

# Waldzustandsbericht 2015



# Vorwort



Liebe Leserinnen, liebe Leser,

die Daten von rund 4.000 hessischen Bäumen, die für die jährliche Waldzustandserhebung erfasst werden, ermöglichen uns einen repräsentativen Überblick über den aktuellen Gesundheitszustand unserer heimischen Wälder. Die Ergebnisse spiegeln die vielfältigen Einflüsse wie Witterungsverlauf, Stoffeinträge, Insekten- und Pilzbefall wider, die in erheblichem Maße den Zustand des Waldes im Jahresverlauf beeinflussen können.

Und so stellen wir fest, dass auch das Jahr 2015 manches zu bieten hatte. Einiges führte bei manch einem Förster auch zu Sorgenfalten, besonders die Wetterkapriolen und die damit einhergehenden Witterungsverhältnisse trugen hierzu bei. Konnten die hessischen Wälder noch mit ausreichenden Wasservorräten im Boden in die Vegetationsperiode starten, so folgten ein viel zu trockenes Frühjahr und ein extrem heißer Sommer mit Temperaturrekorden. Zahlreiche Waldbrände und erste Trockenheitsschäden am Wald waren die Folge. Nach einem kühlen September folgte dann bereits Mitte Oktober regional erster Schneefall mit teilweise chaotischen Verhältnissen und lokalen Schneebruchschäden im noch belaubten Wald.

Aber die wichtigste Nachricht aus dem Waldzustandsbericht ist eine erfreuliche. Trotz der außergewöhnlichen Belastungen in Frühjahr und Sommer ist der Gesundheitszustand des Waldes in Hessen nach den aktuellen Ergebnissen insgesamt erstaunlich stabil. Die mittlere Kronenverlichtung aller Baumarten und Altersstufen ist um 2 %-Punkte auf 21 % zurückgegangen. Ein Anstieg der Absterberate war ebenfalls nicht festzustellen.

Dieses Ergebnis wird einerseits maßgeblich durch eine günstige Entwicklung der Belaubung bei den älteren Buchen und einen weitestgehend stabilen Zustand bei den älteren Eichen, Kiefern und Fichten beeinflusst. Die nahezu ausbleibende Fruchtbildung bei der Buche und geringe Schäden durch Insekten an den übrigen Baumarten haben dazu beigetragen. Andererseits ist die Kronenverlichtung bei den jüngeren Bäumen insbesondere bei den Eichen deutlich angestiegen. Hier waren auch Trockenheitsschäden vermehrt zu beobachten.

Inwieweit die außergewöhnlichen Witterungsereignisse in diesem Jahr allerdings noch zu langfristigen Beeinträchtigungen und Schäden führen, werden erst die nächsten Jahre zeigen. Die Auswirkungen der Sturmereignisse zu Beginn der 1990er Jahre und des Trockenjahres 2003 waren über mehrere Jahre festzustellen. Angespannter bleibt die Situation der Wälder in der Rhein-Main-Ebene, welche vielfältigen Belastungen ausgesetzt sind. Hier ist sich die Hessische Landesregierung ihrer besonderen Verantwortung bewusst und wird für die Sanierung der Wälder im Hessischen Ried ein spezielles Programm auflegen. Für Maßnahmen zu Waldsanierung und Waldumbau werden in den nächsten vier Jahren erhebliche personelle und finanzielle Mittel zur Verfügung gestellt.

Neben den Ergebnissen der Waldzustandserhebung enthält diese Broschüre zudem aktuelle Informationen zur Witterung und Frühjahrstrockenheit in 2015, zum Insekten- und Pilzbefall in unseren Wäldern, zu Entwicklungen in den hessischen Waldböden und zum Trockenstress in Buchenwäldern bei klimatischen Veränderungen.

Zum Aufbau und Erhalt stabiler und artenreicher Mischwälder in ganz Hessen unterstützt die Hessische Landesregierung weiterhin die kommunalen und privaten Waldbesitzer. Der Waldumbau hin zu naturnahen und klimastabileren Wäldern sowie die Bodenschutzkalkung bis zu einer weiteren Revitalisierung und Stabilisierung der Waldböden sind auch in Zukunft Bestandteile der forstlichen Förderung.

Durch die voranschreitende FSC-Zertifizierung des Hessischen Staatswaldes sollen diese Wälder zukünftig noch stabiler und artenreicher werden. Im Laufe des 1. Quartals 2016 werden bereits mehr als die Hälfte der Forstämter zusätzlich nach FSC zertifiziert sein.

Mannigfaltige Aktionen wie der Hessische Tag der Nachhaltigkeit ermöglichen es auch Ihnen, sich beispielsweise für nachhaltiges Handeln, Klimaschutz und mehr Biologische Vielfalt in Hessen einzusetzen. Jeder noch so kleine Beitrag durch eigenes energie- und umweltbewusstes Handeln oder die Verwendung von langlebigen Holzprodukten zählt in der Gesamtbilanz.

Mit freundlichen Grüßen  
Ihre

Priska Hinz  
Hessische Ministerin für Umwelt, Klimaschutz,  
Landwirtschaft und Verbraucherschutz  
Wiesbaden, im November 2015



# Inhaltsverzeichnis

	Seite
Vorwort	2
<b>Inhaltsverzeichnis</b>	3
<b>Hauptergebnisse</b> Uwe Paar und Inge Dammann	4
<b>WZE-Ergebnisse für alle Baumarten</b> Uwe Paar und Inge Dammann	6
Buche	8
Eiche	9
Fichte	10
Kiefer	11
<b>Wald in der Rhein-Main-Ebene</b> Uwe Paar, Inge Dammann und Martin Rohde	12
<b>Witterung und Klima</b> Johannes Suttmöller	14
<b>Auswirkungen der Frühjahrstrockenheit auf Bodenwasserhaushalt und Wachstum</b> Johannes Suttmöller, Markus Wagner, Jan Evers und Henning Meesenburg	18
<b>Trockenstressrisiko der Buche in Hessen</b> Markus Wagner, Johannes Suttmöller, Henning Meesenburg und Johannes Eichhorn	22
<b>Insekten und Pilze</b> Ulrich Bresslem, Michael Habermann, Rainer Hurling, Andreas Rommerskirchen, Gitta Langer und Pavel Plašil	24
<b>Forstliches Umweltmonitoring</b> Johannes Eichhorn, Uwe Paar, Henning Meesenburg, Andreas Schulze, Jörg Weymar, Michael Spielmann und Inge Dammann	26
<b>Stoffeinträge</b> Birte Scheler	31
<b>Trends in der Bodenlösung von Waldökosystemen</b> Uwe Klinck und Henning Meesenburg	33
<b>Bodenchemie und Durchwurzelung in tieferen Bodenschichten</b> Jan Evers, Egbert Schönfelder, Victor Steinmann <sup>1</sup> , Thomas Jensen <sup>2</sup> , Volker Stüber <sup>2</sup> und Martin Jansen <sup>1</sup> <sup>1</sup> Abt. Ökopedologie der gemäßigten Zonen, Fakultät für Forstwissenschaften und Waldökologie, Georg-August-Universität Göttingen <sup>2</sup> Niedersächsisches Forstplanungsamt, Wolfenbüttel	36
Literaturverzeichnis	39
Impressum	40

# Hauptergebnisse

## Waldzustandserhebung (WZE)

Nach der Verschlechterung des Kronenzustandes im hessischen Wald im Vorjahr hat sich die mittlere Kronenverlichtung in 2015 wieder um 2 %-Punkte verbessert. Sie liegt in diesem Jahr bei 21 %.

Die Verlichtung der Kronen bei den älteren Bäumen ist von 28 % (2014) auf 25 % zurückgegangen. Bei den jüngeren Bäumen hat sie von 6 % (2014) auf 7 % leicht zugenommen.

Die Gesamtentwicklung (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 bis 1999. Seit 2000 sind stärkere Schwankungen der mittleren Kronenverlichtung zwischen 20 und 26 % festzustellen.

## Die Baumarten im Einzelnen

Nach einem hohen Wert des Blattverlustes der älteren Buche in 2014 (35 %) hat sich der Kronenzustand in 2015 um 6 %-Punkte verbessert. Dieses Ergebnis steht vor allem im Zusammenhang mit der Fruchtbildung der Buche. Nach der intensiven Fruktifikation der älteren Buchen im Vorjahr (mittlere/starke Fruktifikation: 80 %) blieb die Fruchtbildung in 2015 aus.

Der Kronenzustand der älteren Eichen hat sich leicht verschlechtert (2014: 18 %, 2015: 20 %), bleibt aber nahezu auf dem Niveau der beiden Vorjahre.

Die Kronenverlichtung der älteren Fichten und Kiefern blieb unverändert (Fichte: 26 %, Kiefer: 21 %).

Die jährliche Absterberate (alle Bäume, alle Alter) hat sich gegenüber dem Vorjahr von 0,2 % auf 0,1 % verringert. Sie liegt insgesamt auf einem sehr niedrigen Niveau. Im Beobach-

tungszeitraum (1984-2015) zeigen sich erhöhte Absterberaten jeweils nach Sturmwürfen, wie es beispielsweise der Zeitraum 1990 bis 1995 belegt, sowie nach Trockenjahren, wie es 2003 und die nachfolgenden beiden Jahre zeigen. Die durchschnittliche Absterberate liegt für den gesamten Beobachtungszeitraum bei nur 0,3 %.

## Rhein-Main-Ebene

Die Ergebnisse für ganz Hessen belegen eine leichte Verbesserung des Kronenzustandes, in der Rhein-Main-Ebene dagegen ist der Verlichtungsgrad der Baumkronen gegenüber dem Vorjahr angestiegen.

Während sich der Kronenzustand der älteren Bäume in der Rhein-Main-Ebene im Vergleich zum Vorjahr nur geringfügig verschlechtert hat (2014: 26 %, 2015: 27 %), ist der Kronenzustand der jüngeren Bäume deutlich schlechter geworden (2014: 12 %, 2015: 17 %).

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 33 % (2015) erhöht, im Land Hessen dagegen von 13 % auf 20 %.

## Witterung und Klima

Die langjährigen Messdaten für den Zeitraum von 1961 bis 2015 zeigen seit 1988 eine gegenüber der Referenzperiode (1961-1990) erhöhte Temperatur. Besonders warm waren die Jahre 2007 und 2014, mit einer Temperaturabweichung von rund 2 °C.

Perioden mit überdurchschnittlich hohen Niederschlägen wechseln sich mit trockenen Perioden ab, so dass beim



Foto: T. Ullrich

# Hauptergebnisse



Foto: J. Evers

Niederschlagsverhalten keine einheitliche Tendenz festgestellt werden kann. Es fällt jedoch auf, dass insbesondere in den letzten Jahren das Frühjahr häufig zu trocken ausgefallen ist.

Die Mitteltemperatur der Nichtvegetationsperiode (Oktober-April) 2014/2015 lag mit 5,3 °C um 1,7 °C über dem langjährigen Referenzwert. Die Vegetationsperiode (Mai-September) 2015 war mit 16,1 °C ebenfalls wärmer als im langjährigen Mittel.

