



# Waldzustandsbericht 2018





## Vorwort



Liebe Leserinnen, liebe Leser,

2018 ein nicht endender Sommer, monatelange große Trockenheit, eine Rekordzahl an Sommertagen, historische Niedrigwasserstände, rot-braune Fichtenwipfel und ein früher „Herbst“ in Hessens Wäldern. Im Jahr 2018 gab es zahlreiche Parallelen zu dem „Jahrhundertssommer“ 2003.

Für alle sichtbar haben die Auswirkungen des Klimawandels wieder einmal auch Hessen und seine Wälder erreicht. Wenn auch noch nicht so dramatisch und lebensbedrohend wie an vielen anderen Orten unserer Erde.

Das Jahr 2018 fing schon mit einem Paukenschlag an. Am 18. Januar fegte das Orkantief „Friederike“, einer der stärksten Stürme des vergangenen Jahrzehnts, über Deutschland hinweg und richtete schwere Schäden an. Der Sturm erwischte insbesondere Nordhessen mit voller Wucht. Für viele betroffene Forstbetriebe ein einschneidendes Ereignis, das die Arbeit von Jahrzehnten zunichtemachte. Die Sturmholzmenge beträgt nach aktuellem Stand für ganz Hessen rund 3 Millionen Festmeter.

Waren die Waldböden zu Beginn der Vegetationsperiode noch mit ausreichenden Wasservorräten versorgt, folgte in Hessen mit dem Beginn der Sommermonate eine bis in

den Oktober hinein anhaltende extreme Trockenperiode mit oft hochsommerlichen Temperaturen. Zahlreiche Waldbrände, erste Trockenheitsschäden am Wald, besonders an den Jungpflanzen der letzten Jahre und eine teils rasante Vermehrung von Schadinsekten waren die Folge. Die hessischen Försterinnen und Förster beobachteten diese Entwicklung mit großer Sorge.

Die Ergebnisse der jährlichen Waldzustandserhebung – es werden Daten von über 4.000 Bäumen erhoben – ermöglichen uns einen verlässlichen und repräsentativen Überblick über den aktuellen Gesundheitszustand unserer heimischen Wälder.

Trotz der außerordentlichen Belastungen ist der Gesundheitszustand des Waldes in Hessen nach den aktuellen Ergebnissen insgesamt stabil. Die mittlere Kronenverlichtung aller Baumarten und Altersstufen ist um 2 Prozent auf 24 Prozent angestiegen. Die Entwicklung ist bei allen vier hessischen Hauptbaumarten Buche, Eiche, Fichte und Kiefer ähnlich. Die gute Wasserversorgung zu Beginn der Vegetationszeit, eine nur mittlere Buchenmast und geringe Fraßschäden an der Eiche haben sicherlich zu diesem überraschenden Ergebnis beigetragen.

Aber der Zeitpunkt der Erhebungen der Waldzustandsdaten im Juli und August spielt hierbei eine Rolle, so dass sich die langfristigen Beeinträchtigungen und Schäden dieser Witterungsereignisse wahrscheinlich erst in den nächsten Jahren zeigen werden. Die Auswirkungen der Sturmereignisse zu Beginn der 1990er Jahre und des Trockenjahres 2003 waren über mehrere Folgejahre festzustellen.

Nicht zu übersehen sind bereits jetzt die seit den Sommermonaten landesweit zunehmenden Schäden durch Fichtenborkenkäfer. Aufgrund der extremen Sommertrockenheit und hoher Temperaturen haben sie sich in allen Landesteilen Hessens rasant vermehrt. Zur Schadensabwehr und -begrenzung sind die betroffenen Bäume möglichst rasch einzuschlagen und abzufahren. Eine Arbeit, die die Betriebe bis weit in das nächste Jahr hinein intensiv beanspruchen wird und die zur Bewältigung auch weiterhin den vollen Einsatz aller Beschäftigten im Wald erfordert. Zugleich ein Ereignis mit erheblichen wirtschaftlichen Einbußen für die Forstbetriebe und Waldeigentümer.

Schwerpunkte des vorliegenden Berichtes sind daher neben den Ergebnissen der Waldzustandserhebung auch der Sturm „Friederike“, der Witterungsverlauf und die aktuelle Waldschutzsituation in Hessen. Weitere ausgewählte Beiträge informieren Sie über neue Forschungsergebnisse der Nordwestdeutschen Forstlichen Versuchsanstalt, beispielsweise zu Veränderungen des Waldwachstums.

Der langfristige Erhalt des Waldes mit all seinen Funktionen und die nachhaltige Nutzung sind kontinuierliche Aufgaben, die insbesondere in Zeiten des Klimawandels mit seinen vielfältigen negativen Begleiterscheinungen unser volles Engagement erfordern.

Maßnahmen zum Waldumbau sind daher auch künftig Bestandteil der forstlichen Förderung, mit dem die Hessische Landesregierung die kommunalen und privaten Waldbesitzenden beim Aufbau und Erhalt naturnaher und klimastabiler Wälder unterstützt. Im Rahmen des Integrierten Klimaschutzplans Hessen 2025 wird zudem eine Klimarisikokarte für den Wald in Hessen erstellt werden, die eine landesweite Beratung über künftige Risiken und Anpassungsmöglichkeiten im Wald ermöglichen wird. Weitere Schwerpunkte zum Thema Wald sind in den kommenden Jahren im Klimaschutzplan vorgesehen.

Mit der zwischenzeitlichen FSC-Zertifizierung des hessischen Staatswaldes und der Herausstellung des Klimaschutzzieles sowie des Erhalts der Biodiversität in der Bewirtschaftung des Staatswaldes (RiBeS 2018) sind wir unserem Ziel, dem Aufbau artenreicher und stabiler Mischwälder, die langfristig klimaangepasst sind, einen großen Schritt näher gekommen.

Durch einen verantwortungsvollen Umgang mit den natürlichen Ressourcen können Sie uns auf dem weiteren Weg unterstützen!

Mit freundlichen Grüßen

Ihre

Priska Hinz

Hessische Ministerin für Umwelt, Klimaschutz,  
Landwirtschaft und Verbraucherschutz

Wiesbaden, im November 2018



## Inhaltsverzeichnis

	Seite
Vorwort	2
<b>Inhaltsverzeichnis</b>	<b>3</b>
<b>Hauptergebnisse</b>	<b>4</b>
Uwe Paar und Inge Dammann	
<b>WZE-Ergebnisse für alle Baumarten</b>	<b>6</b>
Uwe Paar und Inge Dammann	
Buche	8
Eiche	9
Fichte	10
Kiefer	11
<b>Wald in der Rhein-Main-Ebene</b>	<b>12</b>
Uwe Paar und Inge Dammann	
<b>Auswirkungen des Sturms „Friederike“</b>	<b>13</b>
Inge Dammann und Norbert Altstädt <sup>1</sup>	
<sup>1</sup> HessenForst	
<b>Witterung und Klima</b>	<b>15</b>
Johannes Suttmöller	
<b>Auswirkungen der Trockenheit 2018 auf Wachstum und Vitalität</b>	<b>19</b>
Johannes Suttmöller, Birte Scheler, Markus Wagner, Inge Dammann, Uwe Paar und Johannes Eichhorn	
<b>Insekten und Pilze</b>	<b>30</b>
Michael Habermann, Ulrich Bressemer, Rainer Hurling, Gitta Langer und Pavel Plašil	
<b>Forstliches Umweltmonitoring</b>	<b>32</b>
Johannes Eichhorn, Inge Dammann und Uwe Paar	
<b>Stoffeinträge</b>	<b>34</b>
Birte Scheler	
<b>Schwermetalle im Sickerwasser</b>	<b>37</b>
Birte Scheler	
<b>Veränderung des Waldwachstums</b>	<b>40</b>
Christoph Fischer, Susanne Sprauer, Matthias Schmidt, Jürgen Nagel und Hermann Spellmann	
<b>Erhaltung und Vermehrung seltener Baumarten</b>	<b>43</b>
Aki Michael Höltken und Hans Jürgen Arndt	
Literaturverzeichnis	47
Impressum	48



# Hauptergebnisse

## Waldzustandserhebung (WZE)

Die mittlere Kronenverlichtung der Waldbäume in Hessen (alle Baumarten) hat sich 2018 um 2 Prozentpunkte verschlechtert. Sie liegt in diesem Jahr bei 24 %.

Bei den älteren Bäumen ist die Kronenverlichtung von 26 % (2017) auf 28 % angestiegen. Bei den jüngeren Bäumen hat sie von 10 % (2017) auf 12 % zugenommen.

Die Gesamtentwicklung für Hessen (alle Baumarten, alle Alter) seit 1984 zeigt folgendes Bild: Nach einer Phase des Anstiegs der Kronenverlichtung im Zeitraum bis 1994 folgte eine relativ stabile Phase von 1995-1999. Seit 2000 sind stärkere Schwankungen der mittleren Kronenverlichtung zwischen 20 und 26 % festzustellen.

Der Anteil starker Schäden ist moderat (3,3 %). Die Absterberate (alle Bäume, alle Alter) liegt bei 0,3 %. Sie liegt damit auch in diesem Jahr insgesamt auf einem sehr geringen Niveau. Die gute Wasseraufspeicherung der Böden im Winterhalbjahr 2017/2018 verhinderte stärkere Schäden, wie sie sonst infolge der extrem trocken-warmen Witterung im Sommer 2018 zu erwarten gewesen wären.

## Die Baumarten im Einzelnen

Im Vergleich zum Vorjahr hat sich die Kronenverlichtung der Hauptbaumarten Buche, Eiche, Fichte und Kiefer kaum verändert. Deutlich angestiegen ist dagegen 2018 die Kronenverlichtung in der Gruppe der anderen Laubbäume, zu denen u. a. Ahorn, Esche und Hainbuche gehören. Mit einer mittleren Kronenverlichtung (alle Alter) von 24 % wird der höchste Wert in der Zeitreihe der WZE für diese Baumartengruppe erreicht. Trockenstresssymptome durch die anhaltende Dürre waren bei diesen Laubbäumen am häufigsten.

## Rhein-Main-Ebene

Im Vergleich zum Vorjahr hat sich in der Rhein-Main-Ebene der Kronenzustand der älteren Bäume ebenfalls verschlechtert (2017: 27 %, 2018: 30 %). Die mittlere Kronenverlichtung der jüngeren Bäume ist von 15 % (2017) auf 18 % angestiegen. Insbesondere die jüngeren Bäume zeigen in der Rhein-Main-Ebene einen deutlich schlechteren Kronenzustand als in Gesamthessen (12 %).

Die nach wie vor ungünstige Situation des Waldzustandes in der Rhein-Main-Ebene zeigt sich auch am Beispiel der Eiche: Bei nahezu gleichem Ausgangsniveau zu Beginn der Zeitreihe hat sich die Kronenverlichtung der älteren Eiche in der Region von 15 % (1984) auf 36 % (2018) erhöht, im Land Hessen dagegen von 13 % auf 26 %.



Foto: M. Spielmann



Foto: J. Evers

## Auswirkungen des Sturms „Friederike“

In Hessen richtete der Sturm „Friederike“ am 18.01.2018 vor allem in den nordöstlichen Landesteilen Schäden im Wald an. Besonders betroffen waren die Forstämter Reinhardshagen, Rotenburg, Hessisch-Lichtenau, Melsungen, Bad Hersfeld und Neukirchen. Die Gesamtschadholzmenge beläuft sich auf rund 3 Millionen Kubikmeter Holz. Den Hauptteil (95 %) dieser Holzmenge nimmt das Nadelholz ein, Laubholz ist zu 5 % beteiligt.

## Witterung und Klima

Das Vegetationsjahr 2017/2018 (Oktober-September) wird aufgrund des außergewöhnlichen Witterungsverlaufes und der extremen Dürre in Erinnerung bleiben. Von April bis weit in den September hinein wurden im gesamten Land Hessen überdurchschnittlich hohe Temperaturen und sehr geringe Niederschlagsmengen gemessen. Mit einer Mitteltemperatur von 10,4 °C im Flächenmittel des Landes war das Vegetationsjahr 2017/2018 eines der wärmsten Jahre seit Messbeginn. Die gemessene Niederschlagssumme entspricht mit 665 mm etwa 85 % der langjährig üblichen Niederschlagsmenge. Dabei fielen in den Monaten von Oktober 2017 bis Januar 2018 über die Hälfte der gesamten Niederschlagsmenge des Vegetationsjahres. In der Vegetationsperiode 2018 von Mai bis September wurde im Flächenmittel des Landes Hessen jedoch nur rund die Hälfte des sonst üblichen Niederschlags gemessen.

## Auswirkungen der Trockenheit 2018 auf Wachstum und Vitalität

Die Waldböden waren ausgangs des Winters in der Regel gut wassergesättigt. Die nachfolgend außergewöhnlich lang anhaltende Trockenheit führte in den Trägerländern der NW-FVA zu unterschiedlichen Reaktionen der Baumarten. Buche und Eiche verzeichneten aufgrund ausreichender Bodenwasservorräte aus dem Winterhalbjahr auf den Flächen des Intensiven Monitorings durchschnittliche bis überdurchschnittliche Zuwachsraten. Stresssymptome wie verfrühte Herbstverfärbung oder vorzeitiger Blattabfall waren für beide Baumarten bei der WZE zwar häufiger als in den Vorjahren, blieben aber insgesamt moderat. Der Zuwachs der Fichten entsprach zunächst den Vorjahreswerten, zwischen Mitte Juni und Mitte Juli kam das Dickenwachstum dann aber zum Stillstand. Äußerliche Trockenstresssymptome waren bei der Fichte aber bis Mitte August nicht erkennbar. Das Wachstum auf den Kiefernflächen in Niedersachsen und Sachsen-Anhalt blieb bereits im Frühjahr hinter den



# Hauptergebnisse

Vorjahreswerten zurück, während sich im Hess. Ried bis Mitte Juni im Vergleich zum Vorjahr kein vermindertes Wachstum zeigte. Sichtbares Anzeichen für Trockenstress bei der Kiefer war die bereits im Juli einsetzende Herbstverfärbung des älteren Nadeljahrgangs. Für andere Laubbaumarten, wie Birke, Ahorn, Hainbuche und Linde usw., wurden bei der WZE ab Juli besonders häufig Herbstverfärbung und vorzeitiger Blattaufwurf beobachtet. Wie die früheren Trockenjahre zeigen, ist von Spätfolgen im nachfolgenden Jahr auszugehen. Ein besonderes Risiko kann entstehen, wenn mehrere Extremjahre aufeinander folgen sollten.

## Insekten und Pilze

Die Borkenkäfer haben sich 2018 rasant vermehrt. Drei Faktoren begünstigten die Entwicklung der Borkenkäferpopulationen: Mit dem Sturmholz war viel Brutraum vorhanden, der Bruterfolg war durch die anhaltende Trockenheit und Wärme gut und durch den Wassermangel war der Harzfluss der Fichten zur Abwehr der Borkenkäfer erheblich eingeschränkt.

Schadensfälle durch das *Diplodia*-Triebsterben der Kiefer treten in ganz Hessen auf. Der Erreger kann in Zweigen vorkommen, ohne sichtbare Schäden zu verursachen. Schäden löst der Pilz aus, wenn die Kiefern, z. B. durch Trockenheit oder Rindenverletzungen, vorgeschädigt oder geschwächt sind.

Das Eschentriebsterben hat sich seit seiner Einschleppung in Mitteleuropa rasch verbreitet und stellt eine landesweite Gefährdung für die heimischen Eschen dar.

## Stoffeinträge

Zusätzlich zum Eintrag mit dem Niederschlag werden im Wald durch die Filterwirkung der Baumkronen Nähr- und Schadstoffeinträge aus trockener Deposition (Gase und Partikel) in den Stoffkreislauf eingetragen. Die ganzjährige dichte Benadelung (erhöhter Auskämmeffekt) führt in Fichtenbeständen zu deutlich höheren Einträgen als bei Kiefer, Buche und Eiche. Da 2017 ein besonders niederschlagsreiches Jahr war, stiegen die Einträge anthropogen bedingter Schwefel- und Stickstoffverbindungen im Vergleich zu 2016 an.

2017 betrug der Sulfatschwefeleintrag je Hektar zwischen 2,1 kg (Krofdorf Buche) und 4,7 kg (Fürth Fichte). Die sehr hohe Belastung in den 1980er Jahren mit Schwefeleinträgen bis zu 58 kg je Hektar konnte durch Maßnahmen zur Luftreinhaltung wirksam reduziert werden.

Bis 2007 sind auch die Stickstoffeinträge (Ammonium und Nitrat) zurückgegangen. In den letzten 10 Jahren (2008-2017) ist der anorganische Stickstoffeintrag allerdings nur auf vier von zehn Flächen weiter rückläufig. 2017 betrug er je Hektar bis zu 22,4 kg unter Buche (Zierenberg) und bis zu 19,3 kg unter Fichte (Fürth).

## Schwermetalle im Sickerwasser

Schwermetalle werden als Stäube durch die Atmosphäre weit verteilt und in Waldböden eingetragen. Daneben kommen Schwermetalle von Natur aus im Waldboden vor. In gelöster Form geht insbesondere von den toxischen Schwermetallen Blei und Cadmium eine Gefährdung für die belebte Umwelt und das Grundwasser aus.

Die Untersuchungen des Bodenwassers unterhalb des Hauptwurzelraums auf 23 Flächen des Intensiven Monitorings ergeben, dass die Bleikonzentration in 95 % der Bodenwasserproben z. T. weit unter dem Grenzwert liegt. In Folge der höheren Löslichkeit von Cadmium wird der Grenzwert für diesen Stoff jedoch nur auf fünf von 23 Flächen in allen Proben eingehalten, während er auf 11 Flächen in allen Proben z. T. erheblich überschritten wird. Nennenswerte Cadmumeinträge in das Grundwasser können auf einigen Flächen nicht ausgeschlossen werden.

Für Kupfer, Nickel und Chrom werden auf fast allen Flächen die Grenzwerte in der Bodenlösung eingehalten. Die Konzentrationen von Zink und Kobalt sind auf einigen Flächen erhöht; eine Verlagerung mit dem Sickerwasser bis ins Grundwasser ist möglich.

## Veränderung des Waldwachstums

Junge Waldbestände im Alter zwischen 20 und 60 Jahren wachsen schneller als dies nach Ertragstafelwerten zu erwarten wäre. Dies zeigen die Daten der Bundeswaldinventur zur Zuwachsentwicklung von Buche, Fichte und Kiefer. Darüber hinaus zeigt ein Vergleich von Versuchsflächen, dass die Zuwachs- und Höhenentwicklungen für Bestände, die nach 1960 gewachsen sind, oberhalb der Verläufe liegen, die in vor 1960 gewachsenen Beständen beobachtet werden. Erhöhte Stickstoffeinträge, höhere CO<sub>2</sub>-Konzentrationen, die Erholung der Böden nach Beendigung historischer Waldnutzungsformen (z. B. Streunutzung) und der Anstieg der Temperatur könnten sich, ebenso wie Änderungen in der Bewirtschaftung der Waldbestände (weite Pflanzverbände, Hoch- und Auslesedurchforstung u. a.), wachstumsfördernd ausgewirkt haben.

Eine weitere Erhöhung der Temperaturen in Verbindung mit einer Verschiebung der Niederschlagsdynamik und verstärkten abiotischen und biotischen Risiken im Zuge des Klimawandels könnte langfristig jedoch auch mit einer Verschlechterung des Waldwachstums verbunden sein.

## Erhaltung und Vermehrung seltener Baumarten

Die genetische Vielfalt ist für Baumarten elementar, um sich im Laufe ihres langen Lebens an eine Vielzahl von Umweltveränderungen anpassen zu können. Seltene Baumarten wie z. B. Schwarzpappel, Wildapfel oder Elsbeere sind lichtbedürftig und konkurrenzschwach und können sich daher nur auf Sonderstandorten gegenüber dominanten Baumarten durchsetzen. Infolge der Dezimierung dieser Sonderstandorte durch menschliche Eingriffe ist es nicht nur zu Bestandsverlusten sondern auch zu einer teilweise erheblichen Verringerung genetischer Vielfalt bei diesen Baumarten gekommen.

In Erhaltungs-Samenplantagen wird gezielt genetisch vielfältiges Vermehrungsgut herangezogen, mit dem bestehende Populationen angereichert oder neue Vorkommen begründet werden können. Mit der kontrollierten Produktion von Vermehrungsgut in Samenplantagen besteht die Möglichkeit, die genetische Ausstattung von Regionen zu rekonstruieren, Erntemengen gegenüber von Freilandabsaaten deutlich zu steigern und Einkreuzungen nicht-heimischer Arten oder von Kultursorten zu vermeiden.



# WZE-Ergebnisse für alle Baumarten

**Uwe Paar und Inge Dammann**

Die warme Frühjahreswitterung und die im Winterhalbjahr aufgefüllten Bodenwasservorräte wirkten sich positiv auf die Blüte und die Blattentwicklung der Bäume aus. Vor allem Eiche, Ahorn und Hainbuche fruktifizierten intensiv. In der Zeit der WZE-Außenaufnahmen (Mitte Juli bis Mitte August) waren durch die lang anhaltende Trockenheit dann Anzeichen von Trockenstress zu beobachten.

## Mittlere Kronenverlichtung

Die Waldzustandserhebung 2018 weist als Gesamtergebnis für die Waldbäume in Hessen (alle Baumarten, alle Alter) eine mittlere Kronenverlichtung von 24 % aus.

Damit hat sich die mittlere Kronenverlichtung im Vergleich zum Vorjahr um 2 Prozentpunkte erhöht.

Der Wert beträgt für die älteren (über 60jährigen) Bäume nach 26 % im Vorjahr jetzt 28 %. Die mittlere Kronenverlichtung der jüngeren Bäume ist von 10 % (2017) auf 12 % angestiegen.

Ausschlaggebend für den spürbaren Anstieg der Kronenverlichtung ist die Entwicklung in der Gruppe der anderen Laubbäume. Neben den Hauptbaumarten Buche, Eiche, Fichte und Kiefer kommen in den hessischen Wäldern eine Vielzahl von Baumarten vor, die insgesamt im systematischen landesweiten Raster der Waldzustandserhebung 17 % der Stichprobenbäume einnehmen. Die Gruppe der anderen Laubbäume, zu denen u. a. Birke, Ahorn und Hainbuche gehören, reagierte auf die lang anhaltende Trockenheit

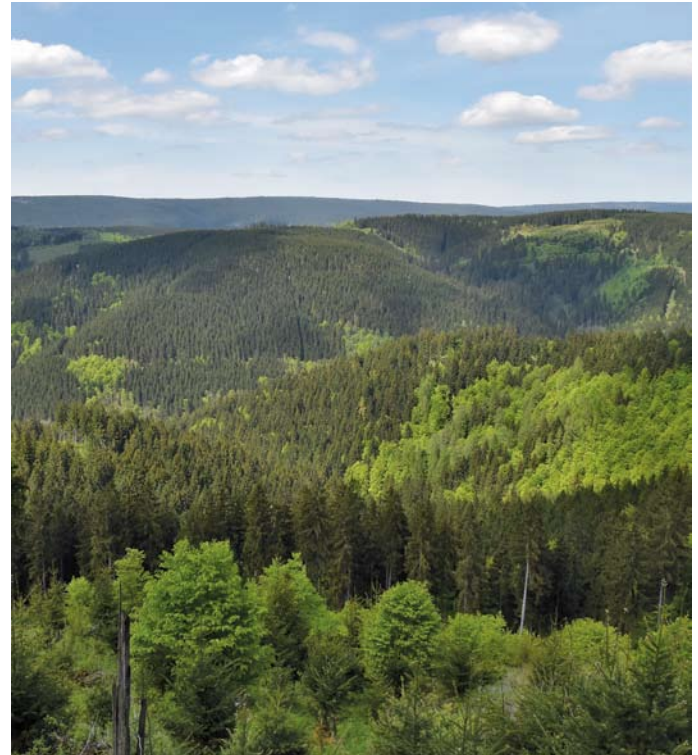


Foto: M. Spielmann

bereits ab Juli mit Herbstverfärbung und vorzeitigem Blattabfall. Die mittlere Kronenverlichtung (alle Alter) ist 2018 um 7 Prozentpunkte auf 24 % angestiegen und erreicht den höchsten Wert in der Zeitreihe für diese Baumartengruppe.

## Mittlere Kronenverlichtung in %

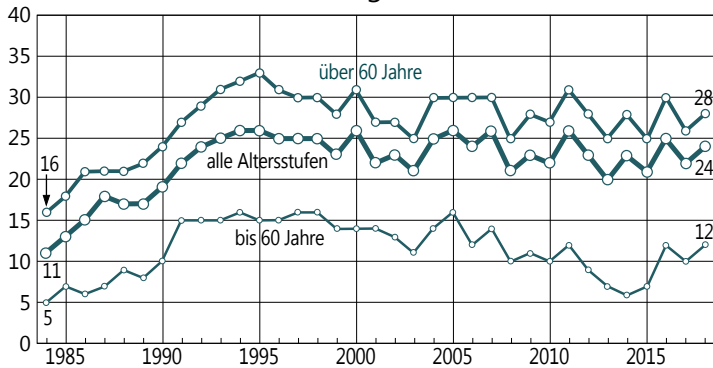


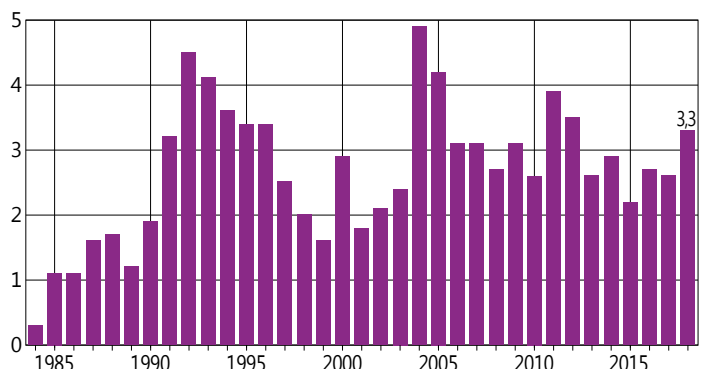
Foto: J. Evers

## Anteil starker Schäden

Insgesamt liegt der Anteil starker Schäden über alle Baumarten und alle Alter mit durchschnittlich 3 % im langjährigen Mittel auf einem eher geringen Niveau. Der Anteil starker Schäden ist bei den älteren Bäumen mit 3 % auf demselben Niveau wie im Vorjahr. Bei den jüngeren Bäumen liegt der Anteil starker Schäden bei 3 % (2017: 2 %). Während die Anteile starker Schäden bei den Hauptbaumarten im Bereich der langjährigen Mittelwerte liegen, sind die Anteile für die Gruppe der anderen Laubbäume 3-mal höher als der Durchschnittswert.

Die Zeitreihe der bis 60jährigen Bäume zeichnet die beiden wesentlichen Ereignisse in der landesweiten Waldentwicklung der letzten 30 Jahre, die Stürme Vivian und Wiebke 1990 und den extremen Sommer 2003, besonders klar nach. In beiden Fällen wirkten die Ereignisse mehrere Jahre nach. Inwieweit auch der extrem heiße und trockene Sommer 2018 nachwirken wird, wird sich in den nächsten Jahren zeigen.

## Anteil starker Schäden, alle Baumarten, alle Alter in %



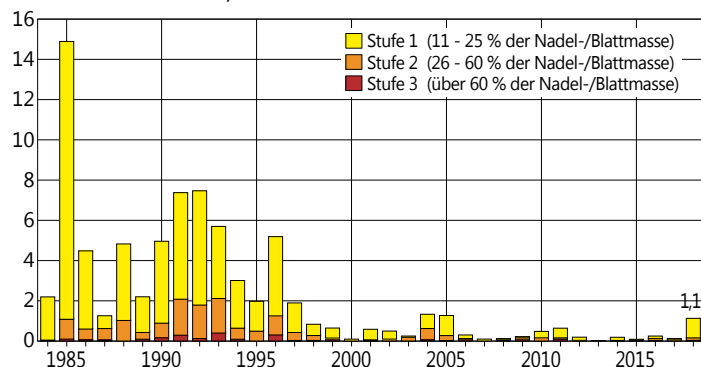


# WZE-Ergebnisse für alle Baumarten

## 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. Seit dieser Zeit wird dieses Merkmal nur noch vereinzelt festgestellt. 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.

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



Früher Blattaustrieb 2018

Foto: J. Evers



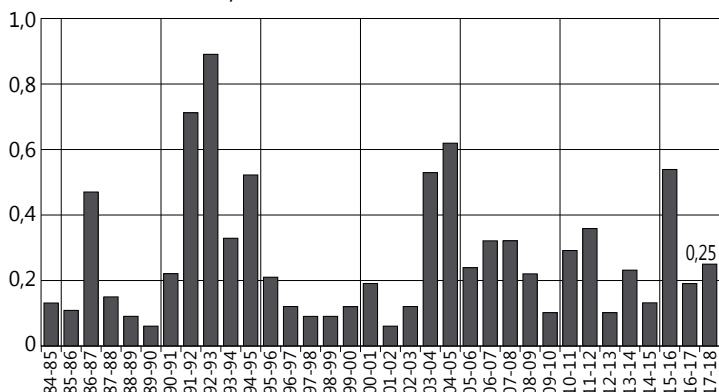
Herbstverfärbung Ende Juli 2018

Foto: M. Spielmann

## Absterberate

Die Absterberate (alle Bäume, alle Alter) entspricht 2018 mit 0,3 % dem langjährigen Mittelwert. Sie liegt damit gegenwärtig auf einem geringen Niveau. Die jährliche Absterberate ist ein wichtiger Indikator für Vitalitätsrisiken des Waldes. Sie stellt eine wichtige Basislinie dar. Dies gilt besonders vor dem Hintergrund prognostizierter Klimaänderungen.

Jährliche Absterberate, alle Baumarten, alle Alter in %





# Buche

## Ältere Buche

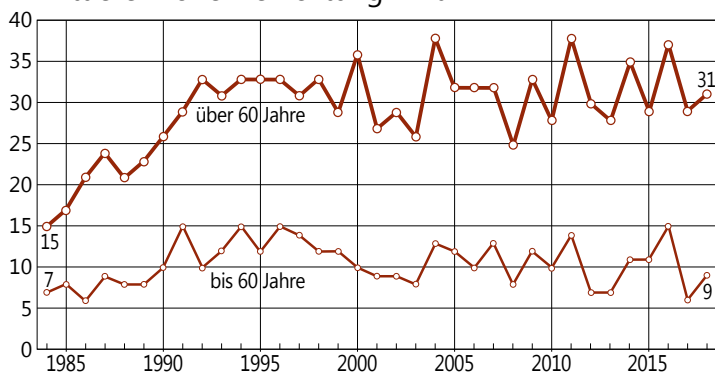
Nach dem deutlichen Anstieg der Kronenverlichtung im Zeitraum von 1984-1992 und einer Stagnation auf nahezu gleich bleibendem Niveau in der Zeit bis 1999 sind ab 2000 deutliche Schwankungen in der Ausprägung des Kronenzustandes der Buche festzustellen. Hierbei sind bei der älteren Buche vor allem stärkere Fruktifikationsereignisse die Ursache.

In 2018 hat sich der Kronenzustand der Buche kaum verändert. Die Kronenverlichtung erhöhte sich von 29 % (2017) auf 31 %. Die Fruchtbildung der Buche mit 41 % mittlerer und starker Fruktifikation bewirkte 2018 – vermutlich wegen der sehr guten Bedingungen in der ersten Jahreshälfte – keinen Anstieg der Verlichtung.

