

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

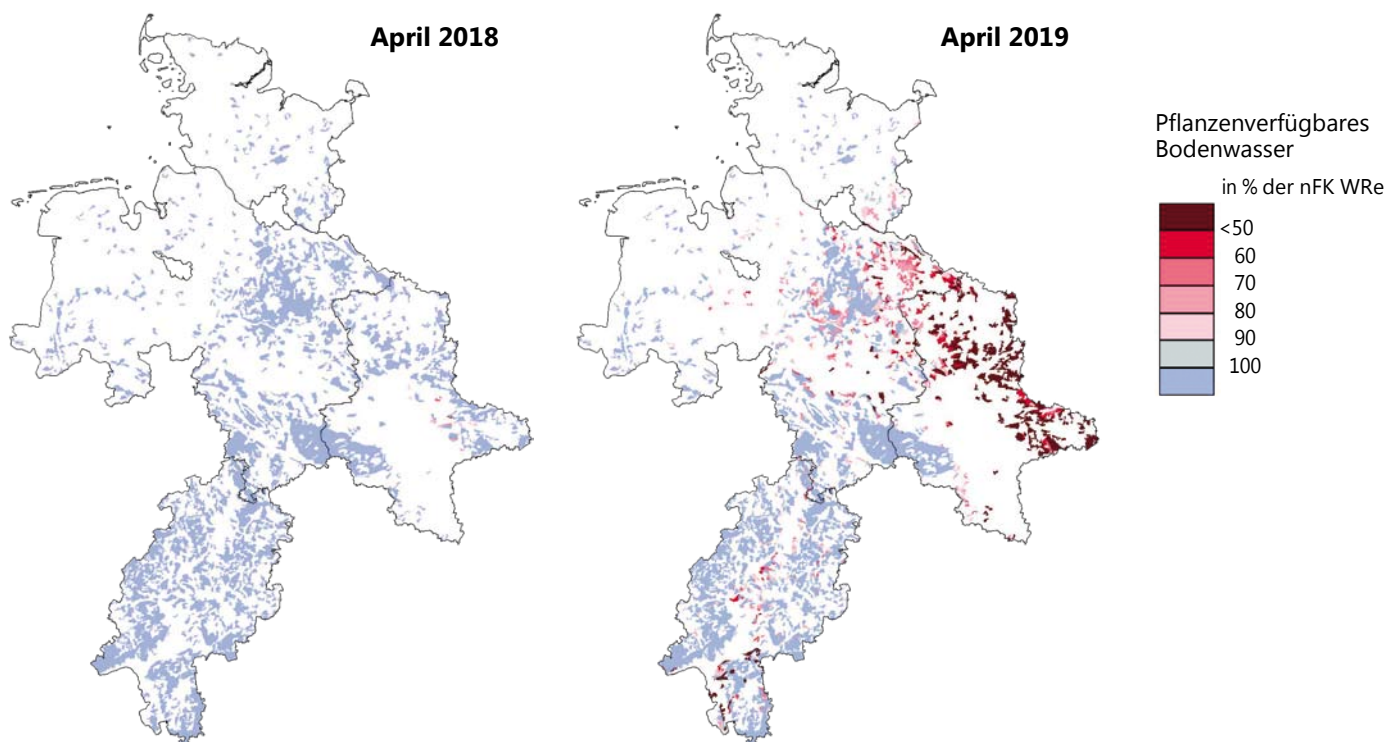
In Niedersachsen und Schleswig-Holstein waren rund 30 % der Waldstandorte betroffen. Schwerpunkte lagen im süd-östlichen Schleswig-Holstein sowie im mittleren und östlichen Niedersachsen, wo jedoch überwiegend mehr als 50 % der nFK WRe erreicht wurden. Nur wenige Standorte in Niedersachsen (2 %) wiesen 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.