Die Vegetationsperiode war in Teilen Hessens extrem trocken. Im Mittel entsprachen die gemessenen Niederschläge nur rund 75 % der mittleren Niederschlagsmenge von 351 mm. Dabei ergab sich ein markantes Nord-Süd-Gefälle. Während in Nordhessen das Niederschlagsdefizit meist weniger als 10 % des langjährigen Mittels betrug, wurde in der Rhein-Main-Ebene und im Odenwald teilweise nur etwas mehr als die Hälfte des Niederschlagssolls erreicht.

## Auswirkungen der Frühjahrstrockenheit

Die Trockenheit im Frühjahr und Sommer 2015 stellte ein außergewöhnliches Witterungsereignis dar. Aufgrund ausreichender Bodenwasservorräte zu Beginn der Vegetationsperiode zeigte die Buche in Mittel- und Nordhessen keine Reaktionen auf die Witterung. In Südhessen (insbesondere in der Rhein-Main-Ebene) dauerte die extreme Trockenheit bis Ende August an und führte dazu, dass auf vielen Standorten den gesamten Sommer über nur geringe Bodenwasservorräte zur Verfügung standen. Nur während einzelner Niederschlagsereignisse wurde die extreme Trockenheit kurzfristig und regional begrenzt gelindert. Trockenheitsschäden wurden bei Jungbeständen beobachtet. Zuwachseinbußen sind hier wahrscheinlich. Ob es auch zu langfristigen Schäden in den Wäldern Hessens gekommen ist, können aber erst die nächsten Jahre zeigen.

## Trockenstress der Buche

In einem durch das Hessische Landesamt für Umwelt und Geologie finanzierten Projekt zur Abschätzung der zukünftigen Entwicklung klimabedingter Risiken für das Wachstum der Buchenbestände in Hessen wurden kritische Grenzwerte für klimatisch-hydrologische Trockenstressindikatoren definiert und Risikostufen abgeleitet. Infolge des Klimawandels muss insbesondere in der zweiten Hälfte des 21. Jahrhun-

derts davon ausgegangen werden, dass diese Trockenstressrisikostufen deutlich häufiger erreicht werden und in extremerer Ausprägung auftreten. Forstliche Managementstrategien, wie z. B. Durchforstungen und standortsgemäßer Waldumbau können regulierend auf den Wasserbedarf der Wälder einwirken und hierdurch zu einer Verminderung des erwarteten Trockenstressrisikos beitragen.

## Insekten und Pilze

Blattfraß durch die Eichenfraßgesellschaft blieb in diesem Jahr in Hessen weitgehend aus. Nur lokal setzen sich auffällige Absterbeprozesse in Alteichenbeständen fort. Das Eschentriebsterben ist inzwischen auch in Hessen weit verbreitet.

## Stoffeinträge

Durch die konsequente Umsetzung zahlreicher Maßnahmen zur Luftreinhaltung ging der Schwefeleintrag in Wälder drastisch zurück. 2014 betrug die Schwefeldeposition pro Hektar zwischen 2,4 kg (Hess. Ried Kiefer) und 6,0 kg (Königstein Fichte), im Hessenmittel der Buchenflächen 3,7 kg sowie im Freiland zwischen 1,6 kg (Krofdorf) und 2,9 kg (Fürth).

Der anorganische Stickstoffeintrag pro Hektar lag 2014 im Freiland zwischen 2,7 kg (Krofdorf) und 8,5 kg (Fürth) sowie zwischen 7,2 kg (Hess. Ried, Kiefer) und 21 kg (Fürth, Fichte) mit der Gesamtd deposition.

Die beispielhafte Berechnung des Stickstoffüberschusses (atmosphärischer anorganischer Stickstoffeintrag abzüglich des Entzuges durch Bestandeswachstum und Holznutzung) zeigt jedoch, dass trotz des Rückgangs die Einträge nach wie vor den geringen Stickstoffbedarf der Waldbestände für das Wachstum überschreiten. Für den Zeitraum 1999-2014 summiert sich der Stickstoffüberschuss pro Hektar unter Buche auf Werte zwischen 55 kg (Spessart) und 171 kg (Zierenberg) sowie auf 373 kg unter Fichte (Fürth).

## Trends in der Bodenlösung von Waldökosystemen

Die Zusammensetzung der Bodenlösung ist ein wichtiger Indikator für den Zustand der Wälder. Aufgrund der Schwefeleinträge in der Vergangenheit und den aktuellen Stickstoffeinträgen bestehen für viele Waldbestände nach wie vor Nährstoffungleichgewichte und kritische Konzentrationen an z. B. Aluminium und Nitrat. Dies zeigen Untersuchungen auf 37 Intensiv-Monitoringflächen im Zeitraum 1994-2013.

## Bodenchemie und Durchwurzelung in tieferen Bodenschichten

Um die Standortpotentiale von Waldböden im Hinblick auf einen standortgerechten Waldbau abschätzen zu können, ist eine Beurteilung des Nährelementstatus in Abhängigkeit von der durchwurzelten Bodentiefe bedeutend. Sowohl die Ergebnisse der zweiten Bodenzustandserhebung als auch genauere Untersuchungen von Profilen bis 3 m Bodentiefe im niedersächsischen Tiefland zeigten deutlich, dass tiefere Bodenschichten von Baumwurzeln erschlossen werden und somit für die Beurteilung der Standortpotentiale einbezogen werden sollten. Die Ergebnisse sind auf vergleichbare Standorte in der Rhein-Main-Ebene übertragbar.

# WZE-Ergebnisse für alle Baumarten

## Mittlere Kronenverlichtung

Die Waldzustandserhebung 2015 weist als Gesamtergebnis für die Waldbäume in Hessen (alle Baumarten, alle Alter) eine mittlere Kronenverlichtung von 21 % aus.

Damit hat sich die mittlere Kronenverlichtung im Vergleich zum Vorjahr um 2 %-Punkte verbessert.

Der Wert ist bei den älteren (über 60jährigen) Bäumen von 28 % (2014) auf 25 % zurückgegangen. Die Kronenverlichtung der jüngeren Bäume ist von 6 % (2014) auf 7 % leicht angestiegen.

## Anteil starker Schäden

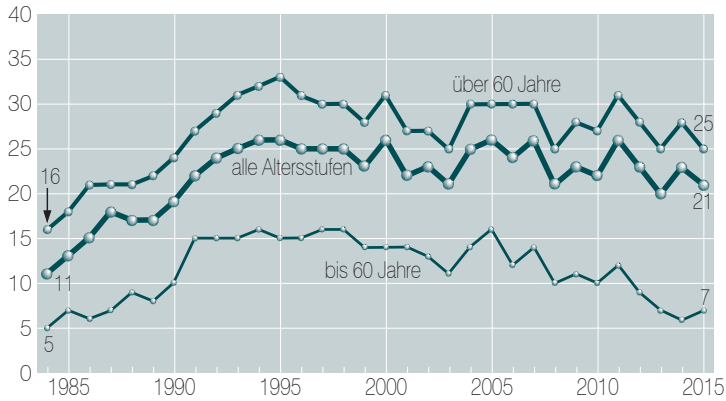
Insgesamt liegt der Anteil starker Schäden über alle Baumarten und alle Alter mit durchschnittlich 3 % im langjährigen Mittel auf einem eher geringen Niveau. Der Anteil starker Schäden ist bei den älteren Bäumen mit 2 % im Vergleich zum Vorjahr (3 %) leicht zurückgegangen. Auch bei den jüngeren Bäumen liegt der Anteil starker Schäden bei 2 %.



Foto: J. Evers

Zeitreihe der bis 60jährigen Bäume zeichnet die beiden wesentlichen Ereignisse in der landesweiten Waldentwicklung der letzten 20 Jahre, die Stürme Vivian und Wiebke 1990 und den extremen Sommer 2003, besonders klar nach. In beiden Fällen wirkten die Ereignisse mehrere Jahre nach.

Mittlere Kronenverlichtung in %



Anteil starker Schäden, alle Baumarten, alle Alter in %

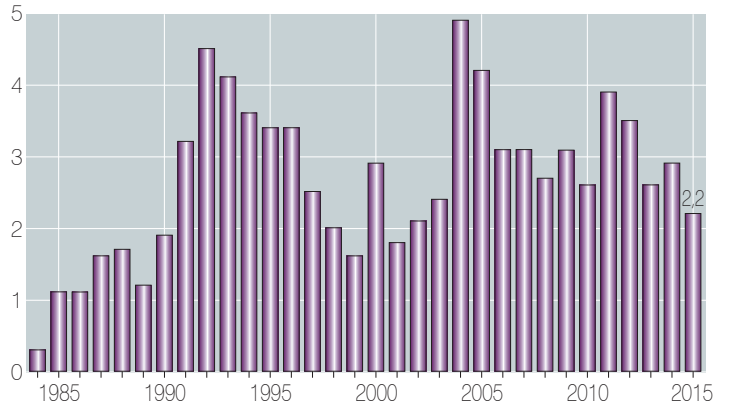


Foto: E. Paar

# WZE-Ergebnisse für alle Baumarten

## Absterberate

Die Absterberate (alle Bäume, alle Alter) liegt 2014/2015 mit 0,1 % auf einem sehr niedrigen Niveau. Auch im langjährigen Mittel der Jahre 1984 bis 2015 ergibt sich mit 0,3 % eine geringe Absterberate. Nach dem Trockenjahr 2003 waren für zwei Jahre erhöhte Werte festzustellen. Auch in Folge der gravierenden Sturmwürfe Anfang der 1990er Jahre traten für einige Jahre erhöhte Werte auf. Die jährliche Absterberate ist ein wichtiger Indikator für Vitalitätsrisiken des Waldes. Dies gilt besonders vor dem Hintergrund prognostizierter Klimaänderungen.

Jährliche Absterberate, alle Baumarten, alle Alter in %

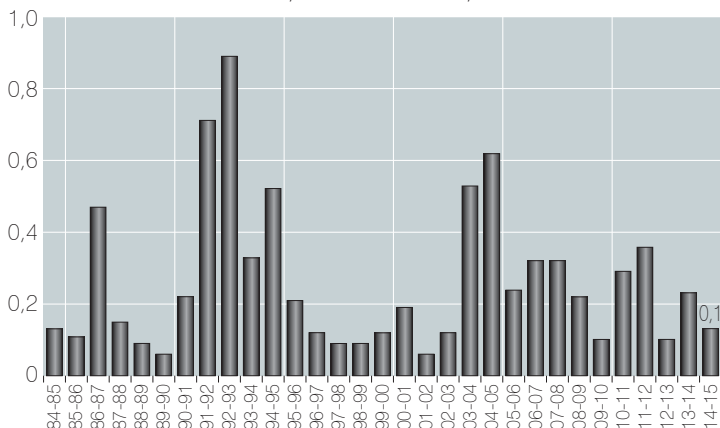


Foto: J. Evers

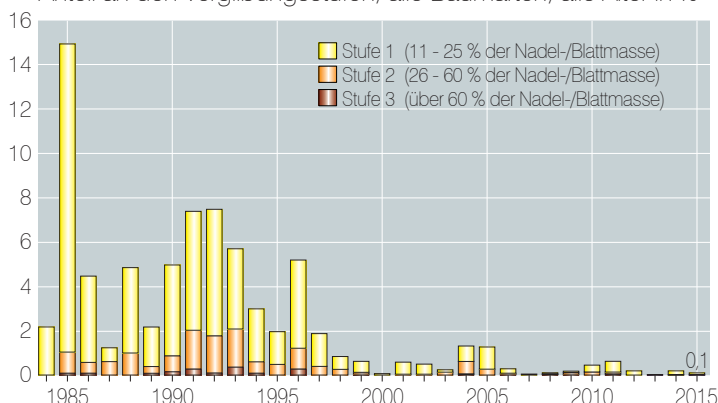


Foto: J. Evers

## Vergilbungen

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

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



# Buche

## Ältere Buche

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

Nach einem hohen Wert des Blattverlustes der älteren Buche 2011, deutlich verbesserten Werten in den Jahren 2012 bis 2013 und einem Anstieg der mittleren Kronenverlichtung in 2014 (35 %) hat sich der Kronenzustand in 2015 um 6 %-Punkte verbessert. Diese Entwicklung steht vor allem im Zusammenhang mit der Fruchtbildung der Buche. Nach der starken Fruktifikation der älteren Buchen im Vorjahr (mittlere/starke Fruktifikation: 80 %) blieb die Fruchtbildung in 2015 aus.

