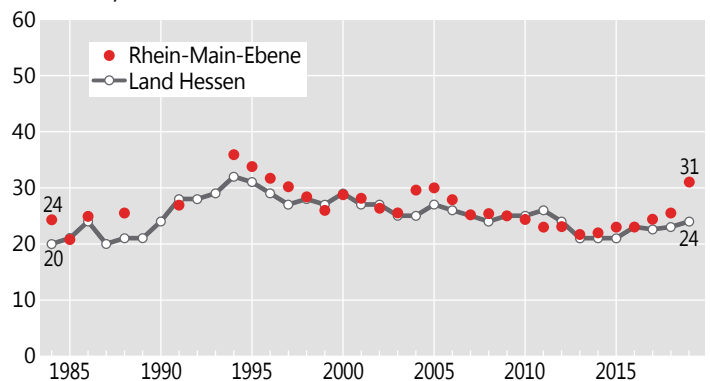
Mittlere Kronenverlichtung in %
Eiche, über 60 Jahre



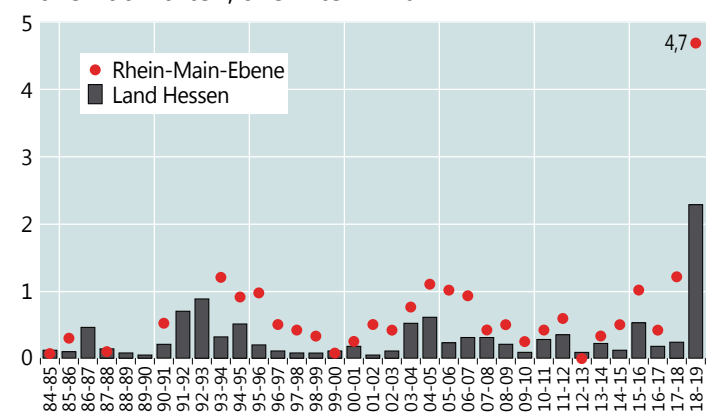
Mittlere Kronenverlichtung in %
Buche, über 60 Jahre



Mittlere Kronenverlichtung in %
Kiefer, über 60 Jahre



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



Witterung und Klima

Johannes Suttmöller

Das Jahr 2018 war in Deutschland das wärmste Jahr seit Beginn der regelmäßigen Beobachtungen im Jahr 1881 und löste damit das Jahr 2014 ab. Gleichzeitig gehört das Jahr 2018 zu den niederschlagsärmsten Jahren seit Messbeginn. Die extreme Trockenheit des Jahres 2018 wurde durch die winterlichen Niederschläge kaum gelindert, so dass der pflanzenverfügbare Bodenwasserspeicher vieler Waldböden in Nordwestdeutschland zu Beginn der Vegetationszeit 2019 nicht aufgefüllt war (Suttmöller et al. 2019). Da sich in der Vegetationszeit von Mai bis September 2019 infolge überdurchschnittlich hoher Temperaturen und geringer Niederschläge die Trockenheit fortsetzte, ist das Vegetationsjahr 2018/2019 (Oktober bis September) das zweite Jahr in Folge, das durch eine außergewöhnliche Trockenheit gekennzeichnet ist.

Um eine flächenhafte Aussage für das Land Hessen treffen zu können, werden die klimatologischen Größen Niederschlag und Temperatur anhand der Messstationen des Deutschen Wetterdienstes (DWD) ausgewertet, indem die Messwerte mit einem kombinierten Regionalisierungsverfahren (Inverse Distance Weighting, Höhenregression) auf ein 200 m-Raster interpoliert werden. Die Mitteltemperaturen werden in Grad Celsius (°C) und die Abweichung in Kelvin (K, entspricht °C) angegeben.

Im Landesmittel von Hessen betrug die Mitteltemperatur für das Vegetationsjahr 2018/2019 10,2 °C. Damit war dieses Jahr etwa ähnlich warm wie das vergangene Vegetationsjahr. Die gemessene Niederschlagssumme entspricht mit 671 mm im Landesmittel 85 % der langjährig üblichen Niederschlagsmenge und war damit genauso niederschlagsarm wie das vergangene Vegetationsjahr. Dabei waren sowohl die Nichtvegetationszeit von Oktober 2018 bis April 2019 als auch die Vegetationszeit von Mai bis September 2019 deutlich zu trocken. Nur in den Monaten Dezember, Januar, März und Mai fiel mehr Niederschlag als im langjährigen Mittel der Klimanormalperiode (1961-1990).

Witterungsverlauf von Oktober 2018 bis September 2019

Zu Beginn des Vegetationsjahres 2018/2019 setzte sich die extreme Trockenheit der vorausgegangenen Monate fort. Im Oktober 2018 fielen landesweit in Hessen nur 18 mm Niederschlag. Dies entspricht 32 % der mittleren Niederschlagsmenge (Abb. rechts). Beständige Hochdrucklagen sorgten für einen sonnenscheinreichen Monat. Der Oktober war spätsommerlich und verzeichnete einige Sommertage mit Tageshöchsttemperaturen über 25 °C. Die Mitteltemperatur betrug 10,5 °C und lag damit 1,7 K über dem langjährigen Mittelwert. Auch im November dominierte ruhiges durch Hochdruckwetterlagen geprägtes Herbstwetter. Während zu Beginn des Monats noch Tageshöchsttemperaturen von über 20 °C gemessen wurden, traten in der zweiten Monatshälfte erste Schneefälle bis ins Tiefland auf. Mit einer Mitteltemperatur von 5,4 °C war der Monat 1,6 K zu warm. Der November war extrem trocken. Die Niederschlagsmenge von 24 mm lag um 70 % unter dem langjährigen Durchschnittswert von rund 70 mm. Die Bodentrockenheit im Jahr 2018 erreichte damit ihren Höhepunkt. In Teilen von Hessen (Hessisches Ried, Nordhessen) wurden teilweise nur um die 30 %

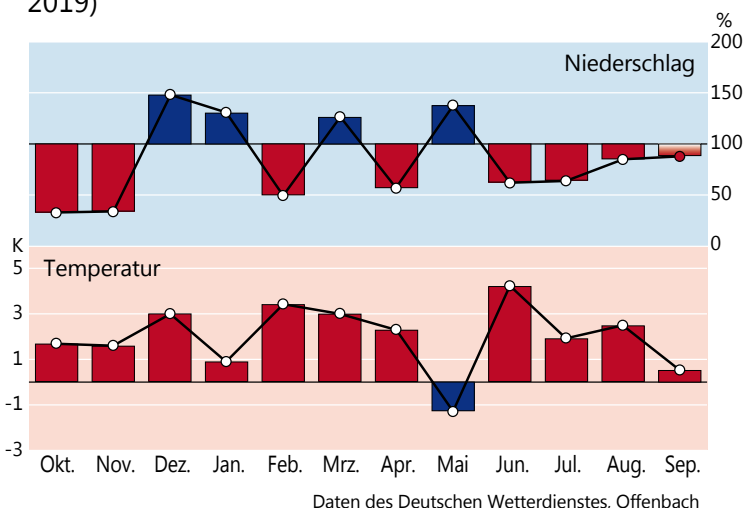
des pflanzenverfügbaren Bodenwassers (nutzbare Feldkapazität, nFK) ermittelt. Im Dezember dominierten Westwetterlagen und beendeten die seit acht Monaten andauernden zu trockenen Niederschlagsverhältnisse. Mit über 110 mm Niederschlag wurde das langjährige Soll um fast 50 % übertroffen. Die überwiegend milde Witterung führte zu einer deutlich positiven Abweichung der Monatsmitteltemperatur, die mit 3,7 °C um 3,0 K über dem langjährigen Wert lag.

Zu Beginn des Jahres 2019 setzte sich die unbeständige Witterung fort. Im Januar fielen im Flächenmittel des Landes Hessen rund 80 mm Niederschlag. Dies ist rund ein Drittel mehr als die übliche Niederschlagsmenge. Besonders nass war es dabei in den Mittelgebirgsregionen von Hessen. Mit einer Mitteltemperatur von 0,5 °C war der Monat fast 1 K zu warm. Es folgte ein milder und trockener Februar. Die Temperaturabweichung zum Klimamittel der Periode 1961-1990 betrug +3,4 K und mit 25 mm fiel nicht einmal die Hälfte des Niederschlagssolls. Dies hatte zur Folge, dass die Bodenwasservorräte bereits im Februar wieder abnahmen.



Foto: M. Spielmann

Abweichung von Niederschlag und Temperatur vom Mittel der Klimareferenzperiode 1961-1990 (durchgezogene schwarze Linie) in Hessen, Monatswerte für das Vegetationsjahr 2019 (Oktober 2018-September 2019)



Witterung und Klima

Am 10. März zog Sturmtief „Eberhard“ über die Mitte Deutschlands hinweg. Im Bergland wurden verbreitet und im Tiefland vereinzelt Orkanböen gemessen. Besonders Nord- und Mittelhessen waren von dem Sturm betroffen. Infolge der unbeständigen Witterung wurde das Niederschlagsoll mit 77 mm um 25 % übertroffen. Der pflanzenverfügbare Bodenwasservorrat der meisten Waldstandorte wurde wieder aufgefüllt. Nur auf einigen Standorten in den tieferen Lagen von Hessen (Wetterau und Rhein-Main-Gebiet) waren die Böden teilweise nicht vollständig aufgefüllt (s. Seite 21: Auswirkungen der Stürme und der Dürre 2018/2019 auf die Vitalität der Wälder in Nordwestdeutschland). Der März war deutlich zu warm. Die Abweichung zum langjährigen Mittel betrug +3,0 K. Der April 2019 war im Vergleich zur Referenzperiode 1961–1990 der dreizehnte zu warme Monat in Folge. Bei einer Monatsmitteltemperatur von 9,7 °C lag die Abweichung bei knapp +2,2 K. Infolge Hochdruck dominierter Wetterlagen lag das Niederschlagsdefizit im landesweiten Mittel bei rund 50 %. Ähnlich wie im Vorjahr führte die fröhsommerliche Witterung zu einem vorzeitigen Austrieb der Vegetation.

Zum Start in die forstliche Vegetationsperiode folgte ein kühler und nasser Mai in Hessen. Erstmals seit März 2018 lag die Monatsmitteltemperatur wieder unter dem langjährigen Vergleichswert. Die Abweichung betrug -1,3 K. Die mittlere Niederschlagshöhe erreichte mit 95 mm rund 140 % des langjährigen Solls. Der Juni zeigte sich von seiner sonnigen Seite. Durch die beständige Zufuhr subtropischer Luftmassen war der Monat einer der wärmsten seit Aufzeichnungsbeginn. In Hessen lag die Monatsmitteltemperatur bei 19,4 °C und damit 4,2 K über dem langjährigen Durchschnitt. Mit 48 mm im Landesmittel fielen nur rund 60 % des Niederschlagsolls. Regional sorgten Starkniederschläge für eine positive Niederschlagsbilanz. Der Juli 2019 wird durch seine Rekordhitze in Erinnerung bleiben. Besonders im Westen Deutschlands wurden die Rekordmarken gleich reihenweise gebrochen, wobei in Lingen (Emsland) mit 42,6 °C ein neuer Allzeitrekord für Deutschland gemessen wurde. Ganz so warm war es in Hessen nicht, allerdings wurde auch in Frankfurt und Bad Nauheim die 40 °C-Marke leicht überschritten. Der Monat war mit einer Mitteltemperatur von 18,8 °C wiederum deutlich zu warm (+1,9 K). Die Trockenheit verschärfte sich im Juli wieder, da landesweit nur rund 65 % der mittleren Niederschlagsmenge fiel. Auch im August setzte sich die trocken-warme Witterung fort. Die Mitteltemperatur betrug 18,9 °C (+2,5 K), so dass der Sommer 2019 (Juni bis August) einer der



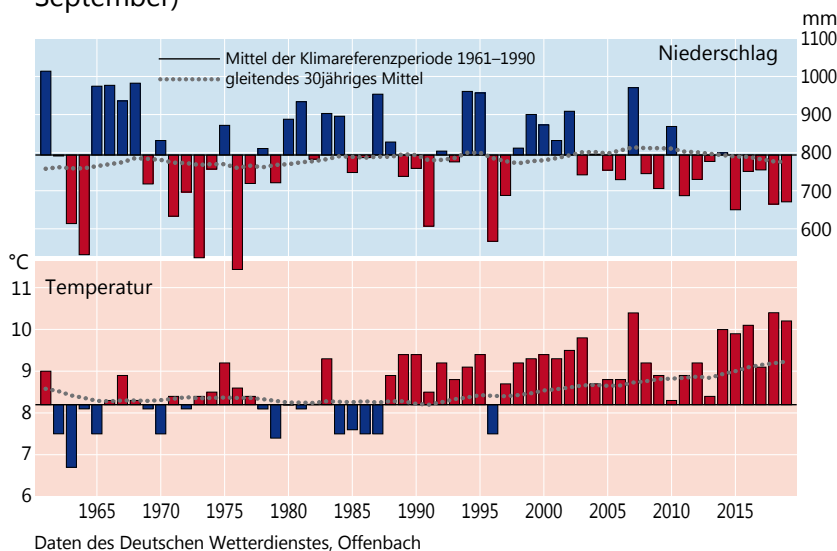
Foto: M. Spielmann

wärmsten in Hessen seit Messbeginn war. Trotz lokal eng begrenzter Starkniederschlagsereignisse wurde im Flächenmittel das Niederschlagsoll für den Sommer nur zu rund 70 % erfüllt. Zum Abschluss des Vegetationsjahres 2018/2019 folgte ein etwas zu warmer September (+0,5 K). Mit rund 50 mm fielen 88 % der langjährigen mittleren Niederschlagssumme.

Temperatur und Niederschlag im langjährigen Verlauf

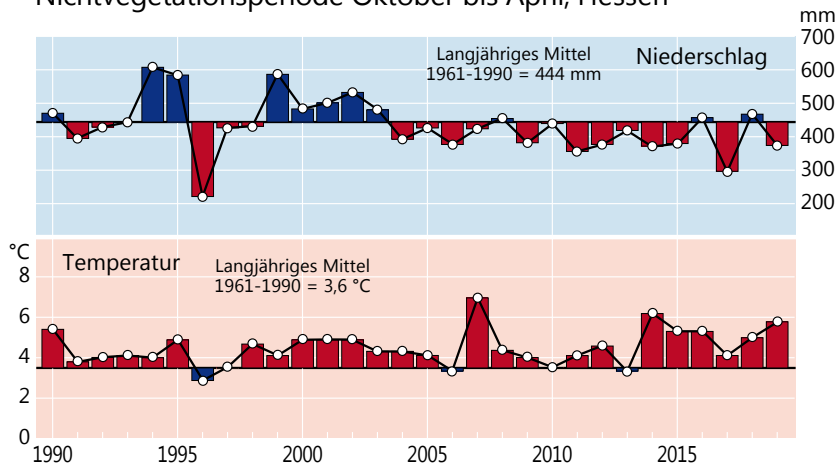
Das Vegetationsjahr 2018/2019 war 2,0 K wärmer als der Mittelwert der Klimanormalperiode 1961–1990 und 1,2 K wärmer als die Periode 1981–2010. Damit setzt sich der langfristige Erwärmungstrend ungehindert fort, wie das gleitende 30-jährige Mittel verdeutlicht (gepunktete Linie in der Abb. links). In den letzten zehn Jahren (2010 bis 2019) nahm das gleitende Mittel um 0,4 K zu, während im Zeitraum von 2000 bis 2009 der Anstieg 0,3 K betrug. Von den zwölf Monaten des Vegetationsjahres 2018/2019 waren acht Monate teilweise deutlich zu trocken und 11 Monate zu warm im Vergleich zu den langjährigen Mittelwerten. Dabei fielen ähnlich wie im vorangegangenen Vegetationsjahr mit 671 mm im Landesmittel nur 85 %

Abweichungen von Niederschlag und Temperatur vom Mittel der Klimareferenzperiode 1961–1990 und gleitendes 30-jähriges Mittel in Hessen, Jahreswerte für das Vegetationsjahr (Oktober–September)

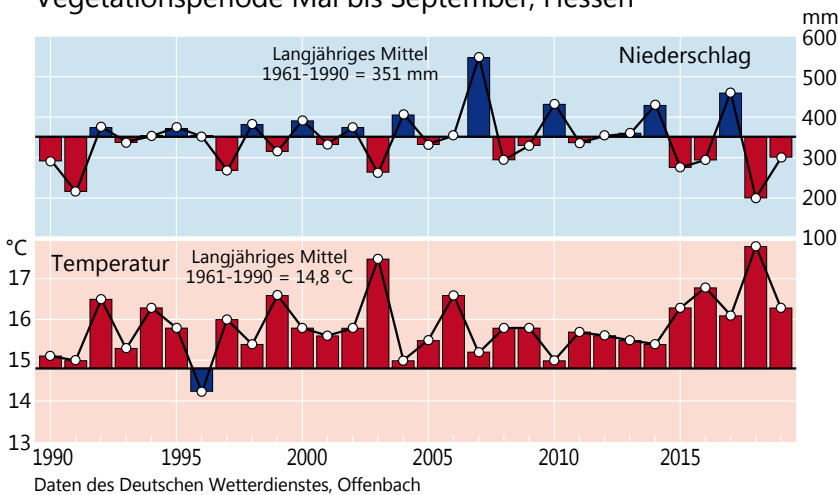


Witterung und Klima

Langjährige Klimawerte (1990-2019) Nichtvegetationsperiode Oktober bis April, Hessen



Langjährige Klimawerte (1990-2019) Vegetationsperiode Mai bis September, Hessen



der langjährigen Niederschlagssumme. Damit konnte das Niederschlagsdefizit aus dem Vorjahr nicht ausgeglichen werden, sondern vergrößerte sich weiter, so dass das Vegetationsjahr 2018/2019 das zweite Jahr in Folge ist, das durch eine außergewöhnliche Trockenheit geprägt ist.

Mit einer Mitteltemperatur von 5,8 °C war die Nichtvegetationszeit um 2,3 K wärmer als die Klimanormalperiode (Abb. oben). Die höchsten Abweichungen von mehr als 2,5 K verzeichneten Teile des Taunus, der Rhön und des Hessischen Berglandes. Im Rhein-Main-Gebiet und im Vogelsberg betrug die positive Abweichung gebietsweise weniger als 2,0 K (Abb. Seite 20 oben links).

In der Nichtvegetationszeit von Oktober 2018 bis April 2019 fielen in Hessen rund 370 mm Niederschlag. Dies sind rund 70 mm weniger als im gleichen Zeitraum des Vorjahres. Das langjährige Niederschlagssoll wurde damit nur zu 85 % erreicht (Abb. oben). Dabei war es fast im gesamten Land zu trocken (Abb. Seite 20 unten links). In der Rhein-Main-Ebene und in der Wetterau lag das Niederschlagsdefizit regional bei bis zu 30 %. Regional wurden hier von Oktober bis April nicht einmal 250 mm Niederschlag gemessen. In weiten Teilen des Odenwaldes, der Rhön und des Hessischen Berglandes traten nur geringe Abweichungen auf bzw. es fiel sogar etwas mehr Niederschlag im Vergleich zum langjährigen Mittel.

Auch die Vegetationsperiode von Mai bis September war deutlich zu warm. Die Mitteltemperatur betrug 16,3 °C und war damit 1,6 K wärmer im Vergleich zur Klimanormalperiode von 1961-1990. Im Flächenmittel des Landes Hessen fielen mit knapp 300 mm 85 % der langjährigen Niederschlagsmenge (Abb. oben).

Dabei war es in den westlichen Landesteilen etwas trockener als in den übrigen Regionen von Hessen (Abb. Seite 20 unten rechts). Gleichzeitig war es in der Vegetationsperiode 2019 im ganzen Land deutlich zu warm. Besonders hohe Temperaturabweichungen von mehr als +3 K wurden in den Höhenlagen von Taunus und Rhön beobachtet. In weiten Teilen des Landes lagen die Temperaturen um etwa 2,5 K über den langjährigen Mittelwerten der Periode von 1961-1990. Etwas geringer waren die Abweichungen im Vogelsberg und der südlichen Rhein-Main-Ebene (Abb. Seite 20 oben rechts).

Die Monate Januar bis September 2019 waren im Landesmittel von Hessen 2,0 K wärmer als die Mitteltemperatur der Klimanormalperiode 1961-1990. Im Vergleich zum Vorjahr ist die positive Abweichung etwas geringer. Sollten die Monate Oktober bis Dezember jedoch ebenfalls deutlich zu warm ausfallen, könnte das Jahr 2019 das Jahr 2018 als wärmstes Jahr ablösen.