## Jüngere Buche

Bei der jüngeren Buche hat sich die mittlere Kronenverlichtung von 6 % (2017) auf 9 % erhöht.

Mittlere Kronenverlichtung in %



Anteil starker Schäden in %

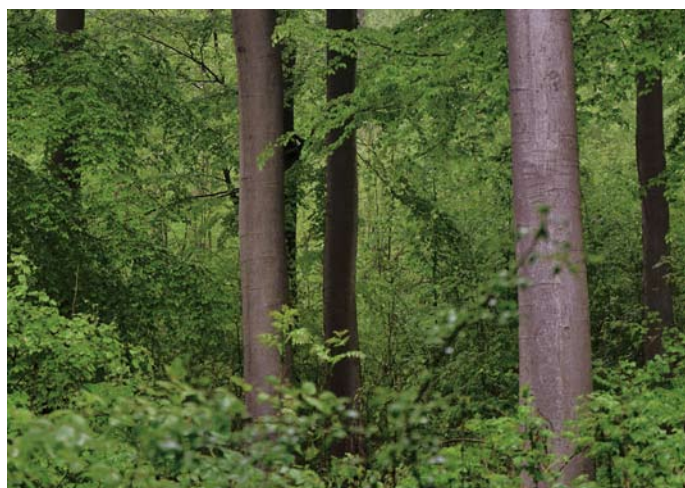
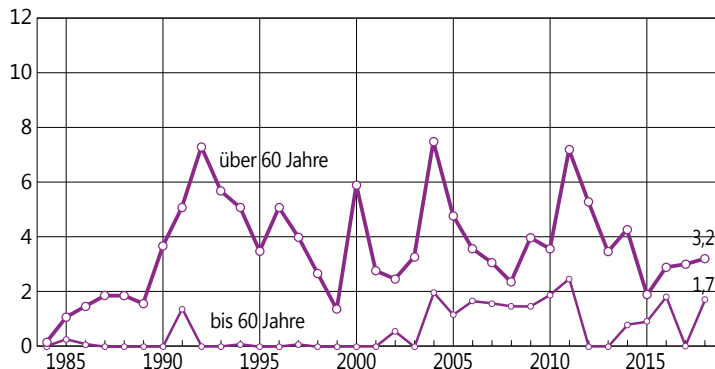


Foto: J. Evers



Foto: J. Weymar

## Starke Schäden

Der Anteil starker Schäden an älteren Buchen liegt wie im Vorjahr bei 3 %. Für 2 % der jüngeren Buchen wurden in 2018 starke Schäden festgestellt.

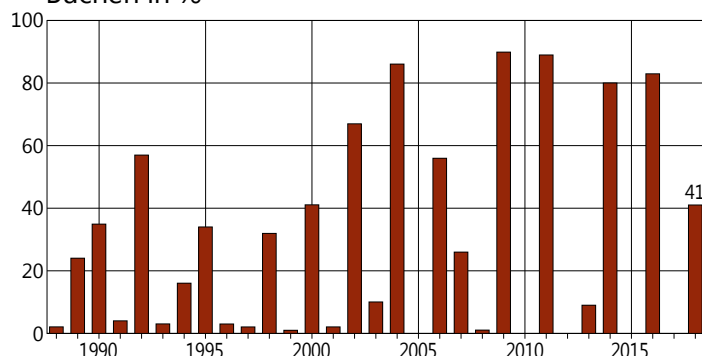
## Absterberate

Die Buche weist im Vergleich der Hauptbaumarten seit 1984 die geringste Absterberate auf. Im Mittel liegt die Absterberate der jüngeren und älteren Buche unter 0,1 %. Das ist auch 2017/2018 der Fall.

## Fruchtbildung

Für 2018 ist eine Fruchtbildung festzustellen, deren Intensität aber deutlich geringer war als in den Jahren 1992, 2002, 2004, 2006, 2009, 2011, 2014 und 2016. Die Zeitreihe zur Fruchtbildung im Rahmen der Waldzustandserhebungen zeigt eine Tendenz, dass die Buche in den letzten drei Jahrzehnten in kurzen Abständen und vielfach intensiv fruktifiziert hat. Dies steht einerseits im Zusammenhang mit einer Häufung warmer Jahre, die in Verbindung mit der Klimaerwärmung zu sehen sind, sowie einer erhöhten Stickstoffversorgung der Bäume, einer Folge der über Jahre hohen Belastung hessischer Wälder durch anthropogene Stickstoffeinträge. Wenn ein Drittel der älteren Buchen mittel oder stark fruktifizieren, geht man davon aus, dass eine starke Mast erreicht wird. Damit ergibt sich rechnerisch für den Beobachtungszeitraum 1988-2018 alle 2,6 Jahre eine starke Mast. Literaturrecherchen (Paar et al. 2011) hingegen ergaben für den Zeitraum 1839-1987 Abstände zwischen zwei starken Masten von im Mittel 4,7 Jahren. Des Weiteren zeigt sich, dass sich auch die Intensität der Fruktifikation in den einzelnen Fruktifikationsjahren insgesamt erhöht hat.

Anteil mittel und stark fruktifizierender älterer Buchen in %





# Eiche

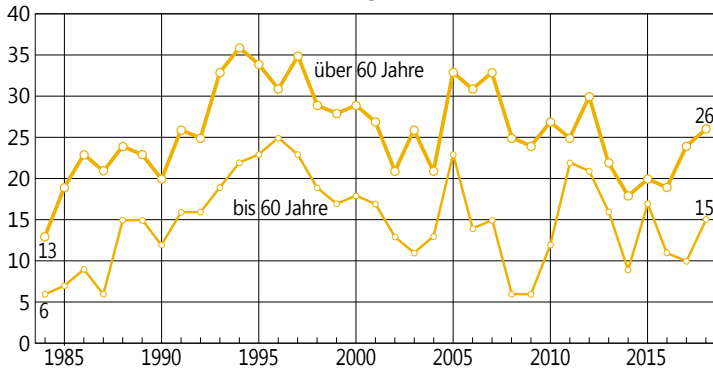
## Ältere Eiche

Die Kronenverlichtung der älteren Eiche in 2018 hat sich um 2 Prozentpunkte verschlechtert (2017: 24 %, 2018: 26 %). Die Entwicklung der Kronenverlichtung der Eiche wird insgesamt stark durch das unterschiedlich ausgeprägte Vorkommen der Eichenfraßgesellschaft bestimmt. Im Zeitraum 2013-2016 wurde in der WZE-Stichprobe kein oder nur ein geringer Anteil an mittleren oder starken Fraßschäden durch Schmetterlingsraupen an der älteren Eiche festgestellt. In 2017 wurde an 12 % der älteren Eiche intensiverer Fraß festgestellt. 2018 zeigten nur 2 % der älteren Eichen mittlere oder starke Fraßschäden.

## Jüngere Eiche

Die Kronenverlichtung der jüngeren Eiche hat sich von 10 % (2017) auf 15 % erhöht.

Mittlere Kronenverlichtung in %



Anteil starker Schäden in %

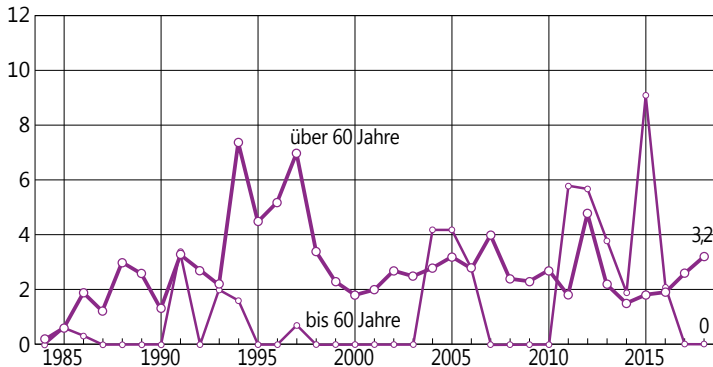


Foto: J. Evers



Foto: J. Weymar

## Starke Schäden

Phasen mit erhöhten Anteilen starker Schäden (über 5 %) an älteren Eichen stehen in der Regel in Verbindung mit intensivem Insektenfraß. In 2018 liegt der Anteil starker Schäden für die älteren Eichen bei 3 %. Dies entspricht dem Mittelwert der WZE-Zeitreihe.

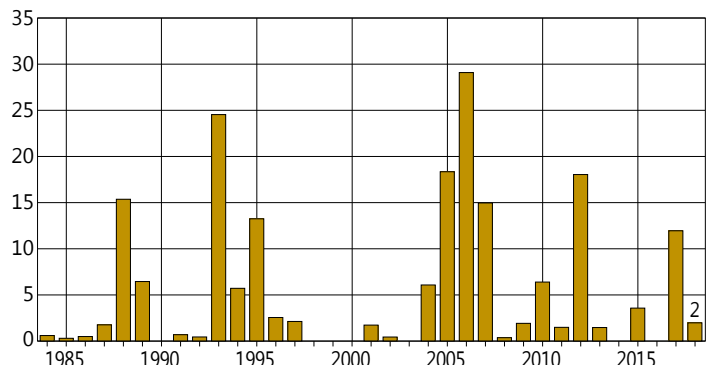
## Absterberate

Die Absterberate der Eiche liegt für den Zeitraum 2017/2018 unter 1 %.

## Fruchtbildung

Die Fruchtbildung der Eiche ist zum Zeitpunkt der Waldzustandserhebung im Juli und August nur schwer einzuschätzen, weil die Eicheln dann noch sehr klein sind. In diesem Jahr waren die Eicheln bereits sehr früh ausgebildet und gut zu sehen. Viele ältere Eichen fruktifizierten mittel oder stark (43 %).

Anteil mittlerer und starker Fraßschäden an älteren Eichen in %





# Fichte

## Ältere Fichte

Bei der älteren Fichte hat sich die mittlere Kronenverlichtung von 28 % im Vorjahr auf 29 % geringfügig verschlechtert.

## Jüngere Fichte

Bei der jüngeren Fichte erreicht die mittlere Kronenverlichtung mit 8 % den Wert des Vorjahres.

Mittlere Kronenverlichtung in %

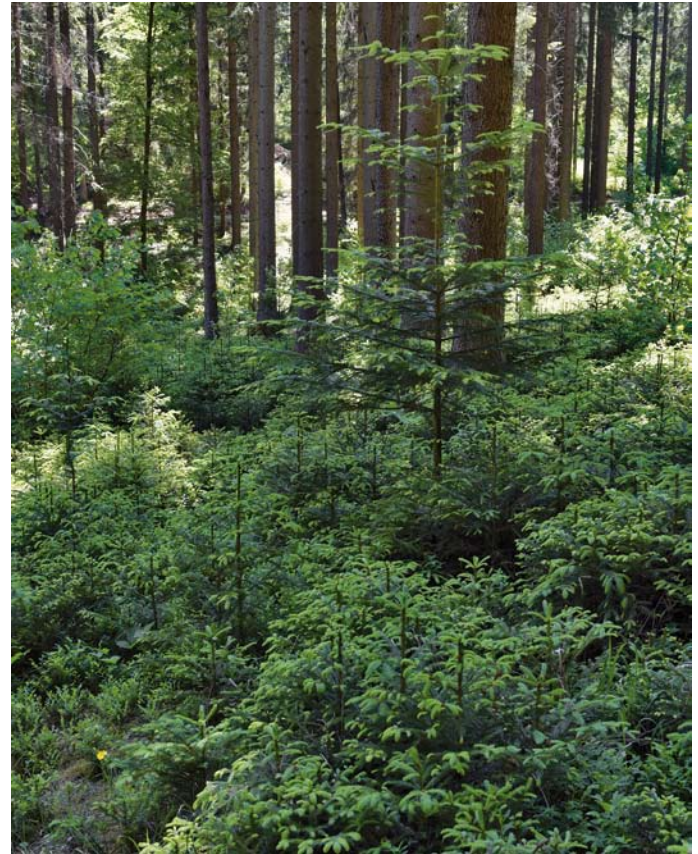
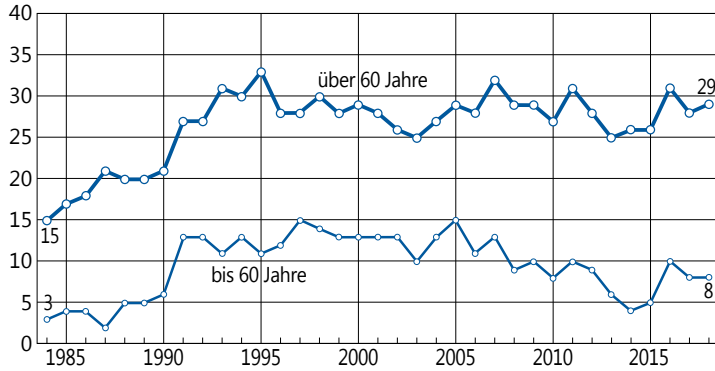
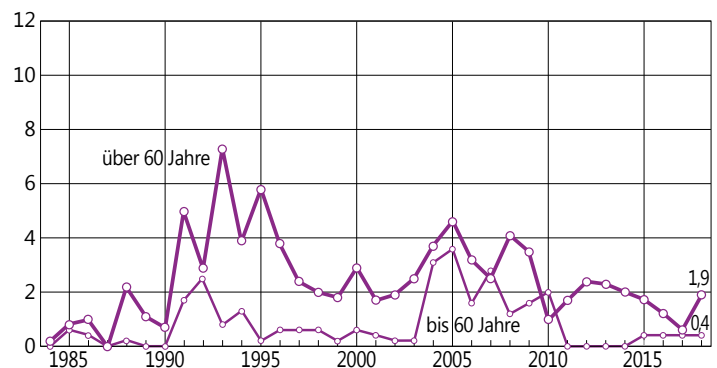


Foto: J. Evers



Foto: J. Evers

Anteil starker Schäden in %



## Starke Schäden

Für die Fichte ergibt sich im Mittel aller Erhebungsjahre ein Anteil an starken Schäden von 2 % (alle Alter). Aktuell liegt der Anteil stark geschädigter junger Fichten bei nur 0,4 %, von den älteren Fichten wurden 2 % als stark geschädigt eingestuft. Erhöht waren die Anteile starker Schäden Anfang der 1990er Jahre, mitverursacht durch Sturmschäden, sowie nach dem extremen Trockenjahr 2003. Der starke Borkenkäferbefall insbesondere gegen Ende der Vegetationszeit 2018 lässt eine ungünstige Vitalitätsentwicklung der Fichte für 2019 erwarten.

## Absterberate

Die Absterberate der Fichte liegt im Mittel der Jahre 1984-2018 bei 0,4 %. Im Zeitraum 2017/2018 liegt der Wert bei 0,2 %. Erhöhte Absterberaten sind 1991-1995 (bis 2 %), 2004-2005 (bis 1,4 %) und 2007-2008 (bis 1,1 %) aufgetreten, jeweils nach besonderen abiotischen und biotischen Schadereignissen.



# Kiefer

## Ältere Kiefer

Die mittlere Kronenverlichtung der älteren Kiefer liegt mit 23 % auf dem Niveau des Vorjahres. Nach einem Anstieg der Kronenverlichtung in der Zeit von 1984-1994 hat sich der Kronenzustand seit dieser Zeit leicht verbessert.

## Jüngere Kiefer

Die mittlere Kronenverlichtung der jüngeren Kiefer ist von 19 % (2017) auf 21 % leicht angestiegen.

Mittlere Kronenverlichtung in %

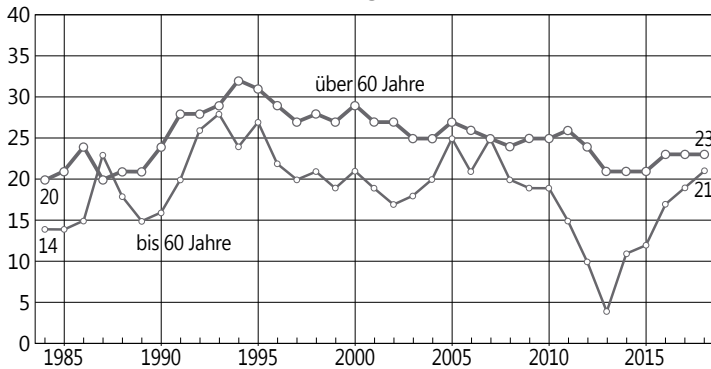
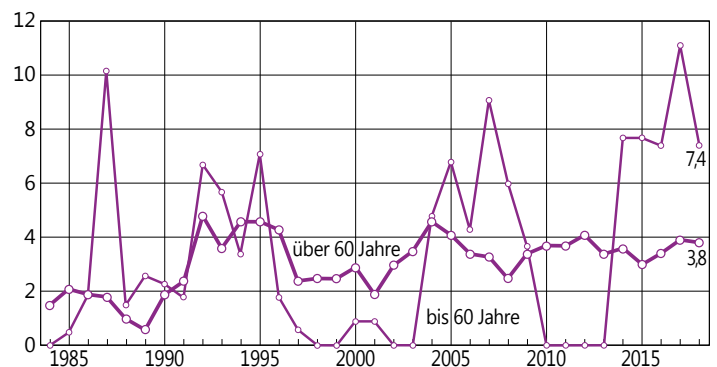


Foto: M. Spielmann



Foto: J. Evers

Anteil starker Schäden in %



## Starke Schäden

Der Anteil starker Schäden liegt bei der Kiefer im langjährigen Mittel bei 3 %. Bei der jüngeren Kiefer schwankt der Anteil starker Schäden im Beobachtungszeitraum stark. Der Anteil starker Schäden bei der jüngeren Kiefer in 2018 beträgt 7 %.

## Absterberate

Die Absterberate der Kiefer (alle Alter) schwankt im Erhebungszeitraum zwischen 0 und 2 %. In 2017/2018 liegt der Wert bei 0,7 %.



# 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 verschlechtert (2017: 27 %, 2018: 30 %). Die mittlere Kronenverlichtung der jüngeren Bäume ist von 15 % (2017) auf 18 % angestiegen. Insbesondere die jüngeren Bäume zeigen in der Rhein-Main-Ebene einen schlechteren Kronenzustand als in Gesamthessen.

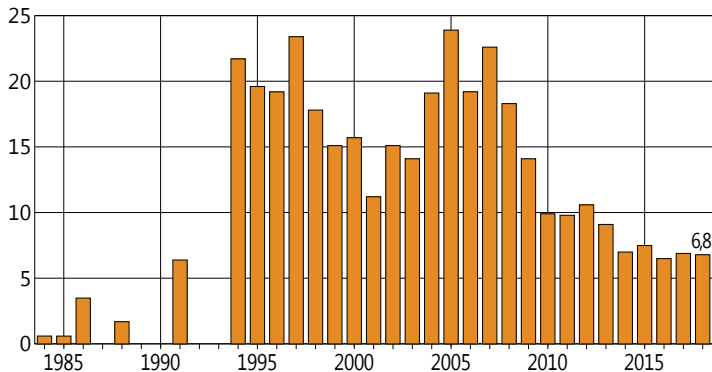
Die Eiche zählt zu den charakteristischen Baumarten dieser Region, die an die dortigen Klimabedingungen grundsätzlich gut angepasst ist.

Dass sich mittelfristig die Situation in der Rhein-Main-Ebene grundlegend verschlechtert hat, wird am Beispiel der Eiche deutlich. 1984, zu Beginn der methodisch unveränderten Zeitreihe, lag die Kronenverlichtung älterer Eichen in der Rhein-Main-Ebene bei 15 %. Der heutige Wert von 36 % stellt mehr als eine Verdopplung des mittleren Blattverlustes dar. Günstiger ist dagegen die Entwicklung des Kronenzustandes der älteren Eiche in Gesamthessen (1984: 13 %, 2018: 26 %).

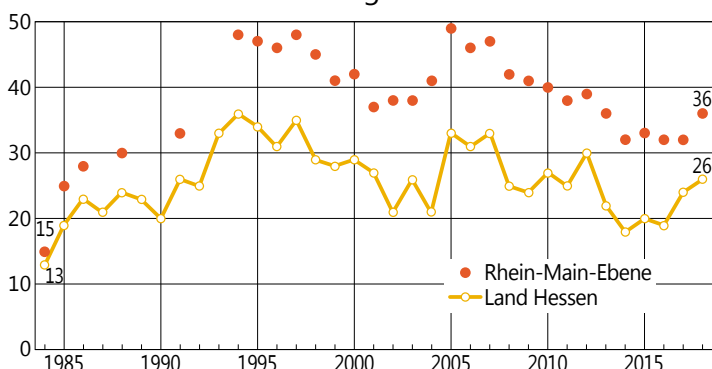
Bereits im Rahmen der ersten Aufnahme zum Mistelbefall an der Kiefer im Jahr 2002 wurde für ca. ein Drittel der Kiefern in der Rhein-Main-Ebene Mistelbefall festgestellt. Seitdem erhöhte sich der Anteil von Kiefern mit Mistelbefall auf 47 %. Im Vergleich zum Vorjahr hat sich der Anteil von Kiefern mit Mistelbefall nochmals um 4 % erhöht. Ihr gehäuftes Vorkommen wird als Hinweis auf ökologische Ungleichgewichte interpretiert.

Die Ergebnisse zum Waldzustand und die Gründe seiner Entwicklung in der Rhein-Main-Ebene und im Besonderen im Hess. Ried sind in verschiedenen Forschungsberichten dargelegt (z. B. Waldentwicklungsszenarien für das Hess.

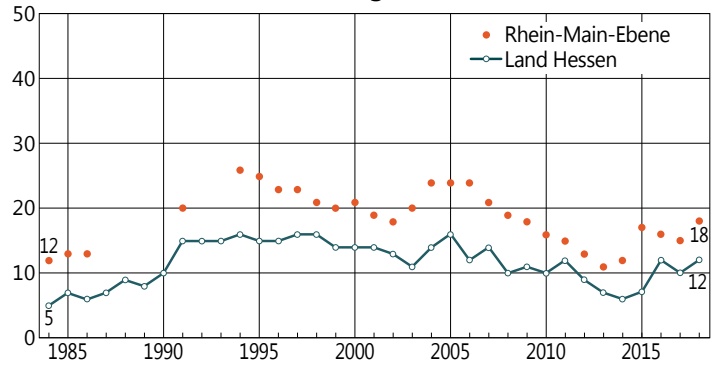
**Anteil der über 60-jährigen Eichen mit über 60 % Blattverlust in der Rhein-Main-Ebene in %**



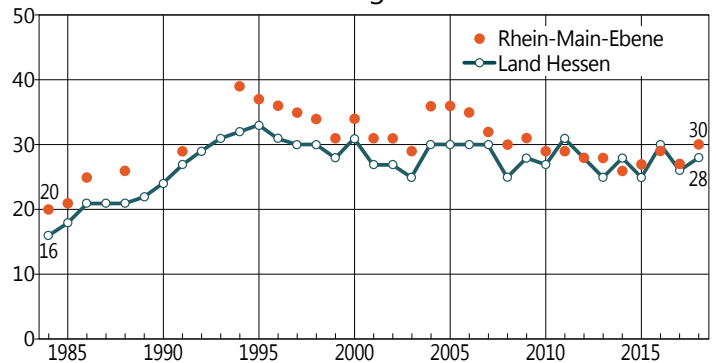
**Eiche, über 60 Jahre  
Mittlere Kronenverlichtung in %**



**Alle Baumarten, bis 60 Jahre  
Mittlere Kronenverlichtung in %**



**Alle Baumarten, über 60 Jahre  
Mittlere Kronenverlichtung in %**



Ried, Ahner et al. 2013, zu beziehen über die NW-FVA). Zusammenfassend bestätigen die Ergebnisse, 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.“

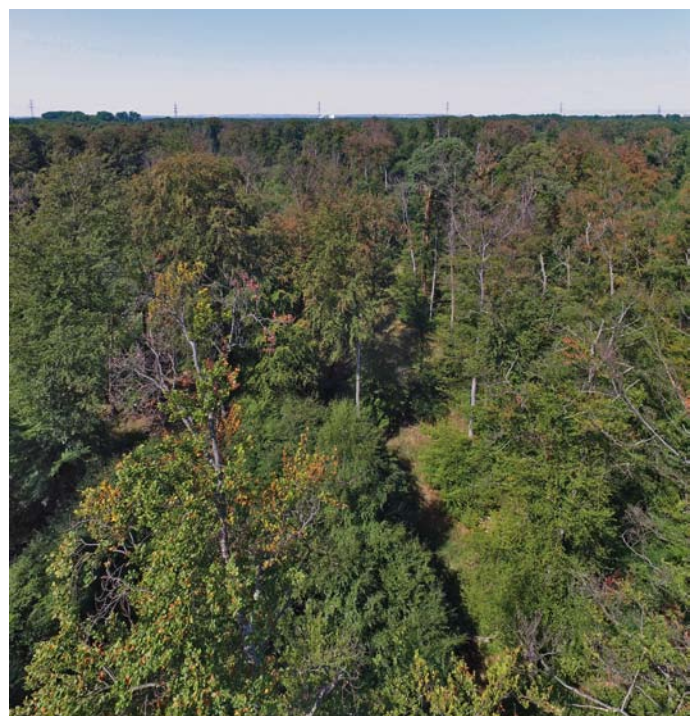


Foto: J. Weymar



# Auswirkungen des Sturms „Friederike“

Inge Dammann und Norbert Altstädt<sup>1</sup>

<sup>1</sup> HessenForst

Am 18. Januar 2018 zog das Orkantief „Friederike“ über Deutschland. Die höchsten Windgeschwindigkeiten traten in einem Streifen von Nordrhein-Westfalen bis Sachsen auf. „Friederike“ war der Höhepunkt einer sehr aktiven Sturmsaison, die bereits im September 2017 begann.

## Gesamtwald

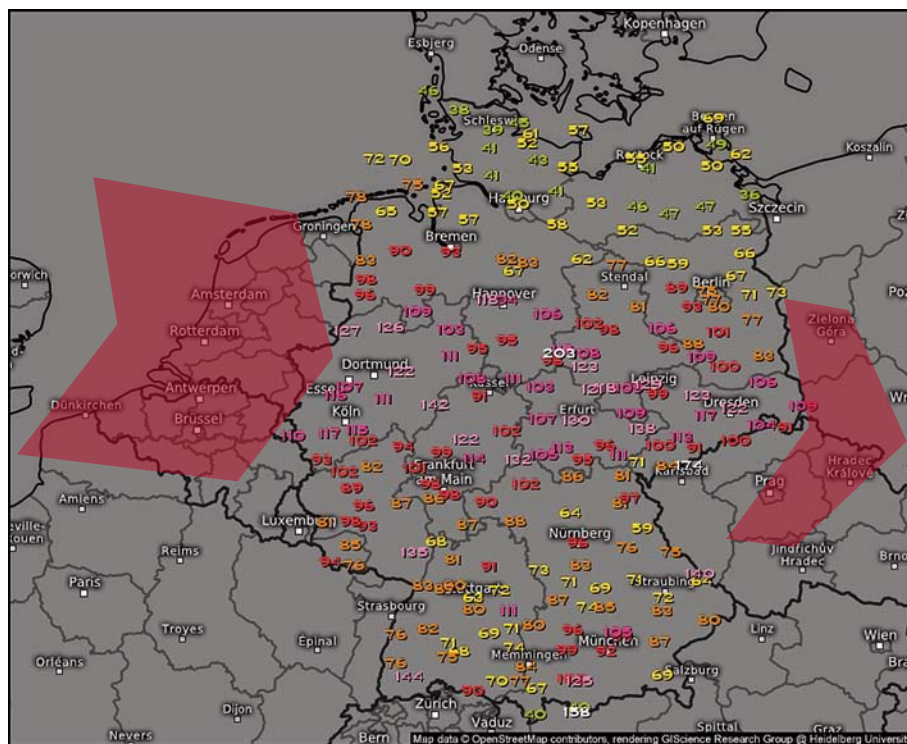
Der Sturm richtete erheblichen Schaden in den Wäldern an. Besonders betroffen sind in Hessen die Wälder in Nordhessen in den Forstämtern Reinhardshagen, Rotenburg, Hessisch-Lichtenau, Melsungen, Bad Hersfeld und Neukirchen. Der Sturm nahm in seiner Schadintensität über Mittel- nach Südhessen kontinuierlich ab.

Als Folge der Windwürfe sind im vom Landesbetrieb HessenForst betreuten Wald rund 2,5 Millionen Kubikmeter Sturmholz angefallen. Davon entfallen rund 1,6 Millionen Kubikmeter auf den Landeswald und rund 0,9 Millionen Kubikmeter auf den Kommunal- und Privatwald. Die Schadholzmenge 2018 erreichte in Hessen nicht das Ausmaß nach dem Sturm „Kyrill“ (7 Millionen Kubikmeter) elf Jahre zuvor. Im Wesentlichen wurden Nadelbäume geworfen (95 %), der Laubholzanteil des geworfenen Holzes liegt bei 5 %. Die Aufarbeitung des Holzes ist bereits weit vorangeschritten (77 %), wird aber voraussichtlich bis zum März 2019 andauern.

Zur Entlastung des Holzmarktes werden aus dem Landeswald rund 200.000 Kubikmeter Sturmholz eingelagert. Dabei kommen zwei Konservierungsverfahren zur Anwendung, um das Holz vor der Entwertung z. B. durch Borkenkäfer



Foto: M. Delpho



Deutschland, 219 Stationen im Kartenausschnitt

Kachelmann GmbH, DWD – kachelmannwetter.com

oder Pilze zu schützen. Bei der Nasslagerung wird das Holz durch ständige Beregnung geschützt, bei der Folienlagerung verhindern die Folie und der Sauerstoffabschluss die Besiedlung mit Insekten oder Pilzen und die Zersetzung des Holzes.

Aufgrund der großflächigen Schadenssituation sowie vieler Einzel- und Nesterwürfe kann die betroffene Waldfläche noch nicht abschließend beziffert werden. In Nordhessen sind schätzungsweise 2.400 Hektar Blößen entstanden, die in den nächsten Jahren wieder aufzuforsten sind. Da der Schwerpunkt auf Standorten mit mittlerer Nährstoffversorgung liegt, ergibt sich in großem Umfang die Option für natürliche Verjüngung. Zunächst haben die Aufarbeitung und Abfuhr des Holzes sowie Waldschutzmaßnahmen Vorrang. Mit der Wiederbewaldung der Sturmwurfflächen sollen standortgerechte, stabile, strukturreiche und produktive Wälder entstehen.

Die Fichten-Sturmwurfflächen boten ideale Voraussetzungen für die Vermehrung der Borkenkäfer. Zusätzlich haben Wärme und Trockenheit den Bruterfolg



## Auswirkungen des Sturms „Friederike“

der Borkenkäfer begünstigt, aber zugleich die Abwehrkräfte der stehenden Fichten herabgesetzt. Die Fichten konnten aufgrund des Wassermangels nicht die Harzbildung erbringen, die nötig gewesen wäre, um das Einbohren der Borkenkäfer erfolgreich zu verhindern

### Forstliches Umweltmonitoring

Von den Stichprobenbäumen der Waldzustandserhebung sind infolge des Sturms „Friederike“ bezogen auf das 8 km x 8 km-Raster 2 % ausgefallen, d. h. sie sind umgefallen, angeschoben, der Stamm ist gebrochen oder mehr als 50 % der Baumkronen ist abgebrochen. Die Fichte ist im WZE-Kollektiv die am stärksten betroffene Baumart. 5 % der Fichten-Stichprobenbäume sind durch „Friederike“ aus dem WZE-Kollektiv ausgeschieden. Da es sich in diesen Fällen um Einzel- und Nesterwürfe handelte, sind keine Stichprobenpunkte in Hessen komplett ausgefallen. An den betroffenen WZE-Punkten erfolgte nach den objektiven Vorgaben der Waldzustandserhebung für ausgefallene Bäume eine Ersatzbaumauswahl, indem unmittelbar nächststehende geeignete Bäume in die Stichprobe 2018 aufgenommen wurden.