## Jüngere Buche

Bei der jüngeren Buche liegt die mittlere Kronenverlichtung wie im Vorjahr bei 11 %.

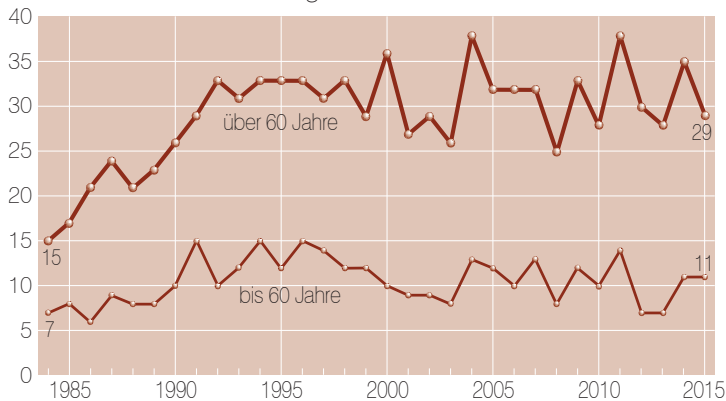
## Starke Schäden

Der Anteil starker Schäden an älteren Buchen hat sich von 4 % (2014) auf 2 % verringert. Bei den jüngeren Buchen zeigen nur ca. 1 % deutliche Schäden, dies entspricht dem Durchschnittswert der Zeitreihe.

## 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%.

Mittlere Kronenverlichtung in %



Anteil starker Schäden in %

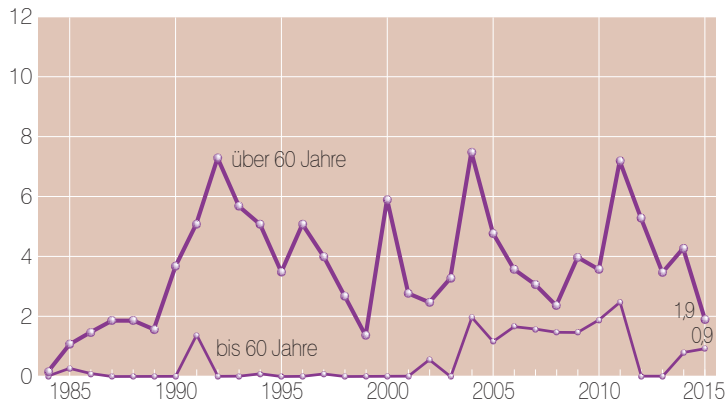


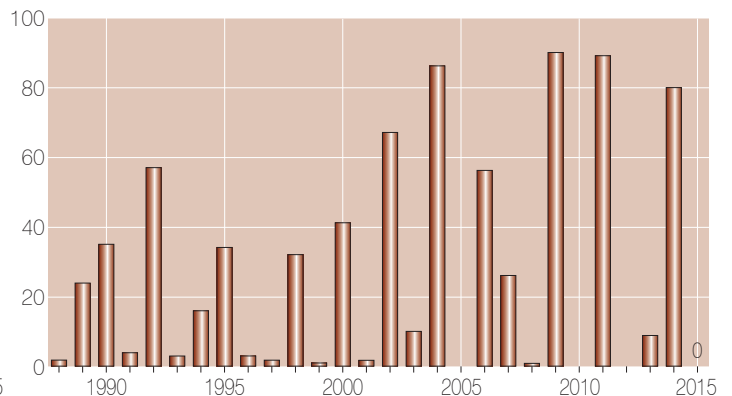
Foto: T. Ullrich

## Fruchtbildung

Nach der intensiven Fruktifikation im Vorjahr, als 80 % der Buchen mittel oder stark fruktifizierten, blieb eine Fruchtbildung in 2015 nahezu aus.

Die Ergebnisse zur Fruchtbildung im Rahmen der Waldzustandserhebungen zeigen eine Tendenz, dass die Buche in den letzten drei Jahrzehnten in kurzen Abständen und vielfach intensiv fruktifiziert. 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. Geht man davon aus, dass eine starke Mast erreicht wird, wenn ein Drittel der älteren Buchen mittel oder stark fruktifizieren, ergibt sich rechnerisch für den Beobachtungszeitraum 1988 bis 2015 alle 2,8 Jahre eine starke Mast. Literaturrecherchen (Paar et al. 2011) hingegen ergaben für den Zeitraum 1839 bis 1987 Abstände zwischen zwei starken Masten von im Mittel 4,7 Jahren.

Anteil mittel und stark fruktifizierender älterer Buchen in %





# Eiche

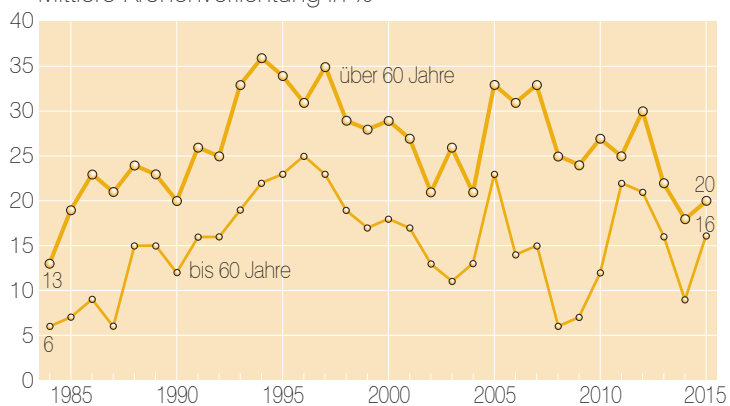
## Ältere Eiche

Die Kronenverlichtung der älteren Eiche in 2015 hat sich nur leicht verschlechtert (2014: 18 %, 2015: 20 %). Die Entwicklung der Kronenverlichtung der Eiche wird insgesamt stark durch das unterschiedlich ausgeprägte Vorkommen der Eichenfraßgesellschaft bestimmt. Seit 2013 wird in der WZE-Stichprobe kein oder nur ein geringer Anteil an mittleren oder starken Fraßschäden durch Schmetterlingsraupen an der älteren Eiche festgestellt. Im Vergleich zu 2012 (intensiverer Fraß) zeigt sich der Kronenzustand der älteren Eichen in den letzten drei Jahren deutlich verbessert.

## Jüngere Eiche

Die Kronenverlichtung der jüngeren Eiche ist in 2015 angestiegen (2014: 9 %, 2015: 16 %).

Mittlere Kronenverlichtung in %



Anteil starker Schäden in %

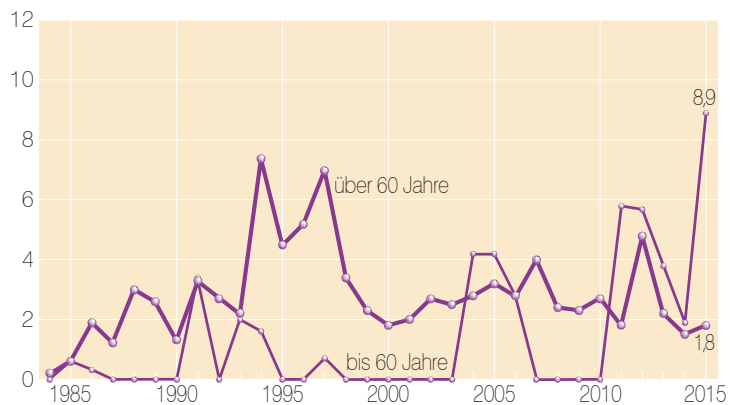


Foto: T. Ullrich

## Starke Schäden

Phasen mit erhöhten Anteilen starker Schäden an älteren Eichen stehen in der Regel in Verbindung mit intensivem Insektenfraß. In 2015 liegt der Anteil starker Schäden für die älteren Eichen bei nur 2 %.

## Absterberate

Trotz lokal feststellbarer Absterbeprozesse ist in 2015 – wie bereits im Vorjahr – keine Eiche auf dem repräsentativen Landraster abgestorben.

## 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. Für die Partnerländer der NW-FVA wurde daher für WZE-Punkte mit mindestens 17 Eichen im Alter über 60 Jahre im 8 km x 8 km-Raster eine zusätzliche Erfassung in der zweiten Septemberwoche durchgeführt. Die Eichen dieser Referenzstichprobe, bestehend aus 13 WZE-Punkten, haben zu 29 % mittel und stark fruktifiziert.

Anteil mittlerer und starker Fraßschäden an älteren Eichen in %

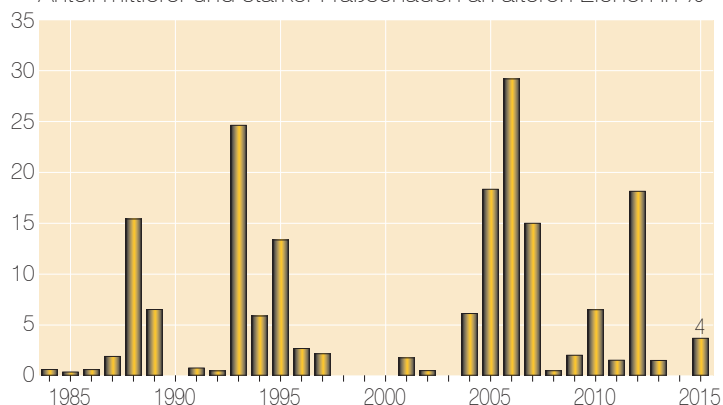


Foto: T. Ullrich

# Fichte

## Ältere Fichte

Bei der älteren Fichte liegt die mittlere Kronenverlichtung mit 26 % auf dem Niveau des Vorjahres.

## Jüngere Fichte

Bei der jüngeren Fichte hat sich die mittlere Kronenverlichtung von 4 % (2014) auf 5 % (2015) geringfügig verändert. Eine Tendenz der Verbesserung des Kronenzustandes der jüngeren Fichte ist in den letzten Jahren trotzdem erkennbar.