Fazit

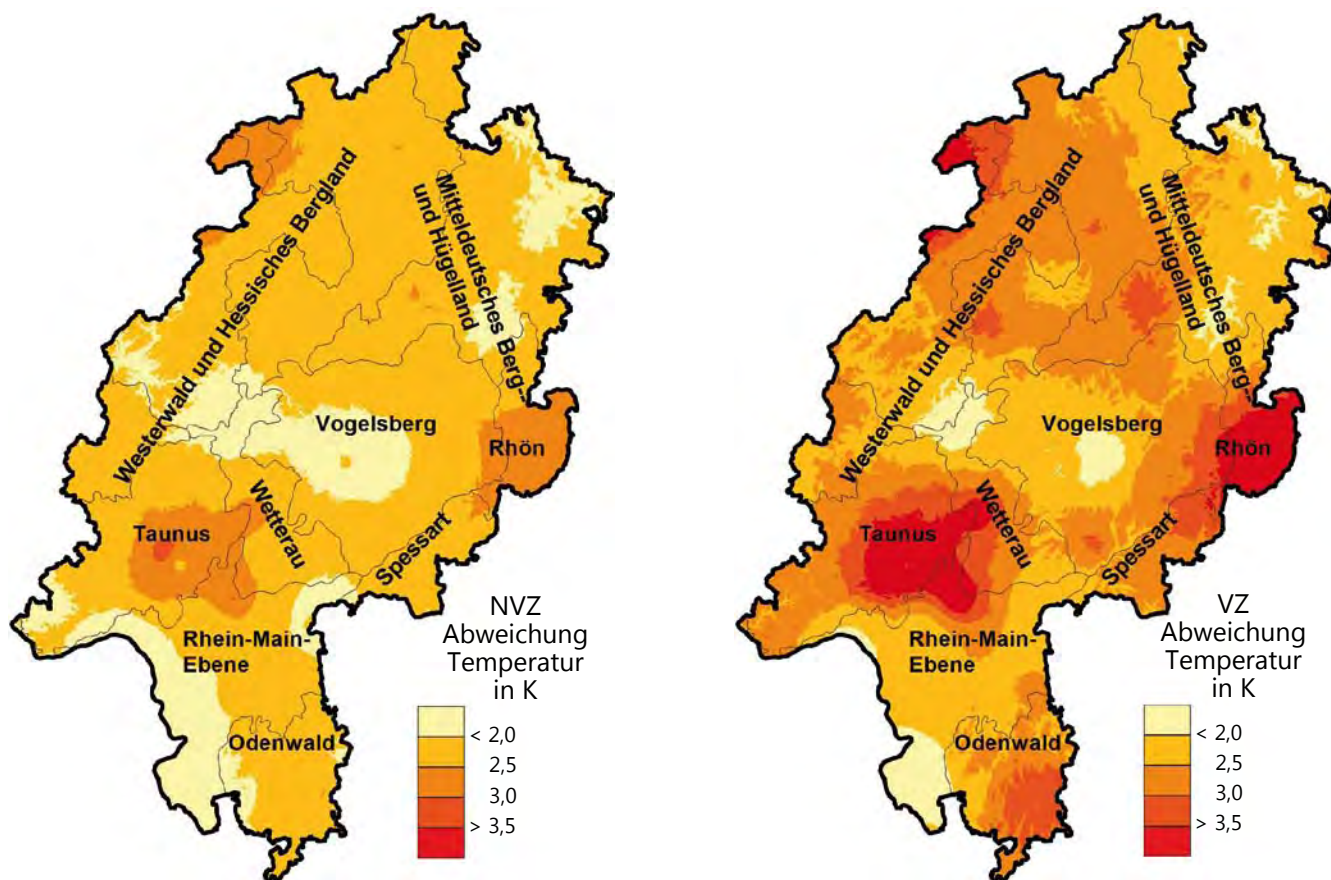
- Das Vegetationsjahr 2018/2019 war das zweite Jahr in Folge, das deutlich zu trocken und zu warm ausfiel.
- Im Vergleich zur Klimareferenzperiode 1961 bis 1990 waren 8 von 12 Monaten zu trocken und 11 von 12 Monaten zu warm.
- Es fielen 85 % des langjährigen Niederschlagsolls (671 mm).
- Die Mitteltemperatur betrug 10,2 °C. Dies entspricht einer Abweichung von +2,0 K. Der langjährige Erwärmungstrend setzt sich unvermindert fort.
- Insbesondere die tieferen Lagen in Mittel- und Südhessen, waren von der diesjährigen Trockenheit betroffen.



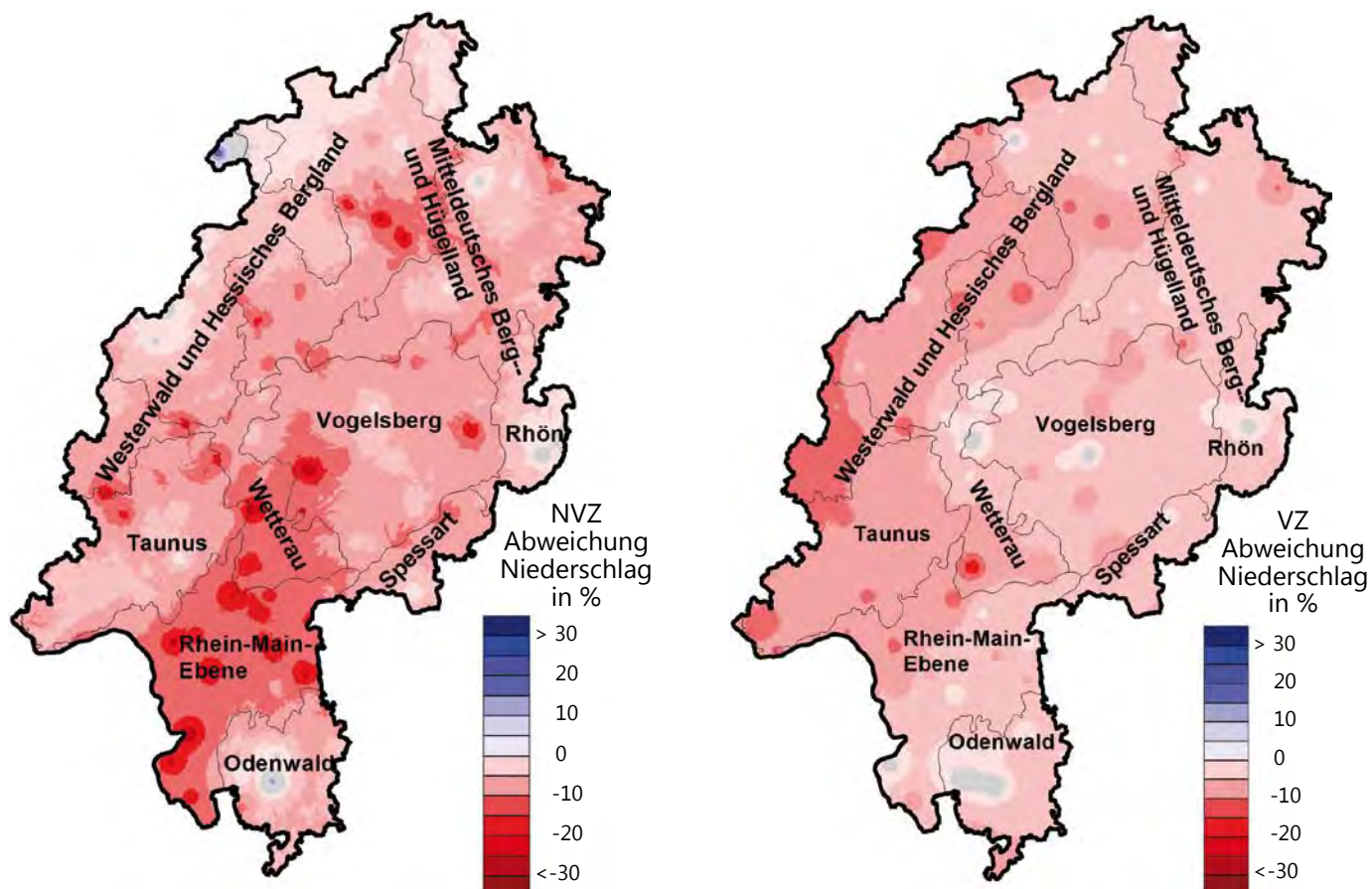
Foto: J. Weymar

Witterung und Klima

Abweichung der Temperatur vom langjährigen Mittel in der Nichtvegetationszeit (NVZ) 2018/2019 und in der Vegetationszeit (VZ) 2019



Abweichung der Niederschlagssumme vom langjährigen Mittel in der Nichtvegetationszeit (NVZ) 2018/2019 und in der Vegetationszeit (VZ) 2019



Auswirkungen der Stürme und der Dürre 2018/2019 auf die Vitalität der Wälder in Nordwestdeutschland

Johannes Eichhorn, Johannes Suttmöller, Birte Scheler, Markus Wagner, Inge Dammann, Henning Meesenburg und Uwe Paar

Der Wald in Nordwestdeutschland leidet unter der seit zwei Jahren andauernden Trockenheit. Infolge der sichtbaren Schäden wird der Waldzustand im Kontext der Klimaerwärmung auch in der breiten Öffentlichkeit kontrovers diskutiert. Nach dem Waldsterben der Achtzigerjahre werden die aktuellen Schäden bereits als „Waldsterben 2.0“ bezeichnet und im Vergleich zum damaligen Waldsterben als viel dramatischer eingestuft. Dieser Beitrag soll auf Grundlage der aktuellen Waldzustandserhebung die Auswirkungen der extremen Witterung 2018 und 2019 auf die Wälder in Nordwestdeutschland beschreiben und quantifizieren. Besonderheiten beider Jahre haben maßgeblich zu den heutigen Störungen in den Wäldern geführt.

Die systematische Stichprobe der Waldzustandserfassung (WZE) vermag in Verbindung mit Ergebnissen aus dem intensiven Umweltmonitoring die aktuellen Schäden zahlenmäßig und faktenbasiert zu erfassen. Die Methode ist sehr gut dazu geeignet, Reaktionen verschiedener Baumarten auf Trockenstress abzubilden. Das Stichprobenverfahren erlaubt, lokale Extremsituationen im landesweiten Vergleich einzuordnen und ist damit eine wichtige Entscheidungsgrundlage für Maßnahmen zur Waldentwicklung.

Die Witterung der Jahre 2018 und 2019 wird mit dem langjährigen Klima verglichen, um die Besonderheiten der letzten Beobachtungsjahre darzustellen. Dabei steht neben Temperatur, Niederschlag und Verdunstung auch der Wasserspeicher im Boden im Fokus der Betrachtungen. Von besonderer Bedeutung sind extreme Witterungsereignisse, wie Stürme oder lang anhaltende Trockenperioden. Diese wirken sich auf die Vitalität der Bäume aus. Die Reaktion der Bäume auf veränderte Umweltbedingungen reicht von Kronenverlichtung, Blattverfärbung, Blatteinrollen, Kleinblättrigkeit, veränderte Fruchtbildung sowie Wachstumsveränderungen bis hin zum Absterben. Gleichzeitig steigt die Anfälligkeit gegenüber Pilzen und Insekten.

Bodenfeuchtezustand zu Beginn der Vegetationszeit

Der Beginn des Laubaustriebs kennzeichnet in Wäldern den Beginn der Vegetationszeit. Blätter treiben aus, Zweige entwickeln sich, Photosynthese und Atmungsvorgänge setzen ein. Auch bei Nadelbäumen werden physiologische Abläufe verstärkt. Es ist eine Phase, in der neben Wärme und Licht auch viel Wasser aus dem Boden benötigt wird. Bäume nutzen nicht nur das Wasser aus aktuellen Niederschlägen. Vielmehr haben die Niederschläge des Winterhalbjahres eine große Bedeutung, da sie im Normalfall im Boden einen Wasservorrat für die nachfolgende Vegetationszeit sichern.

*In Anlehnung an Suttmöller et al. (2019) wurde zur flächenhaften Abschätzung des pflanzenverfügbaren Bodenwassers die **Klimatische Wasserbilanz (KWB)** für die Nichtvegetationszeit (Oktober des Vorjahres bis Ende März) berechnet.*

Die KWB kennzeichnet den Überschuss oder das Defizit des gefallenen Niederschlags gegenüber potenziellen Verdunstungsverlusten. Nach FAO-Norm (FAO = Ernäh-



Foto: J. Evers

rungs- und Landwirtschaftsorganisation der Vereinten Nationen) wird die potenzielle Verdunstung für eine einheitliche Grasbedeckung berechnet. Die Vegetationsform Wald verdunstet jedoch mehr als eine Grasvegetation (Baumgartner und Liebscher 1990). Insbesondere weisen Wälder auch in der Nichtvegetationszeit eine deutlich höhere Interzeptionsverdunstung auf (Hammel und Kennel, 2001). Anhand von Wasserhaushaltssimulationen für Intensivmonitoringflächen in Nordwestdeutschland wurde eine höhere potenzielle Verdunstungsleistung der Wälder für die Nichtvegetationszeit von 50 mm abgeschätzt.

*Das **pflanzenverfügbare Bodenwasserangebot** zu Beginn der Vegetationszeit leitet sich aus der KWB der Nichtvegetationszeit und der **nutzbaren Feldkapazität des effektiven Wurzelraums (nFK WRe)** ab. Der pflanzenverfügbare Bodenwasserspeicher wird als vollständig aufgefüllt angenommen, wenn die KWB in der Nichtvegetationszeit größer als die nFK WRe ist. In diesem Fall entspricht das pflanzenverfügbare Bodenwasser der nFK WRe, ansonsten dem Wert der KWB in der Nichtvegetationszeit. Dabei wird die Annahme getroffen, dass der gesamte Niederschlag in den Waldboden infiltriert und den Bodenwasserspeicher auffüllt, was für die meisten nicht stark geneigten Waldböden zutrifft (Ahrends et al. 2018). Als Berechnungsgrundlage für die nFK WRe wird die Bodenübersichtskarte für Wald verwendet (Maßstab 1:1.000.000, BGR 2007). Aufgrund des kleinen Maßstabs der Bodenkarte eignen sich die Ergebnisse nur für eine großräumige Abschätzung des Bodenfeuchtezustandes zu Beginn der Vegetationszeit.*

Vegetationszeit (VZ) bzw. **Nichtvegetationszeit (NVZ):** Die forstliche Vegetationszeit umfasst die Monate Mai bis September. Da 2018 und 2019 der Blatt- und Nadelaustrieb bereits Anfang April erfolgte, wurde für diese Auswertung die Dauer der VZ auf April bis August festgesetzt. Ergänzt wird diese um die NVZ von Oktober des Vorjahres bis März. Der September konnte aufgrund des zeitigen Redaktionsschlusses nicht berücksichtigt werden.

Auswirkungen der Stürme und der Dürre 2018/2019 auf die Vitalität der Wälder in Nordwestdeutschland

In der Nichtvegetationszeit 2017/2018 wurden die meisten Waldböden ausreichend mit Niederschlagswasser aufgefüllt. Im Gegensatz dazu war zu Beginn der Vegetationszeit 2019 der pflanzenverfügbare Bodenwasserspeicher von mehr als 30 % der Waldböden in Nordwestdeutschland nicht vollständig aufgefüllt. Knapp 10 % der Waldböden wiesen sogar pflanzenverfügbare Bodenwassermengen von weniger als 50 % der nFK WRe auf (s. Abb. unten). In Sachsen-Anhalt war der pflanzenverfügbare Wasserspeicher der Waldböden zum 1. April auf fast drei Viertel der Fläche nicht aufgefüllt, wobei auf knapp 50 % der Standorte weniger als 50 % der nFK WRe erreicht wurden. Nur im Harz waren aufgrund der hohen Niederschläge die Böden weitgehend aufgefüllt.



Foto: J. Weymar

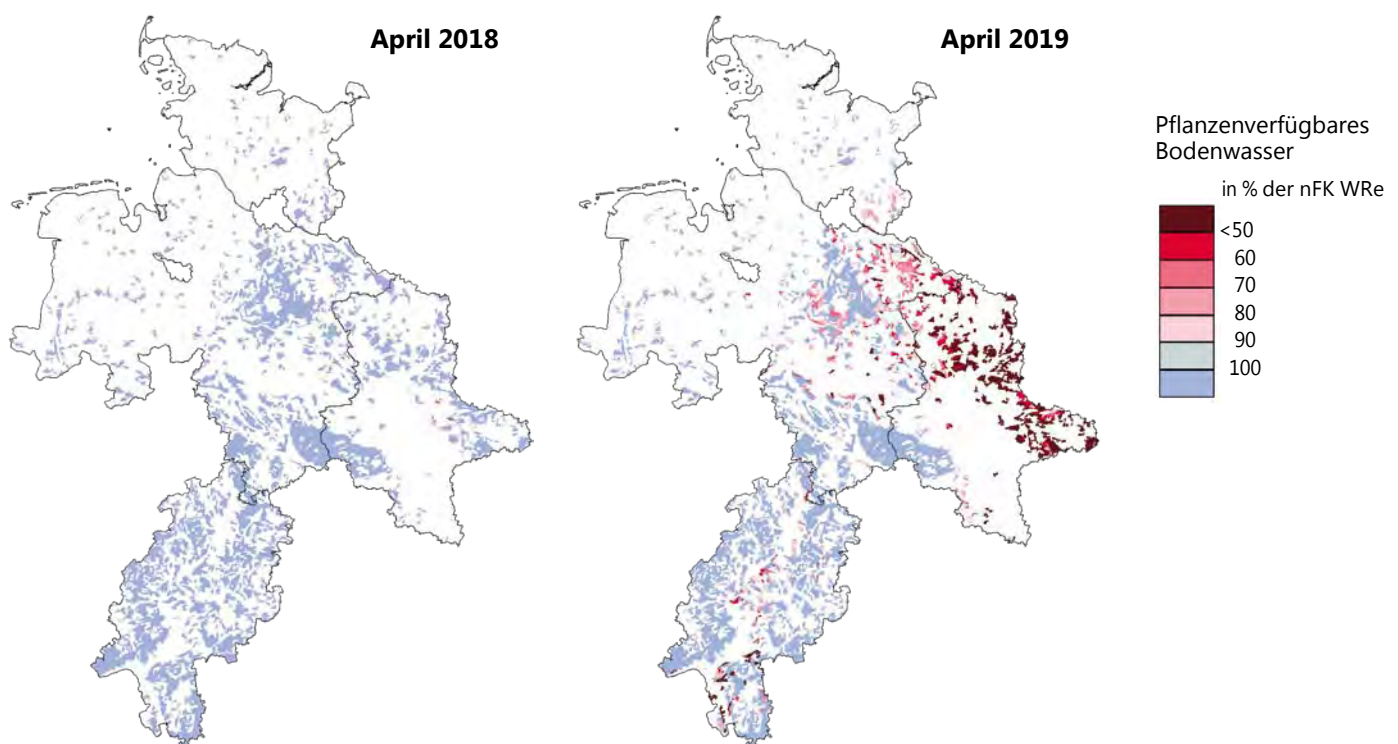
In Niedersachsen und Schleswig-Holstein waren rund 30 % der Waldstandorte betroffen. Schwerpunkte lagen im süd-östlichen Schleswig-Holstein sowie im mittleren und östlichen Niedersachsen, wo jedoch überwiegend mehr als 50 % der nFK WRe erreicht wurden. Nur wenige Standorte in Niedersachsen (2 %) wiesen einen pflanzenverfügbaren Bodenwasserspeicher von weniger als 50 % der nFK WRe auf. Dies traf ebenso auf Hessen zu, wo aufgrund ausreichender Niederschläge der pflanzenverfügbare Bodenwasserspeicher auf fast 90 % der Waldstandorte aufgefüllt war. In tieferen Lagen wie der Wetterau und dem Rhein-Main-Gebiet war dagegen der pflanzenverfügbare Wasserspeicher der Böden teilweise nicht vollständig aufgefüllt.