Die Flächen des Intensiven Monitorings blieben vom Sturm weitgehend verschont. Auf der Buchenfläche Zierenberg in Nordhessen wurden allerdings 10 % der Buchen geworfen.



Windwurfaufarbeitung

Foto: M. Delpho



Folienlagerung

Foto: F. Reinbold



Nasslagerung

Foto: M. Delpho



# Witterung und Klima

**Johannes Suttmöller**

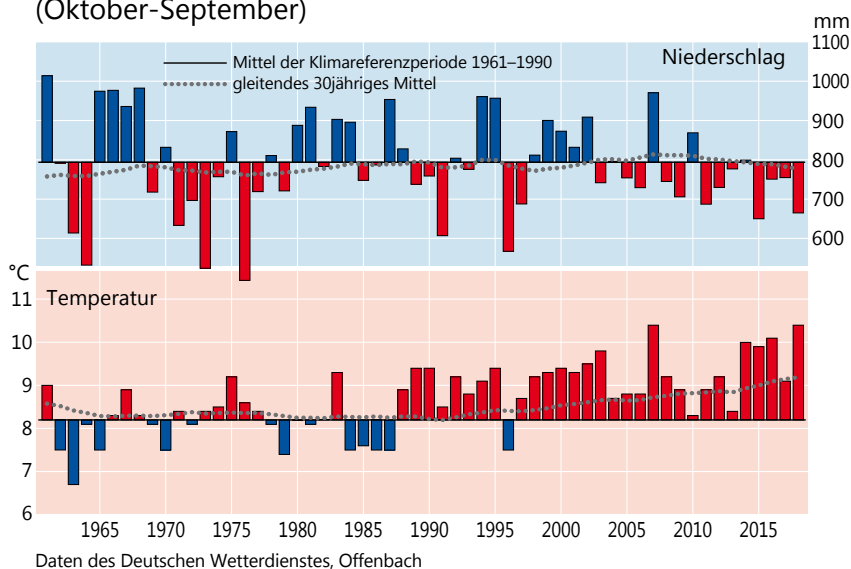
Das Vegetationsjahr 2017/2018 (Oktober bis September) wird aufgrund der extremen Trockenheit, die besonders den Norden und die Mitte Deutschlands betraf, in Erinnerung bleiben. Von April bis weit in den September hinein wurden überdurchschnittlich hohe Temperaturen und gleichzeitig sehr geringe Niederschlagsmengen gemessen. Dies hatte in großen Teilen Deutschlands eine ausgeprägte Dürre zur Folge.

Die Höhe der Niederschläge und ihre Verteilung über das Jahr sowie die Temperaturdynamik sind wichtige Einflussgrößen auf die Vitalität und das Wachstum der Waldbäume. Dabei spielen sowohl der langjährige Witterungsverlauf als auch die Werte des vergangenen Jahres eine wichtige Rolle. Um eine flächenhafte Aussage für das Land Hessen treffen zu können, werden die klimatologischen Größen Niederschlag und Temperatur anhand der Messstationen des Deutschen



Foto: J. Evers

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



Wetterdienstes (DWD) ausgewertet, indem die Messwerte mit einem kombinierten Regionalisierungsverfahren (Inverse Distance Weighting, Höhenregression) auf ein 200 m-Raster interpoliert werden.

Im Landesmittel von Hessen betrug die Mitteltemperatur für das Vegetationsjahr 2017/2018 10,4 °C. Damit war dieses Jahr genauso warm wie das bisher wärmste Vegetationsjahr 2006/2007. Die gemessene Niederschlagssumme entspricht mit 665 mm im Landesmittel nur 85 % der langjährig üblichen Niederschlagsmenge. Dabei fielen in den Monaten von Oktober 2017 bis Januar 2018 über die Hälfte der gesamten Niederschlagsmenge des Vegetationsjahres. In der Vegetationsperiode (Mai-September) 2018 wurden im Flächenmittel des Landes Hessen dagegen nur rund 55 % des sonst üblichen Niederschlagsolls erreicht.

## Temperatur und Niederschlag im langjährigen Verlauf

Der langfristige beobachtete Erwärmungstrend hat sich auch im vergangenen Vegetationsjahr unverändert fortgesetzt, wie das gleitende 30jährige Mittel verdeutlicht (gepunktete Linie in der Abb. links). Die Abweichung der Temperatur im Vegetationsjahr 2017/2018 zum Mittelwert der Klimanormalperiode 1961-1990 beträgt +2,2 °C und zur wärmeren Periode 1981-2010 rund +1,7 °C. Diese hohe positive Temperaturanomalie ist umso bemerkenswerter, da die Monate Februar und März deutlich zu kalt waren. Alle übrigen Monate fielen z. T. deutlich zu warm aus, wobei im April und Mai jeweils neue Monatsrekorde seit Messbeginn im Jahr 1881 aufgestellt wurden.

Obwohl seit Februar 2018 alle Monate zu trocken waren, fiel das Niederschlagsdefizit im Vegetationsjahr 2017/2018 aufgrund des nassen Herbst und Winters nicht so hoch aus wie beispielsweise in den Jahren 1973 (67 %), 1976 (63 %) und 1996 (72 %) (Abb. links). Da seit 2007 fast alle Jahre mehr oder weniger zu trocken waren, nahm der Niederschlag im gleitenden 30jährigen Mittel kontinuierlich auf 777 mm ab und liegt damit unter der mittleren Niederschlagshöhe der Klimareferenzperiode von 795 mm.

Die Nichtvegetationszeit von Oktober 2017 bis April 2018 war zu warm und zu nass, während die Vegetationsperiode von Mai bis September 2018 deutlich zu trocken und zu warm ausgefallen ist. Mit einer Mitteltemperatur von 5,0 °C war die Nichtvegetationszeit um 1,4 °C wärmer als der langjährige Mittelwert (Abb. Seite 16). Im Vergleich zur Periode 1981-2010 betrug die Abweichung +0,8 °C. In der Vegetationszeit 2018 wurde im Landesmittel eine Mitteltemperatur von 17,8 °C gemessen. Die Abweichung betrug +3.0 °C im Vergleich zur Klimanormalperiode



# Witterung und Klima

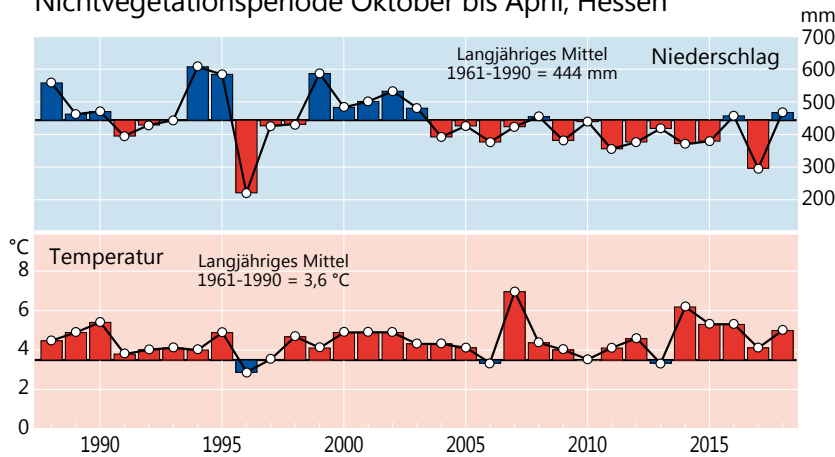


Foto: J. Evers

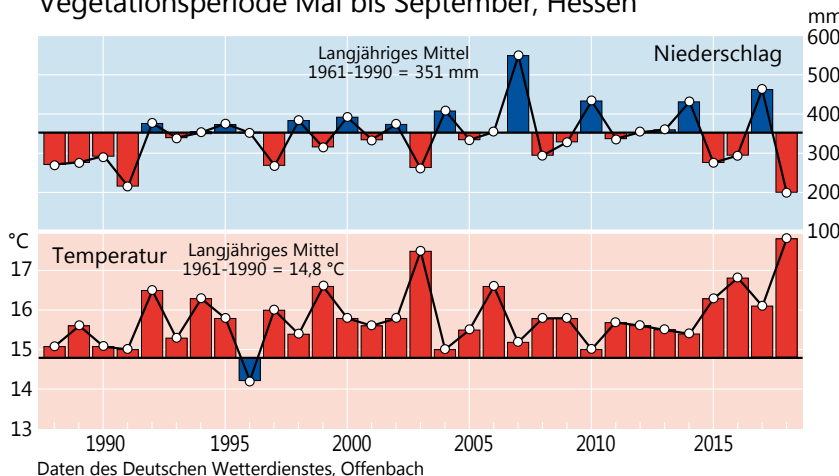
bzw. knapp  $+2.4^{\circ}\text{C}$  zur Periode 1981-2010 (Abb. unten). Damit war die diesjährige Vegetationsperiode die wärmste seit Beobachtungsbeginn in Hessen. Die Niederschläge fielen über das Vegetationsjahr betrachtet sehr ungleichmäßig. In der Nichtvegetationsperiode wurden im Flächenmittel von Hessen 467 mm Niederschlag gemessen (Abb. unten) und damit etwas mehr als im langjährigen Durchschnitt (105 %). In der Vegetationsperiode 2018 zeigte sich dagegen ein komplett anderes Bild. Alle Monate waren teilweise deutlich zu trocken, so dass von Mai bis September nicht einmal 200 mm Niederschlag fielen. Dies entspricht rund 55 % der sonst üblichen Niederschlagsmenge (Abb. unten).

Auch in diesem Jahr ist der Erwärmungstrend weiter ungebrochen. Im Durchschnitt der letzten Jahre stieg die Temperatur alle 2 bis 3 Jahre um  $0,1^{\circ}\text{C}$ . Wie in den Jahren zuvor, waren der Spätwinter und das Frühjahr im Landesmittel von Hessen zu trocken. In diesem Jahr setzte sich die Trockenheit aus dem Frühjahr übergangslos in den Sommer fort, so dass seit Februar das Niederschlagsdefizit immer größer wurde und eine extreme Dürre die Folge war.

## Langjährige Klimawerte (1988-2018) Nichtvegetationsperiode Oktober bis April, Hessen



## Langjährige Klimawerte (1988-2018) Vegetationsperiode Mai bis September, Hessen



Daten des Deutschen Wetterdienstes, Offenbach

## Witterungsverlauf von Oktober 2017 bis September 2018

Der Witterungsverlauf in diesem Vegetationsjahr zeichnete sich sowohl bei den Temperaturen wie auch bei den Niederschlägen durch große Gegensätze aus (Abb. Seite 17). Der Oktober 2017 war ein warmer Herbstmonat. Die Mitteltemperatur betrug  $11,1^{\circ}\text{C}$  und lag damit  $2,3^{\circ}\text{C}$  über dem langjährigen Mittelwert. Dabei wurde das Niederschlagsoll von 57 mm erreicht. Zudem brachten zwei starke Sturmtiefs regional Windböen in Orkanstärke, sodass es in Hessen in den noch belaubten Wäldern zu Windwurf kam. Im November setzte sich die milde und nasse Witterung fort. Mit einer Mitteltemperatur von  $4,6^{\circ}\text{C}$  war der Monat  $0,8^{\circ}\text{C}$  zu warm. Der Einfluss atlantischer Tiefdruckgebiete führte dazu, dass es mit rund 89 mm sehr feucht war ( $+25\%$ ). Der Dezember war wechselhaft und sehr mild. Es wurde rund  $25\%$  mehr Niederschlag gemessen als im Mittel der Klimanormalperiode (1961-1990). Zusammen mit der außergewöhnlich geringen Sonnenscheindauer dominierte im Dezember 2017 ein trüber Witterungscharakter. Die Monatsmitteltemperatur betrug  $+2,6^{\circ}\text{C}$  ( $+1,9^{\circ}\text{C}$ ). Auch das Jahr 2018 startete sehr mild, nass und trüb. Der Januar war knapp  $4,5^{\circ}\text{C}$  zu warm und mit über 100 mm Niederschlag fielen im Flächenmittel mehr als  $170\%$  der vieljährigen Normalwerte. Das Orkantief „Friederike“ sorgte am 18. Januar in den mittleren Gebieten Deutschlands verbreitet für Orkanböen (Brocken:  $203\text{ km/h}$ ). Große Sturmschäden in den Wäldern insbesondere in den nördlichen Landesteilen von Hessen waren die Folge (s. Seite 13: Auswirkungen des Sturms „Friederike“). Im Februar stellte sich die Wetterlage über Mitteleuropa komplett um. Von nun an dominierten Hochdruckgebiete über Nord- und Osteuropa das Witterungsgeschehen. Infolge fielen die Temperaturen und die Monatsmitteltemperatur lag bei  $-1,9^{\circ}\text{C}$ . Die Temperaturabweichung betrug  $-2,4^{\circ}\text{C}$ . Gleichzeitig war es mit nur 14 mm im Flächenmittel deutlich zu trocken ( $28\%$ ). Im März setzte sich die winterliche Witterung fort und führte zu einer Temperaturabweichung von  $-0,8^{\circ}\text{C}$ . Zwar fiel mit 57 mm deutlich mehr Niederschlag als im Februar, aber auch in diesem Monat wurde das Niederschlagsoll leicht unterschritten ( $92\%$ ). Vom Winter in den Sommer innerhalb einer Woche, so lässt sich der April 2018 charakterisieren. Mit einer Temperaturabweichung von  $+4,6^{\circ}\text{C}$  wurde seit Messbeginn im Jahr 1881 kein wärmerer Monatsmittelwert für den April in Hessen gemessen. Die sommerliche Witterung zu Beginn des Monats verlieh der Vegetation einen enormen Entwicklungsschub und einen frühen Vegetationsbeginn. Mit einer Niederschlagsmenge von 47 mm war auch dieser Monat zu trocken ( $82\%$ ).

Der Mai, als erster Monat in der forstlichen Vegetationsperiode, setzte die Rekordjagd fort und war mit einer Mitteltemperatur von  $15,9^{\circ}\text{C}$  ( $+3,8^{\circ}\text{C}$ )



# Witterung und Klima

Abweichung von Niederschlag und Temperatur vom Mittel der Klimareferenzperiode 1961-1990 (durchgezogene schwarze Linie) in Hessen, Monatswerte für das Vegetationsjahr 2018 (Oktober 2017-September 2018)

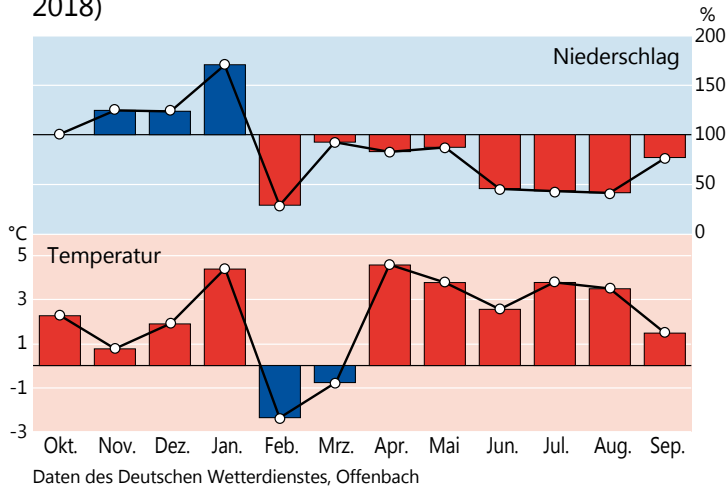


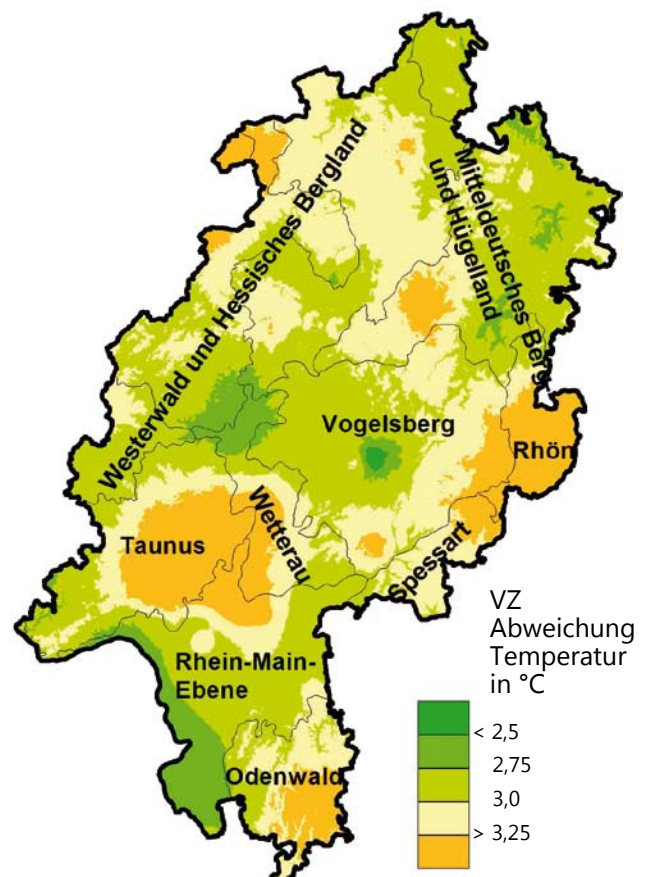
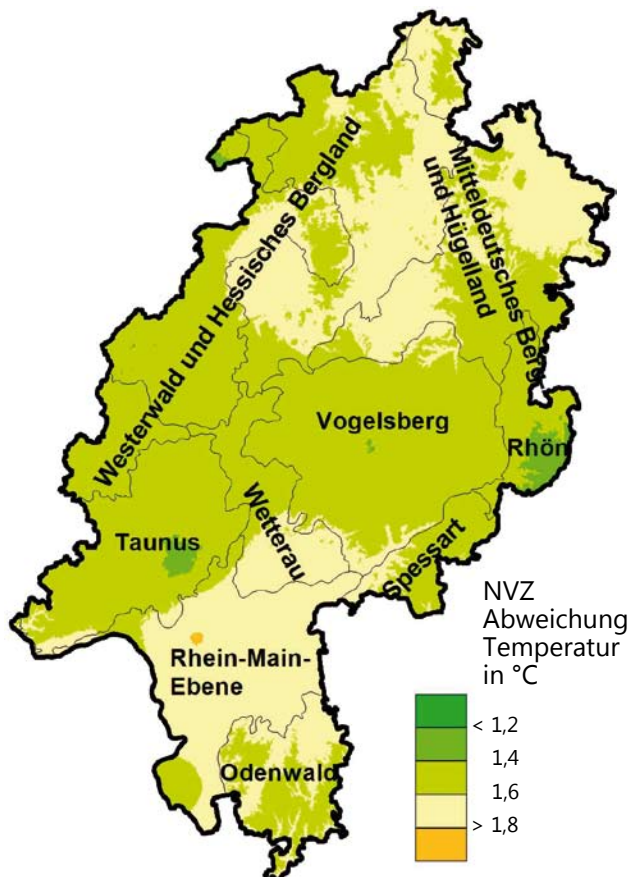
Foto: J. Weymar

Monat heiß und fast 4 °C zu warm. Die Trockenheit weitete sich landesweit zu einer Dürre aus, da nur 43 % (31 mm) vom üblichen Niederschlagsoll fielen. Auch im August 2018 setzte sich die Dürre im gesamten Land Hessen fort. Vereinzelt konnten gewittrige Niederschläge die Trockenheit kurzfristig mildern. Im Flächenmittel wurde auch in diesem Monat das vieljährige Mittel von knapp 70 mm nur zu gut 40 % erreicht. Der August war mit einer Mitteltemperatur 19,9 °C nur wenig kühler als der Juli und folglich auch deutlich zu warm (+3,5 °C). Zum Abschluss des Vegetationsjahres 2017/2018 folgte ein ebenfalls zu warmer (+1,5 °C) und trockener September (76 %).

Die Nichtvegetationszeit 2017/2018 war in Hessen landesweit zu warm. Die höchsten Abweichungen zum langjährigen Mittel der Klimanormalperiode von 1961-1990 wurden mit mehr als +1,5 °C in der Rhein-Main-Ebene und Teilen von Nord- und Mittelhessen gemessen (Abb. unten links). In den übrigen Landesteilen schwankt die Temperaturabweichung um +1,3 °C, wobei in den Höhenlagen von Taunus

ebenfalls einer der wärmsten seit Messbeginn. Im Mai fielen rund 85 % (60 mm) der sonst üblichen Niederschlagsmenge. Damit war auch dieser Monat zu trocken, allerdings war das Niederschlagsdefizit deutlich geringer als im Norden von Deutschland. Der Juni war mit rund 35 mm (45 %) im Flächenmittel von Hessen sehr trocken, so dass sich die Trockenheit verschärfte. Der Monat war mit einer Mitteltemperatur von 17,8 °C ebenfalls zu warm (+2,6 °C). Auch im Juli änderte sich die hochdruckdominierte Wetterlage nicht, die nun schon seit Februar mit kurzen Unterbrechungen andauerte. Mit einer Mitteltemperatur von 20,7 °C war der

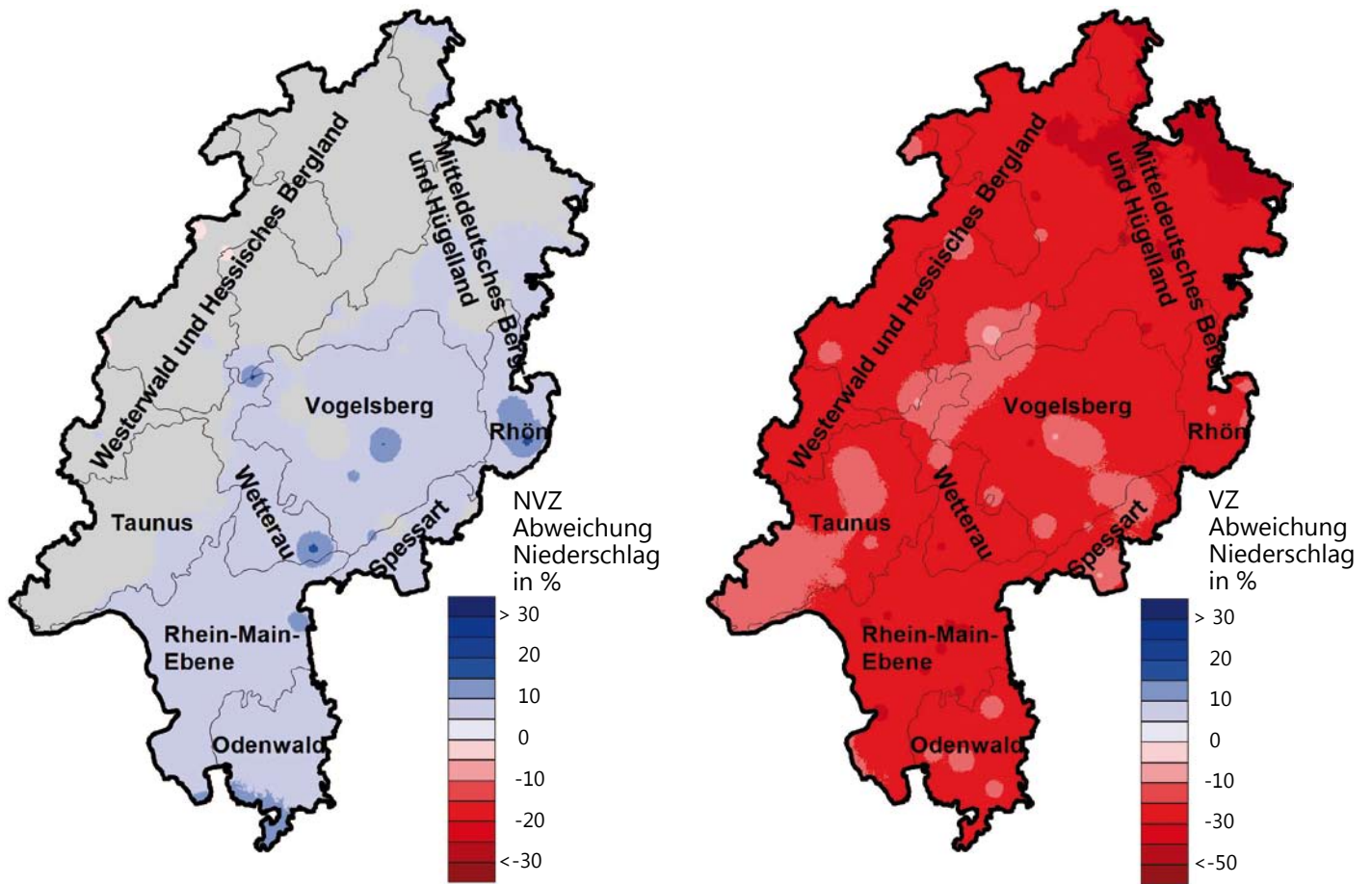
Abweichung der Temperatur vom langjährigen Mittel in der Nichtvegetationszeit (NVZ) 2017/2018 und in der Vegetationszeit (VZ) 2018





# Witterung und Klima

Abweichung der Niederschlagssumme vom langjährigen Mittel in der Nichtvegetationszeit (NVZ) 2017/2018 und in der Vegetationszeit (VZ) 2018



und Rhön die geringsten positiven Temperaturanomalien beobachtet wurden ( $<1,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Die Niederschlagssumme der Monate Oktober 2017 bis April 2018 lagen leicht über den langjährigen Mittelwerten. Im Süden und Osten wurden 10 bis 15 % mehr als die übliche Niederschlagsmenge gemessen (Abb. oben links), in den Höhenlagen von Rhön und Vogelsberg regional 20 %.

In der Vegetationsperiode von Mai bis September fielen im Mittel weniger als 60 % der sonst üblichen Niederschlagsmenge (Abb. oben rechts). Besonders trocken war es im äußersten Norden des Landes, wo teilweise nur 40 % des Niederschlagsolls erreicht wurde. In den meisten Landesteilen von Hessen wurden in der Regel nur wenig mehr als die Hälfte der langjährigen Niederschlagsmengen gemessen. Regional lag infolge von Starkniederschlagsereignissen das Defizit bei nur 20 %. Gleichzeitig war es in der Vegetationsperiode 2018 im ganzen Land deutlich zu warm (Abb. Seite 17 rechts) Besonders hohe Temperaturabweichungen

von mehr als  $3\text{ }^{\circ}\text{C}$  im Vergleich zur Klimanormalperiode von 1961-1990 wurden in den höheren Regionen von Rhön, Taunus und Odenwald gemessen. Etwas geringer waren die Abweichungen in der Rhein-Main-Ebene, dem Vogelsberg, im Westerwald sowie im nordöstlichen Bergland.

## Fazit

Das Vegetationsjahr 2017/2018 (Oktober-September) wird aufgrund des außergewöhnlichen Witterungsverlaufes und der extremen Dürre in Erinnerung bleiben. Mit einer Temperaturabweichung von über  $+2\text{ }^{\circ}\text{C}$  ist es eines der wärmsten Vegetationsjahre seit Messbeginn und reiht sich damit nahtlos in die überdurchschnittlich warmen Jahre der letzten Jahrzehnte ein. Nach einem nassen Herbst und Jahresbeginn begann im Februar 2018 eine langanhaltende Trockenperiode, die bis zum Ende des Vegetationsjahres im September 2018 andauerte und zu einer extremen Dürre im gesamten Land Hessen führte. Die Folgen dieser Dürre haben sich auf die Vitalität und das Wachstum der Wälder ausgewirkt (s. Seite 19: Auswirkungen der Trockenheit 2018 auf Wachstum und Vitalität).

Auswertungen des DWD zeigen, dass die Monate Januar bis September 2018 deutschlandweit im Mittel um  $2,3\text{ }^{\circ}\text{C}$  im Vergleich zur Klimanormalperiode (1961-1990) zu warm waren. Dies ist die höchste Abweichung seit Messbeginn im Jahr 1881. Sollten die letzten drei Monate des Jahres 2018 ebenfalls deutlich zu warm ausfallen, würde das Jahr 2014 als bisher wärmstes Jahr in der Messgeschichte durch 2018 abgelöst werden.

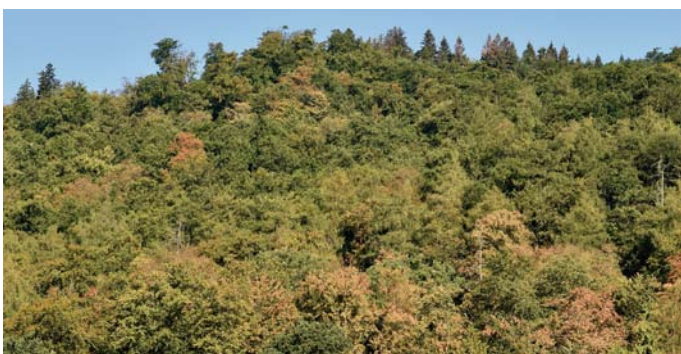


Foto: M. Spielmann



# Auswirkungen der Trockenheit 2018 auf Wachstum und Vitalität

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

Der warme und sehr niederschlagsarme Witterungsverlauf, der in weiten Teilen von Deutschland von Anfang April bis einschließlich August 2018 herrschte, hatte eine außergewöhnliche Trockenheit zur Folge.

Ernteaussfälle in der Landwirtschaft, überdurchschnittlich viele Waldbrände und Rekordniedrigwasserstände in den Flüssen sind nur einige Beispiele, die zeigen, welche enormen Auswirkungen die Trockenheit auf die Umwelt hatte. Wie aber lässt sich die diesjährige Witterung langfristig einordnen? Hierzu erfolgte ein Vergleich mit ähnlich markanten Trockenperioden der Jahre 1976 und 2003, die aus der jüngeren Vergangenheit ebenfalls als extreme Jahre in Erinnerung geblieben sind. Zur Abschätzung und Einordnung der drei Trockenperioden wurden die Klimatische Wasserbilanz (KWB) und das potenzielle Wasserangebot bzw. der Bedarf flächenhaft für die Trägerländer der NW-FVA berechnet.

Die **Klimatische Wasserbilanz (KWB)** ergibt sich aus der Differenz von Niederschlag ( $P$ ) und potenzieller Evapotranspiration ( $ET_p$ ). Die klimatische Wasserbilanz kennzeichnet den Überschuss oder das Defizit des gefallenen Niederschlags gegenüber Verdunstungsverlusten. Im Herbst und Winter (Nichtvegetationszeit) sind die Verdunstungsverluste gering. Dies führt zu einer Auffüllung des Bodenwasservorrats (im Wald) durch die gefallenen Niederschläge. Nach FAO-Norm wird die KWB für eine einheitliche Grasbedeckung berechnet. Untersuchungen der NW-FVA, Abt. Umweltkontrolle, belegen, dass die Vegetationsform Wald mehr verdunstet als die Vegetationsform Gras. Deshalb werden bei den nachfolgenden Berechnungen der KWB für Wälder (Laub- und Nadelwälder) pauschal 50 mm abgezogen.