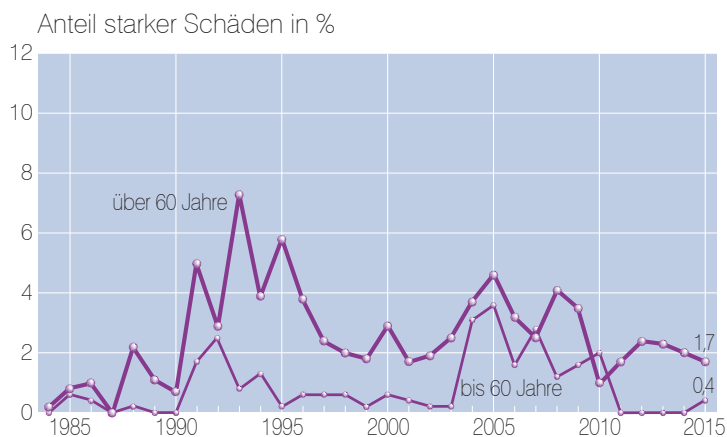
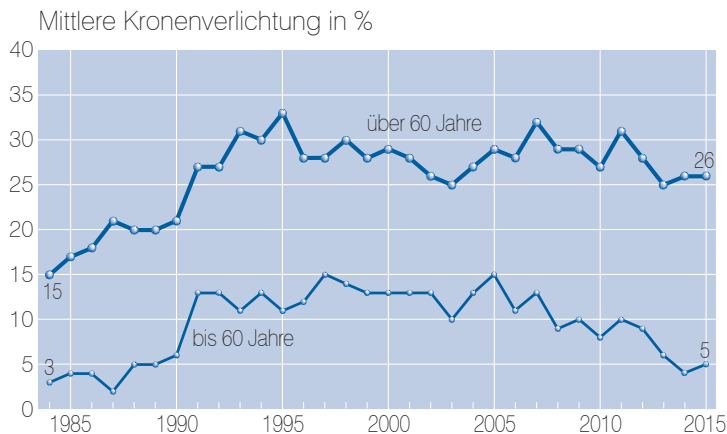


Foto: J. Evers



Foto: J. Evers

## 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.

## Absterberate

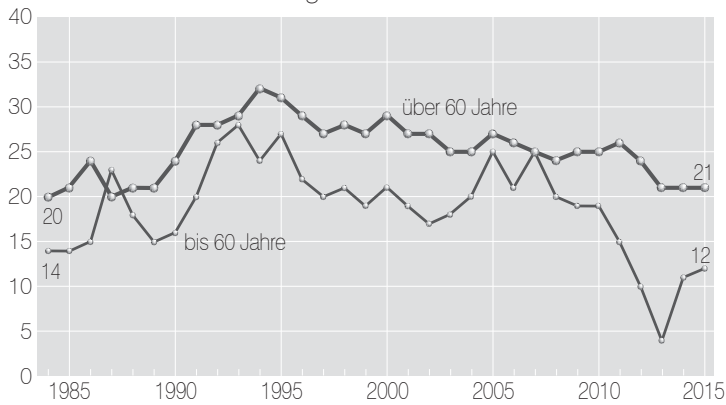
Die Absterberate der Fichte liegt im Mittel der Jahre 1984 bis 2015 bei 0,4 %. Im Zeitraum 2013 bis 2015 ist im Aufnahmekollektiv keine Fichte abgestorben. Erhöhte Absterberaten sind 1991 bis 1995 (bis 2 %), 2004 bis 2005 (bis 1,4 %) und 2008 bis 2009 (bis 1,1 %) aufgetreten, jeweils nach besonderen abiotischen und biotischen Schadereignissen.

# Kiefer

## Ältere Kiefer

Die mittlere Kronenverlichtung der älteren Kiefer hat sich gegenüber dem Vorjahr nicht verändert (21 %). Nach einem Anstieg der Kronenverlichtung in der Zeit von 1984 bis 1994 hat sich der Kronenzustand seit dieser Zeit nahezu stetig verbessert und erreicht jetzt wieder das Niveau der 1980er Jahre.

Mittlere Kronenverlichtung in %



Anteil starker Schäden in %

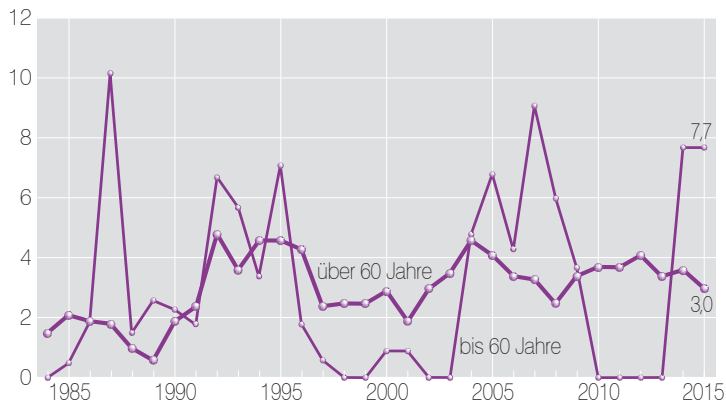


Foto: J. Weymar

## Jüngere Kiefer

Die mittlere Kronenverlichtung der jüngeren Kiefer ist von 11 % (2014) auf 12 % leicht angestiegen.

## Starke Schäden

Der Anteil starker Schäden liegt bei der Kiefer im langjährigen Mittel bei 3 %. Erhöhte Anteile starker Schäden wurden 1987, 1992 bis 1996 und im Anschluss an das Trockenjahr 2003 sowie in den Jahren 2014 und 2015 vorwiegend bei den jüngeren Kiefern festgestellt.

## Absterberate

Die Absterberate der Kiefer (alle Alter) schwankt im Erhebungszeitraum zwischen 0 % und 2 %. In 2015 ist im WZE-Kollektiv keine Kiefer abgestorben.



Foto: J. Evers

# Wald in der Rhein-Main-Ebene

Im Vergleich zum Vorjahr hat sich in der Rhein-Main-Ebene der Kronenzustand der älteren Bäume geringfügig verschlechtert (2014: 26 %, 2015: 27 %). Deutlich verschlechtert hat sich dagegen der Kronenzustand der jüngeren Bäume. Die mittlere Kronenverlichtung erhöhte sich von 12 % auf 17 %. Insbesondere die jüngeren Bäume zeigen in der Rhein-Main-Ebene einen erheblich schlechteren Kronenzustand als in Gesamthessen.

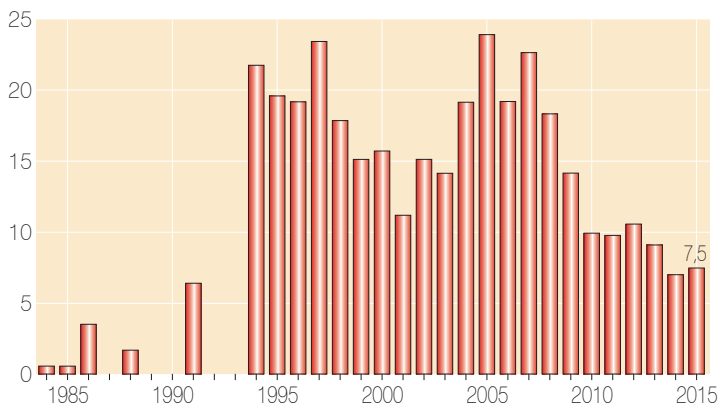
Die Eiche zählt zu den charakteristischen Baumarten dieser Region, die an die dortigen Klimabedingungen grundsätzlich gut angepasst sind.

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 33 % stellt eine Verdopplung des mittleren Blattverlustes dar. Deutlich günstiger ist dagegen die Entwicklung des Kronenzustandes der älteren Eiche in Gesamthessen (1984: 13 %, 2015: 20 %)

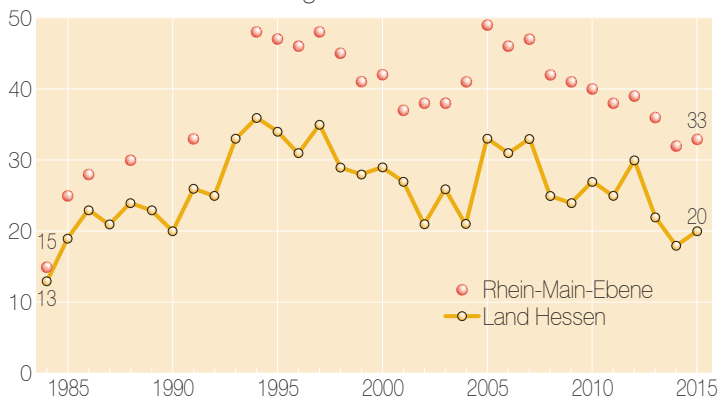
Bereits im Rahmen der ersten Aufnahme zum Mistelbefall an der Kiefer im Jahr 2002 wurde an ca. einem Drittel der Kiefern in der Rhein-Main-Ebene Mistelbefall festgestellt. Seitdem erhöhte sich der Anteil von Kiefern mit Mistelbefall auf 41 %. Ihr gehäuftes Vorkommen kann als Hinweis auf ökologische Ungleichgewichte interpretiert werden.

Die Ergebnisse zum Waldzustand und die Gründe seiner Entwicklung in der Rhein-Main-Ebene und im Besonderen im Hessischen Ried sind in verschiedenen Forschungsberichten dargelegt (z. B. Waldentwicklungsszenarien für das Hessische Ried, Ahner et al. 2013, zu beziehen über die NW-

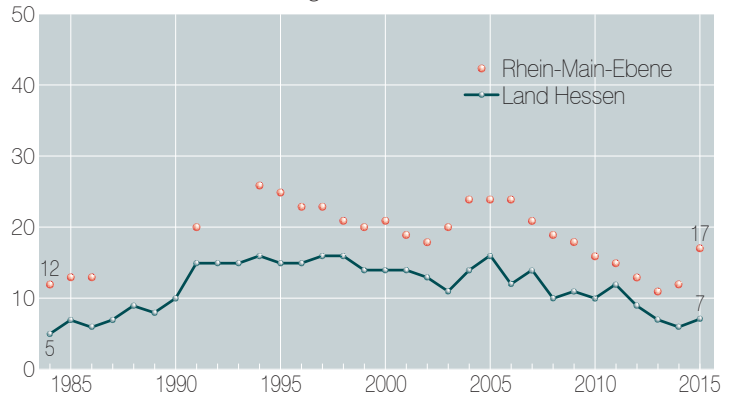
Anteil der über 60-jährigen Eichen mit über 60 % Blattverlust in der Rhein-Main-Ebene in %



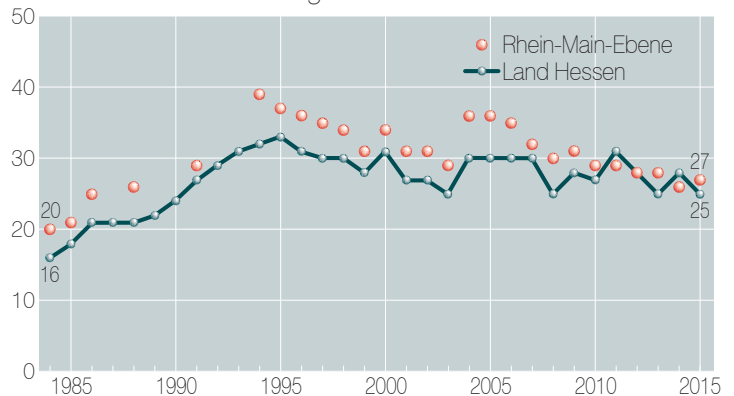
Eiche, über 60 Jahre  
Mittlere Kronenverlichtung in %



Alle Baumarten, bis 60 Jahre  
Mittlere Kronenverlichtung in %



Alle Baumarten, über 60 Jahre  
Mittlere Kronenverlichtung in %



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

# Wald in der Rhein-Main-Ebene

## Runder Tisch zur Verbesserung der Grundwassersituation im Hessischen Ried schließt seine Arbeit ab

Hauptziel des Runden Tisches war es, entsprechend dem Beschluss des Hessischen Landtags vom November 2006 eine nachhaltige Verbesserung des Waldzustands im Hessischen Ried und Südhessen zu erreichen und dazu ein langfristiges, nachhaltiges, technisch und wirtschaftlich umsetzbares und möglichst breit getragenes Konzept zu erarbeiten. Hintergrund ist der schlechte Zustand des Waldes im Hessischen Ried. Dieser hat seine Ursache unter anderem in der Grundwasserförderung. Das Niveau des Grundwassers sank in bestimmten Waldbereichen so stark, dass die Bäume es mit ihren Wurzeln nicht mehr erreichen konnten.