Ein Blick auf den Dürremonitor von Deutschland (<https://www.ufz.de/index.php?de=37937>) bestätigt dieses Bild. Für Anfang April 2019 muss in weiten Teilen von Deutschland auf 180 cm Tiefe bezogen von einer extremen bis außergewöhnlichen Dürre ausgegangen werden. Auch der Oberboden (bis 25 cm Tiefe) war im Norden von Sachsen-Anhalt und im Osten von Niedersachsen bereits soweit ausgetrocknet, dass die Dürreinstufung extrem bis außergewöhnlich war.

Räumliche Muster der Klimatischen Wasserbilanz in der Vegetationszeit

In der Vegetationszeit wird die Wasserverfügbarkeit für Bäume wesentlich durch das Verhältnis von Niederschlägen einerseits und der Verdunstung andererseits bestimmt. Die Klimatische Wasserbilanz (KWB) weist für die Monate April bis einschließlich August im Mittel der Referenzperiode 1961-1990 ein Wasserdefizit von rund -80 mm im Flächenmittel aller vier Trägerländer auf. Während der außergewöhnlichen Trockenperiode 2018 lag das Defizit dagegen

Pflanzenverfügbares Bodenwasser (in % der nFK WRe) zu Beginn der Vegetationszeit (1. April) in Nordwestdeutschland



Auswirkungen der Stürme und der Dürre 2018/2019 auf die Vitalität der Wälder in Nordwestdeutschland



Sturmschäden

Foto: J. Evers

bei unter -400 mm (s. Abb. unten links). Da der pflanzenverfügbare Bodenwasserspeicher zu Beginn der Vegetationszeit 2018 gut gefüllt war, konnten die Bäume ihren Wasserbedarf trotz der außergewöhnlichen Trockenheit bis in den Juli hinein weitgehend aus dem Bodenwasserspeicher decken (Wagner et al. 2019). In der Vegetationszeit 2019 war das Wasserdefizit der KWB mit -280 mm erheblich geringer als 2018 (s. Abb. unten rechts), dennoch litten die Bestände 2019 aufgrund des regional nur unzureichend aufgefüllten Bodenwasserspeichers bereits frühzeitig unter Vitalitätseinbußen und Trocknisschäden.

Die KWB wies in der Vegetationszeit beider Jahre ein ähnliches räumliches Muster auf. Besonders stark negative Werte wurden in Sachsen-Anhalt, im östlichen und südlichen Niedersachsen sowie in Südhessen erreicht. Dabei betrug das Defizit in diesen Gebieten im Jahr 2018 vielfach mehr als -450 mm, während 2019 die Werte für die KWB zwischen -300 und -400 mm lagen. In Schleswig-Holstein, dem nordwestlichen Niedersachsen und in den Mittelgebirgslagen war das Wasserdefizit in der KWB deutlich schwächer.

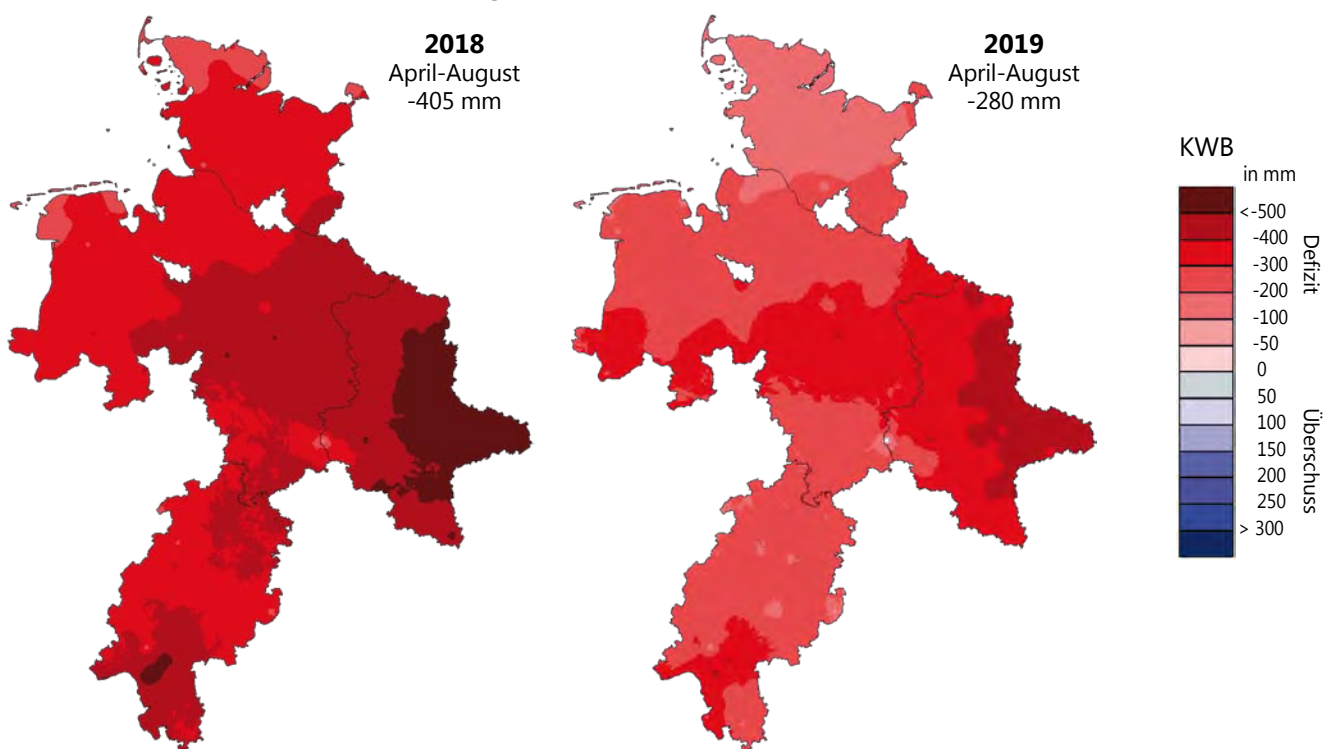
Strukturelle Störungen in den Wäldern

Ein maßgeblicher, sich gegenseitig verstärkender Einfluss auf den Waldzustand ging von einer Abfolge von Stürmen, Dürrephasen sowie Borkenkäferbefall aus. Nachfolgend werden deshalb die erheblichen Störungen der Wälder in den Jahren 2018 und 2019 zusammenfassend dargestellt. Es handelt sich um Störungen der Vitalität einzelner Bäume aber auch um Störungen der Waldstruktur und -entwicklung von ganzen Waldregionen.

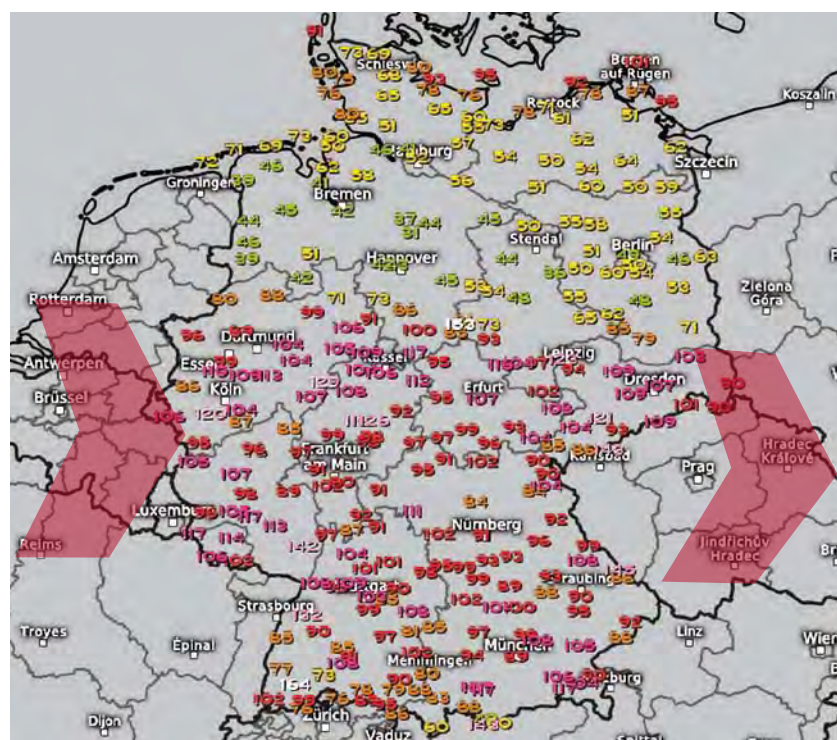
Stürme sind Extremereignisse, deren Wirkungen plötzlich eintreten, ihre Folgen können jedoch zu weitreichenden, langfristigen Veränderungen der Waldentwicklung führen. Die letzten beiden Jahre waren von einer Reihe von Stürmen geprägt.

Der Sturm „Friederike“ am 18. Januar 2018 war der Höhepunkt einer besonders intensiven Sturmserie. In Hessen, Niedersachsen und Sachsen-Anhalt richtete er erhebliche Schäden in den Wäldern an. Darüber hinaus waren die durch den Sturm geworfenen Fichten Ausgangspunkt für eine Massenvermehrung der Borkenkäfer, die in den Fichtenbeständen zu einem seit Jahrzehnten nicht beobachteten Ausmaß an Schäden führte.

Klimatische Wasserbilanz (KWB) für die Monate April bis August in den vier Trägerländern der NW-FVA

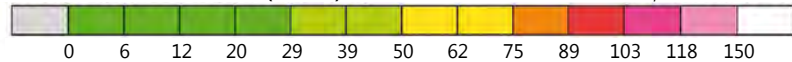


Auswirkungen der Stürme und der Dürre 2018/2019 auf die Vitalität der Wälder in Nordwestdeutschland



Maximale Windböen (km/h)

11.03.2019, 01:00 Uhr MEZ



Deutschland, 280 Stationen im Kartenausschnitt

Kachelmann GmbH, DWD – kachelmannwetter.com

Im März 2019 zogen mehrere Sturmtiefs über Nordwestdeutschland hinweg, u. a. „Bennet“ und „Eberhard“. Der Sturm „Bennet“ erreichte in allen vier Trägerländern der NW-FVA lokal Windgeschwindigkeiten über 90 km/h (schwerer Sturm). Im Harz betrug die maximale Windgeschwindigkeit 143 km/h (Orkanböen). Bei Sturm „Eberhard“ lag in den vier Trägerländern der NW-FVA der Schwerpunkt in Hessen sowie im Süden Niedersachsens und Sachsen-Anhalts (Abb. oben). Die Sturmserie im März 2019 brachte Sturmholzmengen, die nicht so stark ausfielen wie 2018, aber die Borkenkäferproblematik weiter verschärften.

Absterberate (alle Baumarten, alle Alter)

Land	Langjähriges Mittel der Absterberate* (%)	Absterberate 2018 (%)	Absterberate 2019 (%)
Hessen	0,3	0,3	2,3
Niedersachsen	0,2	0,1	1,4
Sachsen-Anhalt	0,5	1,3	4,2
Schleswig-Holstein	0,2	0,4	0,8

* Hessen, Niedersachsen, Schleswig-Holstein: 1985-2019, Sachsen-Anhalt: 1992-2019

Ausfallrate (alle Baumarten, alle Alter)

Land	Langjähriges Mittel der Ausfallrate* (%)	Ausfallrate 2018 (%)	Ausfallrate 2019 (%)
Hessen	2,0	2,0	5,9
Niedersachsen	0,7	4,7	2,1
Sachsen-Anhalt	0,9	4,3	1,8
Schleswig-Holstein	0,6	0,9	0,7

* Hessen, Niedersachsen: 1985-2019, Sachsen-Anhalt: 1992-2019, Schleswig-Holstein: 1997-2019

Schwerwiegende Störungen der Waldentwicklung entstehen, wenn Bäume oder ganze Bestände absterben oder ausfallen. In der Waldzustandserhebung werden die zum Zeitpunkt der Erhebung im Juli/August noch stehenden, allerdings unbelaubten bzw. unbenadelten Probestämme (100 % Kronenverlichtung) erfasst und der jährlichen **Absterberate** zugeordnet. Im langjährigen Mittel aller Baumarten und Altersstufen liegt die Absterberate in den vier Ländern weit unter 1 % (Tabelle links oben). Infolge der extremen Witterung einschließlich Stürmen und nachfolgendem Insektenbefall (Borkenkäfer) erreichten die Absterberaten 2019 in allen vier Ländern Maximalwerte. Am höchsten war die Absterberate 2019 in Sachsen-Anhalt, am niedrigsten in Schleswig-Holstein. Im Vergleich der Baumarten waren außerordentlich viele Fichten abgestorben: In Hessen (6,7 %), in Niedersachsen (6,1 %) und in Sachsen-Anhalt (16 %). In Schleswig-Holstein blieb die Absterberate der Fichte niedrig, hier sind vor allem Eschen, Birken und Buchen abgestorben.

Stichprobenbäume, die zum Zeitpunkt der Waldzustandserhebung aufgrund von Schadereignissen umgefallen oder bereits entnommen sind, werden der **Ausfallrate** zugerechnet. Dazu zählen insbesondere sturmgeworfene Bäume oder Bäume, die nach Borkenkäferbefall entnommen sind.

Die Ausfallraten der Jahre 2018 und 2019 überstiegen das Mittel der Zeitreihe in allen vier Ländern (Tabelle links unten). In Hessen war der Anteil der ausgefallenen Bäume am höchsten, in Schleswig-Holstein am niedrigsten. Auch bei der Ausfallrate wurde das Ergebnis maßgeblich durch die Fichte bestimmt. In Hessen und Niedersachsen waren 2018/2019 rund 30 % der Fichten-Stichprobenbäume ausgefallen und in Sachsen-Anhalt 22 %.

Die Tabelle auf Seite 25 zeigt eine Abschätzung der Anteile der Wälder in den Ländern Hessen, Niedersachsen, Sachsen-Anhalt und Schleswig-Holstein, die durch Absterben und Ausfälle von Probestämmen betroffen sind. Absterben und Ausfall von Bäumen bedingen **Störungen der Waldstruktur** und bedeuten ein besonderes Risiko für Leistungen und Funktionen der Wälder.

Die Zahlen sind eine Schätzung auf Grundlage der Stichprobe im 8 km x 8 km-Raster. Angesichts der begrenzten Stichprobenzahl sind die Standardfehler relativ groß. Die prozentualen Veränderungen geben Aufschluss über die Zunahme der Abgänge. Nicht erfasst wird, ob nach einer Störung eine Wiederbewaldung erfolgen muss oder ob sich die Waldstruktur aus einem vorausgegangenen Voranbau bzw. aus vorhandener Naturverjüngung weiter zu ent-

Auswirkungen der Stürme und der Dürre 2018/2019 auf die Vitalität der Wälder in Nordwestdeutschland

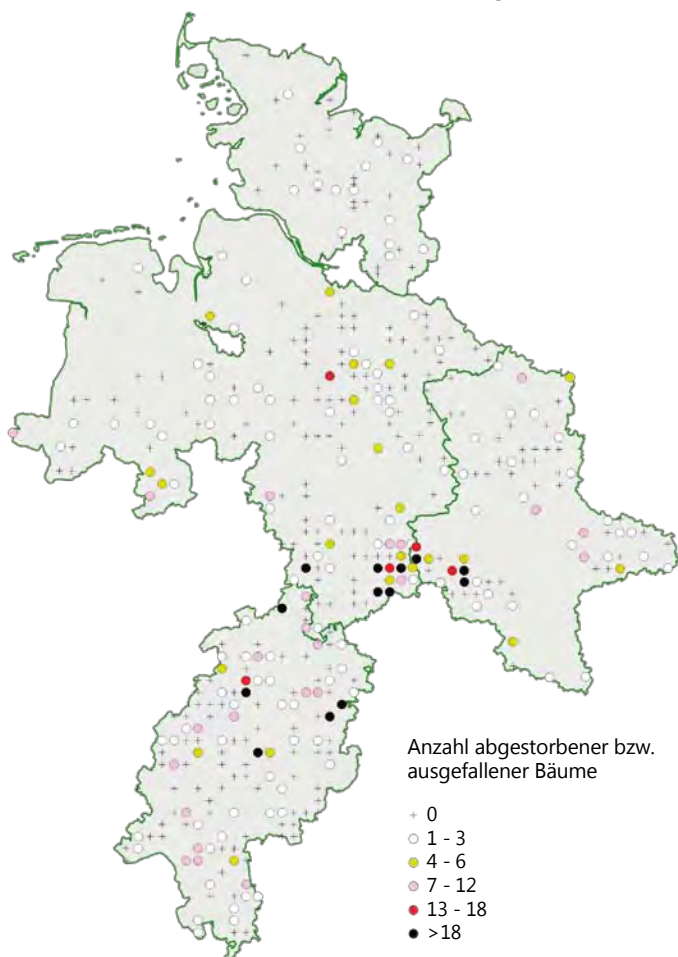
wickeln vermag. Belastbare Rückschlüsse auf die wieder zu bewaldenden Flächen sind nicht möglich.

In Hessen, Niedersachsen und Sachsen-Anhalt werden 2018 und 2019 im Vergleich zum langjährigen Mittel deutlich erhöhte Werte festgestellt. Schleswig-Holstein ist von den aktuellen Entwicklungen weniger betroffen.

In der Karte (Abb. unten) wird deutlich, dass ein Schwerpunkt abgestorbener bzw. ausgefallener Bäume in Südniedersachsen, Nordhessen und im Ostharz (Sachsen-Anhalt) liegt. In diesen Regionen waren durch die Stürme 2018 und 2019 und anschließenden Borkenkäferbefall besonders viele Fichten ausgefallen.

Wenn Bäume mehr als 60 % ihrer Assimilationsorgane nicht ausgebildet oder abgeworfen haben, ist eine wesentliche Einschränkung des Wasser- und Stoffhaushalts zu erwarten.

Anzahl abgestorbener bzw. ausgefallener Bäume
2018 und 2019 im 8 x 8 km-Raster
der Waldzustandserhebung



Abweichend von anderen Zuständen der Baumkronen wird hier der Begriff **starke Schäden** verwendet.

In Hessen, Niedersachsen und Sachsen-Anhalt erreichte 2019 der Anteil starker Schäden Höchstwerte der Zeitreihe. Ungünstige Spitzenwerte traten in Sachsen-Anhalt auf. Besonders häufig waren starke Schäden bei der Baumart Fichte. In Hessen war auch ein erhöhter Anteil starker Schäden bei der Kiefer zu erkennen. Kiefer gilt gerade in den wärmebegünstigten und niederschlagsarmen Tieflagen wie die Rhein-Main-Ebene als tragendes Element des Waldbaus. Ein derartig hoher Anteil sehr schlecht benadelter Kiefern wirft die Frage nach der Stabilität der Kiefer in der Region nach witterungsextremen Jahren auf.

In Schleswig-Holstein lag der Anteil starker Schäden 2019 auf einem erhöhten Niveau. Betroffen war vor allem die Esche.

Die Befunde zu Absterbe- und Ausfallraten sowie die Häufigkeit starker Schäden zeichnen für 2018 und 2019 einen vielerorts stark gestörten Waldzustand. Klare Zusammenhänge mit der extremen Witterungssituation in beiden Jahren sind zu erkennen.

Trockenstresssymptome der Buche

Die **Absterberate** der Buche in Nordwestdeutschland war bis 2018 bemerkenswert niedrig. Sie betrug in den vier Ländern im langjährigen Mittel 0,05 bzw. 0,06 %. Auch wenn die Anteile abgestorbener Buchen 2019 weiterhin unter 1 % lagen (0,5 % in Niedersachsen und Schleswig-Holstein, 0,3 % in Hessen, 0,2 % in Sachsen-Anhalt) bedeutet dies für Niedersachsen und für Schleswig-Holstein eine etwa 10-fache Steigerung der Absterberate. Es wird deutlich, dass ein mehrjähriges Aufeinanderfolgen von Jahren mit extremer Witterung auch bei der bisher an die mitteleuropäischen Bedingungen besonders gut angepassten Buche zu Risiken führt.

Spezielle Parameter der Waldzustandserhebung ermöglichen es, die Reaktionen der Baumarten auf Trockenstress näher zu betrachten. Zu unterscheiden sind Indikatoren, die eher unmittelbar auf äußere Belastungen wie Trockenstress reagieren und andere, die in typischer Weise erst zeitlich verzögert Veränderungen erkennen lassen.

Zu der ersten Gruppe zählen beispielsweise eingerollte Blätter und vorzeitiger Blattfall aber auch Vergilbungen von Nadeln und Blättern sowie Verbräunungen von Nadeln. In mehrjährige Abläufe des Witterungsverlaufes eingebunden sind dagegen insbesondere die Merkmale Fruktifikation und Kleinblättrigkeit.