Die **nutzbare Feldkapazität für den effektiven Wurzelraum (nFK WRe, pflanzenverfügbares Bodenwasser)** ist die Differenz zwischen dem Wassergehalt bei Feldkapazität und dem permanenten Welkepunkt (unterhalb dieses Wassergehaltes kann das Bodenwasser nicht mehr durch die Pflanzen genutzt werden). Ein Boden ist wassergesättigt, wenn alle Poren mit Wasser gefüllt sind. Da der Anteil freien Bodenwassers (Grobporen) nicht für Pflanzen verfügbar ist, wird in diesem Artikel von **Wassersättigung** gesprochen, wenn der Bodenwasservorrat der nFK WRe entspricht. Gegenüber flachgründigen Böden steigt bei tiefgründigen Böden die Bezugstiefe für die Berechnung der

nFK WRe an, da die Bäume deutlich tiefer wurzeln und folglich einen höheren Bodenwasservorrat ausschöpfen können. Für alle vier Bundesländer wird als Informationsgrundlage die Bodenübersichtskarte für Wald verwendet (Maßstab 1:1.000.000).

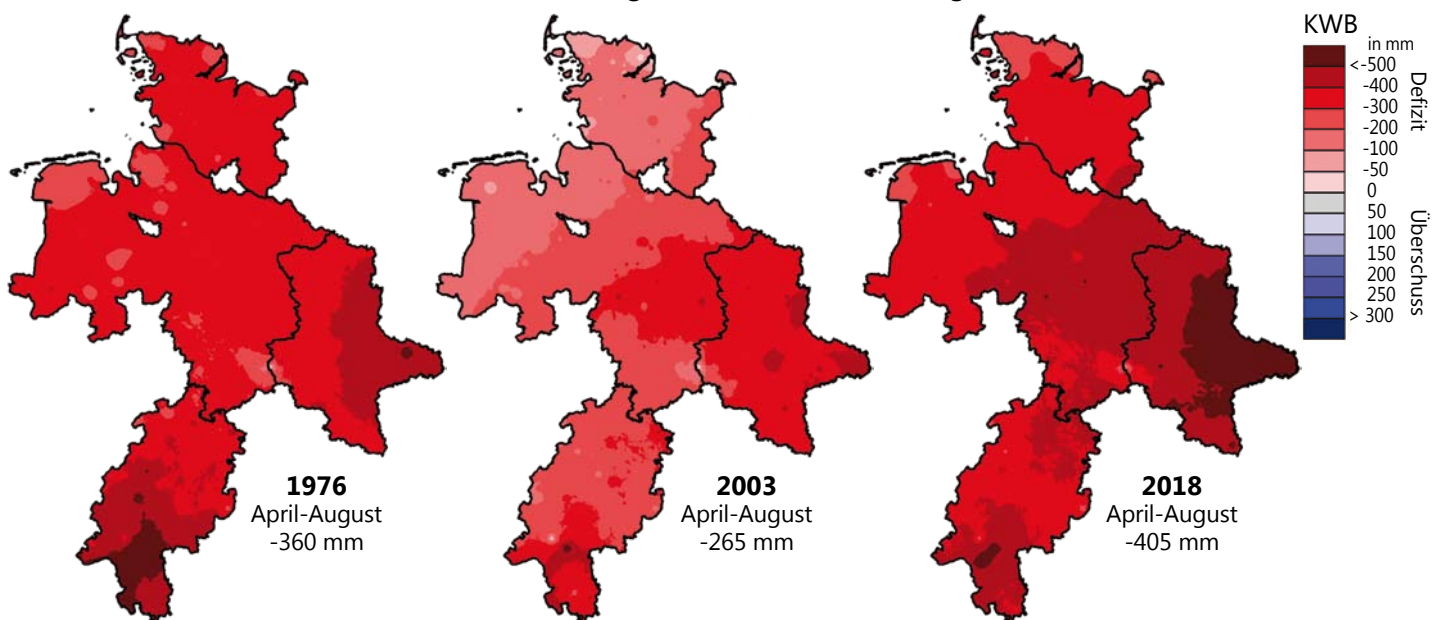
Das **potenzielle Wasserangebot** zu Beginn der Vegetationszeit leitet sich aus der KWB der Nichtvegetationszeit und der nFK WRe ab. Der pflanzenverfügbare Bodenwasserspeicher ist vollständig aufgefüllt, wenn der Wert für die KWB der Nichtvegetationszeit größer als die nFK WRe ist. Das potenzielle Wasserangebot entspricht in diesem Fall der nFK WRe, ansonsten ist das potenzielle Wasserangebot gleich dem Wert der KWB der Nichtvegetationszeit. Der pflanzenverfügbare Wasservorrat wird während der Vegetationszeit mit den monatlichen Werten für die KWB verrechnet. Da bei steigenden Verdunstungsraten in der Vegetationszeit die KWB überwiegend negativ ist, wird der Bodenwasserspeicher im Laufe des Frühjahrs geleert. Im Sommer kann die potenzielle Verdunstung der Pflanzen meist nicht mehr aus dem Bodenwasserspeicher gedeckt werden, so dass ein mehr oder weniger hohes Defizit (**potenzieller Wasserbedarf**) entsteht. Die Höhe des Defizits kann als Maß für die Trockenheit interpretiert werden.

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

## Räumliche Analyse der Klimatischen Wasserbilanz für die Vegetationszeiten 1976, 2003 und 2018

Die KWB in der Vegetationszeit war in den drei betrachteten Perioden (1976, 2003 und 2018) regional sehr unterschiedlich (Abb. unten). 1976 sind besonders hohe Wasserdefizite in Teilen von Süd- und Mittelhessen und im Osten von Sachsen-Anhalt erkennbar. 2003 bestehen Schwerpunkte in Südhessen, im mittleren und östlichen Niedersachsen sowie in Sachsen-Anhalt. 2018 sind die Defizite insgesamt großflächiger ausgebildet, besonders stark im östlichen Sachsen-Anhalt.

Klimatische Wasserbilanz (KWB) in der Vegetationszeit für die 4 Trägerländer der NW-FVA





# Auswirkungen der Trockenheit 2018 auf Wachstum und Vitalität



Foto: J. Weymar

Das Wasserdefizit der KWB in der Vegetationszeit beträgt im Mittel der Jahre 1961-1990 je nach Bundesland zwischen 45 mm (Schleswig-Holstein) und 130 mm (Sachsen-Anhalt).

Die diesjährige Trockenperiode von April bis August (Vegetationszeit) weist im Flächenmittel aller vier Trägerländer ein Defizit in der KWB von mehr als 400 mm auf. Damit wird die Dürre aus dem Jahr 1976, die mit einem mittleren Defizit von rund 360 mm bereits extrem ausfiel, nochmals übertroffen.

Für Hessen zeigt sich im Jahr 2018 im Vergleich zu 1976 vor allem in Süd- und Mittelhessen ein etwas geringeres Defizit in der KWB. Dagegen waren das südöstliche Niedersachsen und Sachsen-Anhalt 2018 stärker betroffen als 1976.

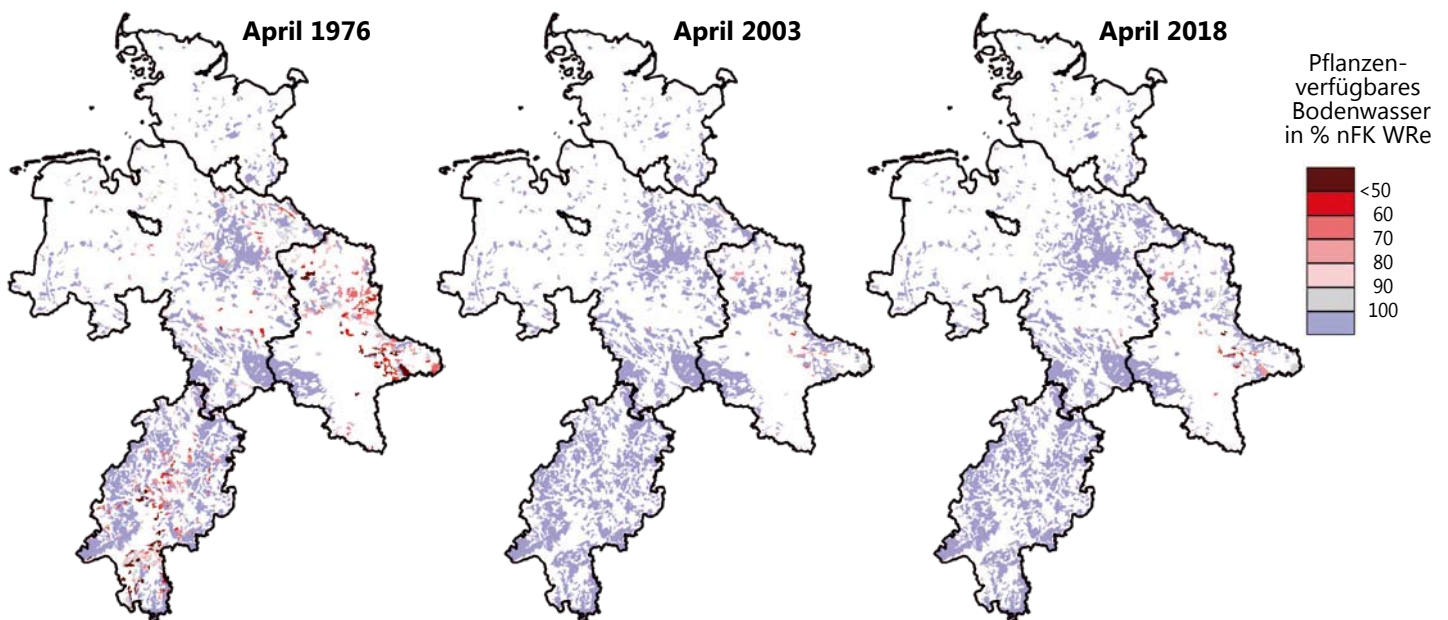
Während im Jahrhundertsommer 2003 Trockenheit und Hitze vor allem der Mitte und dem Süden Deutschlands zu schaffen machten, war der Norden nur moderat betroffen. Entsprechend war das Wasserdefizit in der KWB in den tieferen Lagen in Hessen, Sachsen-Anhalt und im östlichen Niedersachsen deutlich höher als im Nordwesten des Untersuchungsgebietes.

## Wasserspeicherung in der Nichtvegetationszeit und Klimatische Wasserbilanz für die Vegetationszeit

Für die Auswirkungen auf den Wald ist nicht allein ausschlaggebend, ob eine Dürreperiode in der Vegetationszeit Rekordwerte erreicht. Außerordentlich wichtig für die Wasserversorgung des Waldes ist zusätzlich, ob Niederschläge in der vorangegangenen Nichtvegetationszeit die Wasserspeicher der Waldböden auffüllen konnten. In der Regel verbrauchen Wälder in der Vegetationszeit mehr Wasser als mit dem Niederschlag eingetragen wird. Waldbestände, deren Bodenwasserspeicher im Winter nicht vollständig aufgefüllt werden konnten, haben demzufolge in der nachfolgenden Vegetationszeit ein besonders hohes Risiko für Trockenstress. Es wird angenommen, dass die Baumvegetation in ihrem Wachstum und ihren Bestandeseigenschaften an die jeweilige absolute Größe des Wasserspeichers angepasst ist. Risiken entstehen vor allem in Phasen, in denen nur ein kleiner Teil des möglichen pflanzenverfügbaren Wasserangebots zur Verfügung steht. Verschiedene Autoren geben als kritische Grenze einen Anteil von 40 % der nFK WRe an. Wird dieser Wert bereits zu Beginn der Wachstumsprozesse im Frühjahr unterschritten, ist Trockenstress für die Baumvegetation wahrscheinlich.

Zu Beginn der Vegetationszeit im April 2018 waren nur wenige Böden (< 5 %) nicht wassergesättigt (Abb. unten). Dies betraf ausschließlich Standorte in Sachsen-Anhalt, die über einen besonders hohen pflanzenverfügbaren Bodenwasserspeicher verfügen (Bemessungsgrundlage: < 95 % der nFK WRe; die konkreten Daten sind nur als Näherungswerte

Pflanzenverfügbares Bodenwasser zu Beginn der Vegetationszeit (1. April des jeweiligen Jahres) in den 4 Trägerländern der NW-FVA





# Auswirkungen der Trockenheit 2018 auf Wachstum und Vitalität



Foto: J. Evers

für die jeweilige lokale Situation zu verstehen). Im Frühjahr 2003 stellte sich die Situation ähnlich günstig dar. 1976 waren dagegen im Mittel der vier Länder die Niederschläge in der Nichtvegetationszeit für 21 % der Waldböden nicht ausreichend, um den Bodenwasserspeicher aufzufüllen. Vom Bodenwasserdefizit besonders betroffen waren damals in Hessen die Regionen Hess. Ried, Wetterau sowie die Ausläufer des Vogelsberges, in Niedersachsen das Harzvorland und in Sachsen-Anhalt die Altmark und das Altmoränenland.

Selbst wenn zu Beginn der Vegetationszeit große Wärme sowie Niederschlagsarmut auftreten, ist dies nicht gleichbedeutend mit Trockenstress für Wälder. Wärme in Verbindung mit guten Wasservorräten in den Waldböden kann sogar für sehr günstige Wuchsbedingungen der Wälder sorgen. In Wäldern mit zunächst wassergesättigten Böden ist auch in Extremjahren oft erst im Juli Trockenstress zu erwarten. Das Waldinnenklima größerer zusammenhängender Waldkomplexe wirkt sich zudem günstig auf den Wasserhaushalt aus, indem es Witterungsextreme dämpft. So kühlt die Verdunstung der Waldbäume die Luft und mindert auf diesem Wege die weitere Transpiration, was sich günstig auf den Wasserhaushalt auswirkt. Auch wenn zwischen Baumarten und konkreten Bestandesbedingungen Unterschiede bestehen, vollziehen sich wesentliche physiologische Abläufe wie die Blattentfaltung, Blüte oder das Höhen- und Dickenwachstum im Wesentlichen zu Beginn der Vegetationszeit. Folglich ist das Risiko für Trockenschäden und Wachstumsseinbußen in Wäldern umso größer, je früher im Jahr der Wasserstress auftritt. Deutlich empfindlicher gegenüber Trockenstress sind jedoch neu angelegte Waldkulturen und sehr junge Bestände. Aufgrund des noch wenig entwickelten Wurzelsystems der jungen Pflanzen können sie nur das Wasser in den oberflächennahen Bodenschichten nutzen.

## Dürreentwicklung im Jahresverlauf nach Bundesländern

### – Vergleich der Extremjahre 1976, 2003 und 2018 –

Nachfolgend wird für die drei Extremjahre 1976, 2003 und 2018 die zeitliche Veränderung des potenziellen Wasserangebotes und des Wasserbedarfes für die Waldstandorte in den Ländern Hessen, Sachsen-Anhalt, Niedersachsen und Schleswig-Holstein untersucht. Dabei wird ausgehend von der SWB zu Beginn der Vegetationsperiode am 1. April die durch die Abnahme der Bestandes-KWB bedingte Entwicklung der Wasserbilanz in Monatsschritten betrachtet.

### Hessen

Die KWB in der Nichtvegetationszeit, also der Überschuss der Niederschläge gegenüber der potenziellen Verdunstung der Wälder, lag sowohl 2002/03 als auch 2017/18 landesweit über den Werten der nFK WRe (Abb. Seite 22). Man kann folglich davon ausgehen, dass der Bodenwasserspeicher aufgefüllt war und die Waldbäume zu Beginn des Austreibens durchweg günstige Wachstumsbedingungen vorfanden. 1976 hingegen erreichte der Niederschlagsüberschuss nur etwa 60 % der üblichen Werte, so dass die KWB nicht auf allen Flächen über den Werten der nFK WRe lag. Zwar war der Wasserspeicher der meisten Waldböden auch zu Beginn der Vegetationsperiode 1976 aufgefüllt, doch besonders die Böden mit einer hohen nFK WRe in den Tieflagen von Mittel- und Südhessen verfügten zu Beginn der Vegetationszeit nur über einen verminderten Anteil an pflanzenverfügbarem Bodenwasser.

Alle drei Extremjahre hatten trockene und heiße Sommer. Dadurch wurde in der Vegetationszeit durch die Bäume durchweg wesentlich mehr Wasser verdunstet als im langjährigen Mittel 1961-1990. Im langjährigen Mittel liegt das



# Auswirkungen der Trockenheit 2018 auf Wachstum und Vitalität

Wasserdefizit im September bei rund -50 mm. 1976, 2003 und 2018 erreicht dieses Defizit jedoch Werte von -250 mm bis knapp -400 mm und veranschaulicht damit die extreme Trockenheit in diesen Jahren. Die Dürreperioden von 1976 und 2018 sind dabei stärker ausgefallen und umfassen größere Landesteile als im Jahr 2003. Als besonders kritisch erwiesen sich im Jahr 1976 die Waldstandorte in Hessen, deren Bodenwasservorrat in der Nichtvegetationszeit nicht vollständig aufgefüllt war. Hier kam es frühzeitig in der Vegetationsperiode zu Wachstumseinbußen und einer verminderten Vitalität der Bäume, außerdem starben ungewöhnlich viele Bäume ab.

## Sachsen-Anhalt

In Sachsen-Anhalt sind im langjährigen Mittel der Periode 1961-1990 nicht alle Böden zu Beginn der Vegetationszeit (1. April) vollständig mit Wasser aufgefüllt (Abb. rechts). Im Jahr 1976 waren die Böden im Landesmittel zu 80 % der nFK WRe gefüllt (101 mm) und im Jahr 2018 zu 89 % (111 mm). Die Nichtvegetationszeit 2002/2003 war dagegen in Sachsen-Anhalt so feucht, dass nahezu alle Waldböden wassergesättigt waren (122 mm). Im Vergleich der drei Dürreperioden ergibt sich 2018 bereits für Anfang Juni eine fehlende Wassermenge von knapp 50 mm. Auch im weiteren Verlauf der Vegetationszeit ist der Wasserbedarf 2018 deutlich höher als 2003 und 1976, so dass die diesjährige Dürre in Sachsen-Anhalt als eines der bisher stärksten beobachteten Ereignisse bezeichnet werden kann. Daraus ergeben sich für 2018 ein besonders hohes Risiko für Trockenschäden in den Wäldern des Landes und die damit verbundenen hohen abiotischen und biotischen Risiken wie Waldbrand oder Insektenkalamitäten.

## Niedersachsen

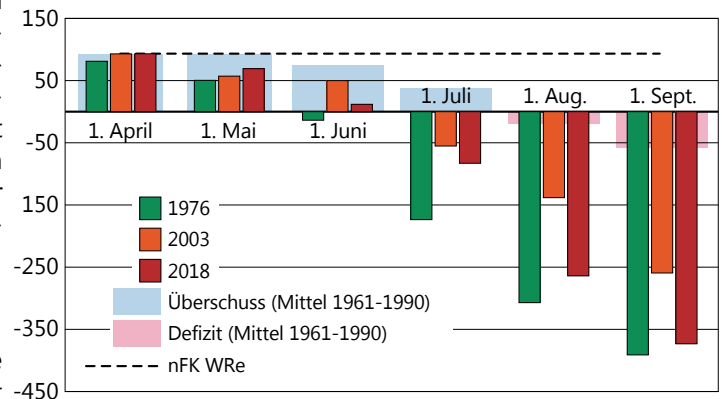
In Niedersachsen ist der Wasserspeicher der Waldböden zu Beginn der Vegetationszeit im langjährigen Mittel landesweit gut gefüllt (Abb. rechts). Dies trifft auch auf die Jahre 2003 und 2018 zu. Im April 1976 waren im Harzvorland allerdings einige Standorte nur teilweise wassergesättigt. 2018 verlief die Austrocknung der Böden aufgrund des rekordwarmen April und Mai bei gleichzeitig geringen Niederschlägen besonders schnell, so dass bereits im Juni auf vielen Standorten Wassermangel eintreten konnte. Am 1. September lag das Defizit vergleichbar mit 1976 unter -250 mm. Damit erreichte auch in Niedersachsen die diesjährige Dürre für die Wälder Rekordwerte, die in ihrem Ausmaß als außergewöhnlich zu bezeichnen sind.

## Schleswig-Holstein

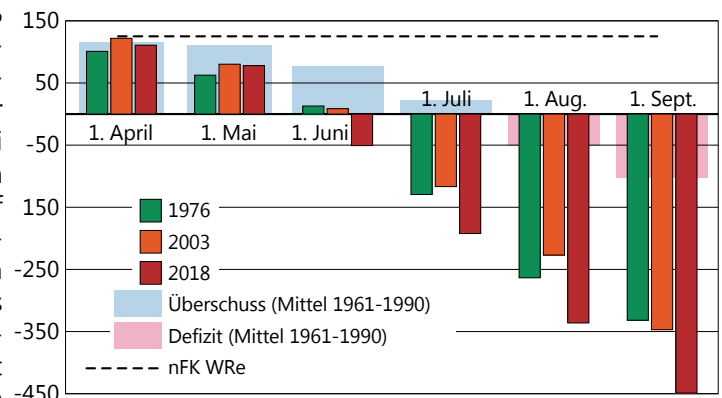
Vergleichbar mit Niedersachsen werden die Waldböden in Schleswig-Holstein während der Nichtvegetationszeit im langjährigen Durchschnitt vollständig mit Wasser aufgefüllt (Abb. rechts). Hohe Niederschläge bedingen im langjährigen Mittel einen Überschuss in der KWB von knapp 300 mm, so dass die nFK WRe von 135 mm deutlich übertroffen wird. Anders als in den übrigen Trägerländern wird der potenzielle Wasserbedarf während der drei Trockenperioden erst im Juli nicht mehr durch das potenzielle Wasserangebot vollständig gedeckt. Die Trockenperiode 2003 kann in Schleswig-Holstein nicht als Dürre bezeichnet wer-

Monatliche Veränderung des potenziellen Wasserangebots und -bedarfs in mm

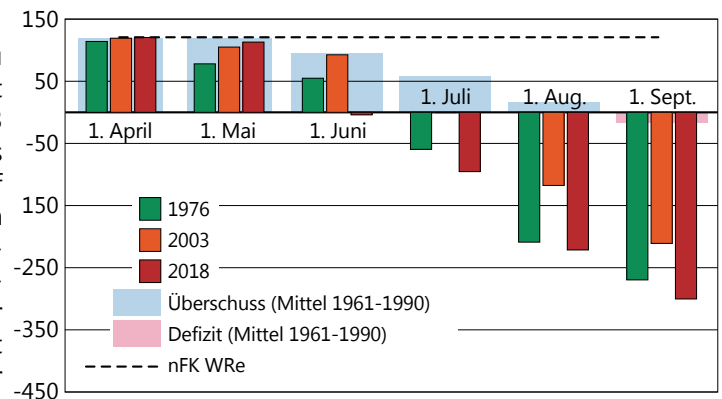
Hessen (Flächenmittel)



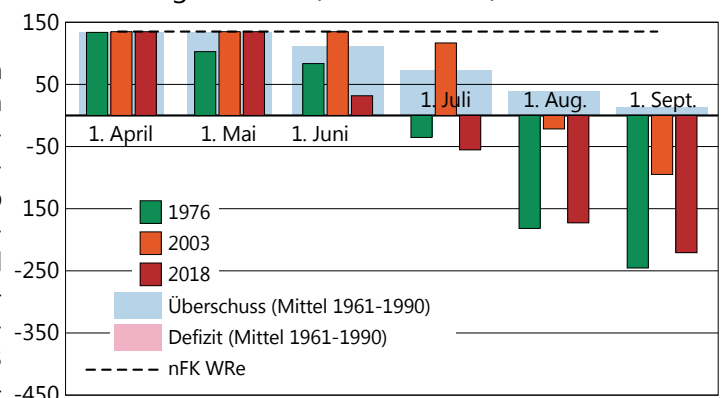
Sachsen-Anhalt (Flächenmittel)



Niedersachsen (Flächenmittel)



Schleswig-Holstein (Flächenmittel)





# Auswirkungen der Trockenheit 2018 auf Wachstum und Vitalität

den, da der potenzielle Wasserbedarf während der gesamten Vegetationszeit deutlich geringer war als 1976 und 2018 und auch zum 1. September nur knapp 100 mm unter dem langjährigen Mittelwert liegt. Die Trockenheit 1976 und 2018 sind jedoch auch für Schleswig-Holstein als seltenes und extremes Ereignis einzustufen. Der potenzielle Wasserbedarf liegt rund 200-250 mm höher als der Mittelwert der Periode 1961-1990.

## Radialzuwachs und Bodenfeuchte

Das Wachstum der Bäume ist Ausdruck ihrer Vitalität. Es ist abhängig von einer Vielzahl von Faktoren wie Baumart und Herkunft, Baumalter, Konkurrenzsituation im Bestand, Bodenwasserhaushalt, Temperatur und Niederschlag. Eine genaue Abschätzung, welchen Anteil die verschiedenen Einflussgrößen auf das Dickenwachstums der Bäume haben, ist schwierig. Fest steht aber, dass die Witterung einen wesentlichen Einfluss auf die Variabilität der Jahrringbreite hat. Die Wirkung der Witterung auf den Zuwachs der Bäume lässt sich besonders gut aus der Bodenfeuchte (Matrixpotenzial) ableiten, da Bäume ihren Wasserbedarf mittels ihres Wurzelsystems aus dem im Boden gespeicherten Wasser decken.

*Das **Dickenwachstum der Baumstämme** wird in 1,3 m Höhe gemessen und üblicherweise als Radialzuwachs bzw. Jahrringbreite in Millimeter (mm) angegeben. Die Jahrringbreite entspricht dabei der Jahressumme des Radialzuwachses.*

*Das **Matrixpotenzial** ist ein Maß für die Saugspannung, welche die Pflanzen aufbringen müssen, um dem Boden Wasser entziehen zu können. Sie wird als negativer Druck in Hektopascal (hPa) angegeben. Mit zunehmender Austrocknung des Bodens wird das Matrixpotenzial negativer.*

In Süddeutschland wurden für Buchen und Fichten in unterschiedlichen Höhenlagen für die meisten Standorte eindeutige Beziehungen zwischen der Witterung in der Vegetationszeit (April-August) und der Jahrringbreite gefunden (Dittmar 1999). Danach bestimmen in tieferen Lagen (bis ca. 600-700 m ü. NN) die Niederschläge in der Vegetationszeit maßgeblich die Jahrringbreite, während in Hochlagen über 800 m ü. NN vor allem das Wärmeangebot ausschlaggebend für das Radialwachstum ist. In Sachsen konnte für die Kiefer nachgewiesen werden, dass sich eine hohe Verdunstung in der Vegetationszeit negativ auf die Jahrringbreite auswirkt (Röhle et al. 2010).

Als Folge des Klimawandels wird sich sowohl die Temperatur als auch die Niederschlagshöhe und -verteilung ändern und das hiesige Klima zukünftig vermehrt durch wärmere Sommer und länger andauernde Hitze- und Trockenperioden geprägt sein. Diese globale – aber auch für unsere Region bereits beobachtete – Erwärmung stellt hinsichtlich der Stabilität und Produktivität der Wälder eine große Herausforderung für die Forstwirtschaft dar.

Mit Hilfe der Daten von hochauflösenden Dendrometern an jeweils sechs Bäumen auf 11 Flächen des Intensiven Forstlichen Umweltmonitorings sowie von 14-tägigen Ablesungen der Dauerumfangmessbänder ausgewählter Bäume auf weiteren acht Intensivmessflächen kann die Entwicklung des Radialzuwachses im Laufe der Vegetationsperiode nachvollzogen und so der Einfluss der Witterung auf das Dicken-

wachstum abgeschätzt werden. Dies gibt Hinweise auf die Plastizität der untersuchten Baumarten gegenüber Trockenheit und einem erhöhten Wärmeangebot. Die Ergebnisse sind dabei aufgrund des geringen Stichprobenumfanges nicht repräsentativ für die Wälder der Trägerländer, zeigen jedoch exemplarisch Reaktionsmuster des Wachstums an. Die untersuchten Eichen- und Kieferbestände wachsen in der planaren Höhenstufe (bis ca. 120 m ü. NN), die Buchenbestände mit Ausnahme der Flächen Hess. Ried und Lüss Buche (91 m bzw. 115 m ü. NN) im kollinen bis submontanen Bereich in Höhen von 280-508 m ü. NN und die Fichtenbestände in der submontanen bis montanen Stufe zwischen 425 m und 660 m ü. NN. Das Alter der Buchenbestände liegt zwischen 115 und 171 Jahren, die beiden Eichenbestände sind 136 bzw. 209 Jahre und die Fichtenbestände 70-136 Jahre alt. Die Kieferbestände sind mit einem Alter zwischen 46 und 100 Jahren am jüngsten.