Der Runde Tisch war auch geprägt von der Diskussion und Beratung der konkreten Möglichkeit zur Aufspiegelung des Grundwassers. Dabei waren die Belange von Forstwirtschaft, Grundwasserbewirtschaftung, Infrastruktur (Siedlungen, Verkehrswege), Landwirtschaft und Naturschutz zu berücksichtigen.

Der Runde Tisch hat im Zeitraum vom 24. August 2012 bis zum 20. Februar 2015 fünfzehnmal getagt. Er hat zwei Gutachten in Auftrag gegeben (Rechtsgutachten und Ökobilanz/Kosten-Nutzen-Analyse) sowie zwei feste Arbeitsgruppen und mehrere themenbezogene Begleitgruppen gebildet. Auch wurden Exkursionen und kommunale Runden durchgeführt. Der Runde Tisch setzte sich aus 24 Interessenvertretungen zusammen. Unterstützt wurde die Arbeit des Runden Tisches durch eine Vielzahl von Sachverständigen. Die Leitung des Runden Tisches hatte Herr Staatssekretär a.D. Dr. Bernd Kummer übernommen.

Im Wesentlichen wurden folgende Ansätze erarbeitet:

- **Waldbauliche Maßnahmen:** Waldbau und Waldumbau sind generell geeignet zur Sanierung des Waldes. Damit sollte umgehend begonnen werden – und zwar angepasst an die jeweiligen Standortbedingungen und in den FFH- und Vogelschutzgebieten strikt naturschutzorientiert. Dazu wurden – ausgehend vom Zustand der Wälder und den spezifischen Schadensursachen – 26 Waldgebietssteckbriefe mit Empfehlungen für Waldbau und Waldumbau erarbeitet.
- **Aufspiegelung von Grundwasser:** Ergänzend kann in Teilbereichen eine weitergehende Grundwasseraufspiegelung hinzukommen, verknüpft mit Vernässungsschutz für Siedlung und Landwirtschaft. Hierzu wird der Gernheimer Wald als besonders geeignete Pilotfläche angesehen. Diese Maßnahmen können jedoch frühestens 10 Jahre nach Beginn des Waldumbaus beginnen – aufgrund der langwierigen Planungs- und Genehmigungsverfahren.
- **Waldbewässerung/Versickerung:** Gegebenenfalls könnte vorlaufend eine Waldbewässerung zu einer Zustandsverbesserung beitragen. Eine solche Veränderung des Wasserhaushalts wäre für einzelne Waldbereiche als lokale, ggf. auch zeitlich begrenzte Maßnahme zur Unterstützung des Wasserhaushalts der Bäume in besonderen Stresssituationen, auf besonders geeigneten Standorten (Vernässung tiefliegender Mulden) oder zur Erreichung besonderer Habitatqualitäten einsetzbar.

Angesichts des Ausmaßes der in den vergangenen 40 Jahren entstandenen Schäden ist für die Sanierungsmaßnahmen von hohen Kosten auszugehen. Die große Bedeutung des Waldes in den Ballungsräumen Rhein/Main und Rhein/Neckar sowie der Schutz der Natur und der Artenvielfalt begründen und rechtfertigen große Anstrengungen mit einer langfristigen Finanzierung.

Der Abschlussbericht des Runden Tisches zur Verbesserung der Grundwassersituation im Hessischen Ried wurde veröffentlicht und ist mit weiteren Informationen unter der Homepage <http://rundertisch-hessischesried.de> abrufbar.



Foto: J. Evers

# Witterung und Klima

Der Witterungsverlauf für Hessen wird anhand von Daten des Deutschen Wetterdienstes (DWD) beschrieben. Die Höhe der Niederschläge und ihre Verteilung über das Jahr sowie die Temperaturdynamik sind wichtige Einflussgrößen auf die Vitalitätsentwicklung der Waldbäume. Dabei spielen sowohl der langjährige Witterungsverlauf als auch die Werte des vergangenen Jahres eine Rolle. Dargestellt sind jeweils die Niederschlagssummen und die Mitteltemperaturen sowie die Abweichungen vom Mittel der Klimanormalperiode 1961 bis 1990. Grundlage für die Auswertung bilden die Messdaten des DWD (192 Klima- und 995 Niederschlagsstationen), die auf ein 200 m-Raster interpoliert wurden, so dass der Mittelwert über die gesamte Landesfläche von Hessen gebildet werden konnte.

## Temperatur und Niederschlag im langjährigen Verlauf

Die langjährigen Messdaten für den Zeitraum von 1961 bis 2015 zeigen seit 1988 eine gegenüber der Referenzperiode (1961-1990) erhöhte Temperatur. Die Jahresmitteltemperatur für das Vegetationsjahr (Oktober des Vorjahres bis September des Folgejahres) hat sich seit Beginn der 1990er Jahre von 8,3 °C (Mittelwert der Referenzperiode) um 0,8 °C auf aktuell 9,1 °C erhöht. Um den gemessenen Temperaturanstieg zu verdeutlichen, wurde das gleitende 30jährige Mittel berechnet, das für jedes Jahr den Mittelwert aus den vorausgegangenen 30 Jahren bildet (gepunktete Linie in der Abbildung rechts). Besonders warm waren die Jahre 2007 und 2014, mit einer Temperaturabweichung von rund 2 °C.

Betrachtet man die Monatsmittelwerte der letzten 10 Jahre, fällt auf, dass rund 75 % der Monate eine positive Abweichung vom langjährigen Mittelwert aufweisen. Seit dem Frühjahr 2013 sind fast alle Monate im Flächenmittel von Hessen zu warm ausgefallen.

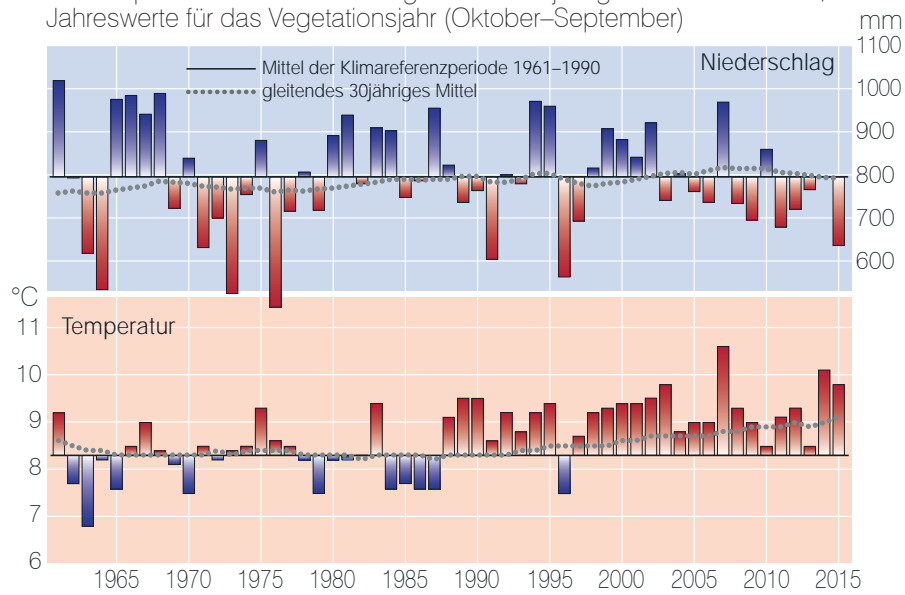
Die Jahresniederschlagssumme der Referenzperiode (1961-1990) beträgt im Landesmittel 795 mm. Die Niederschlagshöhe schwankt im Zeitraum 1961 bis 2015 von Jahr zu Jahr mit Werten von rund 500 mm (1976) bis über 1000 mm (1961) sehr stark (Abbildung rechts). Perioden mit überdurchschnittlich hohen Niederschlägen wechseln mit trockenen Perioden ab, so dass keine einheitliche Tendenz festgestellt werden kann. Es fällt jedoch auf, dass insbesondere in den letzten Jahren das Frühjahr häufig zu trocken ausgefallen ist.

In der Vegetationszeit (Mai bis September) wurde die Mitteltemperatur von 14,8 °C seit 1988 nahezu immer überschritten und auch die Temperaturen in der Nichtvegetationszeit (Oktober bis April) lagen fast immer über dem Mittelwert der Referenzperiode (3,6 °C). Bei den im Zeitraum 1985 bis 2015 gemessenen Niederschlägen bestehen zwischen den einzelnen Jahren zum



Foto: H. Heinemann

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



Daten des Deutschen Wetterdienstes, Offenbach

# Witterung und Klima

Teil starke Schwankungen. Besonders niederschlagsreich war die Vegetationsperiode 2007, in der die gemessenen Niederschlagswerte um knapp 200 mm über dem Referenzmittelwert von 351 mm lagen. Auch in den Jahren 2010 und 2014 wurden weit überdurchschnittliche Niederschlagswerte in der Vegetationsperiode gemessen, während in der Nichtvegetationszeit die Niederschläge seit 2004 durchgehend unterdurchschnittlich ausfielen (Abbildungen unten).

## Witterungsverlauf von Oktober 2014 bis September 2015

In der Nichtvegetationszeit 2014/2015 (Oktober bis April) war es durchgehend mild. Die höchsten Abweichungen gegenüber den langjährigen Monatsmittelwerten traten mit mehr als 2 °C in den Monaten Oktober, November und Januar auf. Die Niederschlagshöhe erreichte in dem Zeitraum nur 83 % des Mittelwertes, da besonders in den Monaten November und Februar nur 50 % der üblichen Niederschlagsmenge gemessen wurden. Nur der Januar (128 %) war landesweit deutlich zu nass.