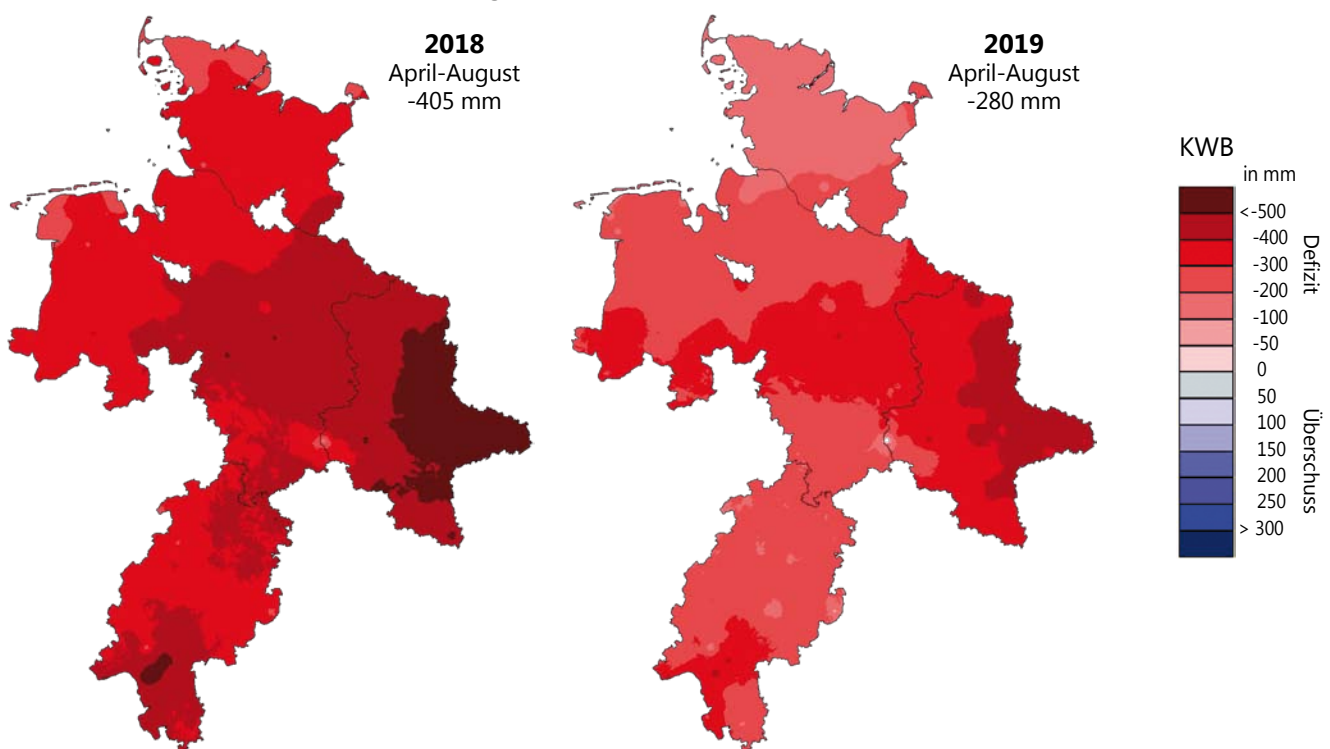
Strukturelle Störungen in den Wäldern

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.