Auf den beiden hessischen **Fichtenflächen** setzte das Dickenwachstum 2018 Anfang Mai ein, die Fichtenflächen Solling und Lange Bramke folgten Mitte bzw. Ende Mai. Aufgrund der nach dem niederschlagsreichen Winterhalbjahr gut gefüllten Bodenwasserspeicher zeigte das Dickenwachstum der Fichten zunächst keine Auffälligkeiten im Vergleich zu den Vorjahren. Zwischen Mitte Juni und Mitte Juli stellen die Fichten jedoch auf allen vier untersuchten Flächen ihr Wachstum ein, obwohl die Niederschlagssumme zu diesem Zeitpunkt noch größer als 2017 war. Die hohen Lufttempe-

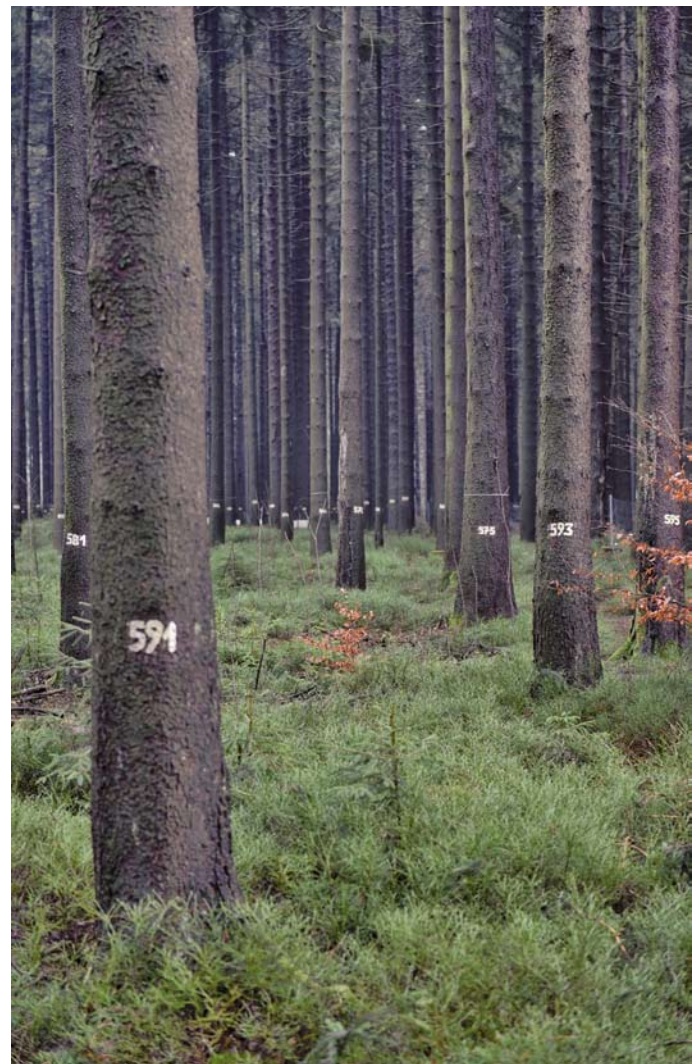


Foto: J. Evers

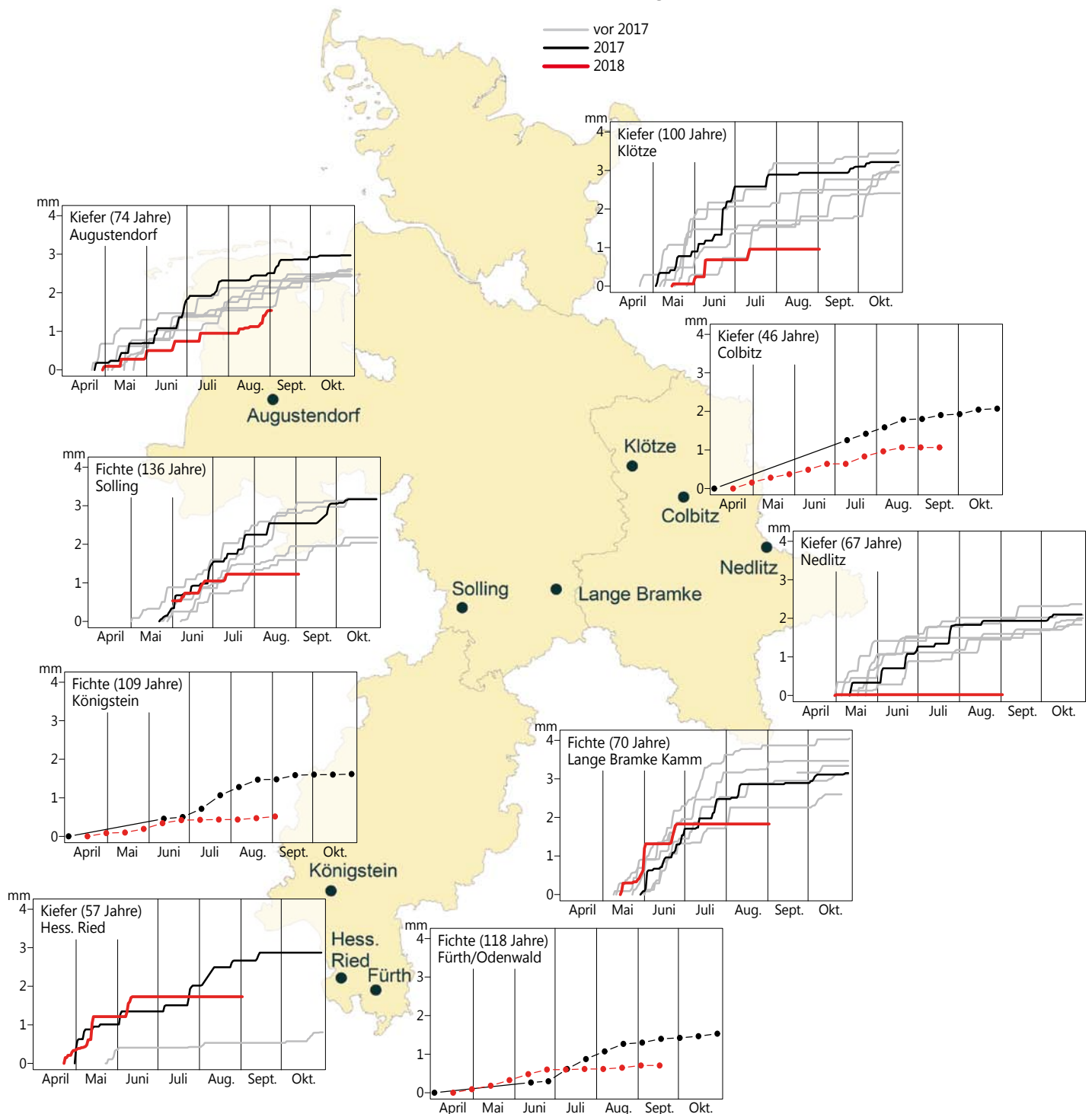


# Auswirkungen der Trockenheit 2018 auf Wachstum und Vitalität

raturen und die hierdurch bedingte sehr hohe Verdunstung wirkten sich offensichtlich negativ auf das Dickenwachstum aus (s. a. Röhle 2010). Der Zuwachs blieb dadurch bis Ende August deutlich hinter den Zuwächsen der Vorjahre zurück. Das Dickenwachstum der **Kiefer** begann 2018 in Augustendorf, Colbitz und im Hess. Ried bereits Mitte/Ende April, in Klötze Mitte Mai. Vermutlich aufgrund der geringen Niederschläge blieb der Radialzuwachs aber schon sehr zeitig in der Vegetationsperiode hinter dem Zuwachs der vorangegangenen Jahre zurück, was sich bis Ende August fortsetzte. Auf der Kiefernfläche in Augustendorf setzte trotz des vollständig aufgefüllten Bodenwasserspeichers zu Beginn der Vegetationsperiode aufgrund sehr geringer Niederschläge

bereits Mitte Mai eine Austrocknung bis in 1 m Bodentiefe ein (Abb. Seite 26). Die Austrocknung verschärfte sich ab Anfang Juni deutlich. Ab Juli lag das Matrixpotenzial in 60 cm Bodentiefe durchgehend unter -800 hPa. Vereinzelt Niederschläge sorgten nur im Oberboden für eine kurzzeitige Wiederbefeuchtung des Bodens. Die für diesen Standort ungewöhnlich lang anhaltende Austrocknung des Unterbodens trug zu einem insbesondere zwischen Juli und Ende August stark verminderten Radialzuwachs der Kiefern bei. Die extrem trocken-warme Witterung im Osten von Sachsen-Anhalt spiegelt sich eindrücklich in der Bodenfeuchte wider. Zwar war auch auf der Fläche Nedlitz der Bodenwasserspeicher Anfang April vollständig aufgefüllt, doch be-

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





# Auswirkungen der Trockenheit 2018 auf Wachstum und Vitalität

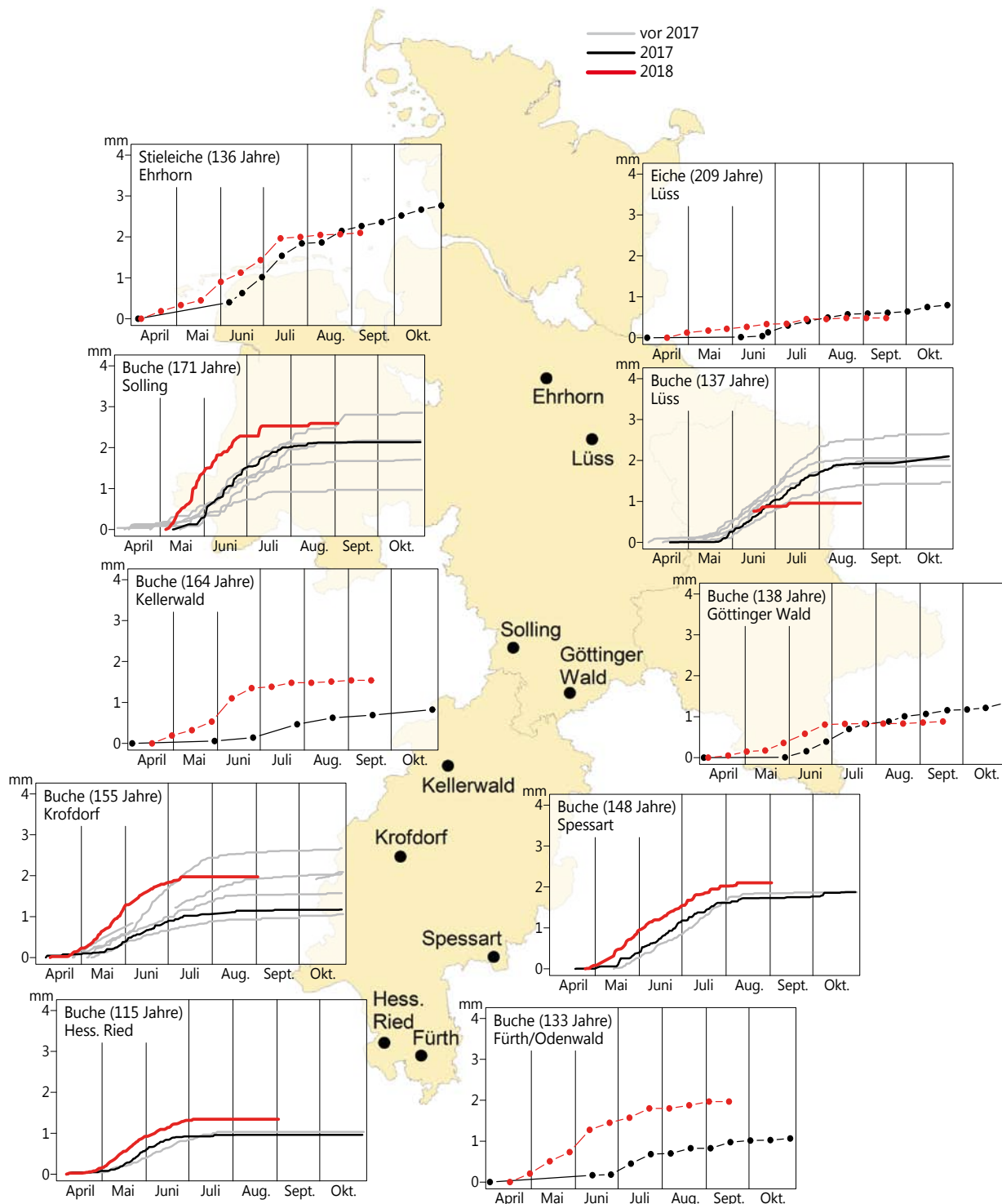
reits Ende April setzte eine starke Austrocknung ein, welche bis Ende Juni bis 1 m Tiefe zu Matrixpotenzialen von unter -800 hPa führte. Infolge dieser extrem frühen und anhaltenden Austrocknung des Bodens ließ sich bis Ende August kein Radialzuwachs der Kiefern registrieren.

Im Hess. Ried blieb das Dickenwachstum der Kiefern hingegen entsprechend den in Südhessen lange Zeit vergleichsweise günstigeren Witterungsbedingungen erst Mitte Juli hinter dem des Vorjahrs zurück.

Das Dickenwachstum der untersuchten **Buchen** begann 2018 aufgrund der sehr zeitigen Blattentfaltung bereits Mitte/Ende April, im Solling Anfang Mai. Mit Ausnahme

der Fläche Lüss lag der Radialzuwachs der Buchen dabei bis Ende Juni/Anfang Juli über dem Zuwachs der Vorjahre. Während auf den Flächen Lüss, Solling, Göttinger Wald, Krofdorf und Hess. Ried ab Anfang Juli kein Dickenwachstum mehr beobachtet werden konnte, war der Zuwachs auf den Flächen Kellerwald, Spessart und Fürth/Odenwald erst Ende Juli weitestgehend abgeschlossen. Ende August wiesen somit alle Buchenflächen einen durchschnittlichen bis überdurchschnittlichen Radialzuwachs auf. Lediglich für die Fläche Lüss (östl. Niedersachsen) lag der Zuwachs deutlich unter dem der Vorjahre. Dies passt zu den Ergebnissen der regionalen Witterungsanalyse, wonach neben Sachsen-

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





# Auswirkungen der Trockenheit 2018 auf Wachstum und Vitalität

Anhalt vor allem Ostniedersachsen durch ein sehr großes und frühzeitiges Defizit bei der klimatischen Wasserbilanz in der Vegetationsperiode gekennzeichnet ist. Die übrigen Buchenflächen befinden sich in Hessen und Südniedersachsen, wo ein akuter Wassermangel bis in den Juni hinein durch das regelmäßige Auftreten ausreichend hoher Niederschläge verhindert wurde. Die Aufzeichnung der Bodenfeuchte auf der Buchenfläche im Hessischen Ried zeigt, dass die beginnende Austrocknung des Bodens durch lang anhaltende Niederschläge oder Starkregenereignisse bis in den Juli hinein immer wieder unterbrochen wurde. Die Niederschläge bewirkten sogar bis 1 m Bodentiefe eine temporäre Wiederbefeuchtung (Abb. unten). Das bis Anfang Juli kaum begrenzte Bodenwasserangebot sorgte in Verbindung mit den hohen Temperaturen und einem frühen Blattaustrieb für die bis zu diesem Zeitpunkt vergleichsweise starken Radialzuwächse auf dieser Fläche.

Der Radialzuwachs der beiden **Eichenflächen** unterscheidet sich deutlich im Niveau. Gründe für das deutlich schwächere Wachstum der Eichen auf der Fläche Löss sind vermutlich das mit 209 Jahren viel höhere Bestandesalter sowie der geringere Standraum der Bäume. Auf die 2018 herrschen-

den Wachstumsverhältnisse mit hohen Temperaturen und einem zu Beginn der Vegetationsperiode gut gefüllten Bodenwasserspeicher reagierten beide Bestände mit früh einsetzendem Zuwachs Mitte April und mit höheren Zuwächsen als 2017. Ab Juli (Löss) bzw. August (Ehrhorn) entspricht der Radialzuwachs etwa dem Niveau des Vorjahres. Beide Eichenflächen liegen im vergleichsweise stark von der warm-trockenen Witterung betroffenen östlichen Teil Niedersachsens.

## Trockenstresssymptome 2018

Die Ergebnisse der Waldzustandserhebung (WZE) in Niedersachsen, Hessen, Sachsen-Anhalt und Schleswig-Holstein, die im Juli/August erhoben wurden, zeigen für 2018 – ausgelöst durch die extrem trocken-heiße Witterung ab April – einige Besonderheiten. Die Laubbäume haben mit eingerollten Blättern, einer früh einsetzenden Herbstverfärbung und vorzeitigem Blattabfall reagiert. Bei der Kiefer fiel auf, dass ältere Nadeln z. T. bereits braun verfärbt waren. Bei der Fichte wurden keine Auffälligkeiten in der Benadelung festgestellt.

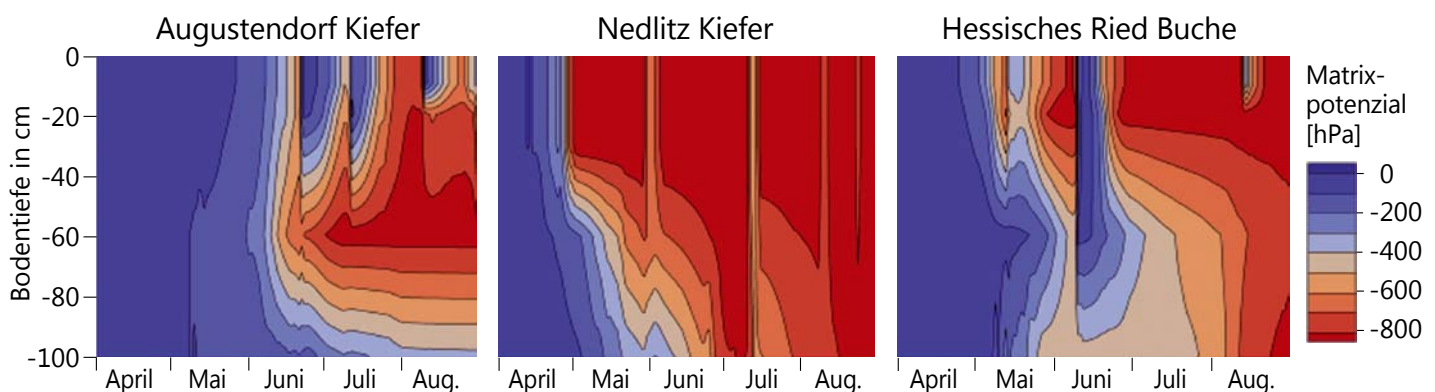
Das so genannte Blattrollen, bei dem die Blattspreite an der Blattachse nach oben gebogen ist und einen Verdunstungsschutz darstellt, ist im Erhebungszeitraum der WZE seit 1984 vor allem bei der Buche aufgetreten. 2018 wurden gerollte Blätter an vielen Laubbaumarten festgestellt (Abb. Seite 27). In allen vier Ländern war das Blattrollen bei der Buche am häufigsten, gefolgt von der Gruppe der anderen Laubbäume, zu denen z. B. Birke, Linde, Hainbuche, Esche, Erle und Ahorn gehören. Bei der Eiche sind gerollte Blätter in den Vorjahren nur selten beobachtet worden, 2018 dagegen an 1 % (Schleswig-Holstein) bis 35 % (Hessen) der Eichen.

Während in Jahren mit durchschnittlichem Witterungsverlauf die Herbstverfärbung und der Blattabfall im September/Oktober einsetzen, wurden 2018 bereits in der Erhebungsphase der Waldzustandserhebung (Mitte Juli-Mitte August) Verfärbungen an Blättern und Kiefernadeln sowie bei den Laubbäumen zusätzlich vorzeitiger Blattabfall dokumentiert. Auch mit diesen Reaktionen auf den Witterungsverlauf schützen sich die Bäume vor Austrocknung durch hohe Wasserverluste mit der Transpiration. Allerdings ist mit der früh einsetzenden Herbstverfärbung eine Verkürzung des Assimilationszeitraums verbunden. Das Wachstum, der Aufbau von Reservestoffen und die Anlage von Knospen zum



Foto: J. Evers

Entwicklung der Bodenfeuchte zwischen April und August 2018 bis in 1 m Bodentiefe auf ausgewählten Flächen des Intensiven Monitorings



Rote Farben zeigen die Austrocknung verschiedener Bodentiefen an. Niederschläge bewirken Befeuchtungen (blaue Farben).

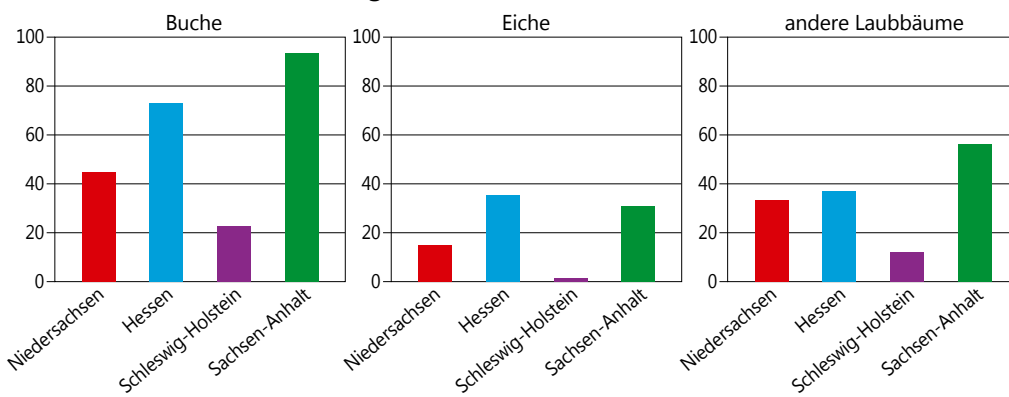


# Auswirkungen der Trockenheit 2018 auf Wachstum und Vitalität



Foto: J. Weymar

Anteil der Bäume mit eingerollten Blättern in %

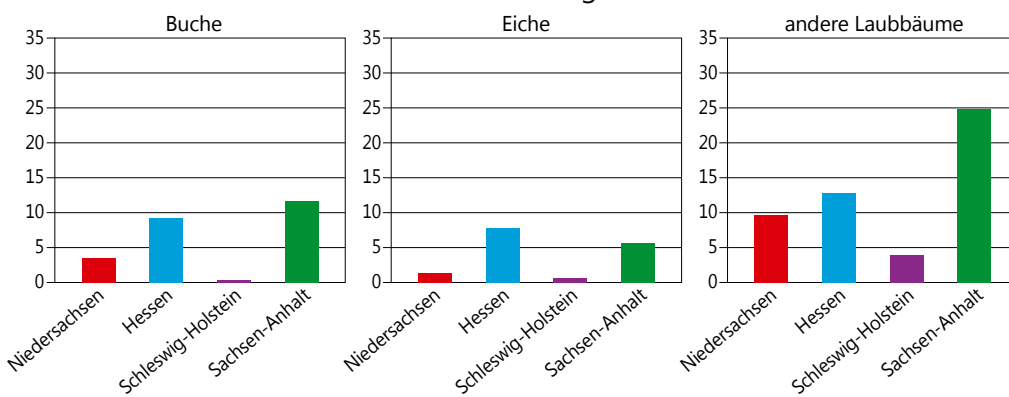


Austrieb im nächsten Jahr waren dadurch 2018 nicht im optimalen Umfang möglich. Die frühe Herbstverfärbung und vorzeitiger Blattabfall sind bei den anderen Laubbäumen häufiger als bei Buche und Eiche aufgetreten (Abb. links). In Schleswig-Holstein wurde kein vorzeitiger Blattabfall festgestellt.

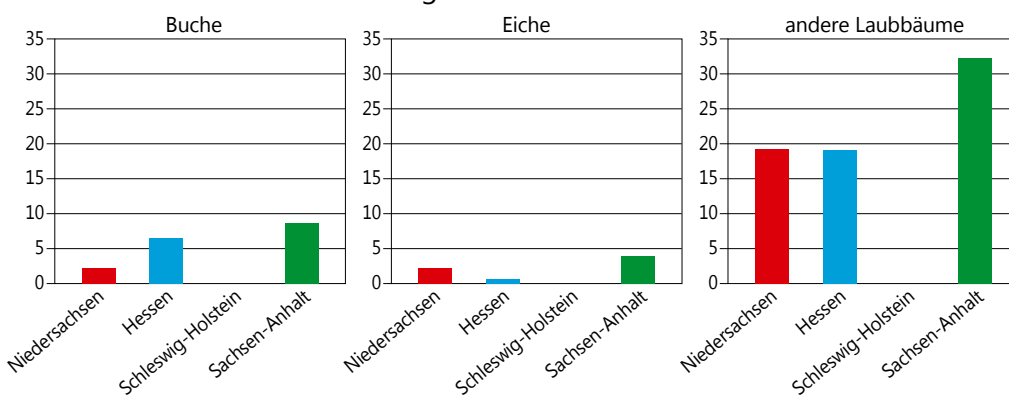
Neben dem vorzeitigen Abfall brauner Blätter fielen in Hessen und Sachsen-Anhalt an 30 % und in Niedersachsen an 20 % der WZE-Punkte mit Laubholz (mindestens 6 Laubbäume am WZE-Punkt) auch grüne Blätter (meist Hainbuche und Bergahorn, aber auch Buche) ab. Die Rückverlagerung wichtiger Nährstoffe aus dem Blatt konnte bei den betroffenen Bäumen vor dem Laubfall nicht mehr vollständig stattfinden.

In allen vier Ländern war ein Teil der Kiefernadeln verfärbt. Der Anteil an Kiefern mit braunen Nadeln war in Hessen am höchsten (Abb. unten).

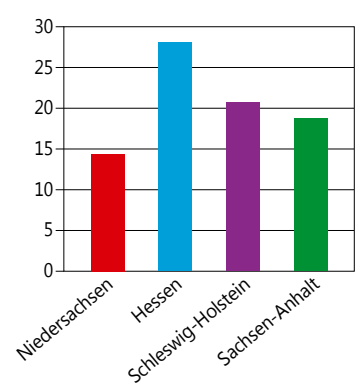
Anteil der Bäume mit früher Herbstfärbung in %



Anteil der Bäume mit vorzeitigem Blattabfall in %



Anteil Kiefern mit braunen Nadeln in %



# Auswirkungen der Trockenheit 2018 auf Wachstum und Vitalität

Für Buche, Eiche, Fichte und Kiefer reichte offenbar die Wasserversorgung bis in den August aus, um die Belaubungsdichte weitgehend aufrecht zu erhalten. Die mittlere Kronenverlichtung ist für diese Baumarten im Vergleich zum Vorjahr nicht länderübergreifend angestiegen. In allen vier Ländern hat jedoch die Kronenverlichtung der anderen Laubbäume 2018 signifikant zugenommen (Abb. unten). In Hessen und Sachsen-Anhalt wurde 2018 für die Gruppe der anderen Laubbäume der Höchstwert der mittleren Kronenverlichtung im Zeitraum der Waldzustandserhebung erreicht. In Niedersachsen war der Verlichtungsgrad der anderen Laubbäume nur 1992 und in Schleswig-Holstein nur 2004 höher als 2018.

Die Ergebnisse der WZE spiegeln die Witterungssituation 2018 deutlich wider. In Sachsen-Anhalt, wo die Trockenheit 2018 am stärksten ausfiel, sind auch die Trockenstressreaktionen der Laubbäume häufiger. Niedersachsen und Hessen nehmen eine Mittelstellung ein, die geringsten Effekte treten in Schleswig-Holstein auf. Die Gruppe der anderen Laubbäume reagierte auf den Extremsommer stärker als Buche, Eiche, Fichte und Kiefer.

Andere Laubbäume (alle Alter)  
mittlere Kronenverlichtung in %

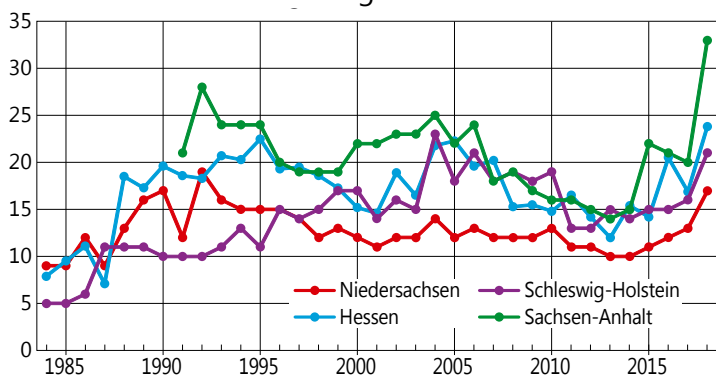


Foto: J. Weymar

## Waldbrand

Die Waldbrandgefährdung ist in den vier Trägerländern der NW-FVA durch die Waldstruktur sehr unterschiedlich. Während in Hessen und Schleswig-Holstein Laubwälder mit geringem Waldbrandrisiko überwiegen, sind Niedersachsen und Sachsen-Anhalt großflächig mit Kiefernbeständen auf Sandböden bewaldet, für die ein deutlich höheres Waldbrandrisiko besteht. Im Jahr 2018 war das Waldbrandrisiko durch die lang anhaltende Dürre und auch durch das Sturmholz jedoch in allen vier Ländern überdurchschnittlich hoch.

In Sachsen-Anhalt brannte es im Wald 2018 häufiger als in den vorangegangenen acht Jahren. Die Waldbrandstatistik verzeichnet in diesem Jahr bis zum 1. 10. 2018 bereits 162 Waldbrände mit einer Gesamtfläche von 122 Hektar. Der in diesem Jahr größte Waldbrand in Sachsen-Anhalt entstand im Landkreis Wittenberg am 3. Juli 2018 durch einen Feldbrand, der auf den angrenzenden Wald übergriff.

Anzahl und Fläche der Waldbrände 2010-2018 in Sachsen-Anhalt

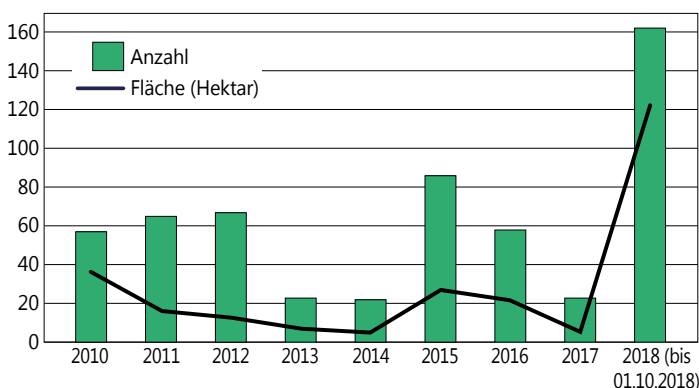


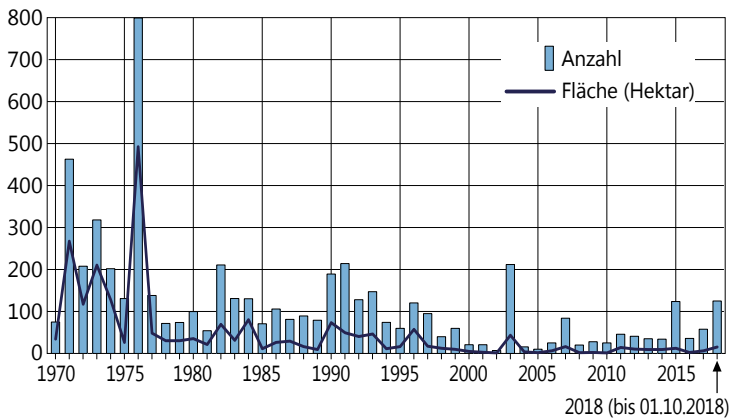
Foto: T. Ullrich



# Auswirkungen der Trockenheit 2018 auf Wachstum und Vitalität

In Hessen hat es in den 1970er Jahren besonders häufig im Wald gebrannt. Die meisten Brände (492) mit einer Gesamtfläche von 800 Hektar gab es im Trockenjahr 1976. Seit den 1980er Jahren sind sowohl Anzahl als auch Flächengröße von Waldbränden stark zurückgegangen. 1982, 1991, 1992 und das Trockenjahr 2003 fallen durch erhöhte Waldbrandzahlen auf, erreichen aber bei weitem nicht das Niveau der 1970er Jahre. Während es im Zeitraum 2010-2017 im Mittel 50 Waldbrände pro Jahr gab, waren es 2018 (bis zum 1.10.2018) bereits 125 Brände.

Anzahl und Fläche der Waldbrände 1970-2018 in Hessen



Für Niedersachsen und Schleswig-Holstein liegen für 2018 noch keine Zahlen zur Waldbrandsituation vor.

Obwohl mit dem Klimawandel auch die Waldbrandgefährdung in den letzten Jahrzehnten angestiegen ist, zeigen die Waldbrandzahlen und insbesondere die Flächengröße in den letzten 20 Jahren eine abnehmende Tendenz. Dies ist vor allem ein Erfolg der verbesserten Waldbrandüberwachungssysteme, mit deren Hilfe Waldbrände schneller entdeckt und gelöscht werden können. Auch der Ausbau des Wegenetzes, zusätzliche Löschwassereinsatzstellen und die gezielte Ausstattung und Ausbildung der Feuerwehren haben zur Verminderung der Waldbrandzahlen beigetragen.



Foto: Landesforstbetrieb Sachsen-Anhalt



Foto: J. Weymar

## Fazit

Die lang anhaltende Trockenperiode 2018 ist als außergewöhnliche Dürre einzuordnen. Sie betraf alle Trägerländer der NW-FVA und ist in ihrer Ausprägung mit dem Ereignis von 1976 vergleichbar, wobei in Sachsen-Anhalt die diesjährige Trockenheit sogar noch extremer war als im Jahr 1976. Aufgrund der gut gefüllten Bodenwasserspeicher zu Beginn der Vegetationszeit 2018 waren die Folgen der Trockenheit erst relativ spät im Verlauf des Jahres zu beobachten. Es ist jedoch davon auszugehen, dass sich Wirkungen der Trockenheit erst in nachfolgenden Jahren zeigen. Ähnliches gilt für die Fichte mit Blick auf die wärmebegünstigte Entwicklung der Borkenkäfer. Besonderes Augenmerk ist auf die Entwicklung der Anzahl absterbender Bäume in Folge des Witterungsverlaufes 2018 zu legen.

Die bezüglich ihres Stammzuwachses untersuchten Kiefern- und Fichtenbestände reagierten stärker auf die ab Frühjahr 2018 herrschende Witterung als Buchen und Eichen. Dies zeigt sich besonders gut an den Standorten Solling und Fürth im Odenwald, wo Fichten- und Buchenbestände in unmittelbarer Nachbarschaft bei nahezu identischen Standortbedingungen untersucht werden, sowie im Hess. Ried, mit dem Baumartenvergleich Buche - Kiefer. Der Zuwachs der Fichten und Kiefern lag in allen untersuchten Beständen bis Ende August deutlich unter dem der letzten Jahre, während der Radialzuwachs der Buchen lediglich auf der Fläche Lüss deutlich geringer war als in den Vorjahren. Die übrigen Buchenflächen verzeichneten dagegen normale bis hohe Zuwächse und auch bei den beiden Eichenbeständen entsprach das Dickenwachstum dem Niveau des Vorjahres.