Laubbaumarten schützen sich vor zu hoher Wasserabgabe nicht nur durch eine Regulierung der Spaltöffnungen. Anpassungsmöglichkeiten bei zu hoher Verdunstung be-

stehen auch durch ein **Einrollen der Blätter**. Eingerollte Blätter zeigen sich in Phasen der Trockenheit häufig bei der Buche, seltener bei Eiche. Aber auch einige seltenere Baumarten (z. B. Ahorn, Hainbuche) vermögen diese Anpassungsstrategie zu leisten.

2018 und 2019 war die Ausprägung dieses Merkmals ähnlich häufig. 2019 zeigten 67 % der Buchen in Hessen und 62 % der Buchen in Niedersachsen dieses Merkmal. In Sachsen-

Von strukturellen Störungen betroffene Waldfläche in Nordwestdeutschland

Land	Langjähriges Mittel (%)	2018 (%)	2019 (%)
Hessen	2,3	2,3	8,2
Niedersachsen	0,9	4,8	3,5
Sachsen-Anhalt	1,4	5,6	6,0
Schleswig-Holstein	0,8	1,3	1,5

Auswirkungen der Stürme und der Dürre 2018/2019 auf die Vitalität der Wälder in Nordwestdeutschland



Eingerolltes Buchenblatt

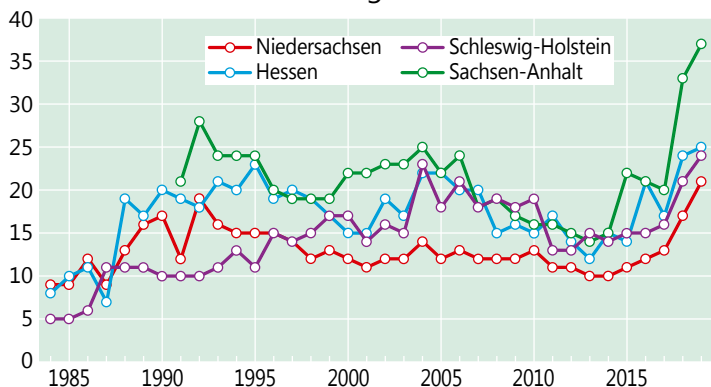


Buchenblatt ohne Trockenstress
Fotos: J. Weymar

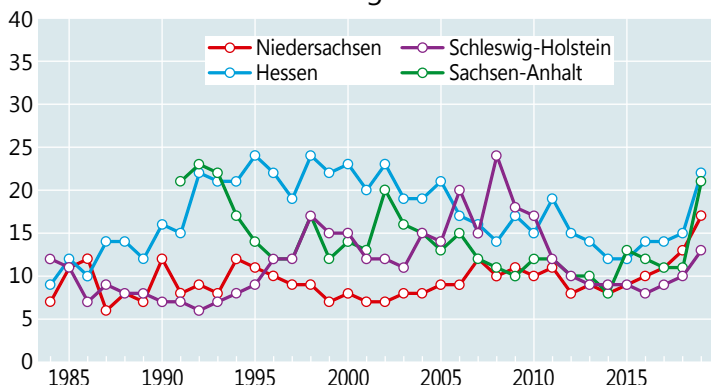
Anhalt, wo die Trockenheit am stärksten ausgebildet war, waren 2019 eingerollte Blätter besonders weit verbreitet (82 %). Im weniger stark durch Trockenheit belasteten Schleswig-Holstein war der Anteil von Buchen mit eingerollten Blättern dagegen deutlich geringer (16 %). Bei Eiche und anderen Laubbaumarten bestand ein Maximum in 2018.

Je höher ein Blatt in der Baumkrone angesiedelt ist, umso ungünstiger sind in der Regel die Bedingungen des Wasserhaushalts. Die sehr gut an Verdunstungsstress angepassten Lichtblätter sind für die Oberkronen von Buchen typisch. Große Schattenblätter in unteren Kronenbereichen sind weniger gut an ungünstige Wasserbedingungen angepasst. Sie können die Verdunstung bei knappem Wasserangebot kaum einschränken. Die Ausbildung von Licht- und/oder Schattenblättern in einer Buchenkrone ist vor allem als Anpassung an den Wasserhaushalt der Bäume zu verstehen. Diese Differenzierung der Blätter ist bei Buche häufiger als

Andere Laubbäume (alle Alter)
mittlere Kronenverlichtung in %



Andere Nadelbäume (alle Alter)
mittlere Kronenverlichtung in %



bei anderen Laubbaumarten und sichert eine gute Anpassungsfähigkeit an wechselnde Bedingungen des Licht- und Wasserhaushalts.

Mit der verstärkten Ausbildung von **Kleinblättrigkeit** erfolgt eine effiziente Anpassung an Standorte bzw. Jahre mit ungünstiger Wasserversorgung. Dem steht aber auch ein geringeres Wachstum gegenüber.

In Hessen, Niedersachsen und Schleswig-Holstein trat 2019 Kleinblättrigkeit an 20 bis 30 % der Buchen auf. Auch dieses trockenstressanzeigende Merkmal trat in Sachsen-Anhalt häufiger auf. 2019 wurde hier bei der Buche ein sehr hoher Wert von 41 % erreicht. 2018 war die Kleinblättrigkeit geringer. Wie erwartet tritt Kleinblättrigkeit zeitversetzt auf, da die Knospen für die Blätter im Vorjahr ausgebildet werden.

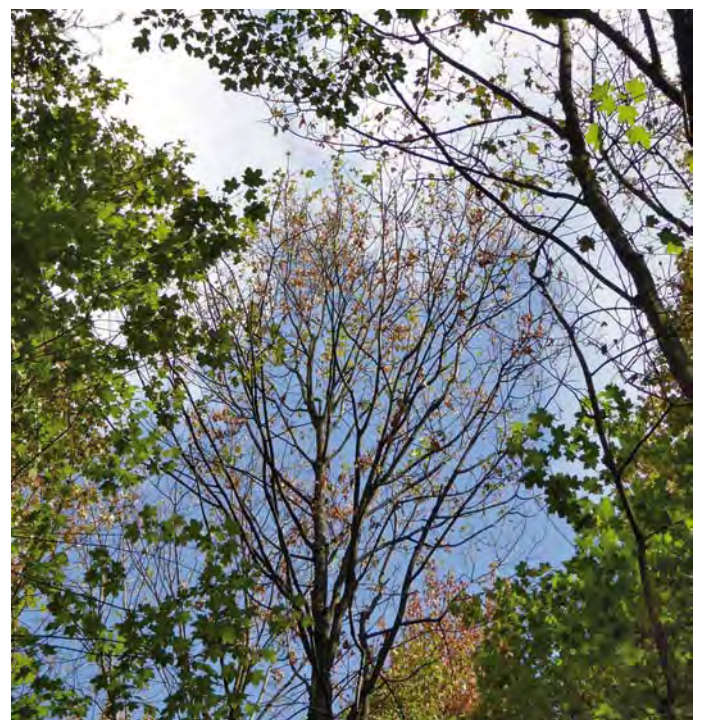
Reaktionen weiterer Baumarten

Die extreme Witterungssituation mit zwei aufeinander folgenden Dürresommern führte auch zu Trockenstress bei einigen anderen Baumarten. Für diese selteneren Baumarten lässt ein Vergleich über Ländergrenzen hinweg Rückschlüsse zu.

In allen vier Ländern erreichte die mittlere Kronenverlichtung für die Gruppe der anderen Laubbäume, zu denen u. a. Birke, Erle, Esche und Ahorn gehören, 2019 den Höchstwert in der Zeitreihe der Waldzustandserhebung (Abb. links oben). Auch hier zeigt sich die besondere Belastung der Wälder in Sachsen-Anhalt.

Bei den anderen Nadelbäumen, zu denen u. a. Lärche und Douglasie gehören, weicht die mittlere Kronenverlichtung nicht so deutlich von den Vorjahren ab (Abb. links unten). Die Baumarten reagierten unterschiedlich auf den Wassermangel.

In Hessen, Niedersachsen und Sachsen-Anhalt war die mittlere Kronenverlichtung für den **Bergahorn** 2018 und 2019 höher als im Mittel der Zeitreihe, in Schleswig-Holstein dagegen durchschnittlich.



Kronenschäden bei Ahorn

Foto: R. Maus

Auswirkungen der Stürme und der Dürre 2018/2019 auf die Vitalität der Wälder in Nordwestdeutschland



Absterbende Birken

Foto: J. Weymar

Birken in Niedersachsen, Sachsen-Anhalt und Schleswig-Holstein zeigten 2019 Höchstwerte sowohl der mittleren Kronenverlichtung als auch der Absterberate. In Hessen blieben die Werte hingegen durchschnittlich.

Auch bei der **Hainbuche** wurden in Sachsen-Anhalt ungewöhnlich hohe Verlichtungswerte festgestellt, für Hessen lag 2019 der zweithöchste Wert der Zeitreihe vor.

Besonders auffallend ist die Situation der **Esche** in Schleswig-Holstein. Die mittlere Kronenverlichtung ist seit 2004 angestiegen, zeitlich verzögert stieg ab 2010 die Absterberate. Hier zeigt sich die besondere Belastung der Esche

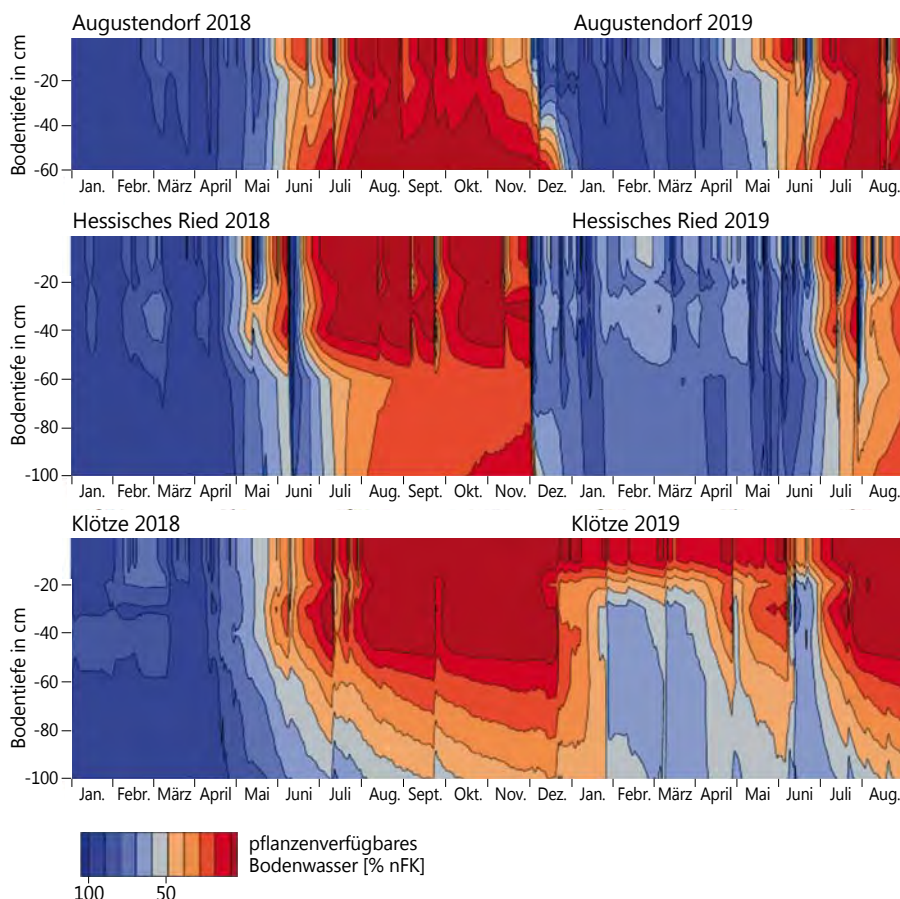
durch das Eschentriebsterben. In Sachsen-Anhalt war kein eindeutiger Trend bei der mittleren Kronenverlichtung der Esche abzulesen. Die Absterberate war 2019 jedoch erhöht. Bei der **Europäischen Lärche** fallen 2019 in Hessen, Niedersachsen und Sachsen-Anhalt die höchsten Absterberaten im Beobachtungszeitraum auf.

Bei der **Douglasie** wurden in Hessen, Niedersachsen und Schleswig-Holstein im Vergleich zur Fichte relativ niedrige Verlichtungswerte in der Zeitreihe ermittelt. 2018/2019 war in Niedersachsen und Schleswig-Holstein die Verlichtung überdurchschnittlich hoch, in Hessen dagegen lag sie auf dem Niveau der Vorjahre.

Wachstum und Bodenfeuchte auf Standorten des Intensiven Monitorings

Ein wesentliches Merkmal der Vitalität ist das Wachstum der Bäume. Die Wirkung der Witterung auf den Zuwachs der Bäume lässt sich besonders gut anhand der Bodenfeuchte beurteilen, da Bäume ihren Wasserbedarf mittels ihres Wurzelsystems aus dem im Boden gespeicherten Wasser decken. Exemplarisch wird für drei Standorte des Intensiven Umweltmonitorings (Level II) die Entwicklung der Bodenwasserverfügbarkeit von Januar 2018 bis August 2019 und deren unmittelbare Wirkung auf das Baumwachstum betrachtet. In Anlehnung an die Kartendarstellungen in der Abb. Seite 22 wird dabei die Bodenfeuchte als relativer Anteil an dem maximal pflanzenverfügbaren Bodenwasser (nutzbare Feldkapazität nFK) für die oberen 60 bzw. 100 cm der Böden dargestellt. Die Größenordnung der nFK variiert aufgrund der Bodenverhältnisse zwischen den Standorten. In Augustendorf (Niedersachsen) und Klötze (Sachsen-Anhalt) werden aufgrund des hohen Sandanteils bezogen auf 1 m Profiltiefe nur 101 bzw. 112 mm erreicht, auf der Fläche im Hessischen Ried infolge höherer Schluff- und Tongehalte dagegen 168 mm.

Entwicklung der Bodenfeuchte (Januar 2018 bis August 2019) auf ausgewählten Flächen des Intensiven Monitorings



Entwicklung der Bodenfeuchte

Während zu Beginn der Vegetationszeit Anfang April 2018 auf allen drei Standorten die Bodenwasserspeicher fast vollständig aufgefüllt waren, stellt sich zu Beginn der Vegetationszeit 2019 die Situation sehr unterschiedlich dar (Abb. links). In Augustendorf wurde mit knapp 90 % der Bodenwasserspeicher erneut fast vollständig aufgefüllt. Im Hessischen Ried hingegen wurden bis 1 m Bodentiefe nur rund 75 % der nFK erreicht und in Klötze sogar nur 55 %.

Die Bodenfeuchtemessungen an diesen Standorten bestätigen das regionale Muster der Bodenwasserverfügbarkeit (nFK WRe in der Abb. Seite 22), wonach u. a. in den tieferen Lagen Südhessens, insbesondere jedoch in weiten Teilen Sachsen-Anhalts die Winterniederschläge nicht ausreichen, um die infolge der extremen Witterung 2018 entstandene lang anhaltende und tiefgründige Bodenaustrocknung kompensieren zu können. Obwohl die

Auswirkungen der Stürme und der Dürre 2018/2019 auf die Vitalität der Wälder in Nordwestdeutschland

Witterung in der Vegetationszeit bis August 2019 deutlich weniger extrem verlief als im Vergleichszeitraum des Vorjahres, führte die vielerorts unzureichende Wiederbefeuchtung der Böden zu einer ähnlich frühen und intensiven Austrocknung.

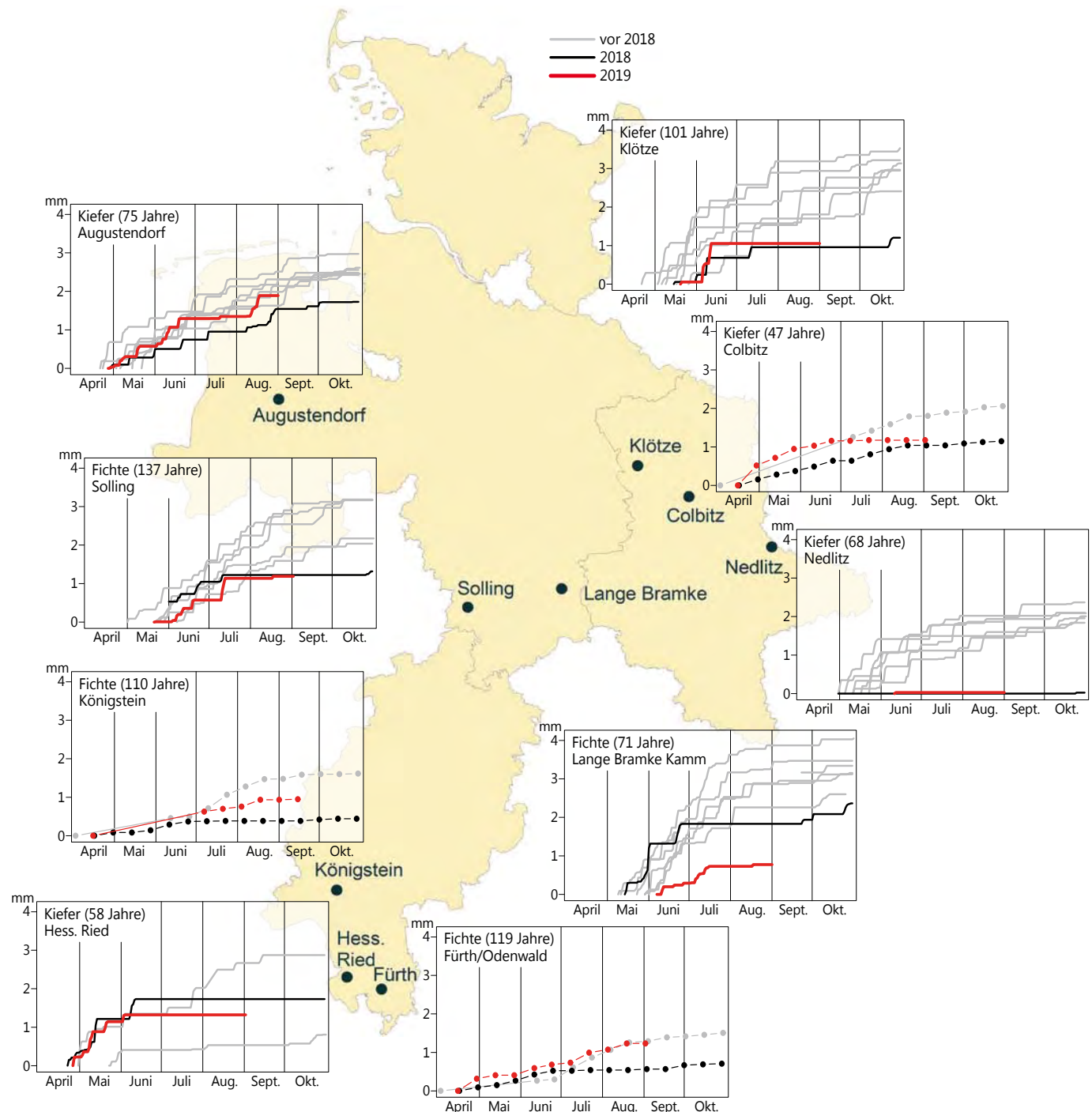
Zuwachs 2018 und 2019

Für 19 Flächen des Intensiven Umweltmonitorings (Level II) wird das mittlere Dickenwachstum ausgewählter Baumstämme der Hauptbaumarten im Jahr 2019 dem der Vorjahre gegenübergestellt. Die Messung erfolgte in 1,3 m Höhe

und wird als Radialzuwachs in Millimeter (mm) angegeben. Von 11 Flächen liegen hochauflösende Dendrometerdaten vor, von weiteren acht Flächen 14-tägige Ablesungen der Dauerumfangmessbänder.