In der Vegetationszeit 2015 fielen in den Monaten Mai und Juni nur 35 % bzw. knapp 60 % der durchschnittlichen Niederschläge. Auch im Juli (87 %) vergrößerte sich das Niederschlagsdefizit aus dem Frühjahr und erst im August und September wurde das Monatssoll leicht überschritten. Die Niederschläge fielen dabei häufig in Verbindung mit heftigen Gewittern und örtlichen Starkregenereignissen.

Nachdem die Temperaturen in den Monaten Mai und Juni fast den langjährigen Mittelwerten entsprachen, führten längere Hitzeperioden dazu, dass der Juli und der August mit einer Temperaturabweichung von über 2,5 °C deutlich zu warm ausfielen. Der September 2015 war im Vegetationsjahr 2014/2015 der einzige Monat mit einer negativen Temperaturabweichung (-0,7 °C).

Die Mitteltemperatur der Nichtvegetationsperiode 2014/2015 lag mit 5,3 °C um 1,7 °C über dem langjährigen Referenzwert. Dabei wechselten überdurchschnittlich warme Regionen mit Gebieten, in denen die Temperaturen weniger stark vom Mittelwert abwichen kleinräumig voneinander ab (Abbildung Seite 16). Die Vegetationsperiode 2015 war mit 16,1 °C ebenfalls wärmer als im langjährigen Mittel. Die positive Abweichung betrug rund 1,3 °C, wobei besonders in den südlichen und östlichen Landesteilen hohe Temperaturabweichungen (teilweise >2,0 °C) gemessen wurden (Abbildung Seite 16). Im Westerwald und im Hessischen Bergland lagen die Mitteltemperaturen dagegen meist weniger als 1,0 °C über den Werten der Referenzperiode.

In der Nichtvegetationsperiode 2014/15 verzeichneten die südöstlichen Landesteile vom Vogelsberg über den Spessart bis in den Odenwald die größten Niederschlagsdefizite (bis zu 30 %). Im

westlichen Bergland sowie in Teilen von Südhessen wurden 90 bis regional >100 % des Niederschlagssolls gemessen (Abbildung Seite 17). Die Vegetationsperiode war in Teilen Hessens extrem trocken. Im Mittel entsprachen die gemessenen Niederschläge nur rund 75 % der mittleren Niederschlagsmenge von 351 mm. Dabei gab es ein markantes Nord-Süd-Gefälle. Während in Nordhessen das Niederschlagsdefizit meist weniger als 10 % des langjährigen Mittels betrug, wurde in der Rhein-Main-Ebene und im Odenwald teilweise nur etwas mehr als die Hälfte des Niederschlagssolls erreicht (Abbildung Seite 17).

Das Vegetationsjahr 2014/2015 (Oktober bis September) reiht sich nahtlos in die überdurchschnittlich warmen Jahre der letzten 25 Jahre ein. Es ist mit einer Mitteltemperatur von 9,8 °C ebenso wie 2014 und 2007 eines der wärmsten Jahre seit Messbeginn. Gleichzeitig zählt das Vegetationsjahr 2014/2015 mit einer Niederschlagsmenge von rund 640 mm zu den trockensten seit 20 Jahren, wobei in Südhessen das Niederschlagsdefizit zu einer extremen Trockenheit führte.

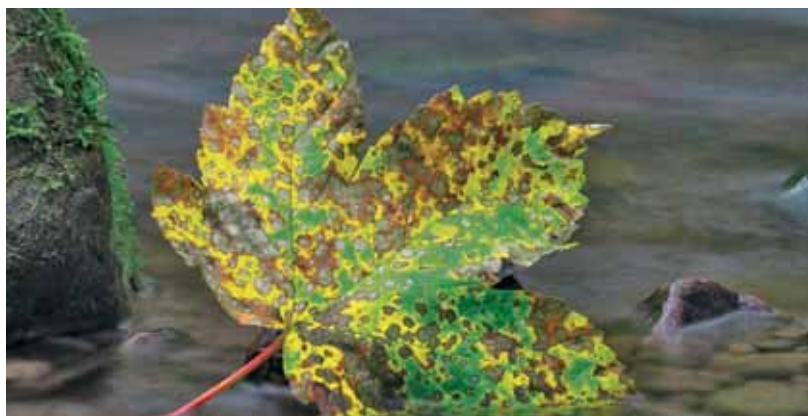
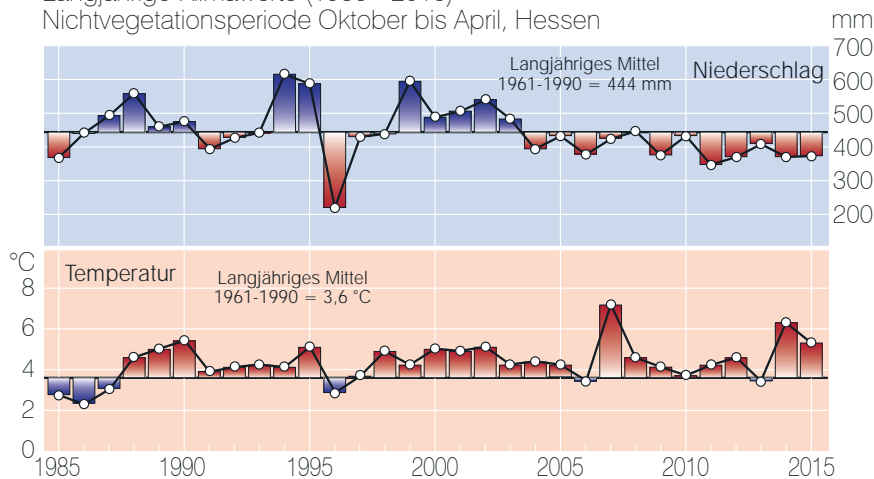


Foto: H. Heinemann

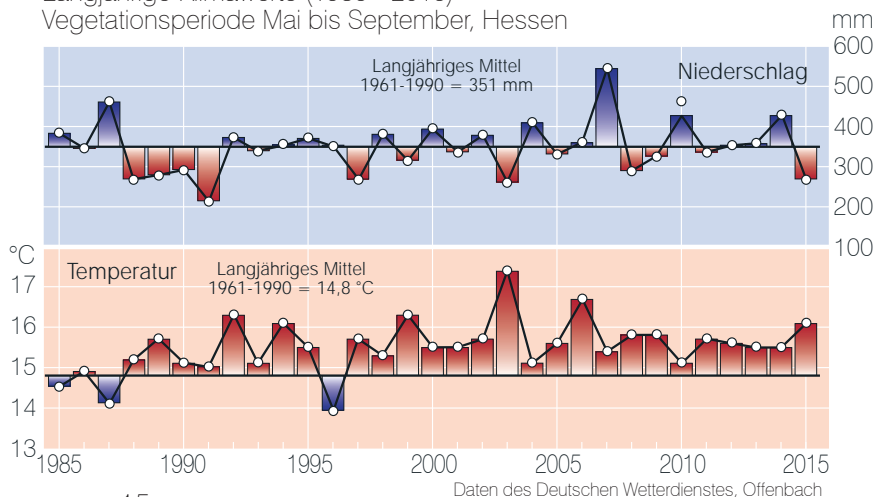
Langjährige Klimawerte (1985 - 2015)

Nichtvegetationsperiode Oktober bis April, Hessen



Langjährige Klimawerte (1985 - 2015)