Auf die Wärme im Frühjahr bei überwiegend noch gefülltem Bodenwasserspeicher haben die Bäume mit einem frühen Laubaustrieb reagiert. Für Buche, Eiche und Fichte sind bis in den August hinein keine gravierenden Trockenstresssymptome beobachtet worden. Bei der Kiefer sind dagegen bereits ab Juli braune Nadeln aufgetreten. Für die anderen Laubbäume waren die Auswirkungen der lang anhaltenden Trockenheit in allen vier Trägerländern der NW-FVA am stärksten, in Sachsen-Anhalt waren die Folgen des Wassermangels am auffälligsten, in Schleswig-Holstein am geringsten.

Die Waldbrandzahlen stiegen 2018 in Sachsen-Anhalt und Hessen an.

# Insekten und Pilze

Michael Habermann, Ulrich Bressemer, Rainer Hurling,  
Gitta Langer und Pavel Plašil

## Borkenkäfer

Der rindenbrütende Buchdrucker (*Ips typographus*) nutzte das große Angebot von Brutraum, das ihm Wurf- und Bruchholz sowie umfangreiche Holzlager nach einer durch zahlreiche Stürme besonders schadensträchtigen Wintersaison boten. Seine Brutn entwickelten sich bei Sommertemperaturen, die bereits ab Mitte April einsetzten, und bei einer monatelangen gravierenden Trockenheit überwiegend sehr gut. Besonders ab Juni zeigten verbreitet Fichtenbestände einen massiven Befall und raschen Befallsfortschritt, was auf fehlende Abwehrkräfte der Fichte und sich dramatisch verschärfende Brutherdbildungen der Käfer hinwies. Die trocken-heiße Witterung führte dazu, dass sich Befall selbst im Innern bisher intakter Bestände und auf frischeren Standorten, die sonst weniger gefährdet sind, entwickeln konnte. Vereinzelt musste bereits die vollständige Bestandsauflösung hingenommen werden. Lokal zeigten auch Kupferstecher (*Pityogenes chalcographus*) in der Fichte und in anderen Nadelhölzern, vor allem der Lärchenborkenkäfer (*Ips cembrae*) oder der Zwölzfähige Kiefernborkekäfer (*Ips sexdentatus*) vermehrte Vorkommen.



Borkenkäferbefall

Foto: NW-FVA, Abteilung Waldschutz

Unter den holzbrütenden Borkenkäfern traten, vermutlich ebenfalls aufgrund der Witterungsbedingungen, der Asiatische Nutzholzborkenkäfer (*Xyleborus germanus*) und der Amerikanische Nadelnutzholzborkenkäfer (*Gnathotrichus materiarius*) lokal wieder verstärkt auf. Der früh schwärmende Gestreifte Nadelnutzholzborkenkäfer (*Xyloterus lineatus*) profitierte vergleichsweise wenig von dem noch frischen Bruch- und Wurfholz des Winters.

## Prachtkäfer

Der Blaue Kiefernprachtkäfer verursachte lokal Schadholz in Kiefern auf grundwasserfernen, nährstoffarmen Standorten, ohne dass ein Auslöser für den Befall dieses sekundären Schaderregers benannt werden konnte.

## Waldmaikäfer

In 2018 fand im Hessischen Ried das im 4jährigen Rhythmus auftretende Hauptflugjahr des Waldmaikäfers statt. Überwacht wurde der Schlupf des Waldmaikäfers durch das erneut stattfindende stichprobenartige Monitoring der

Nordwestdeutschen Forstlichen Versuchsanstalt (NW-FVA). Durch Ermittlung der Schlupfphänologie des Waldmaikäfers können Aussagen zum Beginn, Verlauf und Ende des Schlupfes sowie zum Geschlechterverhältnis der aus der Überwinterung kommenden Waldmaikäfer getroffen werden.

Im Hessischen Ried kam es im Zuge der Schwärmflüge in einigen Bereichen zu Kahlfraß an Laubbäumen. Die Ergebnisse des Schlupfmonitorings decken sich weitgehend mit denen der 2017 durchgeführten Probegrabung und zeigen, dass von einer hohen und damit mindestens kulturgefährdenden, in Einzelfällen auch darüber liegenden Besiedlungsdichte ausgegangen werden muss.

## Eichenfraßgesellschaft

Die Frostspannerpopulationen (Kleiner Frostspanner *Opeophthera brumata* L. und Großer Frostspanner *Erannia defoliaria* Cl.) befinden sich aktuell in der Latenz. Die Ergebnisse der Überwachung mit Hilfe von Leimringen aus dem Herbst/Winter 2016 deuteten mit mehreren Warnschwellenüberschreitungen auf eine allmähliche Zunahme der Populationsdichten der Frostspanner hin. Das Monitoring im Herbst/Winter 2017 ergab dagegen wieder geringere Populationsdichten und keine Überschreitung der Warnschwelle.

Bei der Flugüberwachung des Schwammspinners (*Lymantria dispar* L.) mit Hilfe von Pheromonfallen im Jahr 2018 wurde die Warnschwelle in den Gebieten Groß-Gerau, Lampertheim und Nidda überschritten.

Für das Jahr 2018 wurden lokale Fraßschäden durch die Eichenfraßgesellschaft auf insgesamt 171 Hektar über ganz Hessen verteilt gemeldet. Ein Großteil der Schäden wurde durch den Eichenprozessionsspinner (*Thaumetopoea processionea* L.) auf 128 Hektar verursacht und aus Südhessen wurden über 31 Hektar Kahlfraß durch den Schwammspinner gemeldet. Insgesamt ging der Umfang der gemeldeten Schäden durch die Eichenfraßgesellschaft im Vergleich zum Vorjahr zurück.

## Eschentriebsterben

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



Eschentriebsterben

Foto: M. Spielmann



## Insekten und Pilze

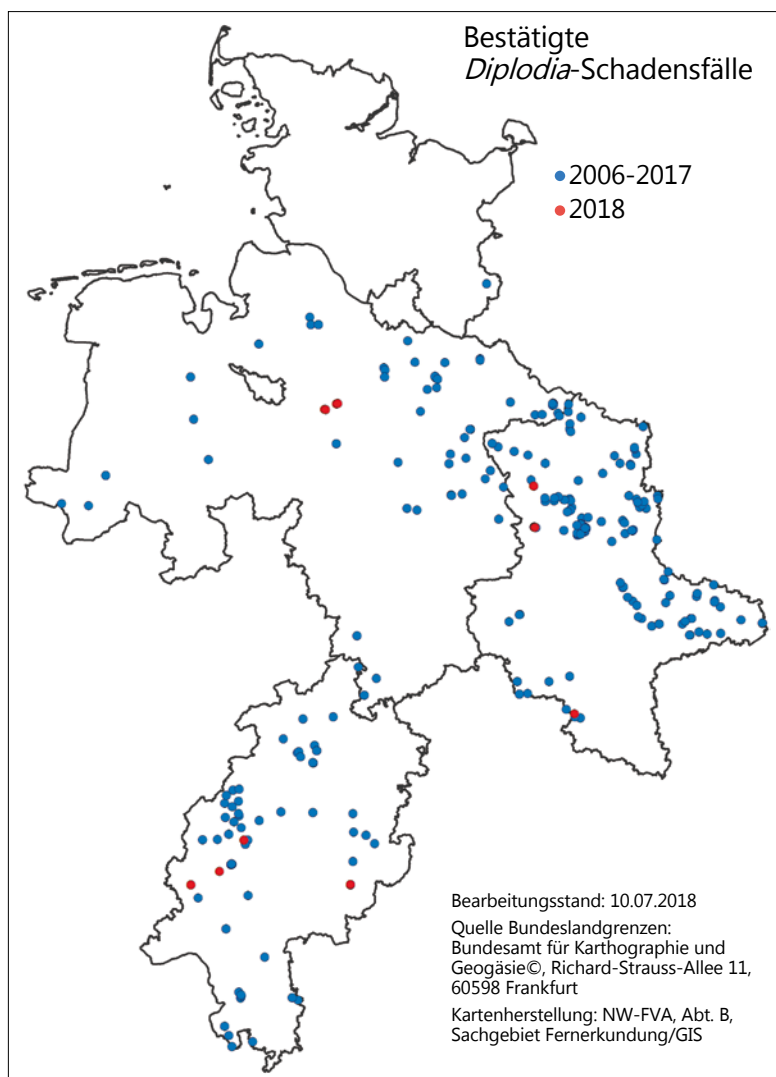
schnell verbreitete und schwerwiegende Folgen für die heimischen Eschen-Populationen hervorgerufen hat. Es führte örtlich zur Auflösung von Bestandesteilen und zum Absterben von Eschen.

### Diplodia-Triebsterben der Kiefer

Der Wärme liebende Pilz *Sphaeropsis sapinea* (Synonym: *Diplodia pinea*) tritt seit einigen Jahren verstärkt in Kiefernbeständen auf. Es ist davon auszugehen, dass dieser Pilz endophytisch in allen Kiefernbeständen des Zuständig-



Diplodia-Triebsterben an aktuellen Trieben von Waldkiefer im Juni 2018 (FA Dieburg, Hessen) Foto: NW-FVA, Abteilung Waldschutz



Bestätigte *Diplodia*-Schadensfälle bis zum 30.06.2018 im Zuständigkeitsbereich der NW-FVA

keitsbereichs der NW-FVA vorkommt. Schaden löst der Pilz erst aus, wenn er bei vorgeschädigten oder geschwächten Wirtspflanzen in seine parasitische Phase übergeht und das *Diplodia*-Triebsterben verursacht. Seit 2006 werden die gemeldeten Schadensfälle kartiert (Abb. unten links). Neben Triebsterben kann die Erkrankung Folgeschäden nach sich ziehen (z. B. Käferbefall, Bläue im Holz) und führt bei entsprechend starker Kronenschädigung zum Absterben der Bäume. Insbesondere der milde Winter 2017/18 und der Wassermangel im Frühjahr und Sommer schwächten die Kiefern und machten sie auf zahlreichen Standorten für das *Diplodia*-Triebsterben angreifbar.

### Absterbeerscheinungen bei Douglasie

Bei Douglasien aller Altersklassen traten in 2018 gehäuft unterschiedlichste Schadenssymptome und Absterbeerscheinungen auf. Ein entscheidender, auslösender Faktor für Absterbeerscheinungen bei den Douglasien waren die besonderen Witterungsbedingungen im Spätwinter mit Frostereignissen sowie zu warmen Temperaturen vom Frühling bis in den Sommer. In Douglasien-Kulturen und bei älteren Douglasien unterschiedlichen Alters löste das erste Frostereignis unter  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$  Ende Februar/Anfang März eine auffällige Nadelverfärbung und massive Rußige Schütte (*Phaeocryptopus gaeumannii*) aus. Ab April 2018 zeigten sich bei diesjährigen Pflanzungen mit wurzelnackten Pflanzen teilweise hohe Absterberaten infolge des Pflanzschocks und der zu hohen Temperaturen und Trockenheit.

### Tannen-Rindennekrose

Die komplexe Erkrankung der Tannen-Rindennekrose, die seit dem Frühjahr 2016 regional im Zuständigkeitsbereich der NW-FVA beobachtet wird, ist noch nicht zum Stillstand gekommen. Auslösende Faktoren dieser Erkrankung sind Witterungsbedingung sowie ein Befall mit (Stamm-)Läusen (in der Regel *Adelges piceae*) und nachfolgenden 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: NW-FVA, Abteilung Waldschutz

# Forstliches Umweltmonitoring

Johannes Eichhorn, Inge Dammann und Uwe Paar

## Aufgaben

Die natürliche zeitliche Veränderung der Waldbestände, Managementmaßnahmen und vor allem biotische und abiotische Einflüsse der Umwelt führen zu Veränderungen in Waldökosystemen. Hinzu kommt, dass die Ansprüche der Gesellschaft an den Wald weit gefächert sind und gesellschaftliche Veränderungen widerspiegeln. Während noch vor wenigen Jahrzehnten der Kohlenstoffspeicherung in Waldböden keine besondere Bedeutung zugemessen wurde, erlangt heute der Kohlenstoffvorrat in Waldböden und seine Veränderung ein zunehmendes wissenschaftliches, politisches und wirtschaftliches Interesse. Waldfunktionen als Ausdruck gesellschaftlicher Erwartungen können nur dann nachhaltig entwickelt, gesichert und bewirtschaftet werden, wenn sie in ihrem Zustand und in ihrer Veränderung zahlenmäßig darstellbar sind.

Das Forstliche Umweltmonitoring leistet dazu einen wesentlichen Beitrag. Er erfasst mittel- bis langfristig Einflüsse der Umwelt auf die Wälder wie auch deren Reaktionen, zeigt Veränderungen von Waldökosystemen auf und bewertet diese auf der Grundlage von Referenzwerten. Die Forstliche Umweltkontrolle leistet Beiträge zur Daseinsvorsorge, arbeitet die Informationen bedarfsgerecht auf, erfüllt Berichtspflichten, gibt für die Forstpraxis Entscheidungshilfen und berät die Politik auf fachlicher Grundlage.



Foto: M. Spielmann

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. Dies wird konkretisiert durch die Verordnung über Erhebungen zum Forstlichen Umweltmonitoring (ForUmV 2014) und durch das Durchführungskonzept Forstliches Umweltmonitoring (2016). Die Rechtsgrundlagen stellen sicher, dass die Kernelemente des Forstlichen Umweltmonitorings langfristig zu erarbeiten sind. Die daraus entstehenden Zeitreihen sind eine wesentliche Informationsgrundlage für die Entscheidungsträger der Waldentwicklung.

## Konzept

Grundsätzlich werden im Forstlichen Umweltmonitoring waldfächenrepräsentative Übersichtserhebungen auf Rasterebene (Level I), die intensive Dauerbeobachtung ausgewählter Waldökosysteme im Rahmen verschiedener Beobachtungsprogramme (Bodendauerbeobachtungsprogramm (BDF), Level II, Waldökosystemstudie Hessen (WÖSSH)) sowie Experimentalflächen unterschieden.

Das Konzept umfasst folgende Monitoringprogramme, wobei einzelne Monitoringflächen mehreren Programmen zugeordnet sein können:

- Level I (Übersichtserhebungen)
- BDF (Bodendauerbeobachtungsprogramm) – das hessische BDF fällt in die Zuständigkeit des HLNUG (Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie)
- Level II (ICP Forests Intensive Monitoring Plots)
- Level II Core (Level II mit intensivierten Erhebungen)
- WÖSSH (Waldökosystemstudie Hessen)
- Experimentalflächen; dazu zählen: Forsthydrologische Forschungsgebiete, Flächen zur Bodenschutzkalkung und zur Nährstoffergänzung sowie zur wasser- und stoffhaushaltsbezogenen Bewertung von Nutzungsalternativen.

Die im Forstlichen Umweltmonitoring verwendeten Instrumente der Ökosystemüberwachung stehen europaweit harmonisiert nach den Grundsätzen des ICP Forests (2010), der BDF-Arbeitsanleitung (Barth et al. 2000), der BZE-Arbeitsanleitung (Wellbrock et al. 2006) sowie dem Handbuch Forstliche Analytik (BMELV (Hrsg.) 2005) zur Verfügung. Qualitätssichernde und -prüfende Maßnahmen sind danach verbindlich vorgeschrieben. Sie bestätigen die Qualität und die Nutzbarkeit der Ergebnisse.

## 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.

## Aufnahmeumfang

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



# Forstliches Umweltmonitoring

bungspunkt 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 2018 auf der Basis von 133 Punkten, für die Rhein-Main-Ebene wurden insgesamt 48 Punkte ausgewertet. Dieser Aufnahmeumfang ermöglicht 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 2018. Je weiter der Vertrauensbereich, desto unschärfer sind die Aussagen. Die Weite des Vertrauensbereiches wird im Wesentlichen beeinflusst durch die Anzahl der Stichprobenpunkte in der jeweiligen Auswerteeinheit und die Streuung der Kronenverlichtungswerte. Für relativ homogene Auswerteeinheiten 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 geschlos-

*95 %-Konfidenzintervalle für die Kronenverlichtung der Baumartengruppen und Altersstufen der Waldzustandserhebung 2018 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	1151	94	8x8 km	3,1
	bis 60 Jahre	118	18	8x8 km	4,1
	über 60 Jahre	1033	77	8x8 km	3,0
Eiche	alle Alter	326	54	8x8 km	2,7
	bis 60 Jahre	47	10	8x8 km	7,7
	über 60 Jahre	279	44	8x8 km	2,8
Fichte	alle Alter	631	59	8x8 km	4,5
	bis 60 Jahre	269	24	8x8 km	2,4
	über 60 Jahre	362	37	8x8 km	4,5
Kiefer	alle Alter	555	50	8x8 km	2,6
	bis 60 Jahre	27	7	8x8 km	20,9
	über 60 Jahre	528	43	8x8 km	2,7
andere Laubbäume	alle Alter	288	44	8x8 km	6,6
	bis 60 Jahre	180	23	8x8 km	10,1
	über 60 Jahre	108	23	8x8 km	7,4
andere Nadelbäume	alle Alter	241	42	8x8 km	4,8
	bis 60 Jahre	133	21	8x8 km	5,0
	über 60 Jahre	108	21	8x8 km	7,4
alle Baumarten	alle Alter	3192	133	8x8 km	1,9
	bis 60 Jahre	774	42	8x8 km	3,7
	über 60 Jahre	2418	105	8x8 km	1,7

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

## Mittlere Kronenverlichtung

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

## Starke Schäden

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

## Absterberate

Die Absterberate ergibt sich aus den seit der letzten Erhebung abgestorbenen Bäumen, die am Stichprobenpunkt stehen. Durch Windwurf, Durchforstung usw. ausgefallene Bäume gehen nicht in die Absterberate ein.

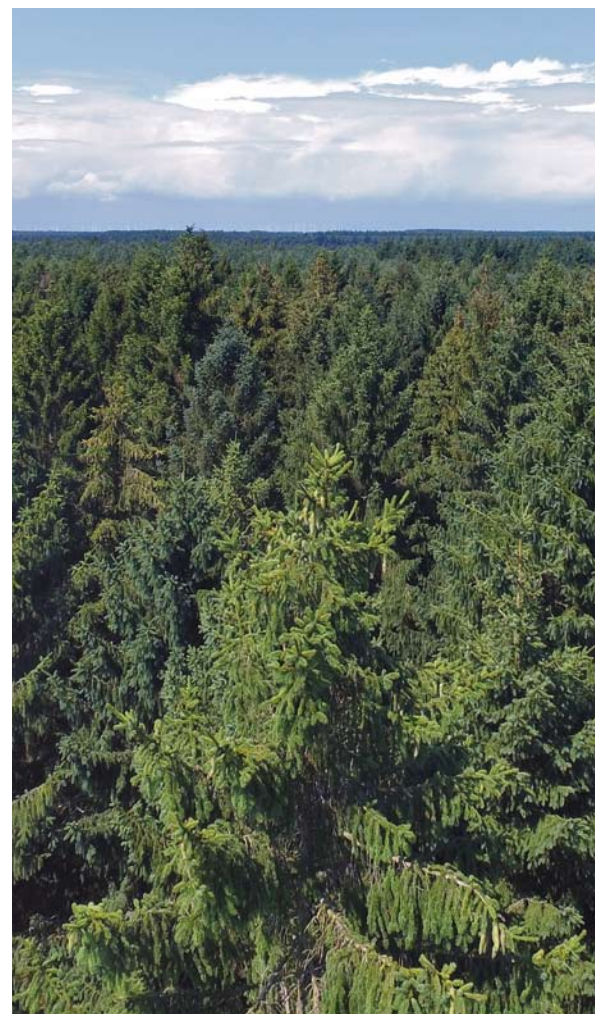


Foto: J. Weymar

# Stoffeinträge

## Birte Scheler

In Wäldern ist der atmosphärische Eintrag für viele Nähr- und Schadstoffe die Haupteintragsquelle. Luftverunreinigungen gelangen in gelöster Form mit dem Niederschlag und zusätzlich durch den Auskämmeffekt der Baumkronen gas- und partikelförmig in das Ökosystem Wald. Aufgrund dieses Filtereffektes ist der Eintrag anthropogen bedingter Schwefel- und Stickstoffverbindungen (Nitrat und Ammonium) im Wald deutlich höher als bei anderen Landnutzungsformen. Diese so genannte Immissionsschutzfunktion des Waldes stellt jedoch für das Ökosystem Wald selbst eine Belastung dar, da Stoffeinträge das chemische Bodenmilieu durch Versauerung und Eutrophierung verändern. In Hessen wurde bereits 1984 mit der systematischen Erfassung der Stoffeinträge in Buchen- und Fichtenbeständen begonnen, um die Wirkungen erhöhter Stoffeinträge und damit verbundener Risiken für Wälder, Waldböden und angrenzende Ökosysteme wie beispielsweise das Grundwasser zu untersuchen. Aktuell wird der Stoffeintrag im Rahmen des Intensiven Forstlichen Umweltmonitorings in zwei Fichten-, sechs Buchen-, sowie jeweils einem Eichen- und 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 Gesamtdositionsraten berechnet.

Die Höhe der Stoffeinträge wird maßgeblich durch verschiedene Faktoren wie Niederschlagsmenge 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. Beim Vergleich der Baumarten sind Fichten- und Douglasienbestän-

de 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 gleichen klimatischen Verhältnissen beobachtet werden.

## Niederschlag

In weiten Teilen von Hessen war 2017 ein niederschlagsreiches Jahr. Im Vergleich zum 10-jährigen Mittel der Jahre 2007-2016 fiel im Freiland zwischen 83 mm (Zierenberg) und 255 mm (Spessart) mehr Niederschlag, während im Kellerwald und Hess. Ried die Niederschlagshöhe dem 10-jährigen Mittel entsprach. Der Bestandesniederschlag war zwischen 70 mm (Zierenberg Buche) und 204 mm (Spessart Buche) höher als im Mittel des genannten Zeitraums. In Folge von Durchforstungen war der Niederschlag auf den Bestandesflächen im Hess. Ried trotz durchschnittlicher Freilandniederschläge zwischen 19 mm (Eiche) und 86 mm (Kiefer) höher als im Mittel 2007-2016.

Die größten relativen Abweichungen vom 10-jährigen Mittel gab es im Spessart (+26 % im Freiland, +25 % im Bestand), die geringsten im Kellerwald (+1 % im Freiland, -2 % im Bestandesniederschlag unter Buche). Aufgrund der deutlich höheren Niederschlagsmenge waren die Stoffeinträge 2017 im Vergleich mit 2016 ebenfalls erhöht.

## Schwefeleintrag

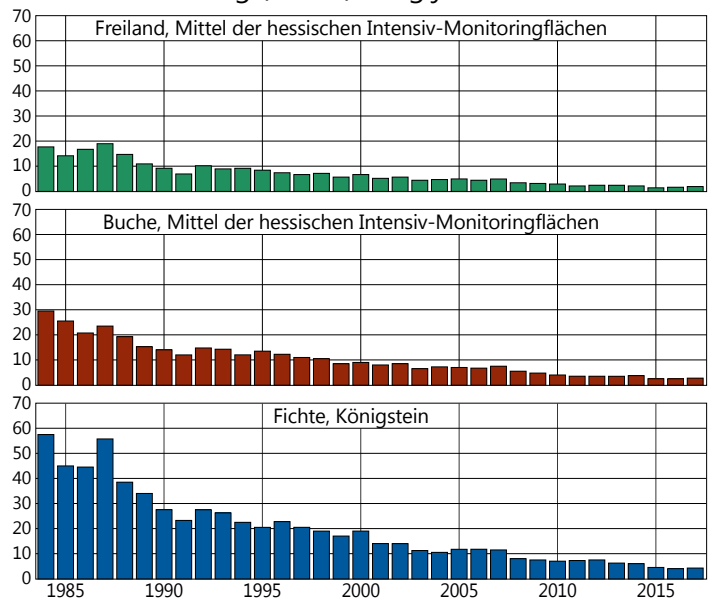
Durch die konsequente Umsetzung von Maßnahmen zur Luftreinhaltung wie Rauchgasentschwefelung und die Einführung schwefelarmer Kraft- und Brennstoffe konnten die Schwefeldioxidemissionen wirksam reduziert werden. In der Folge ging auch der Schwefeleintrag (gemessen als Sulfatschwefel  $SO_4-S$ ) seit Mitte der 1980er Jahre stark zurück. Die stetige Abnahme der Schwefeleinträge setzte sich auf allen Bestandes- und Freilandmessflächen trotz des bereits zu Beginn der 2000er Jahre erreichten niedrigen Niveaus in den vergangenen 10 Jahren weiter fort. Aufgrund der z. T. deutlich erhöhten Niederschlagsmengen im Jahr 2017 hat



Intensiv-Monitoringfläche Hessisches Ried

Foto: J. Evers

### Schwefel-Eintrag ( $SO_4-S$ ) in kg je Hektar und Jahr





# Stoffeinträge



Intensiv-Monitoringfläche Fürth

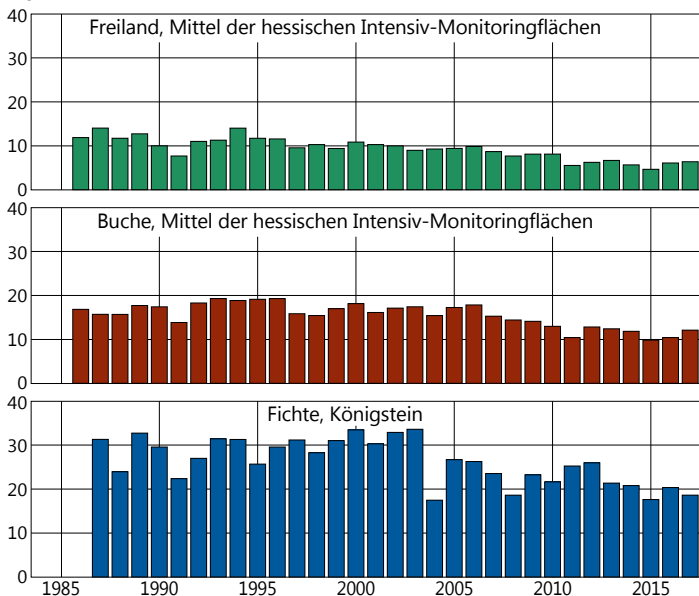
Foto: J. Weymar

sich der Schwefeleintrag im Vergleich zu 2016 mit Ausnahme der Flächen im Hess. Ried wieder leicht erhöht. Er betrug 2017 mit dem Bestandesniederschlag im Mittel der untersuchten Buchenflächen je Hektar 2,8 kg, mit Werten zwischen 2,1 kg (Krofdorf) und 4,1 kg (Fürth). Unter Fichte lag er je Hektar bei 4,2 kg (Königstein) bzw. 4,7 kg (Fürth) und im Freiland zwischen 1,5 kg (Kellerwald) und 2,6 kg (Spessart, Fürth). Im Hessenmittel betrug der Schwefeleintrag im Freiland 2 kg je Hektar.

## 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 (2008-2017) im Freiland rund 47 % und mit der Kronentraufe im Mittel aller Baumarten 51 %.

Stickstoff-Eintrag ( $\text{NH}_4\text{-N} + \text{NO}_3\text{-N}$ ) in kg je Hektar und Jahr



Der Nitratstickstoffeintrag hat im Freiland und der Gesamtdeposition aller vier Baumarten auf allen untersuchten Flächen seit 1994 bzw. seit Untersuchungsbeginn signifikant abgenommen. Im Gegensatz zum Schwefeleintrag ist er in den vergangenen 10 Jahren (2008-2017) auf den meisten Flächen nicht weiter rückläufig, sondern verharbt mit jährlichen Schwankungen auf dem Niveau des letzten Jahrzehnts. Er betrug 2017 je Hektar 3,4 kg (Hessenmittel Freiland) mit Werten zwischen 2,4 kg (Hess. Ried) und 4,4 kg (Spessart) und 6,1 kg unter Buche (Hessenmittel Gesamtdeposition mit Stammablauf). Unter Fichte betrug die Gesamtdeposition 9,3 kg je Hektar in Fürth und 9,6 kg in Königstein. Der insgesamt höchste Nitratstickstoffeintrag wurde 2017 mit 10,8 kg je Hektar in Zierenberg unter Buche gemessen.

Der Ammoniumstickstoffeintrag hat auf den hessischen Intensiv-Monitoringflächen seit 1994 bzw. seit Untersuchungsbeginn auf fünf von sieben Freilandmessflächen, fünf von sechs Buchenflächen, den beiden Fichtenflächen sowie der Kiefernfläche im Hess. Ried signifikant abgenommen. Ähnlich wie beim Nitratreintrag konnte im 10-Jahreszeitraum 2008-2017 jedoch mit Ausnahme der Kiefernfläche im Hess. Ried und den Freiflächen Krofdorf und Spessart keine weitere Abnahme beobachtet werden. Auf der Eichenfläche im Hess. Ried haben die Einträge in den letzten 10 Jahren sogar deutlich zugenommen. 2017 lag der Ammoniumstickstoffeintrag je Hektar bei 3,2 kg im Freiland und 6 kg unter Buche (jeweils Hessenmittel). Unter Fichte betrug er in Fürth 10 kg und in Königstein 9,1 kg je Hektar. Auffallend hoch waren die Ammoniumstickstoffeinträge mit 11,6 kg je Hektar in Zierenberg (Buche).

Verschiedene Bemühungen haben in der Vergangenheit zu einer Reduktion der Stickstoffemissionen und hieraus resultierenden rückläufigen Einträgen geführt. Diese Entwicklung hat sich in den vergangenen Jahren bedauerlicher Weise jedoch nicht im gleichen Maße fortgesetzt. Auf den meisten Flächen überschreitet der anthropogen bedingte atmosphärische Stickstoffeintrag im Mittel der letzten 10 Jahre



Analyse von Wasserproben

Foto: J. Evers



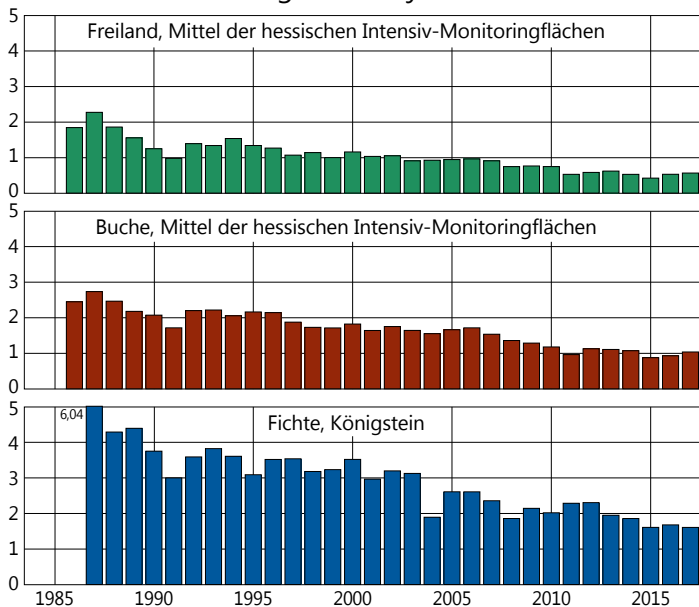
# Stoffeinträge

(2008-2017) mit Werten bis zu 16,5 kg je Hektar unter Buche (Zierenberg) und 23,7 kg unter Fichte (Fürth) 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 Grundwässer nach sich.