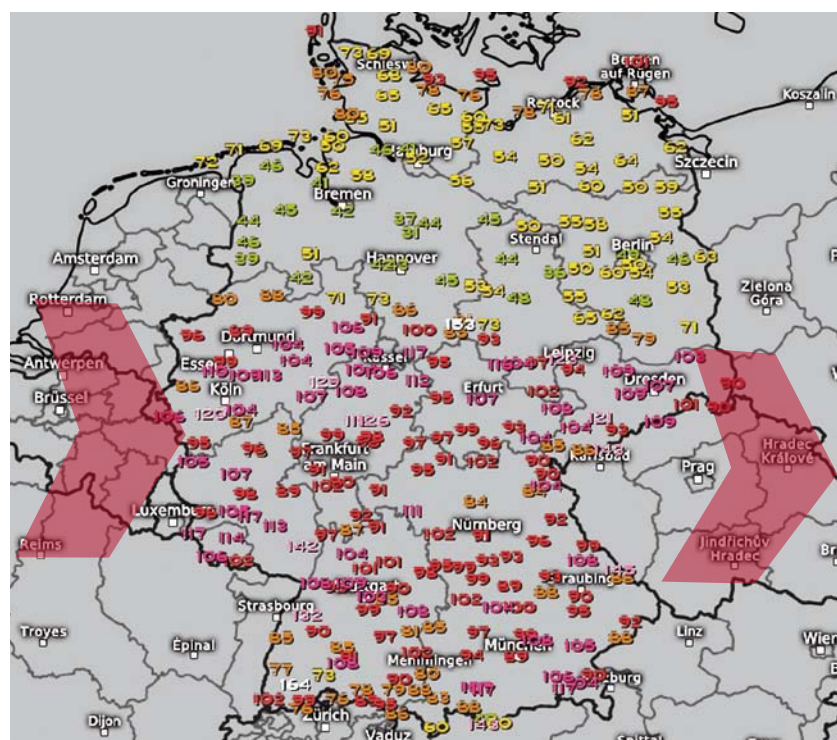
Stürme sind Extremereignisse, deren Wirkungen plötzlich eintreten, ihre Folgen können jedoch zu weitreichenden, langfristigen Veränderungen der Waldentwicklung führen. Die letzten beiden Jahre waren von einer Reihe von Stürmen geprägt.

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.

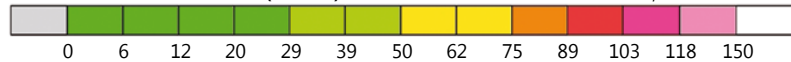
Klimatische Wasserbilanz (KWB) für die Monate April bis August in den vier Trägerländern der NW-FVA



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 24 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

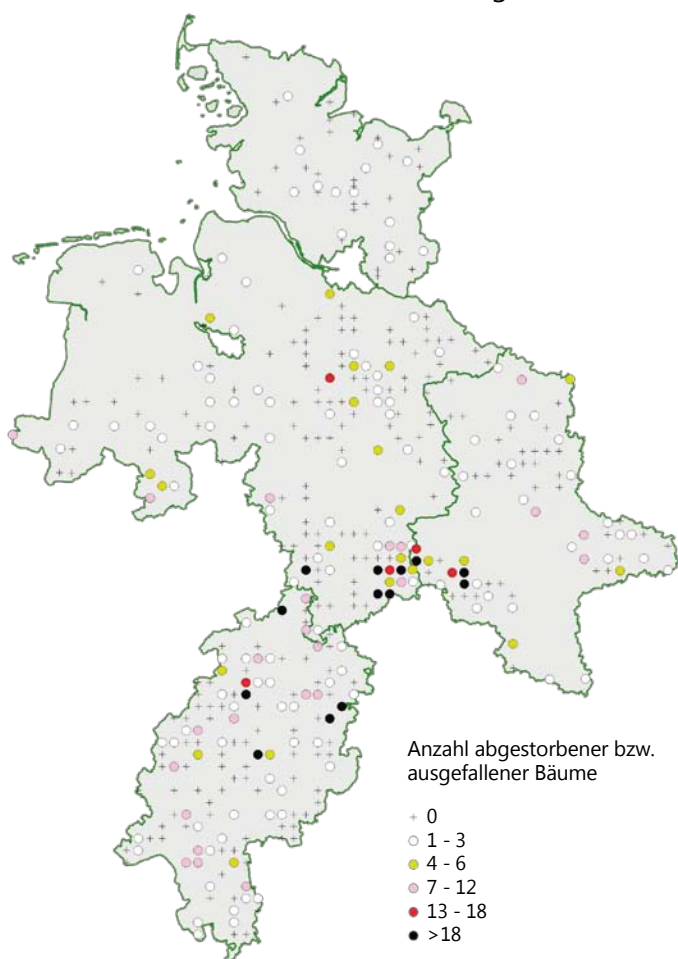
wickeln vermag. Belastbare Rückschlüsse auf die wieder zu bewaldenden Flächen sind nicht möglich.