Das Radialwachstum der **Fichten** (Abb. unten) begann 2019 in Fürth (Odenwald) bereits Ende April, im Solling und der Langen Bramke (Harz) Ende Mai bzw. Anfang Juni. Während das Wachstum der Fichte 2018 zunächst durch einen durchschnittlichen Verlauf gekennzeichnet war, stellten die Bestände trockenheitsbedingt ihr Wachstum im Hochsommer zeitig ein. Dies führte zum insgesamt niedrigsten Radialzuwachs der vergangenen Jahre. 2019 war auf den Flächen

Jährlicher Verlauf des Radialzuwachses (mm) auf ausgewählten Fichten- und Kiefernflächen des Intensiven Monitorings



Auswirkungen der Stürme und der Dürre 2018/2019 auf die Vitalität der Wälder in Nordwestdeutschland

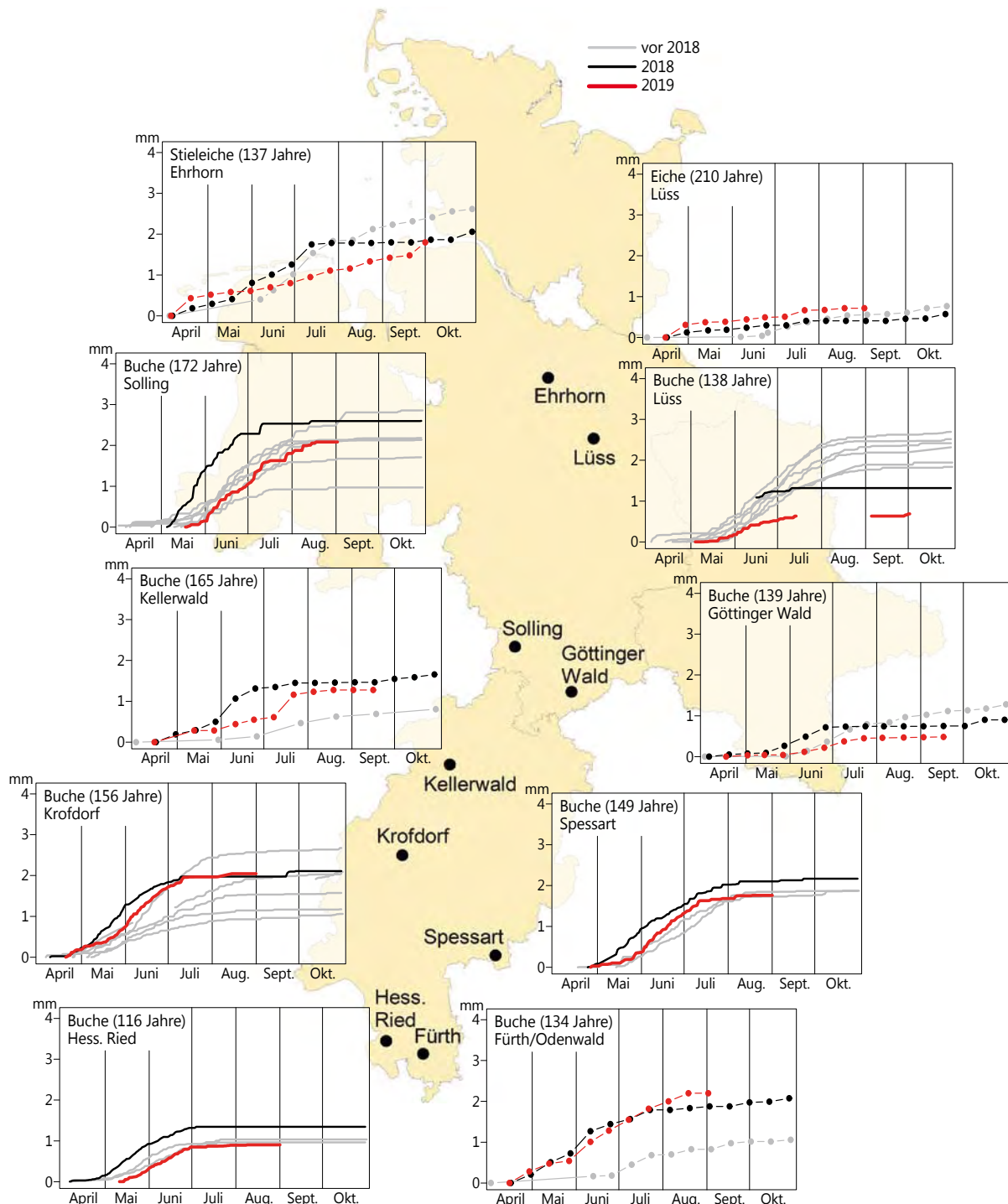
Solling und Lange Bramke (Niedersachsen) von Beginn an ein sehr geringer Zuwachs zu beobachten, bereits ab Mitte Juli kam dieser fast vollständig zum Erliegen. Bis Ende August ergab sich für die Fichten im Solling ein ähnlich niedriges Zuwachsniveau wie im Vorjahr, in der Langen Bramke wurde mit einem mittleren Radialzuwachs von nur 0,8 mm die geringe Zuwachsleistung des Vorjahres (1,8 mm) noch einmal drastisch unterschritten.

Auf den Flächen Königstein (Taunus) und Fürth (Odenwald, Hessen) hingegen wuchsen die Fichten 2019 besser als 2018 und stellten das Wachstum erst Mitte August ein. In Fürth war der mittlere Radialzuwachs mit 1,2 mm deutlich höher

als 2018 (0,7 mm), in Königstein lag er mit 0,9 mm zwischen dem Zuwachs der Jahre 2017 und 2018.

Die **Kiefer** in Augustendorf wies im Gegensatz zu den übrigen Flächen 2019 von Beginn an höhere Zuwächse auf als im Vorjahr. Die nahezu vollständige Auffüllung des Bodenwasserspeichers im Winter sowie kurze, aber intensive Niederschlagsereignisse im Juni und August trugen hier dazu bei, dass die Kiefer bis Ende August ein mit den Jahren vor 2018 vergleichbares Zuwachsniveau erreichte (Abb. Seite 28). Der Radialzuwachs der drei Kiefernflächen in Sachsen-Anhalt verlief unterschiedlich, erreichte jedoch bis Ende August 2019 jeweils eine mit 2018 vergleichbare Größen-

Jährlicher Verlauf des Radialzuwachses (mm) auf ausgewählten Buchen- und Eichenflächen des Intensiven Monitorings



Auswirkungen der Stürme und der Dürre 2018/2019 auf die Vitalität der Wälder in Nordwestdeutschland



Kontinuierliche (Dendrometer) und periodische (Dauerumfangmessband) Zuwachsmessung im Intensiven Monitoring

Foto: J. Weymar

ordnung. Damit waren erneut deutlich niedrigere Zuwächse als in den Vorjahren zu beobachten. In Nedlitz wurde sogar zum zweiten Mal in Folge bis Ende August kein Zuwachs verzeichnet.

Mit insgesamt geringen Zuwächsen und einem Ausbleiben weiterer Zuwächse ab Anfang Juni reagierte die Kiefer im Hessischen Ried, Klötze, Colbitz und Nedlitz unmittelbar auf die unzureichende Auffüllung der Bodenwasserspeicher im Winter und einer daraus resultierenden, erneut sehr frühen und tiefgreifenden Bodenaustrocknung.

Wird eine Phase intensiver Bodenaustrocknung vorübergehend durch ausreichend hohe Niederschläge unterbrochen, ist die Kiefer jedoch auch in der Lage, das Wachstum ebenso unvermittelt wieder aufzunehmen. Nachdem in Klötze bereits Mitte April eine starke Austrocknung des Bodens einsetzte, führte ein starkes Niederschlagsereignis im Juni für einige Wochen zu einer Wiederbefeuchtung des Bodens. Genau in diesem Zeitfenster setzte abrupt ein starker Radialzuwachs der Kiefern von mehr als 1 mm in nur acht Tagen ein.

Hinsichtlich der trockenheitsbedingt geringen oder sogar fehlenden Zuwächse der Kiefer zwischen April und Oktober 2018 ist anzumerken, dass diese Zuwachsdefizite in den nachfolgenden Wintermonaten teilweise kompensiert werden können. Eine solche Verschiebung bzw. Ausdehnung der Zuwachsperiode bis in den Januar hinein wurde auch auf drei der hier untersuchten Flächen beobachtet. In Augustendorf wurde dabei ein Zuwachs von 0,7 mm verzeichnet, in Klötze und Nedlitz betrug dieser sogar 1 mm. In Augustendorf entfielen damit 30 %, in Klötze 45 % und in Nedlitz 100 % des Jahreszuwachses auf die Monate November 2018 bis Januar 2019.

2018 verzeichnete die **Buche** trotz der enormen Sommer-trockenheit meist ungewöhnlich hohe Zuwächse (Abb. Seite 29). Nahezu vollständig aufgefüllte Bodenwasserspeicher in Kombination mit hohen Temperaturen führten zu diesen

vergleichsweise starken Radialzuwächsen. Der ausgeprägten Trockenheit in späteren Monaten kam eine untergeordnete Bedeutung zu, da der Großteil des Radialwachstums der Buche üblicherweise in der ersten Hälfte der Vegetationsperiode erfolgt.

Der Radialzuwachs 2019 entspricht auf sechs der acht Flächen mindestens dem mittleren Wachstum der Vorjahre. Auf zwei von sechs Flächen wird sogar das erhöhte Wachstum von 2018 erreicht. Zwei Flächen (Lüss und Göttinger Wald) bleiben 2019 unter dem Niveau der Vorjahre.

Auf den Flächen Fürth (Odenwald) und Krofdorf lag der Zuwachs 2019 geringfügig höher als 2018, da das Wachstum nicht so früh eingestellt wurde. Ein häufig beschriebenes, um ein Jahr verzögertes Einbrechen des Zuwachses der Buchen nach extremer Trockenheit, ist auf der Mehrzahl der hier untersuchten Flächen nicht zu erkennen. Zu beobachten ist dieser Effekt dagegen für die Standorte Lüss im östlichen Niedersachsen und Göttinger Wald. Nachdem hier bereits 2018 die Zuwachsleistung hinter den Vorjahren zurückblieb, fielen die Zuwächse 2019 noch einmal deutlich geringer aus als im Vorjahr. Ursache für die sehr geringen Zuwächse im Göttinger Wald könnte die Flachgründigkeit des dortigen Kalkstandortes und das damit verbundene Austrocknungsrisiko sowie der hohe Bestockungsgrad der Fläche sein. In Lüss könnten bei ebenfalls hohem Bestockungsgrad die hier vergleichsweise extremen Witterungsbedingungen eine mögliche Erklärung liefern. Das östliche Niedersachsen war



Foto: M. Spielmann

Auswirkungen der Stürme und der Dürre 2018/2019 auf die Vitalität der Wälder in Nordwestdeutschland



Abgestorbene Lärchen

Foto: M. Spielmann

neben Sachsen-Anhalt besonders stark von der Trockenheit 2018 und 2019 betroffen. Auch eine vergleichsweise intensive Fruktifikation, wie sie für die Buchen in Löss sowohl 2018 als auch 2019 registriert wurde, könnte zu einer Verringerung des Radialzuwachses beigetragen haben.

Trotz des zweiten Trockenjahrs in Folge war der Zuwachs der **Eichen** in Löss im Gegensatz zu den Zuwächsen der Buchen dieser Fläche höher als in den Jahren 2017 und 2018. Auf der zweiten Eichenfläche in Ehrhorn (Ostheide, Niedersachsen) lag der Zuwachs bei unterschiedlichem Verlauf Ende September auf dem Niveau von 2018.

Insgesamt zeigte sich bei Fichte und Kiefer 2018 verbreitet nur ein geringer Zuwachs, 2019 war das Wachstum regional sehr unterschiedlich. Die Buche hatte 2018 durchschnittliche bis hohe Zuwächse, 2019 war der Zuwachs – bis auf zwei Flächen in Niedersachsen – durchschnittlich. Der Zuwachs der Eiche zeigte 2018/2019 keine Auffälligkeiten.

Fazit

Die Befunde zeichnen insgesamt für 2018 und 2019 einen vielerorts stark gestörten Waldzustand. Besonders betroffen sind die Wälder in Sachsen-Anhalt, vergleichsweise weniger Störungen finden sich in Schleswig-Holstein. Hervorzuheben ist die ungünstige Situation der Fichte, während die Eiche weniger betroffen erscheint.

- 2018 und 2019 waren durch extreme Witterungsbedingungen geprägt. Ein maßgeblicher, sich gegenseitig verstärkender Einfluss ging von einer Abfolge von Stürmen, Dürrephasen sowie Borkenkäferbefall aus.
- Im Jahr 2018 waren die Böden zu Beginn der Vegetationszeit (Wachstumsphase) besser mit Wasser gefüllt als 2019. Insbesondere in der Vegetationszeit 2018 trat ein extremes Defizit im Verhältnis von Niederschlag und Verdunstung auf; dieses fiel 2019 etwas geringer aus. Besonders ungünstige Werte wurden für Sachsen-Anhalt, das östliche und südliche Niedersachsen sowie für Südhessen ermittelt.

- In beiden Jahren traten in den Wäldern deutlich erhöhte starke Schäden und Absterberaten auf. Hohe Werte wurden für die Fichte festgestellt, insbesondere in Sachsen-Anhalt. Für Buche, Bergahorn, Birke, Hainbuche und Lärche sind Risiken durch ein mehrjähriges Aufeinanderfolgen von Jahren mit extremer Witterung nachzuweisen. Die Ausfallrate war in beiden Jahren deutlich erhöht. Räumlich und zeitlich sind klare Zusammenhänge mit der extremen Witterungssituation zu erkennen.
- Auf Trockenstress von Laubbaumarten weisen eingerollte Blätter und Kleinblättrigkeit hin. Beides kam besonders häufig in Sachsen-Anhalt vor.
- Wachstumsreaktionen auf Flächen des Intensiven Umweltmonitorings zeigten einen deutlichen Zusammenhang zur Entwicklung der Bodenfeuchte und bestätigen grundsätzlich die vorgenannten zeitlichen, regionalen und baumartenbezogenen Muster.
- Bemerkenswert ist die Kiefer in Nedlitz (Sachsen-Anhalt): Zum zweiten Mal in Folge war in der Vegetationszeit kein Durchmesserzuwachs zu verzeichnen, obwohl die Bäume noch leben. Die Baumart Kiefer passt sich an ein knappes Wasserangebot sehr gut an. Dies zeigt sich auch an einer Verlagerung von Wachstumsprozessen in die Wintermonate. Dem stehen allerdings die erhöhten Schäden an der Kiefer in Hessen gegenüber.

Ausblick

Die Erfahrungen aus früheren Dürreperioden legen nahe, dass sich die Störungen in den Wäldern in den kommenden Jahren fortsetzen.

Beim Wiederaufbau klimaangepasster Wälder kann mit der Standortwasserbilanz das Trockenstressrisiko der Baumarten eingeschätzt und ein Beitrag zur Baumartenwahl geleistet werden (s. Seite 36: Wiederbewaldung von Schadflächen in Anpassung an den Klimawandel).



Foto: M. Spielmann

Insekten und Pilze

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

Borkenkäfer

Der extrem heiße, trockene und langandauernde Sommer 2018 beeinträchtigte die Mehrzahl der Fichten- und Lärchenbestände durch starken Trockenstress. Gleichzeitig hatten die für Waldbäume gefährlichen Borkenkäferarten beste Vermehrungsmöglichkeiten. Bereits ab Jahresmitte führten erhebliche personelle Engpässe dazu, dass Aufarbeitung und Abfuhr von Schadholz nicht in dem Umfang gewährleistet werden konnten, wie es für eine Schadensbegrenzung notwendig gewesen wäre. In der Folge wurde bei lang anhaltender Aktivität und Vermehrung von Käfern bis zum Jahresende 2018 ein außerordentlich hohes Schadensausmaß erreicht, wie es in den Trägerländern der NW-FVA seit Jahrzehnten nicht mehr beobachtet wurde. Diese Schadensverläufe traten auch überregional in den anderen Bundesländern und in den Nachbarstaaten auf.

Die Zahl der im Herbst 2018 in Überwinterung gegangenen Borkenkäfer war somit außerordentlich groß. In den Wintermonaten konnten sich die Waldbäume nicht ausreichend vom Trockenstress revitalisieren. Damit lagen bereits zu Beginn der Käfersaison 2019 äußerst ungünstige Ausgangsbedingungen vor. Die ab April 2019 aus der Überwinterung ausschwärmenden, sehr großen Käfermengen trafen auf Fichten und Lärchen mit weiterhin geringer Abwehrkraft. Anders als in anderen Käferjahren kam es so bereits nach den ersten Schwärmflügen zu umfangreichem, frischem Stehendbefall.

Wie im Vorjahr entstand das umfangreichste, durch Borkenkäfer verursachte Schadvolumen durch den **Buchdrucker** (*Ips typographus*). Bereits zur Jahresmitte war erkennbar, dass sich der Befall stärker ausweitete und ungewöhnlich viele Schadflächen und hohe Schadvolumina verursachte. Frischer Stehendbefall trat nicht nur in den ersten Wochen nach Verlassen der Überwinterungsorte auf, sondern das Schwärmen und die Anlage von Bruten zogen sich bis etwa Ende Juni hin. Verantwortlich für dieses über einen langen Zeitraum gestreckte Verhalten der Überwinterer dürfte neben der teilweise wechselhaften Witterung zum einen gewesen sein, dass aufgrund der sehr großen Popula-

tionsdichte häufig Überbesiedlungen von Fichten auftraten und das nachfolgende Ausweichen auf Nachbarbäume zu Geschwisterbruten führte. Zum anderen schafften es unerwartet viele der im Spätherbst 2018 angelegten Bruten einer 3. Generation, den Winter zu überleben und im Frühjahr ihre Entwicklung zum Jungkäfer zu vollenden. Diese Käfer der letztjährigen 3. Generation schwärmten erst sehr spät nach einem Reifungsfraß und haben augenscheinlich oft erst im Juni 2019 frischen Stehendbefall verursacht. Zusammenfassend muss für den Buchdrucker festgestellt werden, dass bereits durch die Überwinterer ein sehr hoher Schaden auftrat. Die ab Ende Juni/Anfang Juli begonnene Besiedlung durch die Jungkäfer der 1. Generation fiel erwartungsgemäß nochmals wesentlich stärker aus. Vor allem im Bergland wurden vielerorts seit Ende Juli neue Brutherde gefunden. Im Zuständigkeitsbereich der NW-FVA ist ein derartiger Schadensumfang durch Buchdrucker seit vielen Jahrzehnten nicht mehr beschrieben worden. Unklar ist Anfang September, ob noch die Anlage einer 3. Generation gelingt. Für wahrscheinlicher wird gehalten, dass die Jungkäfer der 2. Generation ab etwa Mitte/Ende September in die Überwinterung gehen und damit in diesem Jahr keinen weiteren Schaden mehr anrichten.

Im Jahr 2018 hat sich auch der **Kupferstecher** (*Pityogenes chalcographus*) sehr gut vermehren können. Der insgesamt milde Winterverlauf bei geschwächter Fichte ermöglichte auch dem Kupferstecher im Frühjahr 2019 nochmals umfangreichen frischen Befall stehender Fichten. Bereits an Ostern wurde vermehrt Stehendbefall gemeldet, meist ohne Beteiligung des Buchdruckers und in so großen Käfer-



Foto: J. Weymar



Borkenkäferbefall

Foto: NW-FVA, Abteilung Waldschutz

Insekten und Pilze

mengen, dass auch ältere Fichten am ganzen Stamm besiedelt wurden. Dieser Befall um Ostern herum wurde in den folgenden Wochen von den Fichten oftmals ausgeharzt, so dass sich dort kaum Vermehrungsmöglichkeiten ergeben haben. Anders verhält es sich mit späterem Befall durch Kupferstecher, der dann alleine oder zusammen mit dem Buchdrucker erfolgreich Bruten anlegen konnte. Ab Sommer wurde erkennbar, dass zwar eine recht umfangreiche Kupferstecherbrut im späten Frühjahr angelegt wurde, die aber an den meisten Befallsorten nach Schlupf der Jungkäfer keinen nennenswerten neuen Befall verursacht hat.