## Gesamtsäureeintrag

Der Gesamtsäureeintrag berechnet sich als Summe der Gesamtdosition von Nitrat, Ammonium, Sulfat und Chlorid (jeweils nicht seesalzbürtige Anteile). Der Netto-Gesamtsäureeintrag berechnet sich aus dem Gesamtsäureeintrag abzüglich der mit dem Niederschlag eingetragenen Basen Calcium, Magnesium und Kalium (jeweils nicht seesalzbürtige Anteile; Gauger et al. 2002).

### Gesamtsäure-Eintrag in kmol<sub>c</sub> je Hektar und Jahr



Intensiv-Monitoringfläche Zierenberg

Foto: J. Weymar

2017 betrug der Gesamtsäureeintrag je Hektar im Freiland 0,6 kmol<sub>c</sub> (Hessenmittel), 1,0 kmol<sub>c</sub> unter Buche (Hessenmittel) und unter Fichte 1,7 kmol<sub>c</sub> (Fürth) bzw. 1,6 kmol<sub>c</sub> (Königstein) je Hektar.

Die Höhe der atmosphärischen Baseneinträge je Hektar lag 2017 zwischen 0,07 kmol<sub>c</sub> (Kellerwald Buche) und 0,19 kmol<sub>c</sub> (Zierenberg Buche). Durch diese basischen Einträge werden auf den Flächen zwischen 8 % (Königstein Fichte) und 16 % (Hess. Ried Kiefer) der Säureeinträge in den Wald neutralisiert. Ein weiterer Teil der Säureeinträge wird auf dem Wege der Basenfreisetzung durch Verwitterung gepuffert. Die nachhaltige Säurepufferkapazität insbesondere nährstoffarmer Waldstandorte reicht jedoch auch unter Berücksichtigung der Baseneinträge nicht zur Kompensation der Säureeinträge aus.

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



Stammablauf-Messanlage

Foto: T. Friedhoff



# Schwermetalle im Sickerwasser

Birte Scheler

## Schwermetalle und ihre Bedeutung

Schwermetalle können durch ihre Neigung zur Akkumulation toxisch auf Pflanzen, Tiere und Menschen wirken (Scheffer & Schachtschabel 2002). In erster Linie stellen sie eine Gefahr für die Organismen der Zersetzerkette dar; krautige Pflanzen und Bäume werden erst bei höheren Belastungen geschädigt. Blei, Cadmium und Quecksilber sind für die belebte Umwelt aufgrund ihrer hohen Toxizität besonders problematisch. Die Schwermetalle Kupfer, Kobalt und Zink sind hingegen als so genannte essentielle Mikronährstoffe Bestandteile von Enzymen und Vitaminen und für einen gesunden Organismus notwendig (Schneider 1999, Hintermaier-

Erhard & Zech 1997). Kupfer ist beispielsweise Bestandteil eines Enzyms, das wichtig für die Heilung des Pflanzengewebes nach Verletzungen ist, Zink ist an der Bildung von Wuchsstoffen beteiligt und Kobalt regelt wahrscheinlich Prozesse in der Zellatmung (www.duenger-und-erde.de, Finck 1991). Bei erhöhter Konzentration und Bioverfügbarkeit wirken aber auch diese Schwermetalle toxisch.

## Ursprung der Schwermetallbelastung

In Böden kommen Schwermetalle je nach Ausgangsgestein naturbedingt in unterschiedlichen Konzentrationen vor. Durch menschliche Aktivitäten wie Verbrennungsprozesse und Güterproduktion wurden und werden teilweise große Mengen verschiedener Schwermetalle freigesetzt. Blei wurde früher dem Benzin als Antiklopfmittel zugesetzt, findet Verwendung in Akkumulatoren (v. a. Starterbatterie für Kraftfahrzeuge, Energiespeicher für E-Autos) oder als Pigment in rostschützenden Grundierungen und Farben. Cadmium ist in Batterien, älteren Energiesparlampen und Düngemitteln enthalten und findet Verwendung als Stabilisator in Kunststoffen sowie als Korrosionsschutz.

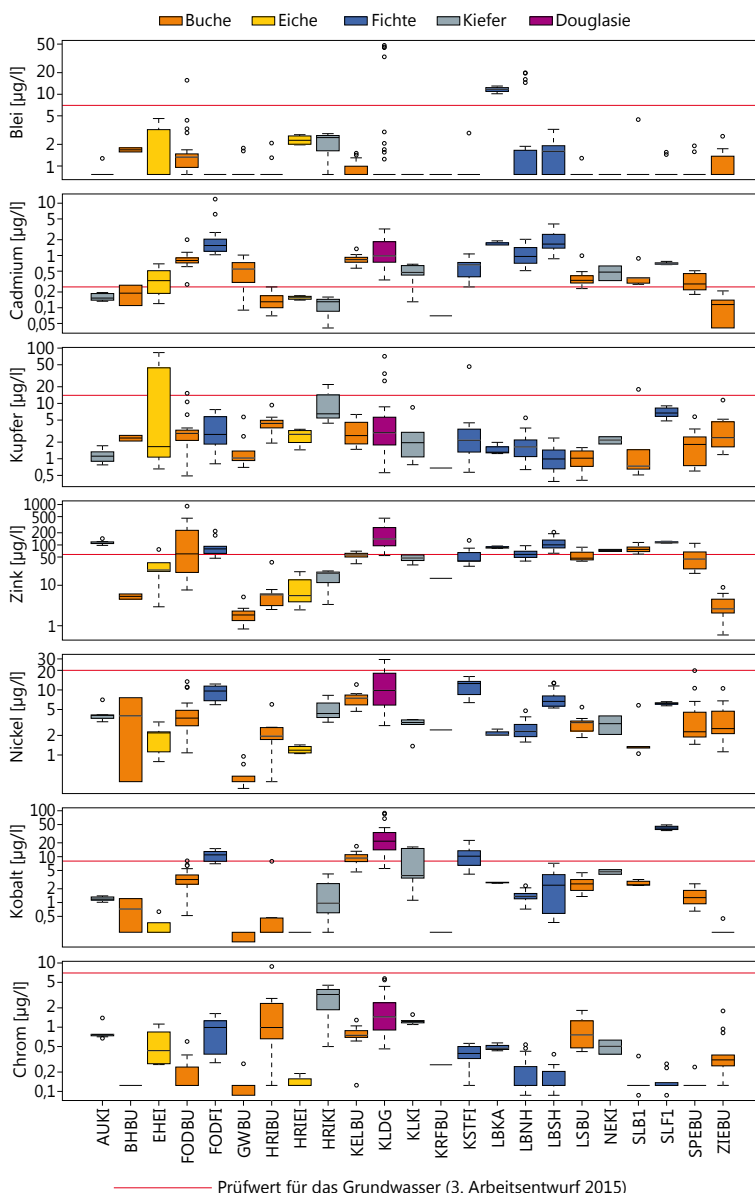
Mit dem Ferntransport in der Atmosphäre gelangen diese Stoffe als Stäube auch in Gebiete, die von den Emissionsquellen weit entfernt liegen. Durch den Auskämmeffekt der Baumkronen kommt es besonders in Waldböden zu einer Anreicherung von Schwermetallen, obwohl im Rahmen der forstlichen Bewirtschaftung keine Schwermetalle durch den Einsatz von mineralischen und organischen Düngern oder Pflanzenschutzmitteln in das Waldökosystem eingetragen werden.

## Schwermetalle in der Bodenlösung

Schwermetalle kommen im Waldboden sowohl in schwerlöslicher Form als Carbonate, Sulfate und Sulfide als auch in leichter löslicher Form angelagert an Huminstoffe oder mineralischen Oberflächen vor. Ihre Toxizität hängt stark von der Löslichkeit ab. Geringe Säuregrade (d. h. hohe pH-Werte im Boden) und hohe Ton- und Humusgehalte tragen zur Immobilisierung von Schwermetallen bei, während in sauren sowie ton- und humusarmen Böden bereits geringe Schwermetallgehalte ökologische Beeinträchtigungen zur Folge haben können. Im Bodenwasser gelöste Schwermetalle sind besonders leicht verfügbar. Aus diesem Grund geht von ihnen eine höhere Gefährdung aus. Zudem können gelöste Schwermetalle mit dem Sickerwasser in das Grundwasser übertreten.

Im Rahmen des Forstlichen Umweltmonitorings werden in den Trägerländern der NW-FVA auf ausgewählten Level II-Flächen die Schwermetallkonzentrationen in der Bodenlösung erfasst. Zusätzlich wurden 2016 bzw. 2017 auf allen Flächen des Intensiven Monitorings ein Jahr lang die Schwermetalle in der Bodenlösung unterhalb des Hauptwurzelraumes, d. h. je nach Fläche in einer Bodentiefe zwischen 60 und 400 cm, bestimmt. In der Zusammenschau mit den

### Schwermetallkonzentration



Schwermetallkonzentration ( $\mu\text{g/l}$ ) in der Bodenlösung von Intensiv-Monitoringflächen unterhalb des Hauptwurzelraums.

AUKI = Augustendorf Kiefer, BHBU = Bornhöved Buche, EHEI = Ehrhorn Eiche, FODBU = Fürth/Odenwald Buche, FODFI = Fürth/Odenwald Fichte, GWBU = Göttinger Wald Buche, HRIBU = Hess. Ried Buche, HREI = Hess. Ried Eiche, KELBU = Kellerwald Buche, KLDG = Klütze Douglasie, KLKI = Klütze Kiefer, KRFBU = Krodorf Buche, KSTFI = Königstein Fichte, LBKA = Lange Bramke Kamm Fichte, LBNH = Lange Bramke Nordhang Fichte, LBSH = Lange Bramke Südhang Fichte, LSBU = Lüss Buche, NEKI = Nedlitz Kiefer, SLB1 = Solling Buche, SLF1 = Solling Fichte, SPEBU = Spessart Buche, ZIEBU = Zierenberg Buche

# Schwermetalle im Sickerwasser

Schwermetallgehalten des Bodens, die im Rahmen der im 10-jährigen Turnus stattfindenden Bodenuntersuchungen erhoben werden, konnte so ein Überblick über die Schwermetallbelastung von Waldstandorten gewonnen werden. In Abhängigkeit von der Anzahl der Bodenlösungssammler (Lysimeter) konnten pro Fläche zwischen 1 und 39 Bodenlösungsproben auf die Gehalte von Blei, Cadmium, Kupfer, Zink, Nickel, Kobalt und Chrom analysiert werden.

Da es für Sickerwasser keine speziellen Grenzwerte für die Schwermetallbelastung gibt, werden zur Beurteilung der Qualität der Bodenlösung die Prüfwerte für das Grundwasser herangezogen (3. Arbeitsentwurf, Anlage 9, 2015). Für die Elemente Blei und Cadmium entsprechen die Grundwasserprüfwerte den Schwellenwerten der Umweltqualitätsnorm gemäß Richtlinie 2008/105/EG.

Die Ergebnisse dieser einjährigen Messkampagne dienen der Beantwortung folgender Fragen:

- Wie hoch sind die Schwermetallkonzentrationen von Blei, Cadmium, Chrom, Kobalt, Kupfer, Nickel und Zink in der Bodenlösung von Waldböden?
- Lassen sich baumartenspezifische Belastungsunterschiede erkennen?

**Blei** wird stark an mineralischen Oberflächen angelagert und im Humus gebunden. Die Bodeninventuren auf den Intensiv-Monitoringflächen zeigen, dass die Bleigehalte in der oberen Bodentiefe (0-5 cm) zwischen 13 mg/kg (Lüss Buche, schwach verlehmt Sand) und 337 mg/kg (Lange Bramke Südhang, Fichte, Grauwacke) betragen, mit der Tiefe jedoch deutlich abnehmen auf Werte zwischen 1 mg/kg und 49 mg/kg. Trotz geringer Bleigehalte im Boden unterhalb des Hauptwurzelraums wurden in der Bodenlösung der Douglasienfläche in Klötze (Sachsen-Anhalt) in 100 cm Bodentiefe in vier von 39 Proben Bleigehalte zwischen 33 µg/l

und 48 µg/l gemessen. Auf den Fichtenflächen Lange Bramke im Harz wurden auf der Kammfläche in 80 cm Bodentiefe in drei Proben Bleikonzentrationen zwischen 10 µg/l und 13 µg/l und auf der Nordhangfläche in 4 von 20 Proben Bleigehalte zwischen 15 µg/l und 20 mg/l gemessen. Abgesehen von diesen Werten, welche die EU-Umweltqualitätsnorm in Höhe von 7 µg/l teilweise ganz erheblich überschritten, lag die Bleikonzentration über alle Flächen betrachtet jedoch in 95 % der Proben unterhalb der Umweltqualitätsnorm, in 68 % der Proben sogar unterhalb der Bestimmungsgrenze von 1,14 µg/l.

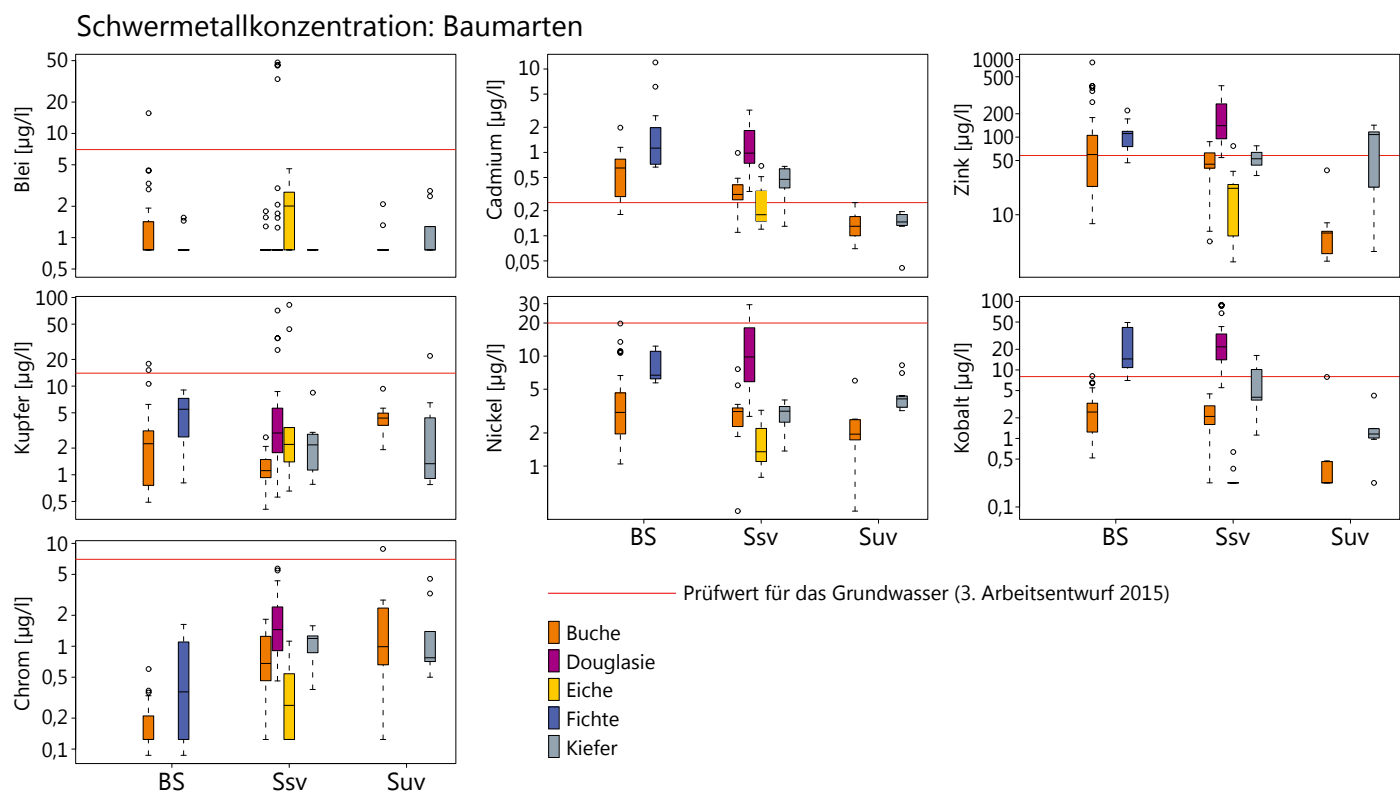
**Cadmium** wird im Gegensatz zu Blei nur schwach im Boden gebunden und dadurch leichter in größere Bodentiefen verlagert. Die Umweltqualitätsnorm für Cadmium beträgt 0,25 µg/l. Dieser Wert wurde jedoch nur auf fünf von 23 Flächen bei allen Proben eingehalten, auf 11 Flächen wurde er dagegen in allen Proben erheblich überschritten. Die maximale Konzentration wurde mit 12 µg/l unter Fichte in Fürth/Odenwald gemessen.

Die **Kupfer**konzentration war in 96 % der Proben geringer als 14 µg/l, dem Prüfwert für das Grundwasser. Überschritten wurde dieser Wert in 10 Proben.

Für **Zink** liegt der Prüfwert für das Grundwasser bei 58 µg/l. Auf sieben Flächen wurde der Grundwasserprüfwert in allen Proben eingehalten, auf sechs Flächen in keiner Probe. Besonders hohe Konzentrationen von über 300 µg/l wurden in Fürth/Odenwald unter Buche und in Klötze unter Douglasie gemessen.

Die **Nickel**konzentration war auf 22 von 23 Flächen in allen Proben geringer als der Prüfwert (20 µg/l); dieser wurde nur auf der Douglasienfläche in Klötze in acht von 39 Proben nicht eingehalten.

Auf 16 von 23 Flächen wurde der Prüfwert für **Kobalt** (8 µg/l) in allen Analysen unterschritten. Auffallend hohe Kobaltkonzentrationen wurden auf den Fichtenflächen Sol-



Schwermetallkonzentrationen (µg/l) in der Bodenlösung unter verschiedenen Baumarten auf den Substratgruppen Buntsandstein (BS), schwach verlehmt Sande (Ssv) und unverlehmt Sande (Suv)



# Schwermetalle im Sickerwasser

ling, Königstein und Fürth/Odenwald gemessen, außerdem in Klütze unter Douglasie und im Kellerwald unter Buche.

Auf 22 von 23 Flächen lag die Konzentration von **Chrom** in allen Proben deutlich unter dem Prüfwert in Höhe von 7 µg/l. Lediglich auf der Fläche Hess. Ried Buche wies eine von neun Proben eine höhere Chromkonzentration auf.

Für die Beantwortung der Frage, ob die Baumart ggf. einen Einfluss auf die Schwermetallbelastung der Bodenlösung hat, wurden die Flächen an Hand ihrer Substratgruppe zusammengefasst. Innerhalb derselben Substratgruppe wurden die Schwermetallkonzentrationen der verschiedenen Baumarten miteinander verglichen. Für die Substratgruppe Buntsandstein konnten Buche und Fichte, für die Substratgruppe schwach verlehmt Sande Buche, Eiche, Kiefer und Douglasie und bei den unverlehmt Sanden Buche und Kiefer miteinander verglichen werden. Aufgrund der geringen Flächen- und Analysenanzahl sowie der unterschiedlichen Tiefe der Probenahme geben diese Ergebnisse jedoch nur einen ersten Hinweis auf einen möglichen Baumarteneinfluss und können nicht ohne Weiteres verallgemeinert werden.

Beim Vergleich Fichte/Buche (Substratgruppe Buntsandstein, Solling und Fürth/Odenwald) ist die Konzentration von Cadmium, Kupfer, Kobalt und Chrom unter Fichte signifikant höher als unter Buche. Die Bleikonzentration hingegen war unter Buche höher als unter Fichte.

Auf den schwach verlehmt Sanden ist die Konzentration von Cadmium und Nickel unter Douglasie deutlich höher als unter den Baumarten Buche, Eiche und Kiefer, die sich bezüglich der Konzentration dieser beiden Schwermetalle nicht nennenswert unterscheiden. Bei den Konzentrationen von Zink, Kupfer, Kobalt und Chrom fällt die Douglasienfläche ebenfalls durch besonders hohe Werte auf, während sich die Bleikonzentration in der Bodenlösung von Douglasie, Buche, Eiche, und Kiefer auf schwach verlehmt Sanden nicht signifikant unterscheidet. Unter Eiche sind die Cadmium-, Zink-, Nickel-, Kobalt- und Chromwerte im Vergleich der vier Baumarten am geringsten.

Auf den unverlehmt Sanden sind die Gehalte von Zink, Nickel und Kobalt in der Bodenlösung unter Kiefer signifikant höher als unter Buche. Hinsichtlich der Blei-, Cadmium und Chromgehalte unterscheiden sich Kiefer und Buche jedoch nicht.



Saugkerzen zur Gewinnung von Bodenlösung

Foto: NW-FVA

## Fazit

Aufgrund der hohen Toxizität ist eine Überschreitung der Umweltqualitätsnorm bei den Schwermetallen Blei und Cadmium besonders kritisch zu bewerten. Trotz hoher Einträge mit der Kronentraufe in der Vergangenheit (König et al. 2016) wurde in der Bodenlösung die Umweltqualitätsnorm für Blei nur in wenigen Proben überschritten, in 68 % der Proben lag die Konzentration sogar unterhalb der Bestimmungsgrenze des Labors. Nach derzeitigem Stand ist das Risiko für eine Belastung des Grundwassers durch Bleiausträge unter Wald – mit Ausnahme der Fläche Lange Bramke Kamm – gering.

Deutlich ungünstiger stellt sich die Situation bei Cadmium dar. Obwohl die Cadmиеinträge mit der Kronentraufe ebenfalls deutlich zurückgegangen sind und die Cadmiumgehalte der Bodenfestphase (Ausnahme Göttinger Wald Buche, Tiefenstufe 0-5 cm) unter dem Vorsorgewert nach Bundes-Bodenschutzverordnung liegen, überschreitet die Cadmiumkonzentration in der Bodenlösung die Umweltqualitätsnorm auf allen Fichtenflächen, der Douglasienfläche, auf drei von fünf Kiefern- sowie sechs von zehn Buchenflächen zum Teil erheblich. Bei der Cadmiumbelastung zeigt sich ein deutlicher Baumarteneffekt. Sie ist unter Fichte (Buntsandstein) und Douglasie (schwach verlehmt Sande) höher als unter den anderen Baumarten der jeweiligen Substratgruppe. Es ist zu vermuten, dass die höheren Cadmиеinträge unter Fichte (König et al. 2016) mitverantwortlich sind für die hohen Konzentrationen im Sickerwasser dieser Baumarten. Es kann daher nicht ausgeschlossen werden, dass das Grundwasser unter Wald durch Cadmиеinträge belastet wird.

Eine Belastung des Grundwassers durch anthropogen bedingt erhöhte Austräge unter Wald ist für die Schwermetalle Kupfer, Nickel und Chrom nicht zu befürchten, für Zink und Kobalt kann sie auf einigen Flächen nicht ausgeschlossen werden.



Mit Unterdruck wird Bodenlösung aus verschiedenen Bodentiefen gewonnen

Foto: O. Schwerdtfeger

# Veränderung des Waldwachstums

Christoph Fischer, Susanne Sprauer, Matthias Schmidt, Jürgen Nagel und Hermann Spellmann

## Ertragstafeln

Zum Erfolg der nachhaltigen Forstwirtschaft in Deutschland haben Ertragstafeln, die aus dem ertrags- bzw. waldwachstumskundlichen Versuchswesen abgeleitet wurden, entscheidend beigetragen. Sie bilden die durchschnittliche Entwicklung von gleichaltrigen Reinbeständen in ökologischen Großregionen differenziert nach der Leistungsfähigkeit des Standortes ab. „Im herkömmlichen Sinne sind Ertragstafeln tabellarische Übersichten, die für bestimmte Baumarten unter Berücksichtigung von Standortgüte und Behandlungsart den Wachstumsgang und die Nutzung von

Waldbeständen im Laufe ihres Lebens angeben. Sie stellen somit gleichzeitig Wachstums- und Nutzungsmodelle dar“ (Kramer 1988). Ertragstafeln sind somit für die Forstpraxis eine grundlegende Planungshilfe für die Vorrats- und Zuwachsschätzung und dienen der mittelfristigen Veranschlagung der Nutzungen. Die Abschätzung der „objektiven Nutzungsmöglichkeiten“ sichert zugleich die Einhaltung des Nachhaltigkeitsprinzips.

Seit Anfang der 1960er Jahre lassen sich für viele Baumarten deutliche Abweichungen der realen Wachstumsverläufe von denen der Ertragstafeln beobachten. Als Gründe für das stärkere Wachstum – vor allem in jüngeren Beständen – können die Erholung der Waldböden nach Aufgabe der Streunutzung, die stark angestiegenen Stickstoffeinträge, die höheren CO<sub>2</sub>-Konzentrationen in der Atmosphäre und der allgemeine Temperaturanstieg in Folge des fortschreitenden Klimawandels vermutet werden. Zudem basieren die meisten Ertragstafeln auf Versuchsflächendaten aus gleichaltrigen Reinbeständen, die im 19. und 20. Jahrhundert noch in engen Pflanzverbänden begründet, niederdurchforstet und im Kahlschlag- bzw. kurzfristigen Schirmschlagbetrieb bewirtschaftet wurden. Dagegen haben weitere Verbände, Hoch- oder Auslesedurchforstungen mit gestaffelten Eingriffsstärken und die Zielstärkenutzungen dazu geführt, dass in heutigen Beständen im Vergleich zur Ertragstafel in der Regel deutlich höhere Mitteldurchmesser auftreten und die angestrebten Zieldurchmesser der Bäume erheblich früher erreicht werden.

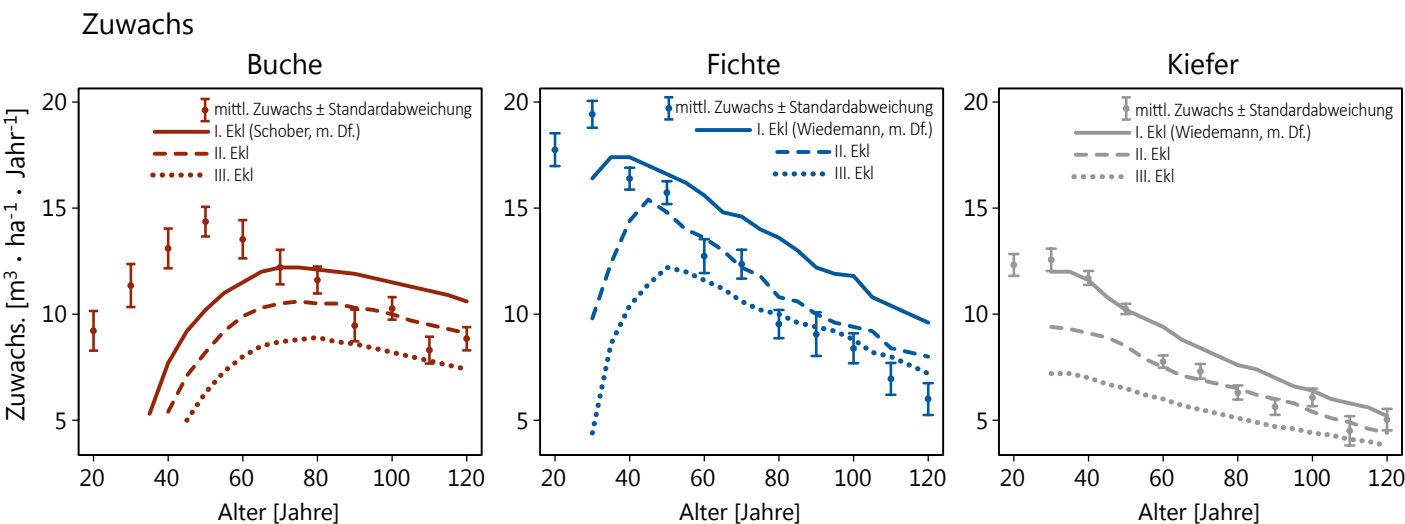


Buchenversuchsfläche

Foto: I. Kehr

## Ergebnisse aus der Bundeswaldinventur

Auch in den Trägerländern der NW-FVA (Niedersachsen, Hessen, Sachsen-Anhalt und Schleswig-Holstein) weichen aktuell die beobachteten Wachstumsgänge zum Teil deutlich von denen der Ertragstafeln ab, wie ein Vergleich der mittleren Volumenzuwächse aus der Bundeswaldinventur in der Zuwachsperiode 2002-2012 zu den Ertragstafelzuwächsen zeigt (Abb. unten). Für die drei Baumarten Buche, Fichte und Kiefer ist ersichtlich, dass die mittleren Zuwächse für Bestände, die nach 1960 begründet wurden (Alter unter 50 Jahre), deutlich oberhalb der Zuwächse für die I. Ertragsklasse liegen. Besonders starke Abweichungen sind bei



Vergleich der mittleren Zuwächse (Kubikmeter pro Hektar und Jahr) aus der Bundeswaldinventur (BWI) im Bereich der Trägerländer der NW-FVA (Zuwachsperiode 2002-2012) und der Zuwächse nach Ertragstafeln



## Veränderung des Waldwachstums

der Baumart Buche zu erkennen. In Beständen mit einem Alter zwischen 20 und 50 Jahren werden durchschnittlich jährliche Volumenzuwächse zwischen 8 und 15 Kubikmeter je Hektar erreicht, während nach der Buchenertragstafel in diesem Altersbereich deutlich geringere Volumenzuwächse zu erwarten wären. Demgegenüber folgen die Wachstumsgänge der älteren Bestände (Fichte und Kiefer ab Alter 60, Buche ab Alter 80) bei allen drei Baumarten relativ genau den Verläufen der II. und III. Ertragsklasse. Ursache für die Abweichungen sind zum einen Mängel in den Ertragstafeln, die das Wachstum junger Bestände nur unzureichend beschreiben, aber auch ein verändertes Wachstum unserer Wälder, das sich anhand von langfristigen Versuchsflächen zeigen lässt.

### Ergebnisse von langfristigen Versuchsflächen

Der Volumenzuwachs von Waldbeständen setzt sich zusammen aus dem Höhen- und Durchmesserzuwachs der einzelnen Bäume sowie der Stammzahlentwicklung. Anhand der Volumenzuwächse, die in den Jahren nach 1990 auf Versuchsflächen geleistet wurden, können die Abweichungen des aktuellen Wachstums von dem der Ertragstafeln näher untersucht werden. Dabei zeigt der Vergleich bei gleichem Alter und gleicher Bonität/Höhe Zuwachsunterschiede, die auf Unterschiede des Durchmesserwachstums und/oder der Stammzahlentwicklung zurückzuführen sind (Tabelle unten). In Buchenbeständen I. Ertragsklasse, die jünger als

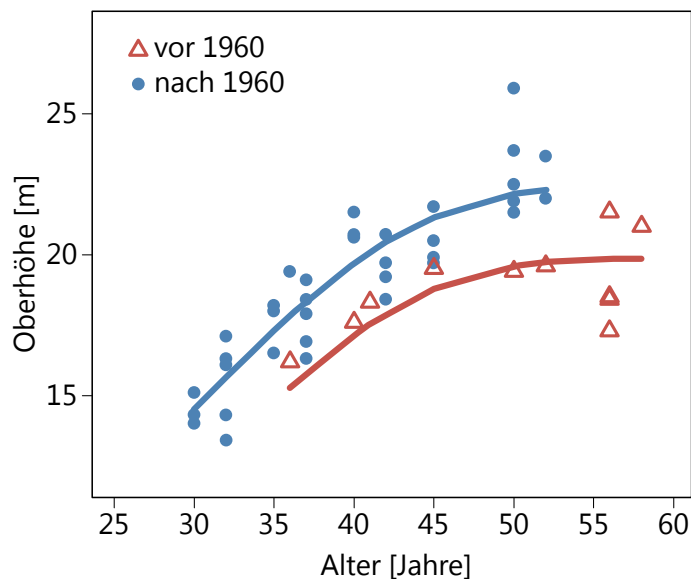


„Mitwachsendes“ Dauerumfangmessband zur millimetergenauen Erfassung des Dickenzuwachses  
Foto: O. Schwerdtfeger

Mehrzuwächse auf Versuchsflächen im Vergleich zur Ertragstafel im Zeitraum 1990-2017. Werte können nur für Alters- und Ertragsklassen angegeben werden, die sowohl von Versuchsflächen als auch den Ertragstafeln abgedeckt sind.