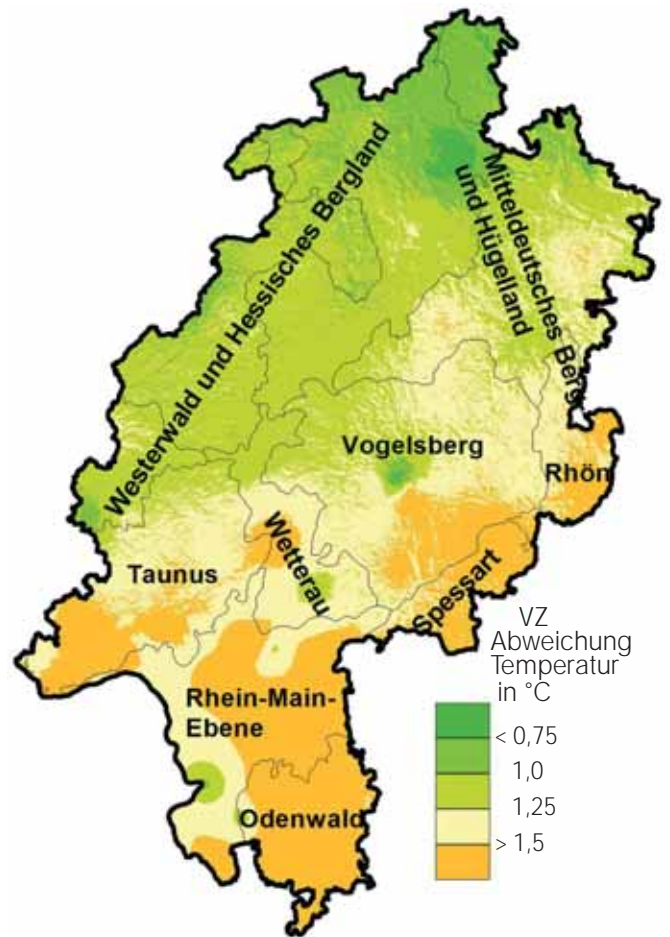
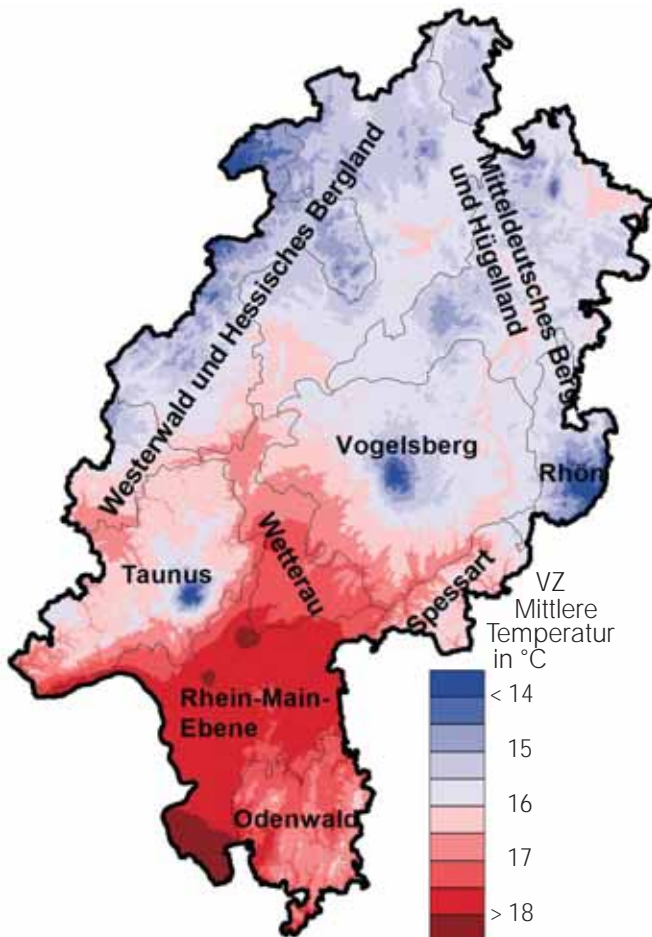
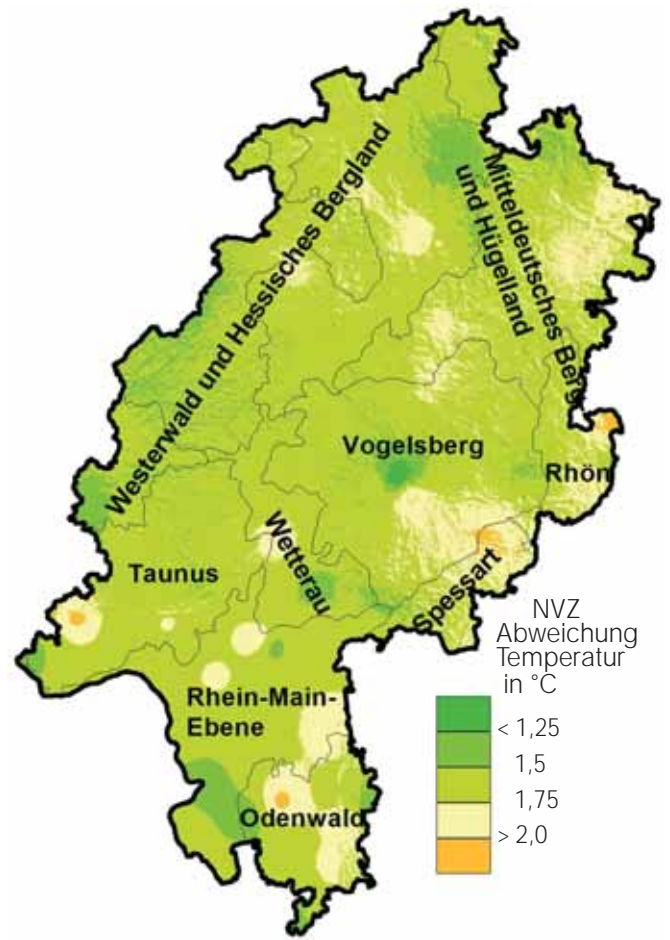
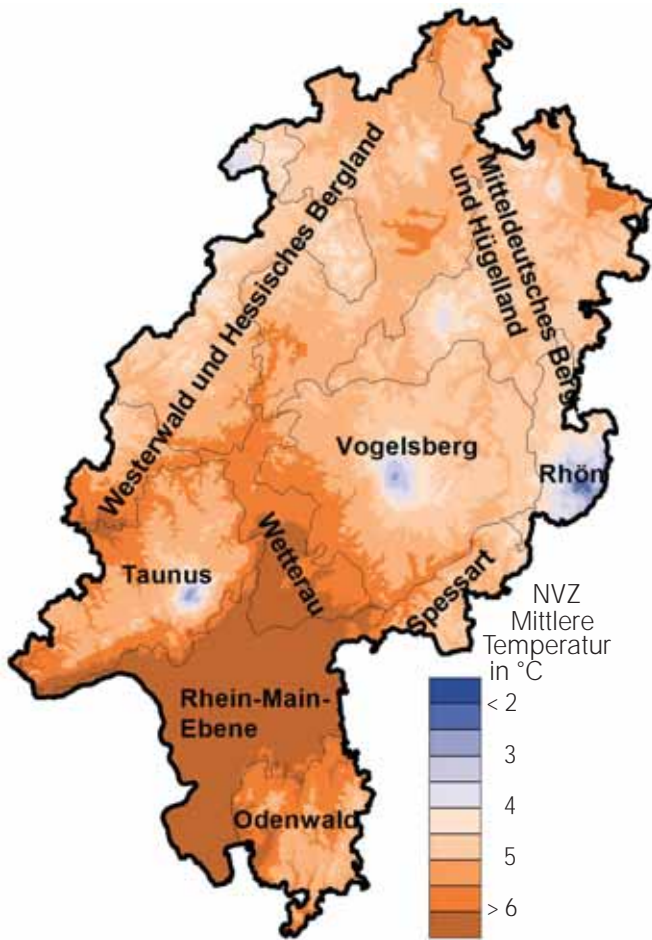
Vegetationsperiode Mai bis September, Hessen



Daten des Deutschen Wetterdienstes, Offenbach

# Witterung und Klima

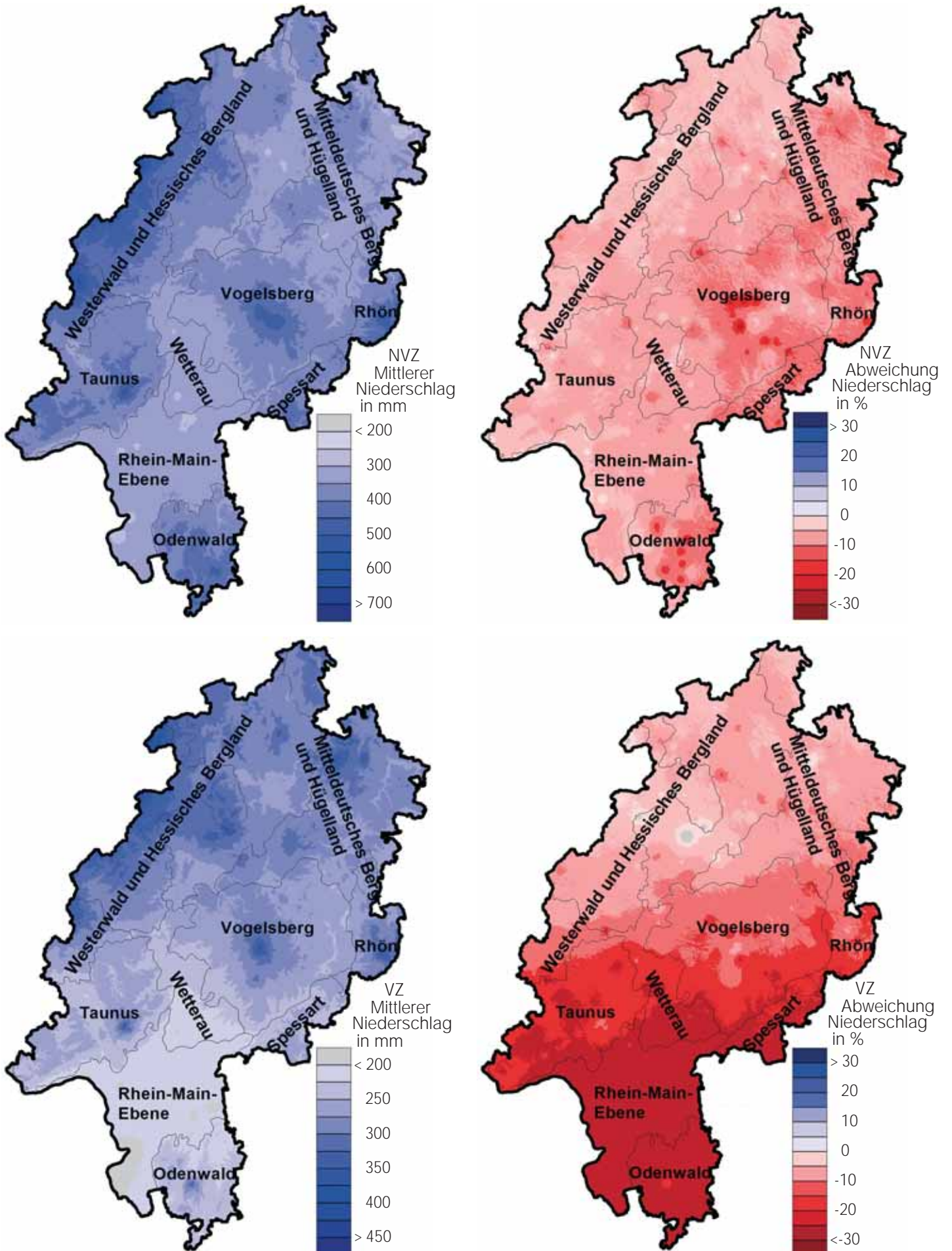
Gemessene Temperaturen und deren Abweichungen zum langjährigen Mittel in der Nichtvegetationszeit (NVZ) 2014/2015 und in der Vegetationszeit (VZ) 2015





# Witterung und Klima

Gemessene Niederschlagssummen und deren Abweichungen zum langjährigen Mittel in der Nichtvegetationszeit (NVZ) 2014/2015 und in der Vegetationszeit (VZ) 2015



## Auswirkungen der Frühjahrstrockenheit auf Bodenwasserhaushalt und Baumwachstum

Die Witterung im Jahr 2015 zeichnet sich durch viele Wetterextreme aus. Für die Forstwirtschaft von besonderer Bedeutung war die Trockenheit im Frühjahr und Frühsommer. Eine allgemein gültige Definition von Trockenheit gibt es nicht. Allerdings lassen sich anhand unterschiedlicher meteorologischer und hydrologischer Kriterien die Auswirkungen einer Trockenperiode gut beschreiben. In der Meteorologie werden Zeiträume mit im Vergleich zum langjährigen Mittel deutlich geringeren Niederschlägen als Trockenperiode bezeichnet. Die Höhe des Niederschlagsdefizits kann als Maß der Trockenheit dienen. Diese kann sich über mehrere Wochen oder Monate erstrecken und zu großem Wassermangel in der Natur führen. Einzelne Niederschlagsereignisse können – wenn überhaupt – nur kurzzeitig Milderung verschaffen. Da Phasen der Trockenheit häufig mit erhöhten Temperaturen einhergehen, kann die erhöhte Verdunstung das Wasserdefizit deutlich verschärfen. Trockene Böden, sinkende Grundwasserstände und niedrige Flusspegel können die Folge sein.

Die Auswirkungen der Trockenheit auf die Forstwirtschaft hängen von vielen Faktoren ab. Neben der Andauer und Intensität einer Trockenperiode spielt der Zeitpunkt ihres Auftretens im Jahresverlauf eine wesentliche Rolle. Während Wassermangel in der Vegetationsperiode (VZ) die Vitalität und das Wachstum der Wälder stark beeinträchtigen kann, wirken sich Trockenphasen im Herbst und Winter nicht unmittelbar auf den Zustand der Bäume aus. Trockenphasen in der Nichtvegetationsperiode (NVZ) können sich jedoch dann nachteilig auswirken, wenn der Bodenwasserspeicher im Winter nur unzureichend aufgefüllt wird. Dieser kann dann in der folgenden Vegetationsperiode auftretende Wasserdefizite nicht kompensieren und somit Wassermangelercheinungen in den Wäldern zur Folge haben.