Bereits 2018 haben **Lärchenborkenkäfer** (*Ips cembrae*) sehr ausgeprägte Schäden an Lärche, sowohl in Reinbeständen als auch in Mischungen, verursacht. Die Hoffnung war, dass dieser Borkenkäfer an den meisten Orten in 2019 bereits wieder an Kraft verliert, so wie es bei sonstigen Massenvermehrungen der Art meist beobachtet wird. Jedoch wurde aus vielen Regionen gemeldet, dass wiederum sehr starke Schäden im Stehenden entstanden sind, was vermutlich den hohen Ausgangsdichten der Käfer und der schlechten Konstitution der Lärchen zum Winterende geschuldet ist. Untersuchungen von diesjährigen Bruten in verschiedenen Regionen deuten vielfach auf gestörte Entwicklungen von Lärchenborkenkäfern hin, so dass die nächste Käfergeneration ab Sommer 2019 an solchen Orten an Kraft verliert. Ebenfalls schon in 2018 traten vermehrt Schadmeldungen in Buche auf, bei denen **Buchenborkenkäfer** und **-prachtkäfer** beteiligt waren. Diese Tendenz verstärkte sich im ersten Halbjahr 2019 nochmals deutlich, teilweise werden bereits flächige Abgänge verzeichnet. In bisher untersuchten Fällen waren Buchenborkenkäfer und -prachtkäfer nicht Auslöser der Absterbeerscheinungen, sondern traten nach Trockenheit oder Pilzerkrankungen als sekundäre Schädlinge auf. Nicht einschätzbar ist zurzeit, ob aufgrund der Prädisposition gestresster Buchen und durch die guten Vermehrungsmöglichkeiten dieser Käferarten Populationsdichten aufgebaut werden, die im weiteren Verlauf primär Schaden verursachen können.

Waldmaikäfer

Im Frühsommer 2019 fanden im Raum Hanau-Wolfgang wiederum Grabungen nach Engerlingen des Waldmaikäfers statt, die gegen Ende Juni planmäßig abgeschlossen werden konnten. Diese Maßnahme ist Bestandteil des langjährigen Monitoringprogramms zum Waldmaikäfer in Südhessen. Bereits während der Grabungen zeigte sich, dass die Engerlingsdichten gegenüber der vorherigen, im Jahr 2015 durchgeführten Grabung auf dem überwiegenden Teil des Untersuchungsgebiets wieder stark ansteigen. Mit entsprechenden Folgeproblemen für die bestehende Vegetation und insbesondere für Kulturf Flächen ist zu rechnen.

Eichenfraßgesellschaft

In Hessen befinden sich die Populationen des **Kleinen Frostspanners** (*Operophtera brumata* L.) und **Großen Frostspanners** (*Erannis defoliaria* Cl.) in der Latenz. Bereits bei der Überwachung des **Schwammspinners** (*Lymantria dispar* L.) mit Pheromonfallen im Sommer 2018 wurde in Südhessen ein starker Anstieg der Populationsdichte festgestellt, dieser hat sich in 2019 überwiegend fortgesetzt.



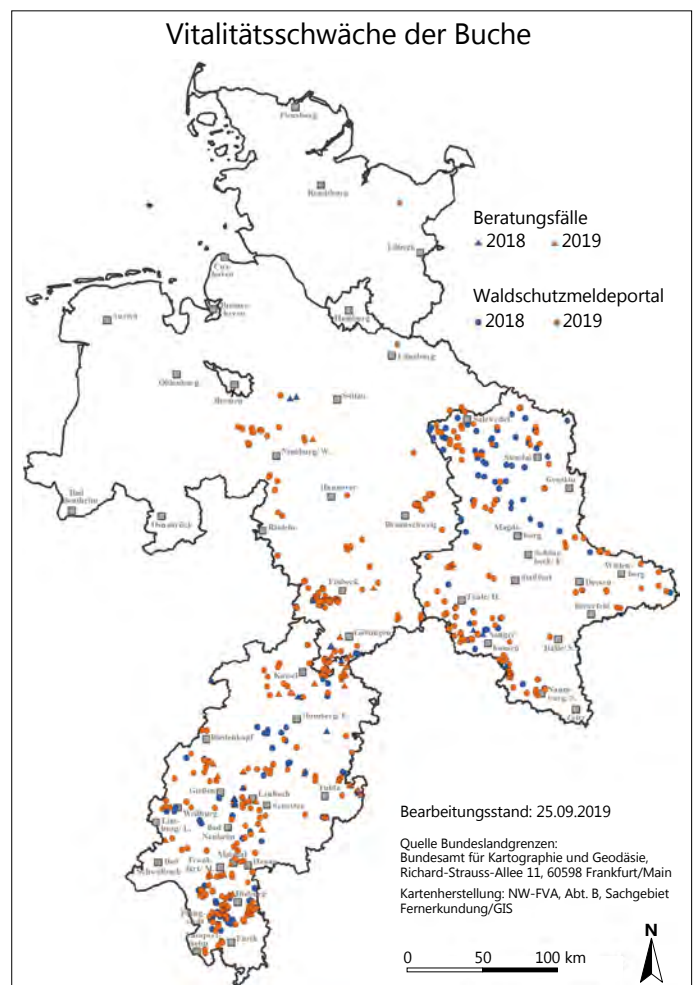
Schwammspinner – Falter und Raupe

Foto: NW-FVA, Abteilung Waldschutz

Aus den Forstämtern Biedenkopf, Bad Schwalbach, Dieburg, Hanau-Wolfgang, Neukirchen, Rüdesheim, Schotten, Wetztenberg, Wetzlar und Wiesbaden-Chausseehaus wurde Fraß durch den **Eichenprozessionsspinner** (*Thaumetopoea processionea* L.) gemeldet.

Komplexe Schäden an Rotbuche

Seit Herbst 2018 wurden teilweise bestandsbedrohende Absterbeerscheinungen bei Rotbuchen beobachtet, die sich der so genannten Buchen-Vitalitätsschwäche zuordnen lassen. Ein wichtiger, auslösender Faktor war die lang anhaltende zu warme Phase vom März 2018 bis zum April 2019,



Aktuelle Schadensmeldungen zur Rotbuche im Zeitraum 01/2018-09/2019

Quellen: Waldschutzmeldeportal der NW-FVA (WSMP) und Beratungsfälle im SG B3 der NW-FVA.

Insekten und Pilze

die durch starke Niederschlagsdefizite gekennzeichnet war. Zuerst wurde ein Absterben von älteren Rotbuchen (meist >100-jährig) festgestellt, deren vertrocknete und verbrauchte Blätter den Winter 2018/2019 über in der Krone verblieben waren. Die betroffenen Rotbuchen hatten oft Feinreisigverluste und trieben meist nicht mehr aus. Zu Beginn des Jahres 2019 zeigte sich dann ein Absterben des Stammes von der Krone her sowie ein Auftreten von Schleimflussflecken. Diese Symptome waren mit Rindennekrosen, Rindenrissen und abplatzender Rinde verbunden. Sie ließen sich auf Sonnenbrand und/oder den Befall mit Rindenpilzen, teilweise gefolgt von einem Befall mit Borken- bzw. Prachtkäfern zurückführen. Nachfolgend traten verschiedene Holzfäulepilze auf. Besonders betroffen waren zum einen Rotbuchen, die bereits zuvor unter der Buchen-Vitalitätsschwäche litten. Zum anderen waren Bäume betroffen, die durch ihre Lage z. B. am Südhang, auf Kuppen, am Bestandesrand oder in Bestandesauflichtungen besonders durch die lang anhaltende Hitze, hohe Sonneneinstrahlung und die Niederschlagsdefizite stark in ihrer Vitalität beeinflusst waren. Nach der zu warmen und zu trockenen Witterung im Juni und Juli 2019 waren nahezu alle Altersklassen und zunehmend auch Bäume betroffen, die in günstigeren Lagen stockten, z. B. auf leichten Nordhängen auf Muschelkalk oder anderen gut nährstoffversorgten Böden, in Beständen, die an gute Wasserversorgung gewöhnt waren und trocken fielen oder vorgeschädigte Einzelbäume in geschlossenen Beständen. Gegenüber früheren Beobachtungen, die das Schadbild der so genannten Buchen-Vitalitätsschwäche beschreiben, traten aktuell neben *Neonectria coccinea* und Folgepilzen oder dem Spaltblättling zusätzliche pilzliche Schaderreger auf, z. B. *Botryosphaeria stevensii* (*Diplodia mutila*), *Botryosphaeria corticola* (*Diplodia corticola*) und *Botryosphaeria dothidea* (*Fusicoccum aesculi*).



Biscognauxia nummularia, Hauptfrucht

Foto: NW-FVA, Abteilung Waldschutz



Rußrindenerkrankung

Foto: NW-FVA, Abteilung Waldschutz

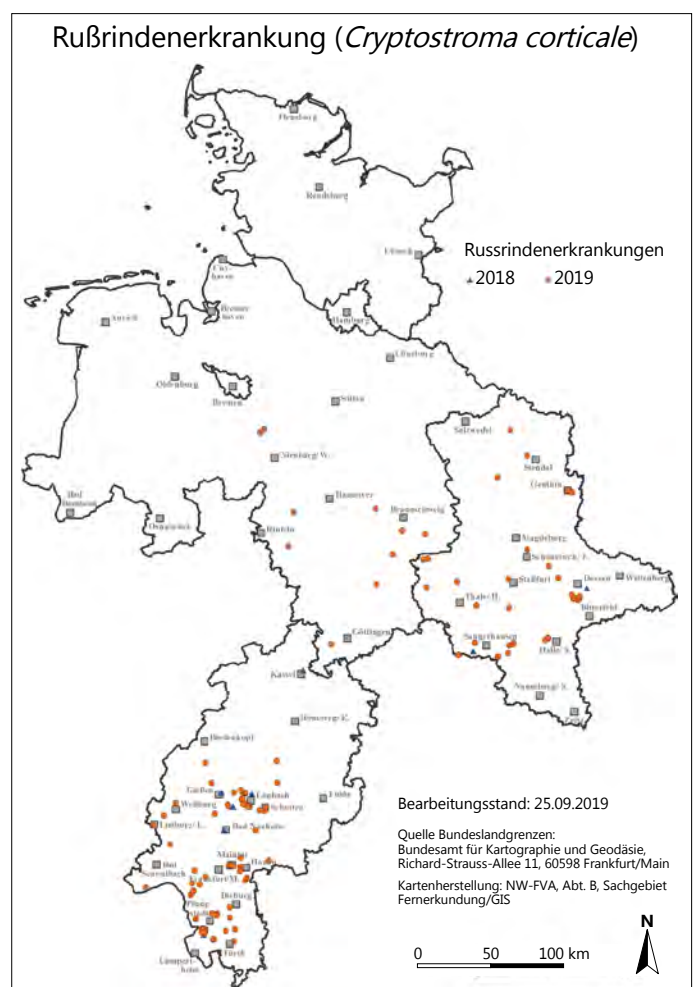
Besonders auffällig war der teilweise sehr schnelle Schadensfortschritt, der oft mit dem Wachstum des wärmeliebenden Holzfäuleerregers *Biscognauxia nummularia* (Münzenförmige Kohlenbeere) verbunden war. Dieser Schlauchpilz kann endophytisch unbemerkt im Bast und Splint von gesunden Bäumen leben, ohne Symptome hervorzurufen. Erst wenn der Wirtsbaum z. B. unter Trockenstress leidet, kann dieser Pilz in seine schwächeparasitische Lebensphase übergehen.

Eschentriebsterben (ETS)

Das Eschentriebsterben (Erreger: *Hymenoscyphus fraxineus*) wird in Europa auf großer Fläche beobachtet. *H. fraxineus* ist ein aggressives und höchst erfolgreiches, invasives Pathogen, das sich nach seiner Einschleppung in Mitteleuropa schnell verbreitete und schwerwiegende Folgen für die heimischen Eschen-Populationen hervorgerufen hat. Es führt örtlich im Zuständigkeitsbereich der NW-FVA zur Auflösung von Bestandesteilen und zum Absterben von Eschen. Die hohen Temperaturen in den vorangegangenen Monaten haben in einigen Beständen zur Verlangsamung des Schadensfortschritts und Verringerung der Neuinfektionen geführt.

Rußrindenerkrankung des Ahorns

Als Folge des trockenen Sommers 2018 und der lang anhaltenden zu warmen Phase vom März 2018 bis zum April 2019, die durch Niederschlagsdefizite gekennzeichnet war, kam es vermehrt zum Auftreten der Rußrindenerkrankung an Ahorn. Verursacht wird diese Erkrankung durch den ursprünglich in



Schadensfälle an Ahorn mit der Rußrindenerkrankung in den Trägerländern der NW-FVA

Insekten und Pilze



Kiefertriebsterben

Foto: E. Langer

Nordamerika beheimateten, invasiven Schlauchpilz *Cryptostroma corticale*. Die Rußrindenkrankheit trat in erster Linie beim Bergahorn (*Acer pseudoplatanus*) auf.

C. corticale scheint ein Profiteur der warmen Witterung zu sein, da er dann in den Geweben seiner Wirte schneller wachsen kann als bei niedrigeren Temperaturen. Zudem breitet er sich schneller in seinem Wirtsbaum aus, wenn dieser unter Wassermangel leidet (Dickenson und Wheeler 1981).

Diplodia-Triebsterben der Kiefer

Der wärmeliebende Pilz *Sphaeropsis sapinea* (Synonym: *Diplodia sapinea*) tritt seit einigen Jahren verstärkt auf. Es ist davon auszugehen, dass dieser Pilz endophytisch in allen Kiefernbeständen des Zuständigkeitsbereichs der NW-FVA vorkommt. Schaden löst er erst aus, wenn der Pilz bei vorgeschädigten oder geschwächten Wirtspflanzen in seine parasitische Phase übergeht und das *Diplodia*-Triebsterben verursacht. Prädisponierend bzw. schadensverstärkend wirkte sich der Befall mit der Kiefernmistel aus. Trockenstress entstand zudem auf flachgründigen, südexponierten Standorten oder in Kuppenlagen. Die anhaltenden Wärmephasen in den letzten vorangegangenen, milden Wintern trugen ebenfalls zu einer physiologischen Schwächung der Kiefer bei.

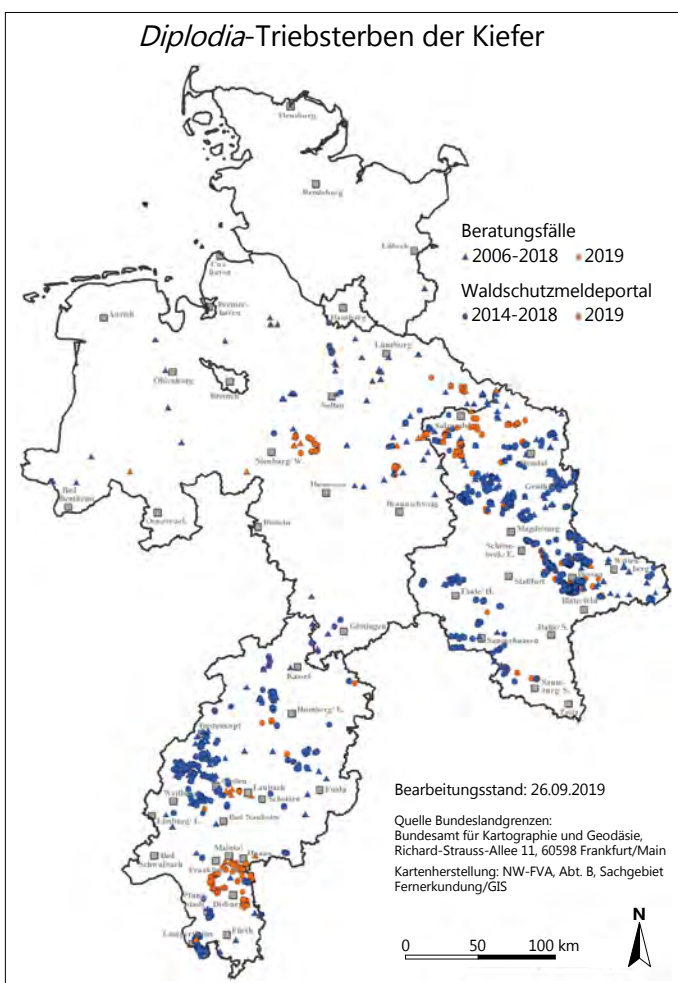
Tannen-Rindennekrose

Die komplexe Erkrankung der Tannen-Rindennekrose, die seit dem Frühjahr 2017 regional im Zuständigkeitsbereich der NW-FVA beobachtet wird, ist noch nicht zum Stillstand gekommen. Auslösende Faktoren dieser Erkrankung waren die Witterungsbedingungen sowie ein Befall mit (Stamm-) Läusen (in der Regel *Adelges piceae*) und nachfolgendem Befall mit dem Mikropilz *Neonectria neomacrospora*. Erkrankte Bäume (*Abies alba* und *A. grandis*) der letzten Jahre sind weiterhin betroffen und fallen durch abnehmende Vitalität auf oder starben teilweise ab.



Tannen-Rindennekrose

Foto: G. Langer



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

Wiederbewaldung von Schadflächen in Anpassung an den Klimawandel

Ralf-Volker Nagel

Ausgangslage 2019

Die Witterungsextreme der Jahre 2018 und 2019, beginnend mit dem Wintersturm „Friederike“ und einer darauf folgenden Dürre, die sich in weiten Teilen des Zuständigkeitsbereiches der NW-FVA auf das Jahr 2019 ausdehnte, führte zu bisher noch nicht zu ermessenden Schäden an unseren Waldbeständen. Gerade in besonders stark von den Schäden betroffenen Regionen und Revieren sucht man nach Orientierung und fachlichen Anhaltspunkten, wie unter diesen schwierigen Bedingungen eine bessere Anpassung unserer Wälder an die Herausforderungen der Zukunft gelingen kann. Solange die Schadursachen wie Borkenkäferflug und Dürre anhalten, besitzt zunächst weiter die Begrenzung der Schäden die höchste Priorität. Dazu werden alle Maßnahmen zur Eindämmung des aktuellen Schadgeschehens unter Einbeziehung fachlicher Unterstützung der Abteilung Waldschutz der NW-FVA ergriffen. Möglichst präzise Schadensmeldungen im Waldschutzmeldeportal unterstützen die Abteilung Waldschutz dabei. Parallel zu den großen Anstrengungen um Schadensbegrenzung laufen die Planungen der Wiederbewaldung an. In den Regionen mit schweren bestandesweisen Verlusten sind aktuelle Luftbilder als Planungsgrundlage zur Größenbestimmung und Abgrenzung der betroffenen Standorte nahezu unentbehrlich.

Durch den großen Umfang wird sich die Wiederbewaldung an klaren Prioritäten orientieren müssen und zwangsläufig mehrere Jahre in Anspruch nehmen. Im Gegensatz zu einem längerfristigen Waldumbau unter dem Altbestandschirm herrschen auf den entstandenen Freiflächen extreme klimatische Bedingungen mit starker Austrocknung und Verdunstung durch ungehinderte Sonneneinstrahlung und Wind, aber auch durch eine hohe Spätfrostgefahr. Diese Bedingungen diktieren das waldbauliche Vorgehen. Neben der teilflächigen Bepflanzung mit standortsgemäßen, an Freiflächenbedingungen besser angepassten Baumarten wie Trauben- und Stieleiche, Roteiche, Lärche und Douglasie werden standortsgemäße Naturverjüngungspotenziale ebenso einbezogen wie ein Vorwald aus Pionierbaumarten. Dessen Schutz wird für die spätere Etablierung frost- und strahlungsempfindlicher Schattbaumarten wie Rotbuche und Weißtanne genutzt.

Entscheidungshilfen zur Klimaanpassung

Zur Einbeziehung des Klimawandels in die Planungen der Wiederbewaldung besteht ein akuter Bedarf an Entscheidungshilfen, um grobe Fehler hinsichtlich der zukünftigen Standortseignung, insbesondere der zu begründenden Hauptbaumarten, zu vermeiden. Höhere Temperaturen bei gleichbleibenden oder abnehmenden Niederschlägen und eine ungleichmäßige Niederschlagsverteilung (Dürreperioden und Starkregen) führen zu einem deutlich erhöhten Verdunstungsanspruch der Waldbäume und verursachen Trockenstress.