	21 - 40 Jahre	41 - 60 Jahre	> 60 Jahre
<b>Buche</b> I. Ertragsklasse		30 %	0 %
	II. Ertragsklasse		0 %
	III. Ertragsklasse		0 %
<b>Fichte</b> I. Ertragsklasse	25 %	15 %	15 %
	II. Ertragsklasse	15 %	30 %
	III. Ertragsklasse	15 %	25 %

Baumhöhe



Vergleich der Höhenentwicklung von Buchenbeständen im Alter von 30-80 Jahren, die vor bzw. nach 1960 begründet wurden

60 Jahre alt sind, liegt der Volumenzuwachs ca. 30 % über den Ertragstafelangaben, während der Zuwachs älterer Buchenbestände in etwa mit den Zuwächsen der Ertragstafel bei entsprechender Bonität übereinstimmt. Bei der Fichte sind Mehrzuwächse von 15 bis 30 % über alle Alter und Ertragsklassen zu beobachten.

Während Durchmesserzuwachs und Stammzahl durch die Bestandesbehandlung (z. B. die Art und Stärke der Durchforstung) entscheidend beeinflusst werden, wird das Höhenwachstum von Bäumen primär durch die Standortseigenschaften bestimmt. Aus diesem Grund eignet sich die Höhenentwicklung besonders gut, um die Auswirkungen veränderter Umweltbedingungen auf das Baumwachstum zu untersuchen. Eine Gegenüberstellung von jüngeren Beständen (bis 60 Jahre), die vor 1960 erwachsen sind mit jeweils gleichaltrigen, die ihr Wachstum ausschließlich nach 1960 geleistet haben, zeigt eine Beschleunigung der Höhenentwicklung (Abb. oben): Buchenversuchsflächen, die nach 1960 gewachsen sind, sind je nach Alter bis zu 3 m höher als solche, die vor 1960 gewachsen sind. Dieser „Wachstums-Beschleunigungseffekt“ wurde bereits in zahl-



Baumhöhenmessung mit Ultraschall-Entfernungsmesser  
Foto: I. Kehr



## Veränderung des Waldwachstums

reichen Studien nachgewiesen und zählt zu den wichtigsten Erkenntnissen der Waldwachstumsforschung in den vergangenen Jahren.

### Fazit und Ausblick

Als Folge verbesserter Standortbedingungen im Zuge einer Erholung devastierter Waldstandorte, erhöhter Stickstoffdeposition und zunehmender Temperaturen bei gleichzeitig noch überwiegend ausreichenden Niederschlagsmengen ist in den letzten Jahrzehnten ein beschleunigtes Waldwachstum zu beobachten. Gleichzeitig zeigt sich, dass die Ertragstafeln insbesondere für jüngere Bestände als Planungsgrundlage nicht (mehr) geeignet sind, weil (a) die Höhenbonitäten außerhalb des Spektrums der Tafeln liegen und (b) gestiegene Bestandesvolumenzuwächse bei gleicher Höhenbonität beobachtet werden. Somit kann davon ausgegangen werden, dass die Veränderungen der Wuchsbedingungen nicht nur zu einer allgemeinen Erhöhung der Wuchseistung auf den meisten Standorten geführt haben, sondern dass sich zusätzlich die Relationen zwischen Höhen- und Volumenwachstum verändert haben.

Aufgrund des projizierten Klimawandels ist es wahrscheinlich, dass dynamische Standortveränderungen auch zukünftig der Regelfall sein werden. Nach derzeitigem Forschungsstand muss allerdings im Gegensatz zur Vergangenheit angenommen werden, dass ab der zweiten Hälfte des 21. Jahrhunderts mit einer Verschlechterung der Wuchsbedingungen auf vielen Standorten zu rechnen ist, für die höhere Temperaturen in Verbindung mit abnehmenden bzw. ungleichmäßig auftretenden Niederschlägen ausschlaggebend sein werden. Eine Ausnahme werden die höheren Lagen der Mittelgebirge sein, die noch län-



Fichtenversuchsfläche

Foto: J. Evers



Erfassung des Durchmessers mit dem Maßband

Foto: I. Kehr

ger von einer Temperaturerhöhung bei gleichzeitig noch relativ günstigen Niederschlagsbedingungen profitieren könnten. Neben einer Verringerung des Waldwachstums unter ungestörten Bedingungen werden die projizierten Klimaveränderungen vermutlich auch vermehrt zu Kalamitäten aufgrund von biotischen und abiotischen Risiken wie z. B. Insekten und Stürmen führen. Die Veränderungen des Waldwachstums bei gleichzeitig steigenden Risiken werden eine zentrale Herausforderung für die Forstwirtschaft sein. Gleichzeitig verdeutlicht dies die Notwendigkeit einer intensiven und auch kontinuierlichen Forschung in diesem Bereich, um durch den Transfer der gewonnenen Erkenntnisse Forstbetriebe bei der Anpassung an den Klimawandel zu unterstützen.

Um den aufgezeigten Veränderungsprozessen besser gerecht zu werden, wird zurzeit an der NW-FVA in Kooperation mit der Abteilung Forstökonomie und Forsteinrichtung der Universität Göttingen an einer neuen Generation dynamischer Ertragstafeln gearbeitet. Das Projekt dynET wird von der Fachagentur für Nachwachsende Rohstoffe (FNR) gefördert und hat zum Ziel, neue Ertragstafeln für die Praxis zu erstellen, welche die bereits eingetretenen Veränderungen der Wachstumsbedingungen und Bewirtschaftungsstrategien berücksichtigen und so konzipiert sind, dass sie in Zukunft periodisch an die sich bereits abzeichnenden Veränderungen angepasst werden können.



# Erhaltung und Vermehrung seltener Baumarten

Aki Michael Höltken und Hans Jürgen Arndt

## Bedeutung genetischer Ressourcen

Für Baumarten ist die genetische Vielfalt von besonders großer Bedeutung. Der einzelne Baum wird aufgrund seiner Langlebigkeit und Ortsgebundenheit mit einer Vielzahl unterschiedlicher Umwelteinflüsse konfrontiert, denen er ausschließlich mit einer großen Bandbreite an Reaktionsmustern begegnen kann. Genetische Studien belegen, dass Bäume von Natur aus mit einem besser ausgestatteten genetischen Potenzial versehen sind als kurzlebige Pflanzen oder auch tierische Organismen. Um einerseits die physiologische Reaktionsfähigkeit einzelner Bäume an standörtliche Umweltheterogenität, andererseits aber auch Anpassungsprozesse ganzer Waldbestände an großräumige Umweltveränderungen zu gewährleisten, ist die Erhaltung einer hohen genetischen Vielfalt auf Populationsebene erforderlich. Nur genetisch vielfältige Baumbestände können Nachkommen mit einer Fülle unterschiedlicher genetischer Typen und damit Anpassungspotenzial erzeugen.

Genetische Vielfalt kann als eine Art kostenlos verfügbarer „Versicherungsschutz“ für die Baumarten angesehen werden, insbesondere im Hinblick auf mögliche Klimaveränderungen (vgl. Eichhorn et al. 2016). Großflächige Rodungen, Wiederaufforstungen mit nicht angepasstem Vermehrungsgut, verschiedene forstliche Nutzungsarten und der Verlust ganzer Lebensräume haben den Genpool von Bäumen seit Jahrhunderten verändert. Da genetische Vielfalt während langer evolutiver Prozesse entstanden und Verluste nicht wieder rückgängig gemacht werden können, wird der Erhaltung genetischer Ressourcen im Rahmen internationaler Abkommen, wie z. B. der Biodiversitätskonvention (Convention on Biological Diversity = CBD), eine hohe Priorität eingeräumt.



Schwarzpappel im Überflutungsbereich der Eder Foto: H. J. Arndt



Früchte der Wildbirne

Foto: H. J. Arndt

## Genetische Erosion: Seltene Arten besonders gefährdet

Lichtbedürftige und konkurrenzschwache Baumarten, wie z. B. die heimische Schwarzpappel oder Arten aus der Familie der Rosengewächse (Wildapfel, Wildbirne, Elsbeere, Speierling etc.), sind von Natur aus selten und meist auf Standorte beschränkt, an denen die Konkurrenzkraft dominanter Baumarten (z. B. Rotbuche) nachlässt. Die Verfügbarkeit geeigneter Habitats hat sich durch Eingriffe in Landschaftsstrukturen sowie durch Veränderungen forstwirtschaftlicher Betriebsformen zusätzlich deutlich reduziert. Hierzu haben die Umwandlung von Wäldern in landwirtschaftliche Nutzfläche, die Einführung der klassischen Hochwaldwirtschaft mit einem hohen Anteil konkurrenzstarker Wirtschaftsbaumarten und Flussbegradigungen wesentlich beigetragen.

Das alles hat „genetische Spuren“ hinterlassen. Die Reduktion der Populationsgrößen und geographische Isolation haben in den einzelnen Vorkommen zu teilweise erheblichen Verlusten an genetischer Vielfalt geführt. Diese genetische Erosion kann über natürliche Pollen- und Samenausbreitung (Genfluss) vielerorts nicht mehr ausgeglichen werden. Ohne Schutzmaßnahmen schreitet dieser Prozess weiter fort und beschleunigt, in Verbindung mit ungünstigen Bestandesstrukturen (Überalterung, fehlende Verjüngung) und verringerter Vitalität, die Auslöschung vieler lokaler Vorkommen (vgl. Höltken et al. 2017).

## Erhaltungs-Samenplantagen

Aufgrund der ungünstigen Populationsstrukturen und fehlender Verjüngung ist die Erhaltung vieler seltener Baumarten in ihren ursprünglichen Lebensräumen (*in-situ*) oftmals nicht mehr möglich. Aber nur durch die Neukombination von Erbanlagen in Nachkommen kann genetische Vielfalt erzeugt und aufrechterhalten werden und damit der natürlichen Auslese unterliegen. Schutzprogramme dürfen deshalb nicht nur auf die Erhaltung geeigneter Lebensräume ausgerichtet sein, sondern müssen auch die gezielte Erzeugung von genetisch vielfältigem Vermehrungsgut für Anreicherungspflanzungen oder die Etablierung neuer Vorkommen berücksichtigen.



# Erhaltung und Vermehrung seltener Baumarten

Samenplantagen sind künstlich angelegte Populationen außerhalb der natürlichen Lebensräume (*ex-situ*), die ausschließlich der Erzeugung von Saatgut dienen. Die Pflanzen, aus denen eine Samenplantage aufgebaut wird, stammen entweder direkt aus Samen oder werden von ungeschlechtlich vermehrten Pflanzenteilen einer Mutterpflanze gewonnen. Im ersten Fall spricht man von Sämlings-Samenplantagen, im zweiten von Pfropflings-Samenplantagen.

Erhaltungs-Samenplantagen müssen strengen Qualitätsstandards genügen, die an der NW-FVA entwickelt und umgesetzt werden. Dazu zählen Artreinheit und eine hohe genetische Vielfalt. Um auch die Vorgaben des Bundesnaturschutzgesetzes (§ 40) einzubeziehen, sollen Erhaltungs-Samenplantagen in ihrer genetischen Zusammensetzung idealerweise die natürliche genetische Variabilität der jeweiligen Art innerhalb eines Vorkommensgebietes oder eines Teils davon repräsentieren und diese an die Nachkommen weitergeben. Mit der Verwendung dieses Vermehrungsmaterials wird die Ausbringung gebietsfremder Herkünfte (Florenverfälschung) vermieden und die Funktionsfähigkeit von Ökosystemen durch eine möglichst gute Anpassung an derzeitige und künftige abiotische und biotische Umweltfaktoren sichergestellt (Kleinschmit et al. 2017).

## Beispiel Wildapfel – eine botanische Rarität

Der Wildapfel ist eine lichtbedürftige und konkurrenzschwache Baumart. Deshalb bleiben seine natürlichen Vorkommen auf Sonderstandorte beschränkt. Dazu zählen lichte Auwälder aber auch historische Betriebsformen wie Hute- und Mittelwälder.

Die natürlichen Lebensräume des Wildapfels sind sehr selten geworden, so dass sein Fortbestand in vielfacher Hinsicht stark gefährdet ist. Zusätzlich zu den oben bereits aufgezählten Ursachen (Überalterung, geringe Populationsgrößen, genetische Isolation) hat die Hybridisierung mit Kulturäpfeln, die vom Asiatischen Wildapfel (*Malus sieversii*) abstammen, zum Verlust der reinen Wildform und damit gebietsheimischer genetischer Vielfalt geführt. Die Erhaltung des Wildapfels zählt zu den großen Herausforderungen des Artenschutzes.



Eine Hummel bei der Bestäubung von Wildapfelblüten

Foto: H. J. Arndt

## Samenplantagen des Wildapfels

Die hohen Qualitätsstandards (siehe Tabelle Seite 45), denen Samenplantagen seltener Arten genügen müssen, werden hier am Beispiel des Wildapfels näher erläutert. Wichtige Kriterien betreffen die genetischen Eigenschaften des Ausgangsmaterials, den Aufbau von Samenplantagen sowie die Möglichkeiten der Identitätskontrolle von Vermehrungsgut auf dem Markt.



Wildapfel-Samenplantage der Herkunft „Hessisches Berg- und Hügelland“  
Foto: H. J. Arndt

Qualitätsstandards für Wildapfel-Samenplantagen:

- Ausgangsmaterial: Ein entscheidendes Kriterium ist die Beurteilung der Wildnähe. Zur eindeutigen Erkennung der Wildform setzt die NW-FVA ein genetisches Verfahren ein, welches als Ergänzung zu den morphologischen Bestimmungsmethoden eine hoch auflösende Differenzierung zwischen Wild- und Kulturäpfeln sowie potenziellen Hybriden zulässt. Grundlage ist ein DNA-Archiv, das die Erbinformation von mittlerweile über 800 Wildäpfeln aus dem gesamten Bundesgebiet sowie über 70 der aktuell und historisch gebräuchlichsten Kulturapfelsorten enthält. Diese genetischen Daten ermöglichen eine optimale Zusammenstellung von Samenplantagen nicht nur hinsichtlich der Artreinheit sondern auch im Hinblick auf die Rekonstruktion des Genpools mit einer Mindestzahl an Ausgangspflanzen eines Vorkommensgebietes (Höltken et al. 2014, 2017).
- Aufbau: Neben der Auswahl eines geeigneten Standorts muss auch eine möglichst effiziente Reproduktion gewährleistet sein. Um eine Bestäubung mit Kulturapfelpollen zu verhindern, werden die Plantagen zur Blütezeit vollständig mit einem Insektenschutznetz abgedeckt. Eine effiziente Bestäubung innerhalb der Anlage erfolgt durch speziell hierfür gezüchtete Erdhummeln.



# Erhaltung und Vermehrung seltener Baumarten

## Bestimmung der Artreinheit



Bestimmung der Artreinheit von 40 potentiellen Wildäpfeln aus Schleswig-Holstein nach DNA-Analyse (Exemplare mit weniger als 90 % Wildanteil scheiden für die weitere Verwendung aus)

- **Controlling:** Die vollständig erfassten genetischen Fingerabdrücke der Pflanzen lassen eine lückenlose Identitätsprüfung des produzierten Vermehrungsgutes in allen Schritten der Handelskette von der Saatguternte bis zur Jungpflanze zu (durch so genannte Elternschaftsanalyse). Damit steht ein DNA-basiertes Instrument der Kontrolle zur Verfügung, das auch hinsichtlich der vorgeschriebenen Verwendung gebietsheimischen Materials ab dem Jahr 2020 (§ 40 BNatSchG) anwendbar ist.

In den verschiedenen Samenplantagen sind im Jahr 2018 insgesamt über 300 kg artreine Wildäpfel für verschiedene Vorkommensgebiete geerntet worden.

### Qualitätsstandards für Pflanzlings-Samenplantagen des Wildapfels (*Malus sylvestris* L.)

	Kriterium	Anforderungen	Werkzeuge
Ausgangsmaterial	Artreinheit	artreine Wildäpfel ohne Einkreuzung von Kultursorten	DNA-Analyse, Morphologie
	Anzahl repräsentativer Ursprungsbestände	mindestens 5	GPS-Koordinaten
	Anzahl Komponenten (Genotypen)	mindestens 50	DNA-Analyse
	genetische Vielfalt	hoch	DNA-Analyse, Referenzdaten
	genetische Repräsentativität für Region	hoch	DNA-Analyse, Referenzdaten
Reproduktion	Isolation	keine Einkreuzung von Kulturapfel (reines Wildapfelsaatgut)	Abnetzung, DNA-Test (Vaterschaftsanalyse), Referenzdaten
	Bestäubungseffizienz	freie, zufallsmäßige Bestäubung in der Samenplantage	Pflanzdesign, Hummeln als Bestäuber
Standort	günstige Standorte für Blüte und Saatgutausreifung	Schutz vor Spätfrost	Klimadaten
Controlling	Identitätskontrolle von Vermehrungsgut auf dem Markt	Archivierung der DNA; laufende Aktualisierung bei Erweiterung der Samenplantage	DNA-Analyse, Referenzdaten

## Die Europäische Schwarzpappel

Die Voraussetzungen für die natürliche Verbreitung und die Überlebensfähigkeit der heimischen Schwarzpappel (*Populus nigra* L.) haben sich in den letzten Jahrhunderten erheblich verschlechtert. Als Hauptursache gilt die Zerstörung der Auwälder mit ungestörter Überflutungsdynamik. Grundwasserabsenkungen haben die Bäume zusätzlich oft auch physiologisch geschwächt und damit einem erhöhten Befallsdruck pathogener Organismen ausgesetzt. Darüber hinaus sind seit dem 18. Jahrhundert Anbauten mit Pappelhybriden verbreitet, die aufgrund höherer Wuchsleistungen unseren heimischen Pappelarten vorgezogen worden sind. Zusätzlich besteht auch bei dieser Art eine generelle Gefahr der Einkreuzung durch andere Pappelarten und -hybriden. Aufgrund der relativ schwierigen morphologischen Differenzierbarkeit der heimischen Schwarzpappel sind genetische Verfahren zur taxonomischen Artunterscheidung entwickelt worden. Für Erhaltungsmaßnahmen werden diese Methoden heute routinemäßig an der NW-FVA eingesetzt.



Schwarzpappelverjüngung: Wurzelbrut (li) und Keimling (re) im Kiesbett der Eder  
Foto: H. J. Arndt

## Stecklingsquartier Schwarzpappel

Die vegetative Vermehrung spielt neben der generativen bei der heimischen Schwarzpappel von Natur aus eine große Rolle. Diese erfolgt durch Wurzelbrut und die Bewurzelung abgebrochener Äste und Zweige. Daher haben sich Methoden der Stecklingsvermehrung bewährt. Sie sind auch technisch effizienter zu handhaben als die generative Anzucht über Samen (Weisgerber 1998).

Über 2000 Einzel- und Bestandesvorkommen wurden in den letzten Jahrzehnten im Zuständigkeitsbereich der NW-FVA erfasst. Daraus sind vier Stecklingsquartiere mit durchschnittlich über 100 Schwarzpappeln getrennt nach Flüssen und Vorkommensgebieten (VKG) zusammengestellt worden (Hessen-Eder, Hessen-Rhein, Elbe-Sachsen-Anhalt und Elbe-Niedersachsen). Das Ausgangsmaterial ist im DNA-Labor zunächst auf Artreinheit getestet worden, um anschließend etwa 10 bis 20 Steckhölzer pro Baum im Nebeltunnel anzuziehen. Beim Aufbau eines Stecklingsquartiers wird schließlich darauf geachtet, dass die einzelnen Ausgangsvarianten mit ihren Stockausschlägen auch nach einigen Jahren deutlich voneinander getrennt sind.

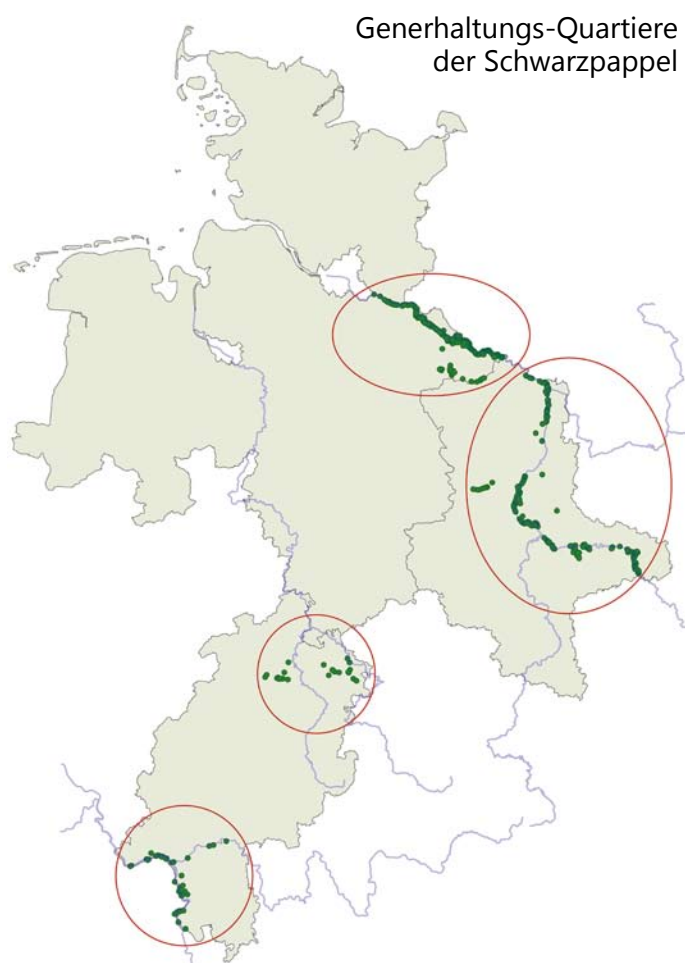
# Erhaltung und Vermehrung seltener Baumarten



Stecklingsanzucht der Schwarzpappel im Nebeltunnel

Foto: H. J. Arndt

Mittlerweile steht aus den verschiedenen VKG auch Vermehrungsmaterial für Generhaltungsmaßnahmen in geringem Umfang zur Verfügung.



Grüne Punkte: Erfasste Generhaltungsobjekte der Schwarzpappel im Bereich der NW-FVA; rote Kreise: Zusammenstellung der Generhaltungs-Quartiere an der NW-FVA nach Flusssystemen und Vorkommensgebieten (Hessen: Rhein, Eder/Werra; Niedersachsen: Elbe; Sachsen-Anhalt: Elbe)

## Fazit

Das Konzept der Samenplantage ist nicht nur für die Erhaltung seltener und gefährdeter Baumarten von großem Wert. Die hier vorgestellten Qualitätsstandards sind insbesondere auch für den Naturschutz eine wichtige Option, da mit § 40 BNatSchG ab dem Jahr 2020 die ausschließliche Verwendung gebietsheimischer Gehölze vorgeschrieben ist. Gegenüber Freilandabsaaten sind *Ex-situ*-Bestände zur Produktion von Vermehrungsgut sowohl ökologisch-genetisch als auch ökonomisch von großem Vorteil:

- Möglichkeit der optimalen Rekonstruktion der genetischen Ausstattung einer Region bzw. eines Vorkommensgebietes (genetische Vielfalt, Differenzierung)
- Schaffung von vergleichsweise großen Reproduktionseinheiten (Populationen) und damit Aufrechterhaltung einer hohen genetischen Vielfalt im Vermehrungsgut, insbesondere bei Arten, die von Natur aus teilweise ausgeprägte klonale Strukturen über vegetative Ausbreitung entwickeln (z. B. Schlehe, Vogelkirsche oder meist nur noch als Kleinstvorkommen existierende Arten wie Wildapfel, Wildbirne, Elsbeere und Schwarzpappel)
- Garantie der Artreinheit bei Arten, die durch Einkreuzung nicht-heimischer Arten bzw. Kultursorten gefährdet sind (z. B. Wildapfel, Wildbirne, Schwarzpappel, Haselnuss)
- Garantie der Artreinheit bei bestimmungskritischen und hybridisierenden Arten (z. B. aus den Gattungen *Rosa*, *Crataegus* etc.), die nur von Botanikspezialisten taxonomisch eindeutig zugeordnet werden können
- deutlich gesteigerte Erntemengen bei zeitlich-technisch einfacheren Beerntungsmöglichkeiten im Gegensatz zu *In-situ*-Beständen (Kostenoptimierung)
- Möglichkeit einer DNA-basierten Herkunfts- und Identitätskontrolle (Zertifizierung) von gehandeltem Vermehrungsgut



# 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

Barth N, Brandtner W, Cordsen E, Dann T, Emmerich KH, Feldhaus D, Kleefisch B, Schilling B, Utermann J (2000): Boden-Dauerbeobachtung, Einrichtung und Betrieb von Bodendauerbeobachtungsflächen. – In: Bachmann G, König W & Utermann J (Hrsg.): Bodenschutz. Ergänzbare Handbuch der Maßnahmen und Empfehlungen für Schutz, Pflege und Sanierung von Böden, Landschaft und Grundwasser, 3, Kennziffer: 9152, 1-127, Erich Schmidt Verlag, Berlin

BMEL (2016): Forstliches Umweltmonitoring in Deutschland - Durchführungskonzept Forstliches Umweltmonitoring. 40 S.

BMVEL (Hrsg.) (2005): BMELV-Gutachterausschuss Forstliche Analytik: Handbuch Forstliche Analytik – Eine Loseblatt-Sammlung der Analysemethoden im Forstbereich. Mit Ergänzungen bis 2015.

Deutscher Wetterdienst (2017): Monatlicher Witterungsreport Deutschland. DWD, Geschäftsbereich Klima und Umwelt, Offenbach

Deutscher Wetterdienst (2018): Monatlicher Klimastatus Deutschland. DWD, Geschäftsbereich Klima und Umwelt, Offenbach, [www.dwd.de/DE/derdwd/bibliothek/fachpublikationen/selbstverlag/selbstverlag\\_node.html](http://www.dwd.de/DE/derdwd/bibliothek/fachpublikationen/selbstverlag/selbstverlag_node.html)

Dittmar C & Elling W (1999): Jahrringbreite von Fichte und Buche in Abhängigkeit von Witterung und Höhenlage. Forstw. Cbl. 118, 251-270

Eichhorn J, Höltnen AM, Klinck C (2016): Zur Resilienz von Wäldern. In: „Waldbauliche Anpassung im regionalen Focus: Sind unsere Wälder fit für den Klimawandel?“ aus der Reihe: „Klimawandel in Regionen zukunftsfähig gestalten“, Band 10, OEKOM-Verlag. 49-80

Finck A (1991): Düngung – ertragssteigernd, qualitätsverbessernd, umweltgerecht. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart

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

Hintermaier-Erhard G & Zech W (1997): Wörterbuch der Bodenkunde. Enke-Verlag Stuttgart

Höltnen AM, Steiner W, Kleinschmit J (2014): Artintegrität und geographisch-genetische Strukturen des heimischen Wildapfels (*Malus sylvestris* (L.) Mill.). Allg. Forst- und Jagdzeitung 11/12, 285-296

Höltnen AM, Hennig A, Kleinschmit JRG, Arndt HJ, Steiner W (2017): Erhaltung und Produktion gebietseigener genetischer Vielfalt in Ex-situ-Populationen: Umsetzung der Ergebnisse aus DNA-Studien am Wildapfel (*Malus sylvestris* (L.) MILL.). Naturschutz und Landschaftsplanung 49: 126-134

ICP Forests (2010): Manual on methods and criteria for harmonized sampling, assessment, monitoring and analysis of the effects of air pollution on forests. UNECE, ICP Forests, Hamburg

Kleinschmit J, Bund-Länder-Arbeitsgruppe `Forstliche Genressourcen und Forstsaatgutrecht´ (2017): Empfehlungen für die Anlage von Samenplantagen zur Produktion gebietseigener Gehölze. Natur und Landschaft 92: 221-227

König N, Fortmann H, Klinck U, Scheler B, Wagner M (2016): Schwermetallbelastung der Wälder. In: Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt (Hrsg). Waldzustandsbericht für Niedersachsen 2016. S 34-38

Kramer H. (1988): Waldwachstumslehre. Parey Verlag, Hamburg. 374 S

Paar U, Guckland A, Dammann I, Albrecht M, Eichhorn J (2011): Häufigkeit und Intensität der Fruktifikation der Buche. AFZ-DerWald, 6, 26-29

Röhle H, Gerold D, Gemballa R (2010): Beziehungen zwischen Klima und Zuwachs, dargestellt am Beispiel von Fichte, Kiefer und Buche in Sachsen. AFJZ, 181 Jg., 1/2

Scheffer F & Schachtschabel P (2002): Lehrbuch der Bodenkunde, 15. Auflage, Springer-Verlag Berlin

Schneider J (1999): Schwermetalle in Böden Niedersachsens. Hintergrundwerte für Schwermetalle in Böden Niedersachsens. Schwermetallbelastung in den Böden der Talauen des Harzes und des Harzvorlandes. Schwermetalle in einem städtischen Belastungsraum. – Arb.-H. Boden 1999/2: 24 S, 3 Abb., 4 Tab., 3 Kt.; Hannover (NLFB)

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)

Weisgerber H (1998): Vorkommen, Wuchsverhalten und Gefährdungen der Schwarzpappel. In: Die Schwarzpappel – Probleme und Möglichkeiten bei der Erhaltung einer gefährdeten heimischen Baumart (Hrsg.: Weisgerber H & Janßen A). Forschungsberichte Hessische Landesanstalt für Forsteinrichtung, Waldforschung und Waldökologie, Bd. 24

Wellbrock N, Aydin CT, Block J, Bussian B, Deckert M, Diekmann O, Evers J, Fetzer KD, Gauer J, Gehrmann J, Kölling C, König N, Liesebach M, Martin J, Meiwes KJ, Milbert G, Raben G, Riek W, Schäffer W, Schwerhoff J, Ullrich T, Utermann J, Volz HA, Weigel A, Wolff B (2006): Bodenzustandserhebung im Wald (BZE II), Arbeitsanleitung für die Außenaufnahmen. BMELV (Hrsg.). Berlin, 413 S

[www.duenger-und-erde.de](http://www.duenger-und-erde.de)

3. Entwurf der Verordnung zur Festlegung von Anforderungen für das Einbringen oder das Einleiten von Stoffen in das Grundwasser, an den Einbau von Ersatzbaustoffen und zur Neufassung der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung, 2015, Referat WR III 2



## 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: Spielmann M

Layout: Paar E

Herstellung: Nordwestdeutsche  
Forstliche Versuchsanstalt

Druck: Printec Offset Kassel

Der Waldzustandsbericht 2018  
ist abrufbar unter  
[www.nw-fva.de](http://www.nw-fva.de) und  
[www.umwelt.hessen.de](http://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  
Datenbank



Jörg Weymar  
Außenaufnahmen und Kontrollen



Michael Spielmann  
Außenaufnahmen und Kontrollen



Dr. Bernd Westphal  
Außenaufnahmen und Kontrollen