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

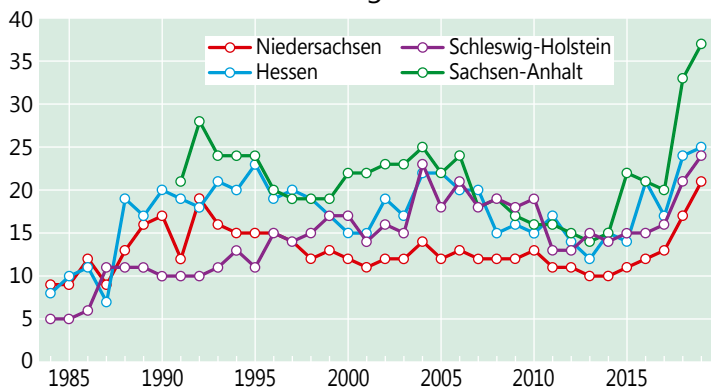


Buchenblatt ohne Trockenstress
Fotos: J. Weymar

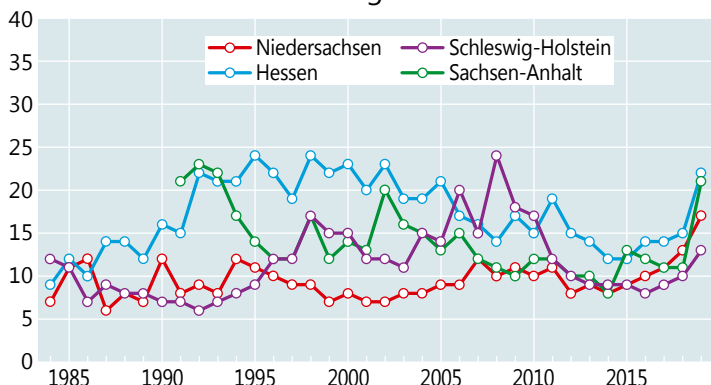
Anhalt, wo die Trockenheit am stärksten ausgebildet war, waren 2019 eingerollte Blätter besonders weit verbreitet (82 %). Im weniger stark durch Trockenheit belasteten Schleswig-Holstein war der Anteil von Buchen mit eingerollten Blättern dagegen deutlich geringer (16 %). Bei Eiche und anderen Laubbaumarten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