Als Entscheidungsgrundlage, die das berücksichtigt, erarbeitet die NW-FVA für alle Bundesländer ihres Zuständigkeitsbereiches Kartendarstellungen der künftig erwarteten so genannten Standortwasserbilanzen der Waldstandorte. Die Standortwasserbilanz berücksichtigt eine künftig stark



Auf den entstandenen Blößen herrschen extreme klimatische Bedingungen für die Wiederbewaldung
Foto: J. Weymar

gesteigerte Verdunstung über die so genannte Klimatische Wasserbilanz in der Vegetationszeit (KWB). Diese Kenngröße drückt das Verhältnis zwischen Verdunstungsanspruch und zur Verfügung stehenden Niederschlägen während der künftig zudem verlängerten Vegetationszeit aus. Zu ihrer Abschätzung dienen Projektionen eines globalen Klimamodells (ECHAM6) für ein pessimistisches, derzeit aber wahrscheinliches Klimaszenario (RCP 8.5) für den Zeitraum 2041-2070. Ein zu Vegetationszeitbeginn aufgefüllter Bodenwasserspeicher kann akute Wasserdefizite zu einem gewissen, nach Standortsgüte unterschiedlichen Maß ausgleichen. Das für die Waldbäume verfügbare „Speichervolumen“ des Bodens wird durch die so genannte nutzbare Feldkapazität (nFK) ausgedrückt. Sie hängt v. a. von der Körnung, der Gründigkeit und dem Skelettanteil des Bodens ab. Die beste Basis für ihre Abschätzung bildet die forstliche Standortkartierung. Für eine flächendeckende Bestimmung mit hoher Genauigkeit sind wissenschaftliche Berechnungen erforderlich, die die Vielzahl detailliert aufgenommenen Bodenprofile der Standortkartierung nutzen.

Aus der Summe von Klimatischer Wasserbilanz und nutzbarer Feldkapazität ergibt sich schließlich die zur Klassifizierung der künftigen Trockenstressgefährdung grund- und stauwasserfreier Waldstandorte genutzte Standortwasserbilanz (SWB). Als Indikator für die künftige Trockenstressgefährdung der Waldstandorte wird sie in 50 mm-Stufen kartenmäßig dargestellt.

Wiederbewaldung von Schädflächen in Anpassung an den Klimawandel

Klassifizierung des Trockenstressrisikos der Hauptbaumarten und zugeordneter Nebenbaumarten im Anhalt an die Standortwasserbilanz (Summe aus Klimatischer Wasserbilanz in der Vegetationszeit (Grasreferenz) und nutzbarer Feldkapazität (nFK))

Trockenstress- risiko	Fichte Roterle* Moorbirke*	Buche Weißtanne Japanlärche Bergulme Schwarznuß	Eiche/ Douglasie Roteiche Ahornarten Esche Hainbuche Linde Europ. Lärche Küstentanne	Kiefer Sandbirke Schwarzkiefer
gering	> 0 mm	> -50 mm	> -150 mm	> -200 mm
mittel	0 bis -80 mm	-50 bis -100 mm	-150 bis -350 mm	-200 bis -450 mm
hoch	< -80 mm	< -100 mm	< -350 mm	< -450 mm

*benötigen hoch anstehendes Grundwasser

Die Baumarten weisen eine unterschiedliche Trockenheitstoleranz auf und sind deshalb nicht gleichermaßen von Trockenstress betroffen. Die Tabelle oben teilt die Baumarten deshalb in Gruppen mit unterschiedlichen Schwellenwerten für die Erwartung einer geringen, mittleren und hohen Trockenstressgefährdung ein.

Die Baumartenzuordnungen beruhen auf Literatúrauswertungen und Expertenwissen. Die Trockenstress-Risikostufen der Standortwasserbilanz bewerten die Vitalität, Widerstandsfähigkeit und Leistungsfähigkeit der Baumarten, stellen jedoch auch bei hoher Gefährdung keine absolute Existenz- oder Verbreitungsgrenze dar. Eine Baumart mit einem hohen Trockenstressrisiko scheidet auf dem betroffenen Standort als führende Baumart aus. Waldentwicklungsziele bzw. Bestandeszieltypen mit dieser Baumart als Hauptbaumart sind hier demzufolge nicht mehr umzusetzen. Solange die Standortwasserbilanz für die Baumart innerhalb eines mittleren Risikos liegt, kann sie jedoch auf dem gegebenen Standort Mischbaumart bleiben und vorhandene Vorverjüngung wird in die künftige Waldentwicklung einbezogen.

Baumartalternativen

Angesichts der aktuellen Waldschäden und der künftig erwarteten Häufung extremer Witterungsereignisse wie Dürreperioden wird in der forstlichen Praxis die Notwendigkeit zur Erweiterung der zur Verfügung stehenden Baumartenpalette breiter denn je diskutiert. Dabei rücken Baumarten in den Fokus, für die das forstliche Versuchswesen bei weitem nicht über die gleiche Wissens- und Erfahrungsbasis verfügt wie für die wenigen bisher als anbauwürdig identifizierten eingeführten Arten Douglasie, Küstentanne, Japanlärche und Roteiche. Die Einführung und die breitere praktische Verwendung bisher wenig erforschter Baumarten birgt neben

Chancen auch erhebliche Risiken von Fehlschlägen und möglicherweise sogar Gefahren für die heimischen Waldökosysteme, wie das Beispiel der Spätblühenden Traubekirsche (*Prunus serotina*) zeigt. Für das forstliche Versuchswesen ergibt sich daraus die zwingende Notwendigkeit, die Wissensbasis über wichtige, derzeit als erfolgversprechend angesehene Baumarten schnell und umfassend unter Prüfung der Kriterien der Anbauwürdigkeit und ökologischen Zuträglichkeit zu erweitern. Für einen Teil der Baumarten kann dazu auf Anbauversuche zurückgegriffen werden, die mittlerweile ein Alter erreicht haben, das eine aussagekräftige Auswertung erlaubt. Dies gilt u. a. für Riesenlebensbaum, Westliche Hemlocktanne, Korsische Schwarzkiefer sowie in geringerem Umfang für Schindelrindige Hickory, Orientbuche und Schwarznuß. Für die anderen Baumarten wie Baumhasel und Altaszeder werden sich die anstehenden Untersuchungen zunächst ausschließlich auf die wissenschaftliche Analyse bereits in Nordwestdeutschland etablierter Vorkommen sowie umfassende Literaturrecherchen stützen müssen. Erste Ergebnisse der dazu anlaufenden Projekte sind Ende 2020 zu erwarten.



Das angestrebte Ziel sind anpassungsfähige, strukturierte Mischbestände unter Einbeziehung standortsgemäßer Naturverjüngung

Foto: M. Spielmann

Weiß-Tanne (*Abies alba*) als Baumart im Klimawandel

Matthias Paul, Aki Michael Höltken, Samuel Schleich,
Matthias Moos und Wilfried Steiner

Ausgangslage

Aufgrund des Klimawandels und der damit verbundenen Folgen für die Waldbewirtschaftung werden an der NW-FVA auch die Möglichkeiten für eine Erweiterung des Baumartenspektrums evaluiert. Dabei geht es um die nachhaltige Sicherstellung aller Waldfunktionen. Neben Fragen der künftigen Nadelholzversorgung stehen auch zunehmend Probleme der ökologischen Stabilisierung und der Walderhaltung im Mittelpunkt der Diskussionen. Eine Baumart, die in diesem Zusammenhang immer wieder in den Fokus rückt, ist die Weiß-Tanne. Aufgrund ihres intensiven Wurzelsystems kann die Weiß-Tanne auf vielen Standorten eine ökologisch und ökonomisch stabilisierende Funktion in unseren Wäldern einnehmen. Im Gegensatz zur Fichte bildet sie eine Pfahlwurzel aus und kann damit Wasser in tieferen Bodenschichten und wechselfeuchte Standorte besser erschließen. Unter anderem wegen dieser Eigenschaft soll die Weiß-Tanne insbesondere dort vermehrt als Mischbaumart eingebracht werden, wo die Fichte aufgrund der Entwicklung der Standortverhältnisse nicht mehr angebaut werden kann.

Nach der Eiszeit war die Weiß-Tanne eine der letzten Baumarten, die in Mitteleuropa eingewandert ist. Eine anthropogene Rückwanderungsunterstützung ist nahezu auszuschließen, da das Saatgut im Gegensatz zu verschiedenen Laubhölzern kaum eine Bedeutung für den Menschen hatte und auch nicht ohne weiteres gewonnen werden konnte (Tegel und Büntgen 2015). Darüber hinaus gibt es Hinweise, dass eine weitere natürliche Ausbreitung der Weiß-Tanne durch anthropogene Einflüsse verhindert wurde (vgl. Tinner et al. 2013).

In Nordwestdeutschland befindet sich die Weiß-Tanne außerhalb ihres natürlichen Verbreitungsgebietes. Wie bei kaum einer anderen Baumart gehen bei der Weiß-Tanne

die Einschätzungen über Potenzial und Anbauwürdigkeit so weit auseinander. Für den Anbauerfolg in Zeiten des Klimawandels ist deshalb eine sachliche, wissenschaftlich gesicherte Einschätzung der Anbauwürdigkeit geboten. Die dringend notwendigen Neuanlagen wissenschaftlicher Feldversuche benötigen aber mindestens 20 bis 30 Jahre für fundierte Anbauempfehlungen. Aufgrund der aktuell schon vorhandenen Schäden in den Wäldern muss nach Möglichkeiten gesucht werden, der Praxis kurzfristig möglichst fundierte Hinweise zum Tannenanbau zur Verfügung stellen zu können. Die jetzt notwendigen Aufforstungen der Schadflächen müssen künftige klimatische Entwicklungen im Fokus haben und Fragen der Standortseignung, der Waldbausysteme und des geeigneten Vermehrungsgutes beachten. Für die Bereitstellung von hochwertigem Vermehrungsgut werden künftig genetische Gesichtspunkte eine entscheidende Rolle spielen, denn es müssen Bestände mit einer hohen Anpassungsfähigkeit unter sich wandelnden Umweltbedingungen etabliert werden.

Evaluierung vorhandener Bestände der Weiß-Tanne und erste Ergebnisse

Seit 2018 werden an der NW-FVA alle verfügbaren Informationen zum Weiß-Tannen-Anbau in Nordwestdeutschland gebündelt und systematisiert. Dazu werden Praxisanbauten berücksichtigt, die i. d. R. über 60 Jahre alt sind. Die Grundannahme besteht darin, dass diese Vorkommen schon erste Anpassungsprozesse an ihren Standorten durchlaufen haben. Im Ergebnis liegen für den Bereich der NW-FVA nun Informationen über ca. 4.000 Vorkommen vitaler und offensichtlich standortsangepasster älterer Weiß-Tannen-Anbauten vor. Diese bilden die Grundlage für weitere Untersuchungen.

Standort: Erste Auswertungen (Schmucker und Boots 2019) zeigen, dass die Bestände zum großen Teil auf Standorten mit guter Wasserversorgung und mittlerer Trophie stocken. Weitere Studien bezüglich geeigneter Standortsamplituden

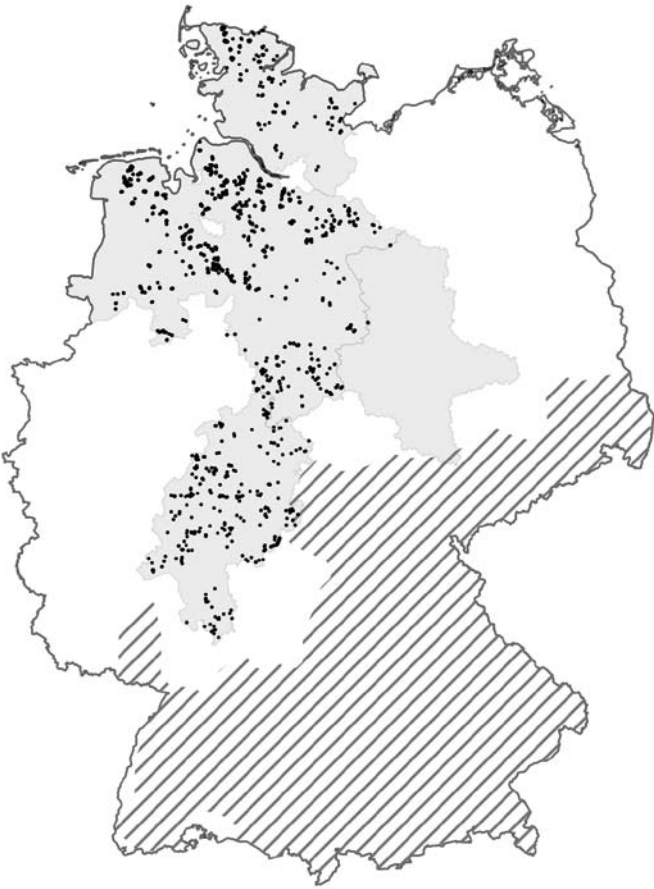


Natürliche Verjüngung der Weiß-Tanne im Mischbestand im südlichen Niedersachsen

Foto: A.M. Höltken

Weiß-Tanne (*Abies alba*) als Baumart im Klimawandel

Natürliches Verbreitungsgebiet der Weiß-Tanne in Deutschland (schraffiert) und erfasste Vorkommen im Bereich der NW-FVA (Punkte); Stand 2019



und der Leistungsfähigkeit stehen noch aus. Dennoch lässt sich bereits jetzt erkennen, dass die Weiß-Tanne auf trockenen Standorten ohne Grundwasseranschluss ihre Anbaugrenzen hat.

Genetik: Gerade bei Baumarten mit langen Generationszyklen kommt der genetischen Vielfalt eine besonders große Bedeutung zu. Denn nur in genetisch vielfältigen Populationen können Nachkommenschaften mit einer Fülle unterschiedlicher genetischer Typen und mit dem notwendigen Anpassungspotenzial erzeugt werden. Genetische Eingengung und Inzuchtdepression führen zu verringerter Vitalität und erhöhten Ausfallraten. Stammt der Bestand von nur einem oder nur wenigen möglicherweise sogar verwandten Mutterbäumen ab, können diese Beeinträchtigungen am Altbestand oft noch nicht beobachtet werden, sondern erst in der Folgegeneration (Llamas-Gomez und Braun 1995). Von besonderer Bedeutung ist auch, aus welchem Refugialgebiet und auf welcher Rückwanderungsrouten die Weiß-Tanne nach der letzten Eiszeit wieder nach Mitteleuropa eingewandert ist. Vorkommen, die über den Ost- und Westalpenweg gekommen sind, zeigen tendenziell eine geringere genetische Vielfalt als dies beim Balkanweg der Fall ist. Mit genetischen Markern kann der Ursprung einzelner Vorkommen geklärt werden (Konnert und Bergmann 1995).

Saatgutbestände: Lokale Tannenvorkommen stellen wertvolle genetische Ressourcen dar. Deshalb wird im Rahmen der Evaluierung auch die Eignung als Forstsaatgutbestand geprüft, um die regionale genetische Vielfalt erhalten bzw. noch weiter zu erhöhen. Saatgutbestände sollten aber keine Beimischungen der Nordmann-Tanne (*A. nordmanniana*) enthalten, da beide Arten miteinander hybridisieren. Da diese Arten bzw. Hybriden in Altbeständen oft nur schwer

Strategie zur Evaluierung vorhandener Saatgutquellen sowie potenzieller Anbauflächen der Weiß-Tanne

Erhaltung und nachhaltige Nutzung vorhandener genetischer Ressourcen

Erfassung vorhandener Vorkommen (Inventuren, Abfrage)

Ökologisch-genetische Analyse (Standorte, Genetik, Herkunft, Behandlung, Historie)

Zulassung als Saatguterntebestand

Aufbau von WTa-Samenplantagen

generative Nachzucht, Saatgut- und Pflanzenproduktion

Qualifizierung des genetischen Potentials, Erweiterung der Anbaufläche

Anbauerfahrungen der Forstpraxis

Provenienz- und Anbauversuche

neue Standorte für den Aufbau, geeignete Quellen für den Saatgutimport

Qualifizierung von Herkunftsempfehlungen, Entwicklung der Anbauempfehlungen

Weiß-Tanne (*Abies alba*) als Baumart im Klimawandel



Altbäume der Weiß-Tanne im Mischbestand

Foto: M. Paul

unterscheidbar sind, können genetische Analysen wichtige Hinweise für eine Zulassung als Saatgutbestand bzw. für eine gezielte Entnahme einzelner Bäume geben.

Herkunftsversuche bei der Weiß-Tanne

Von den im Bereich der NW-FVA angelegten Herkunftsversuchen mit Weiß-Tanne sind zwei niedersächsische Serien besonders interessant. Sie wurden 1981 sowie 1987 angelegt, letztere als Teil eines internationalen Provenienzversuchs der IUFRO (Internationaler Verband Forstlicher Versuchsanstalten) (Eder 1995, Svolba 1995). Bis zum Alter 31 bzw. 25 haben sich insbesondere Herkünfte aus Rumänien und Polen bewährt. Von den deutschen Herkünften hat die Herkunft „Zwiesel“ aus dem Bayerischen Wald am besten abgeschnitten.

Gemeinsam mit anderen forstlichen Versuchsanstalten wurde 2015 eine deutschlandweite Versuchsserie mit deutschen und rumänischen Weiß-Tannen-Herkünften angelegt, darunter auch drei Flächen in Schleswig-Holstein, Hessen und Niedersachsen. Hiervon sind zukünftig weitere Erkenntnisse zu erwarten.

Erfahrungen und Empfehlungen für den Weiß-Tannen-Anbau

Standortswahl: Erkenntnisse zur geeigneten Standortswahl basieren auf Erfahrungen der Forstpraxis. Ein größeres systematisches wissenschaftliches Versuchsflächennetz zur Anbauwürdigkeit der Weiß-Tannen liegt im Bereich der NW-FVA nicht vor. Es ist anzunehmen, dass das für Tanne geeignete Standortsspektrum größer als das aktuelle ist.

Um dies herauszufinden, ist weitere Forschung notwendig. Mit zunehmenden Erkenntnissen können auch die entsprechenden Waldbaurichtlinien und Herkunftsempfehlungen weiter entwickelt werden.

Für eine Einbringung der Weiß-Tanne sollten Bereiche im ökologischen Optimum herangezogen werden. Nach aktueller Erkenntnislage sind dies Standorte mittlerer Trophie mit ganzjährig mittlerer bis guter Wasserversorgung.

Herkunftswahl: Hier bieten die Herkunftsempfehlungen der Länder Entscheidungshilfen. Die guten Ergebnisse ost-europäischer Herkünfte spiegeln sich in den Herkunftsempfehlungen Niedersachsens wider, wo unter anderem Herkünfte aus Polen, Rumänien und der Slowakei empfohlen werden. Samenplantagen mit ihrer tendenziell höheren genetischen Vielfalt werden hier ebenfalls empfohlen.

Grundsätzlich sind immer auch zugelassene örtliche Herkünfte oder bewährte Ersatzherkünfte empfehlenswert. In Zusammenarbeit mit der Abteilung Waldgenressourcen der NW-FVA werden auch Praxisversuche mit bislang ungeprüften Herkünften als kontrollierte Anbauten angelegt.

Bestandesbegründung: Die Weiß-Tanne ist grundsätzlich als Mischbaumart unter Schirm (Frostschutz) einzubringen. Dabei spielen Saaten im Herbst eine besondere Rolle, da sie ein ungestörtes Wurzelwachstum ermöglichen. Dazu sind die notwendigen Saatgutmengen sicherzustellen. Das Pflanzmaterial sollte von ausgezeichneter Qualität sein. In den letzten Jahren haben sich unverschulte zwei- oder dreijährige Sämlinge (2/0 bzw. 3/0) bewährt. Da die Weiß-Tanne gerne vom Wild verbissen wird, ist der Anbau der Weiß-Tanne nur bei angepassten Wildbeständen zu empfehlen.

Fazit

Sicherlich wird die Weiß-Tanne nicht alle forstlichen Probleme des Klimawandels lösen. Aber sie kann eine unter vielen Alternativen für die Zukunft sein. Die Dynamik der Entwicklung erfordert eine noch engere Zusammenarbeit von praxis-orientierter Forschung der NW-FVA mit den Beschäftigten vor Ort. Die Erfahrung aus der Praxis und die wissenschaftlichen Versuchsergebnisse können zusammen eine wichtige Grundlage für künftige Anbauempfehlungen darstellen.



Zapfen der Weiß-Tanne

Foto: M. Paul

Stoffeinträge

Birte Scheler

Nähr- und Schadstoffe werden mit dem Niederschlag in gelöster Form sowie durch den Auskämmeffekt der Baumkronen gas- und partikelförmig in Wälder eingetragen.

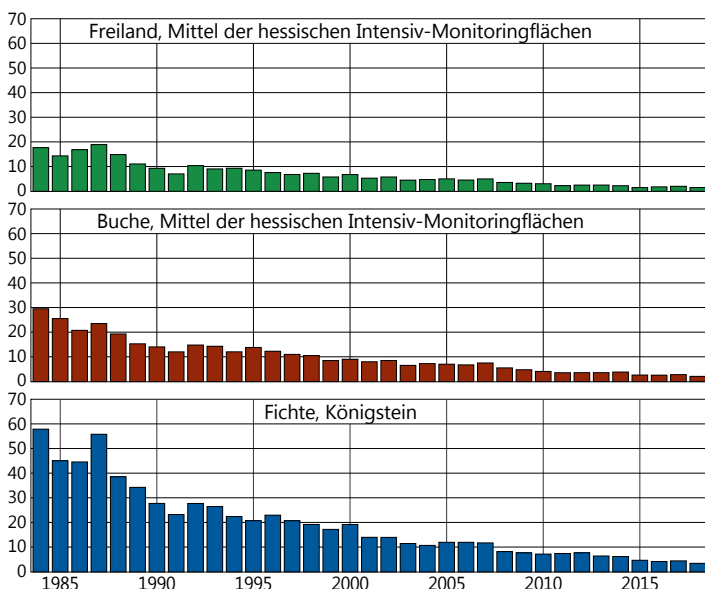
Aufgrund der großen Oberflächen der Kronen ist der atmosphärische Stoffeintrag im Vergleich der Landnutzungsformen in Wälder am höchsten. Diese so genannte Immissionsschutzfunktion des Waldes stellt jedoch für das Ökosystem Wald selbst eine Belastung dar, da Schwefel- und Stickstoffverbindungen (Nitrat und Ammonium) das chemische Bodenmilieu durch Versauerung und Eutrophierung verändern.

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

Aktuell wird der Stoffeintrag im Rahmen des Intensiven Forstlichen Umweltmonitorings in zwei Fichten-, sechs Buchen- sowie einem Kiefernbestand erfasst.

Jeder Bestandesmessfläche (Kronentraufe) ist eine Freifläche (Freilandniederschlag) zugeordnet. In Buchenbeständen wird zur Erfassung des Bestandesniederschlags neben der Kronentraufe auch der bei dieser Baumart quantitativ bedeutsame Stammablauf gemessen. Mittels eines Kronenraumbilanzmodells (Ulrich 1991) werden aus den gemessenen Stoffflüssen Gesamtdpositionsraten berechnet. Die Höhe der Stoffeinträge wird maßgeblich durch Faktoren wie Niederschlagsmenge, -intensität und -verteilung, Windgeschwindigkeit, Baumart, Bestandeshöhe, Kronenrauigkeit oder lokale Emittenten bestimmt. So sind die Stoffeinträge in den niederschlagsreichen Lagen der Mittelgebirge höher als beispielsweise in der Wetterau. Fichten- und Douglasienbestände sind wegen der ganzjährigen und im Vergleich mit Kiefern dichteren Benadelung stärker durch Stoffeinträge belastet als Buchen-, Eichen- und Kiefernbestände. Dieser Baumarteneffekt zeigt sich sehr gut in Fürth im Odenwald, wo eine Fichten- und eine Buchenfläche in unmittelbarer Nachbarschaft und somit unter gleicher Immissionsbelastung und gleichen klimatischen Bedingungen beobachtet werden.

Schwefeleintrag (SO₄-S) in kg je Hektar und Jahr



Level II-Fläche Spessart

Foto: J. Weymar

Niederschlag

2018 war ein besonders niederschlagsarmes Jahr. Im 35-jährigen Zeitraum seit 1984 fiel im Freiland je nach Region nur in zwei bis maximal sechs Jahren weniger Niederschlag als 2018. Im Vergleich zum 10-jährigen Mittel der Jahre 2008-2017 wurde im Freiland zwischen 99 mm (Krofdorf) und 277 mm (Fürth i. Od.) weniger Niederschlag gemessen. Der Bestandesniederschlag war zwischen 32 mm (Zierenberg Buche) und 300 mm (Fürth i. Od. Buche) geringer als im Mittel des genannten Zeitraums.

Besonders hohe relative Abweichungen vom 10-jährigen Mittel gab es im Hessischen Ried (-32 % im Freiland, -30 % unter Buche, -24 % unter Kiefer), in Fürth i. Od. (-26 % im Freiland, -34 % unter Buche, -24 % unter Fichte) und im Kellerwald (-26 % im Freiland, -29 % unter Buche). Aufgrund eines Windwurfereignisses Anfang 2018 war in Zierenberg der Bestandesniederschlag trotz 34 % weniger Niederschlag im Freiland nur 6 % geringer als im Mittel. Aufgrund der deutlich geringeren Niederschlagsmenge waren die Stoffeinträge 2018 im Vergleich mit 2017 ebenfalls geringer.

Schwefeleintrag

Durch die konsequente Umsetzung von Maßnahmen zur Luftreinhaltung wie Rauchgasentschwefelung und die Einführung schwefelarmer Kraft- und Brennstoffe konnten die Schwefeldioxidemissionen wirksam reduziert werden. Aufgrund der sehr geringen Niederschlagsmengen sowie der anhaltend sehr niedrigen gasförmigen Belastung durch Schwefeldioxid war der Schwefeleintrag 2018 auf allen Flächen so gering wie nie zuvor. Er betrug 2018 mit dem Bestandesniederschlag im Mittel der untersuchten Buchenflächen je Hektar 2,0 kg, mit Werten zwischen 1,6 (Hess. Ried, Kellerwald) und 3,1 (Zierenberg) kg je Hektar. Unter Fichte lag er je Hektar bei 3,2 kg (Königstein) bzw. 3,4 kg (Fürth i. Od.) und im Freiland zwischen 1,1 (Hess. Ried) und 1,7 (Fürth i. Od., Königstein, Spessart) kg je Hektar. Im Hessenmittel betrug der Schwefeleintrag im Freiland 1,4 kg je Hektar.

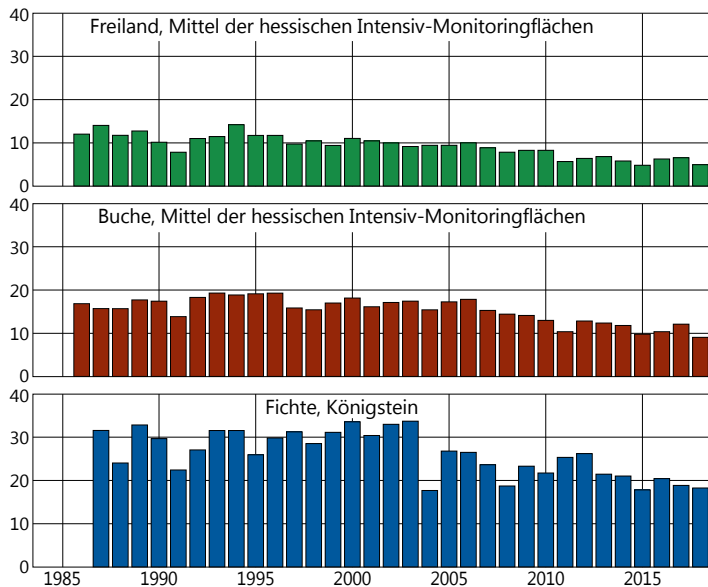
Stoffeinträge

Stickstoffeintrag

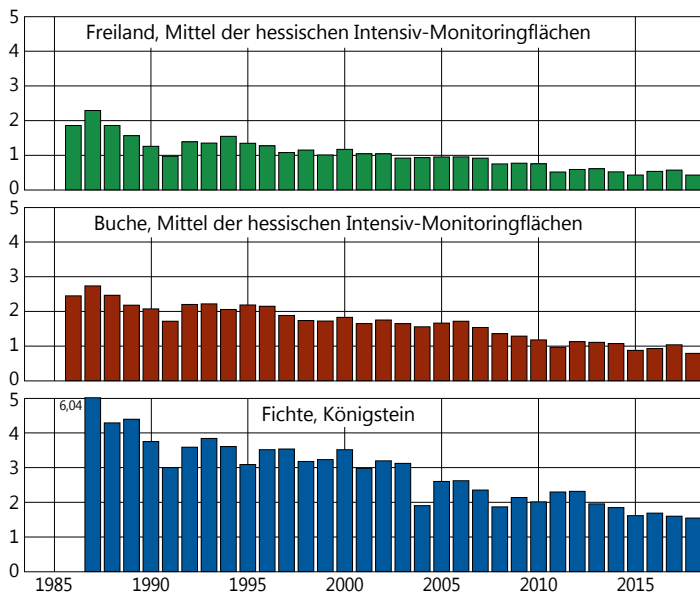
Stickstoff wird einerseits in oxidierter Form als Nitrat (Quellen: Kfz-Verkehr, Verbrennungsprozesse) andererseits in reduzierter Form als Ammonium (landwirtschaftliche Quellen) in das Ökosystem eingetragen. In Hessen betrug der Ammoniumanteil am anorganischen Stickstoffeintrag im 10-jährigen Mittel (2009-2018) im Freiland und der Kronentraufe (Mittel aller Baumarten) rund 50 %.

Der Nitratstickstoffeintrag hat im Freiland und der Gesamtd deposition auf allen untersuchten Flächen seit Untersuchungsbeginn signifikant abgenommen. Er betrug 2018 je Hektar 2,4 kg (Hessenmittel Freiland) mit Werten zwischen 1,6 (Hess. Ried) und 3,0 (Spessart) kg je Hektar sowie 4,2 kg je Hektar unter Buche (Hessenmittel Gesamtd deposition mit Stammablauf). Besonders hohe Nitrat-N-Einträge wurden auf der Buchenfläche in Zierenberg (7,0 kg je Hektar) gemessen. Unter Fichte betrug die Gesamtd deposition in Königstein 8,9 und in Fürth i. Od. 9,1 kg je Hektar.

Stickstoffeintrag (NH₄-N + NO₃-N) in kg je Hektar und Jahr



Gesamtsäureeintrag in kmol_c je Hektar und Jahr



Der Ammoniumstickstoffeintrag hat auf den hessischen Intensiv-Monitoringflächen seit Untersuchungsbeginn auf sechs von sieben Freilandmessflächen, drei von sechs Buchenflächen, der Fichtenfläche in Fürth i. Od. sowie der Kiefernenfläche im Hess. Ried signifikant abgenommen. 2018 lag er je Hektar bei 2,5 kg im Freiland und 5 kg unter Buche (jeweils Hessenmittel). Überdurchschnittlich hoch war er mit 9 kg je Hektar auf der Buchenfläche in Zierenberg. Unter Fichte betrug der Ammoniumstickstoffeintrag in Fürth i. Od. 9,1 und in Königstein 9,3 kg je Hektar.

Über einen langen Zeitraum betrachtet haben die anorganischen Stickstoffeinträge durch verschiedene Maßnahmen abgenommen. Da sich diese Entwicklung in den vergangenen Jahren jedoch nicht im gleichen Maße fortgesetzt hat, überschreitet der anthropogen bedingte atmosphärische Stickstoffeintrag im Mittel der letzten 5 Jahre (2014-2018) mit Werten bis zu 16,4 kg je Hektar unter Buche (Zierenberg) und 19,6 kg je Hektar unter Fichte (Fürth i. Od.) nach wie vor den Bedarf der Wälder für das Baumwachstum. Stickstoffeinträge, die über dem Bedarf des Ökosystems für das Wachstum liegen, ziehen jedoch – ggf. zeitverzögert – gravierende negative Konsequenzen für den Wald selbst sowie angrenzende Ökosysteme wie Oberflächen- und Grundgewässer nach sich.

Gesamtsäureeintrag

Der Gesamtsäureeintrag berechnet sich als Summe der Gesamtd deposition von Nitrat, Ammonium, Sulfat und Chlorid (jeweils nicht seesalzbürtige Anteile, Gauger et al. 2002). 2018 betrug der Gesamtsäureeintrag im Freiland 0,4 (Hessenmittel), unter Buche (Hessenmittel) 0,8 kmol_c und unter Fichte 1,7 (Fürth i. Od.) bzw. 1,6 (Königstein) kmol_c je Hektar. Auffallend hoch waren die Gesamtsäureeinträge auf der Buchenfläche in Zierenberg mit 1,4 kmol_c je Hektar.

Ein Teil des Säureeintrags wird durch die ebenfalls mit dem Niederschlag eingetragenen Basen gepuffert.

Berücksichtigt man diese Pufferleistung und zieht die nicht seesalzbürtigen Anteile der Basen Calcium, Magnesium und Kalium vom Gesamtsäureeintrag ab, erhält man den ökosystemar bedeutsamen Netto-Gesamtsäureeintrag (Gauger et al. 2002).

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

anthropogen = durch menschliche Aktivitäten verursacht

Deposition = Ablagerung von Stoffen

Eutrophierung = Nährstoffanreicherung

kmol_c (Kilomol charge) = Menge an Ladungsäquivalenten. Sie berechnet sich wie folgt: Elementkonzentration multipliziert mit der Wertigkeit des Moleküls (=Ladungsäquivalente pro Molekül), dividiert durch das Molekulargewicht. Multipliziert mit der Niederschlagsmenge ergibt sich die Fracht an Ladungsäquivalenten in kmol_c je Hektar.

Literaturverzeichnis

- Ahner J, Ahrends B, Engel F, Hansen J, Hentschel S, Hurling R, Meesenburg H, Mestemacher U, Meyer P, Möhring B, Nagel J, Pape B, Rohde M, Rumpf H, Schmidt M, Schmidt Mat, Spellmann H, Suttmöller J (2013): Waldentwicklungsszenarien für das Hessische Ried. Entscheidungsunterstützung vor dem Hintergrund sich beschleunigt ändernder Wasserhaushalts- und Klimabedingungen und den Anforderungen aus dem europäischen Schutzgebietssystem Natura 2000. Beiträge aus der Nordwestdeutschen Forstlichen Versuchsanstalt, Band 10, 398 S
- Ahrends B, Suttmöller J, Schmidt-Walter P, Meesenburg H (2018): Beitrag von Waldflächen zur Sickerwasserbildung in Niedersachsen. Forum für Hydrologie und Wasserbewirtschaftung 39.18, 169-180, DOI: 10.14617/for.hydrol.wasbew.39.18.
- Baumgartner A, Liebscher H J (1990): Lehrbuch der Hydrologie - Allgemeine Hydrologie. Bd. 1, S. 362-367. www.dwd.de/DE/derdwd/bibliothek/fachpublikationen/selbstverlag/selbstverlag_node.html
- BMEL (2016): Forstliches Umweltmonitoring in Deutschland – Durchführungskonzept Forstliches Umweltmonitoring. 40 S
- BGR (Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe) (2007): Nutzungsdifferenzierte Bodenübersichtskarte der Bundesrepublik Deutschland 1:1.000.000 (BÜK 1000 N2.3).
- BWaldG (1975): Gesetz zur Erhaltung des Waldes und zur Förderung der Forstwirtschaft (Bundeswaldgesetz) vom 2. Mai 1975 (BGBl. I S. 1037), zuletzt geändert am 17. Januar 2017 (BGBl. I S. 75).
- Dickenson S, Wheeler BEJ (1981): Effects of temperature, and water stress in sycamore, on growth of *Cryptostroma corticale*. Transactions of the British Mycological Society. 76 (2): 181-185. doi:10.1016/S0007-1536(81)80136-2.
- Eder W (Hrsg.) (1995): Ergebnisse des 7. IUFRO-Tannensymposiums der WP S. 1.01.-08 „Ökologie und Waldbau der Weißtanne“ vom 31.10.-4.11.1994 in Altensteig, Deutschland. 420 S
- Gauger, T., F. Anshelm, H. Schuster, G. P. J. Draaijers, A. Bleeker, J. W. Erisman, A. T. Vermeulen & H.-D. Nagel (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.
- Deutscher Wetterdienst, 2018: Monatlicher Klimastatus Deutschland. DWD, Geschäftsbereich Klima und Umwelt, Offenbach, https://www.dwd.de/DE/leistungen/pbfb_verlag_monat_klimastatus/monat_klimastatus.html?nn=369384
- Deutscher Wetterdienst, 2019: Monatlicher Klimastatus Deutschland. DWD, Geschäftsbereich Klima und Umwelt, Offenbach, https://www.dwd.de/DE/leistungen/pbfb_verlag_monat_klimastatus/monat_klimastatus.html?nn=369384
- Hammel K und Kennel M (2001): Charakterisierung und Analyse der Wasserverfügbarkeit und des Wasserhaushalts von Waldstandorten in Bayern mit dem Simulationsmodell BROOK90. Forstliche Forschungsberichte München, Nr. 185
- 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
- Konnert M, Bergmann F (1995): The geographical distribution of genetic variation of silver fir (*Abies alba*, Pinaceae) in relation to its migration history. Plant Systematics and Evolution 196: 19-30
- Llamas-Gomez L, Braun H (1995): Die Weißtanne in Sachsen unter besonderer Berücksichtigung ihrer genetischen Konstitution. Genetik und Waldbau der Weißtanne. Schriftenreihe der Sächsischen Landesanstalt für Forsten, Heft 5: 5-19
- Paar U, Guckland A, Dammann I, Albrecht M, Eichhorn J (2011): Häufigkeit und Intensität der Fruktifikation der Buche. AFZ-DerWald, 6, 26-29
- RiBeS 2018 (Richtlinie für die Bewirtschaftung des Staatswaldes), Hessisches Ministerium für Umwelt, Klimaschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz. 32 S
- Schmucker J, Bootz M (2019): Standörtliche Analyse von Weißtannenvorkommen in Hessen und Niedersachsen. Projektarbeit Georg-August-Universität Göttingen. 56 S
- Suttmöller J, Dammann I, Wagner M, Scheler B, Paar U, Meesenburg H, Eichhorn J (2019): Die extreme Trockenheit 2018 in Nordwestdeutschland, Teil 1. AFZ-Der Wald, 6, 42-46
- Svolba J (1995): Weißtannenversuch (*Abies alba* Mill.) in Norddeutschland. 7. IUFRO-Tannensymposium v. 31.10.-4.11.1994 in Altensteig, Deutschland, S. 44-58
- Tegel W, Büntgen U (2015): Historisches und aktuelles Tannenwachstum in Europa – eine dendroökologische Analyse. Allgemeine Forst- u. Jagdzeitung 186. S. 32-44
- Tinner W, Colombaroli D, Heiri O, Henne PD, Steinacher M, Untenecker J, Vescovi E, Allen JRM, Carraro G, Condera M, Joos F, Lotter AF, Luterbacher J, Samartin S, Valsecchi V (2013): The past ecology of *Abies alba* provides new perspectives on future responses of silver fir forests to global warming. Ecological Monographs 83, 419-439
- Ulrich B (1991): Beiträge zur Methodik der Waldökosystemforschung. Berichte des Forschungszentrums für Waldökosysteme/Waldsterben. Reihe B, Band 24, 142 S
- Verordnung über Erhebungen im forstlichen Umweltmonitoring (ForUmV) vom 20. Dezember 2013 (BGBl. I S. 4384)
- Wagner M, Scheler B, Suttmöller J, Dammann I, Paar U, Meesenburg H, Eichhorn J (2019): Die extreme Trockenheit 2018 in Nordwestdeutschland, Teil 2. AFZ-Der Wald, 6, 47-50



Impressum:

Ansprechpartner

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



Bearbeitung: Paar U, Dammann I,
Weymar J, Spielmann M und
Eichhorn J

Titelfoto: Weymar J

Layout: Paar E

Herstellung: Nordwestdeutsche
Forstliche Versuchsanstalt

Druck: Printec Offset Kassel

Der Waldzustandsbericht 2019
ist abrufbar unter
www.nw-fva.de und
www.umwelt.hessen.de

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

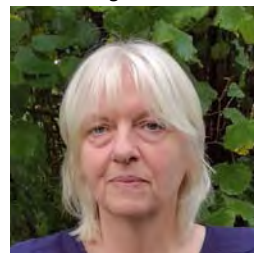
Prof. Dr. Johannes Eichhorn
Abteilungsleiter
Umweltkontrolle



Dr. Uwe Paar
Sachgebietsleiter Wald- und
Bodenzustand, Redaktion



Inge Dammann
Leiterin der Außenaufnahmen,
Auswertung, Redaktion



Dr. Jan Evers
Bodenzustandserhebung



Andreas Schulze
Datenmanagement



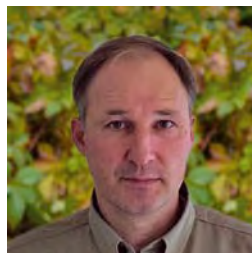
Jörg Weymar
Außenaufnahmen und Kontrollen



Michael Spielmann
Außenaufnahmen und Kontrollen



Dr. Bernd Westphal
Außenaufnahmen und Kontrollen



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