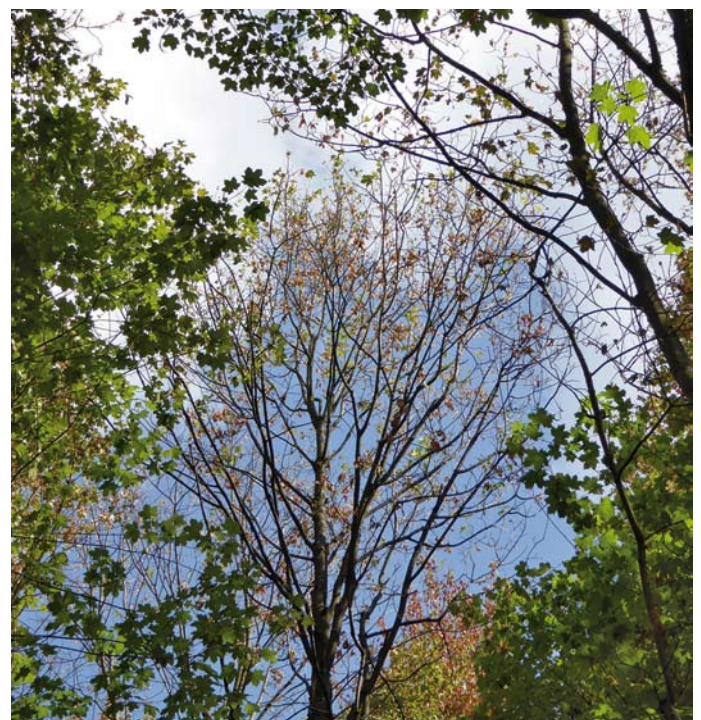
Reaktionen weiterer Baumarten

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

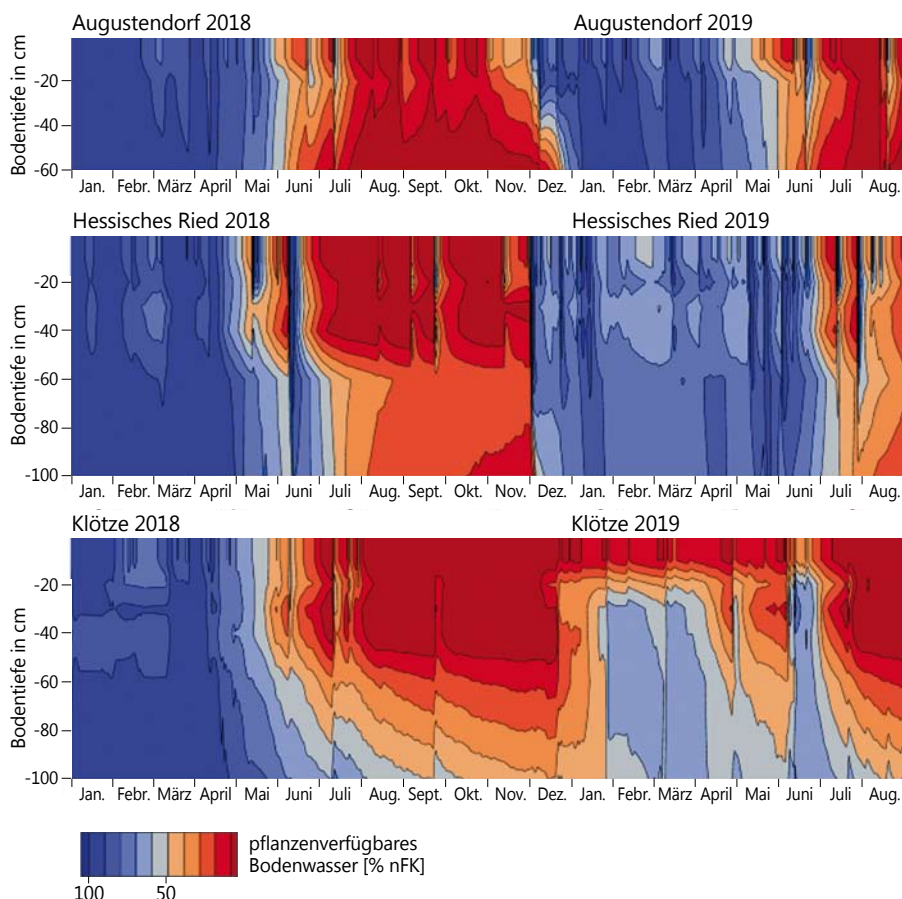
durch das Eschentriebsterben. In Sachsen-Anhalt war kein eindeutiger Trend bei der mittleren Kronenverlichtung der Esche abzulesen. Die Absterberate war 2019 jedoch erhöht. Bei der **Europäischen Lärche** fallen 2019 in Hessen, Niedersachsen und Sachsen-Anhalt die höchsten Absterberaten im Beobachtungszeitraum 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 21 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 21), 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.

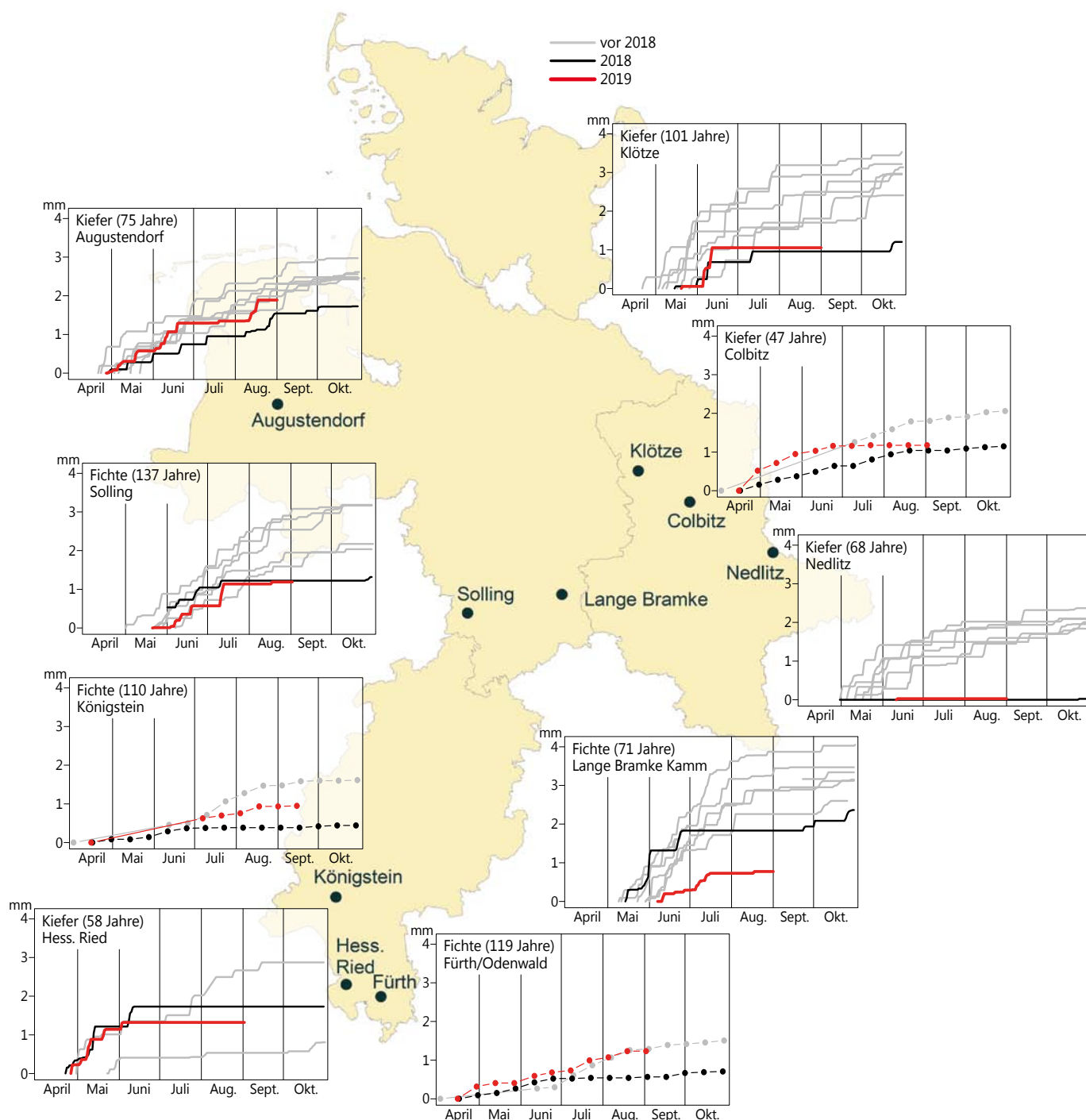
Zuwachs 2018 und 2019

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 Lange Bramke wurde mit einem mittleren Radialzuwachs von nur 0,8 mm die geringe Zuwachsleistung des Vorjahres (1,8 mm) noch einmal drastisch unterschritten.

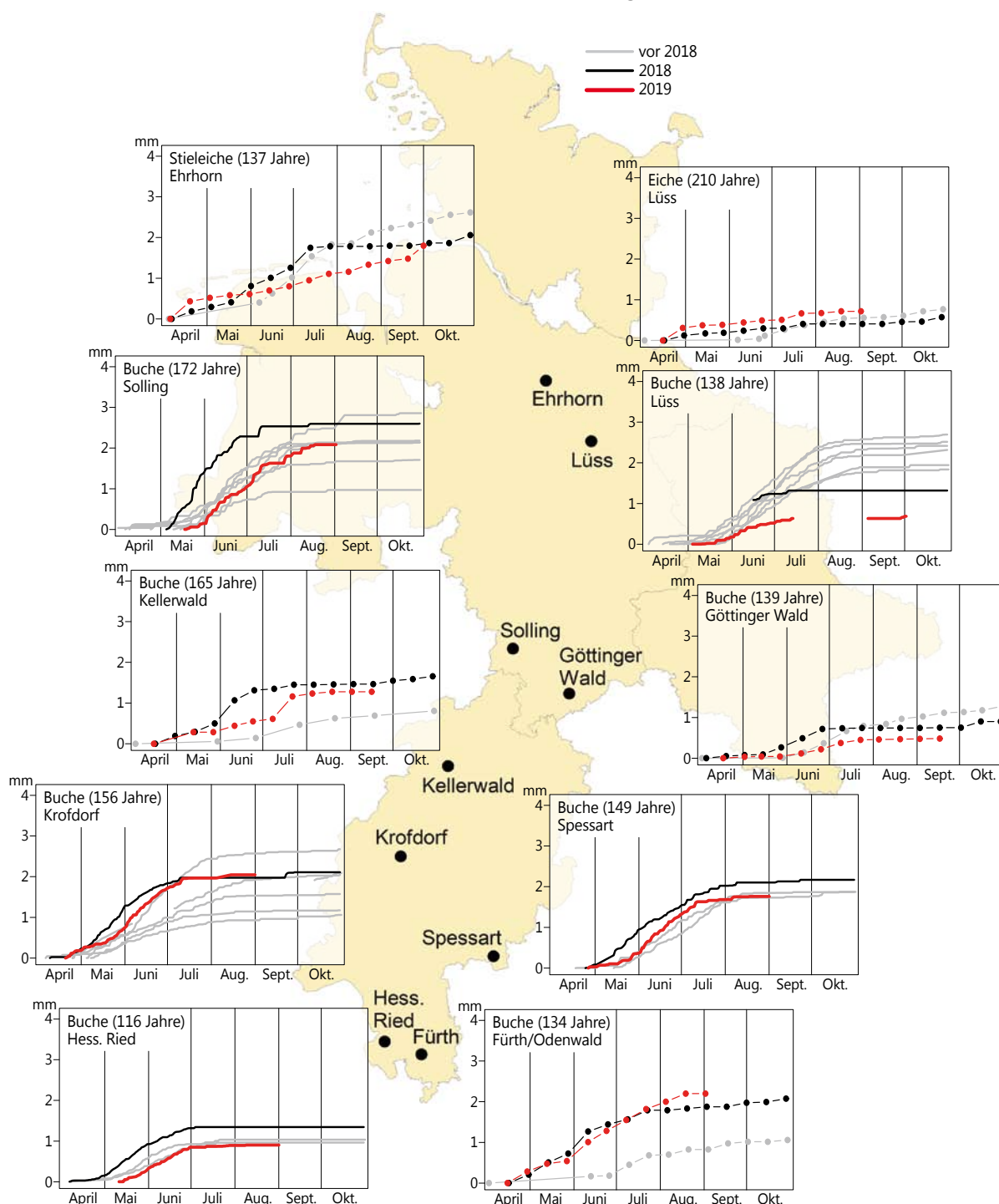
Auf den Flächen Königstein (Taunus) und Fürth (Odenwald, Hessen) hingegen wuchsen die Fichten 2019 besser als 2018 und stellten das Wachstum erst Mitte August ein. In Fürth war der mittlere Radialzuwachs mit 1,2 mm deutlich höher

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 27).

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 Zuwachspanne 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 28). 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 Zuwachseistung 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 32: Wiederbewaldung von Schadflächen in Anpassung an den Klimawandel).



Foto: M. Spielmann