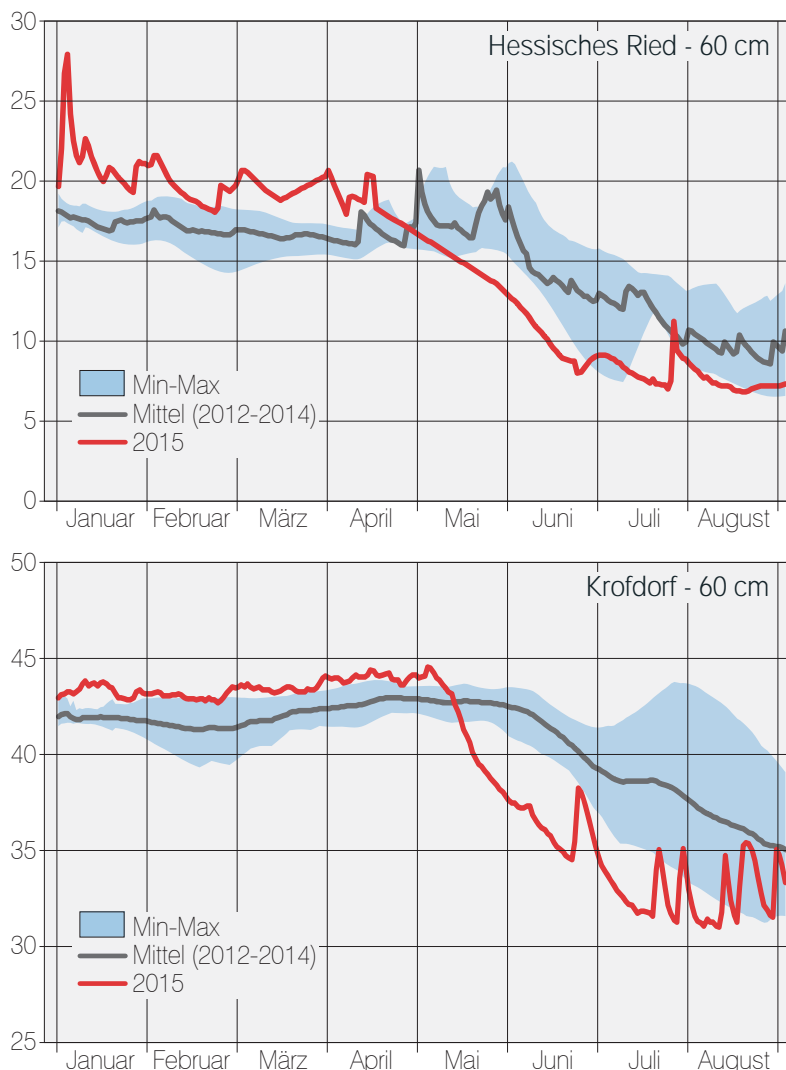
Trockenstress reduziert einerseits die Effektivität von pflanzlichen Prozessen und kann andererseits direkt die Pflanzenstruktur schädigen. Dies wirkt sich negativ auf die Vitalität und das Wachstum der Bäume aus. Erhöhte Nadel- und Blattverluste können sichtbare Folgen sein. Im äußersten Fall steigt die Mortalitätsrate an. Dabei reagieren Baumarten sehr unterschiedlich auf Wassermangelsituationen. Während Fichte und Buche als sehr trockenheitsempfindlich eingeschätzt werden, sind Eiche, Douglasie und Kiefer besser an Trockenheit angepasst. Entsprechend sind auf den Standorten mit geringer Kapazität an pflanzenverfügbarem Bodenwasser (Sandböden) eher die trockenresistenten Baumarten zu finden, während auf den gut wasserversorgten Standorten (Schluff- und Lehmböden) Baumarten mit hohem Wasseranspruch wachsen (Edellaubholz, Buche, Fichte).

Die Witterung der Nichtvegetationsperiode 2014/2015 und der Vegetationsperiode 2015 für Hessen ist im Kapitel „Witterung und Klima“ beschrieben. Nach dem feuchten Sommer 2014 mit durchgehend überdurchschnittlichen Niederschlagsmengen begann im Herbst 2014 eine Trockenperiode, die nur von einem niederschlagsreichen Januar unterbrochen wurde. Erst im Juli bzw. regional August und September 2015 wurde die Trockenheit in Folge vermehrter Niederschlagsereignisse abgemildert. Wäh-

rend in der Nichtvegetationsperiode alle Landesteile mehr oder weniger betroffen waren, war das Niederschlagsdefizit in den Monaten Mai bis Juli 2015 im Süden Hessens extrem hoch. Gleichzeitig traten während der gesamten Trockenperiode seit November 2014 teilweise sehr hohe positive Temperaturabweichungen auf, so dass die Trockenheit infolge der hohen Verdunstung noch verschärft wurde.

Wie hat sich nun die Trockenheit auf den (Boden-)Wasserhaushalt und das Wachstum der Bäume im Jahr 2015 ausgewirkt? Hierzu wurden Messwerte der Bodenwassergehalte und des Stammumfangzuwachses auf mehreren Intensiv-Monitoringflächen (Level II-Programm) in Hessen untersucht und analysiert. Bei allen untersuchten Flächen handelt es sich um Buchenstandorte. Der rund 110 Jahre alte Bestand im Forstamt Lampertheim (Hessisches Ried) befindet sich im Wuchsgebiet „Rhein-Main-Ebene“. Als Bodentyp wird ein „Braunerde-Gley-Pseudogley“ ausgewiesen, deren typische Bodenart als feinsandiger Mittelsand charakterisiert werden kann. In 80 bis 100 cm Tiefe erstreckt sich ein lehmiges Tonband, dessen geringe Wasserdurchlässigkeit zeitweise zur Ausbildung von Stauwasser führt. Auf der Intensiv-Monitoringfläche in Krofdorf steht dagegen ein Lößlehm an, der aufgrund des hohen Schluffanteils über eine gute Wasserspeicherkapazität verfügt. Der 150jährige Buchenbestand befindet sich im Wuchsgebiet „Wetterau und Gießener Becken“.

Gemessene Bodenwassergehalte auf den Intensivmonitoringflächen Hessisches Ried und Krofdorf in Prozent



## Auswirkungen der Frühjahrstrockenheit auf Bodenwasserhaushalt und Baumwachstum

In den Abbildung auf Seite 18 unten sind für beide Standorte die gemessenen Bodenwassergehalte im Hauptwurzelsraum in 60 cm Tiefe dargestellt. Auf beiden Flächen wird seit 2011 der Bodenwasserhaushalt messtechnisch erfasst. Für die Charakterisierung der mittleren Bodenfeuchte (graue Linie) wie auch für die Bandbreite wurde der Zeitraum 2012 bis 2014 verwendet. Der blau hinterlegte Fächer gibt die Bandbreite der minimal und maximal gemessenen täglichen Bodenwassergehalte als 10-tägiges gleitendes Mittel für die Monate Januar bis August wieder. Der Verlauf der Bodenfeuchte im Jahr 2015 zeigt, dass während der Monate Januar bis April auf beiden Standorten im Vergleich zu den Vorjahren überdurchschnittlich hohe Bodenwassergehalte gemessen wurden. Insbesondere der niederschlagsreiche Januar führte zu einer Auffüllung des Bodenwasserspeichers. Ab Ende April/Anfang Mai nahm die Bodenfeuchte auf beiden Standorten kontinuierlich ab. Im Vergleich zu den Jahren 2012 bis 2014 begann die Abnahme der Bodenfeuchte im Hauptwurzelsraum rund 4 Wochen früher. Von Mitte Mai 2015 bis in den August hinein wurden die bisher gemessenen Minimalwerte kontinuierlich unterschritten. Auf dem Standort Hessisches Ried war Mitte Juni das pflanzenverfügbare Bodenwasser nahezu komplett aufgebraucht. Erst Ende August begann mit den einsetzenden Niederschlägen die Wiederauffüllung der Böden, so dass sich die Bodenwassergehalte den mittleren Werten der vorausgegangenen Jahre annäherten. Zum Stammumfangzuwachs der Buche liegen nur die Messdaten am Standort Zierenberg in Nordhessen vor. Hier wird seit 2012 mit Umfangmessbändern das „Dickenwachstum“ an ausgewählten Bäumen kontinuierlich beobachtet. Die jährlichen Zuwachsraten sind in der Abbildung unten für die Jahre 2012 bis 2015 dargestellt. Der jährliche Wachstumsverlauf zeigt, dass der Zuwachs der Buche bis Ende Juli weitgehend abgeschlossen ist. Auch im Jahr 2015 war die Wuchsleistung der Buchen am Standort Zierenberg mit rund 15 mm ähnlich hoch wie in den Jahren zuvor. Trotz der geringen Niederschläge im Frühjahr, reichte das pflanzenverfügbare Wasser im Boden aus, so dass es zu keiner verminderten Wuchsleistung kam. Auf den Intensiv-Monitoringflächen im Hessischen Ried wird das „Dickenwachstum“ nicht kontinuierlich beobachtet. Es ist jedoch wahrscheinlich, dass es bei der Buche auf schlecht wasserversorgten Standorten (Sandböden ohne Stau- oder Grundwasser) zu Zuwachs-

einbußen gekommen ist. Vitalitätseinbußen infolge der Trockenheit wurden zumindest in Jungbeständen beobachtet (s. Beitrag Wald in der Rhein-Main-Ebene). Aktuelle Untersuchungen auf den Intensiv-Monitoringflächen Klötze und Nedlitz in Sachsen-Anhalt belegen eine gute Anpassungsfähigkeit der Kiefer an längere Trockenperioden aufgrund ihres effizienten Wassermanagements (s. WZE-Bericht Sachsen-Anhalt 2015). Da die standörtlichen Bedingungen (Klima, Boden) in der von der Trockenheit besonders betroffenen Rhein-Main-Ebene mit denen der Sachsen-Anhaltinischen Intensivmessflächen vielfach vergleichbar sind, dürfte die Kiefer in Südhessen kaum Vitalitäts- und Wachstumseinbußen aufweisen.

Die Untersuchungen auf den Level II-Flächen in Hessen haben gezeigt, dass die Trockenheit im ersten Halbjahr 2015 sehr niedrige Bodenwassergehalte zur Folge hatte. Um Aussagen für die Wälder im gesamten Land treffen zu können, wurde der Wasserhaushalt auf den Aufnahmepunkten der Bodenzustandserhebung (BZE II) mit Hilfe eines hydrologischen Modells simuliert. Die BZE II ist eine bundesweit systematische Stichprobenerhebung im Wald, die ein umfassendes und flächenrepräsentatives Bild des aktuellen Zustandes wichtiger Boden- und Bestandeskenngößen erfasst. In Hessen werden an insgesamt 139 BZE II-Plots Kenngößen zum Boden (wie z. B. Bodenart und Skeletgehalt) und zum Bestand (wie z. B. Baumart, Alter, Bestandesdichte) erhoben.

Da die Trockenperiode bereits Ende 2014 ihren Anfang nahm, stellt sich die Frage, ob der Bodenwasserspeicher zu Beginn der Vegetationsperiode 2015 bereits geringer aufgefüllt war, als dies bei mittleren klimatischen Verhältnissen der Fall gewesen wäre. Hierzu wurde das maximal pflanzenverfügbare Bodenwasser (nutzbare Feldkapazität nFK) im durchwurzelteten Bodenraum berechnet und der relative Anteil an der nFK bestimmt.

Verlauf des jährlichen Stammumfangzuwachses der Buche in Zierenberg für die Jahre 2012 bis 2015 in mm

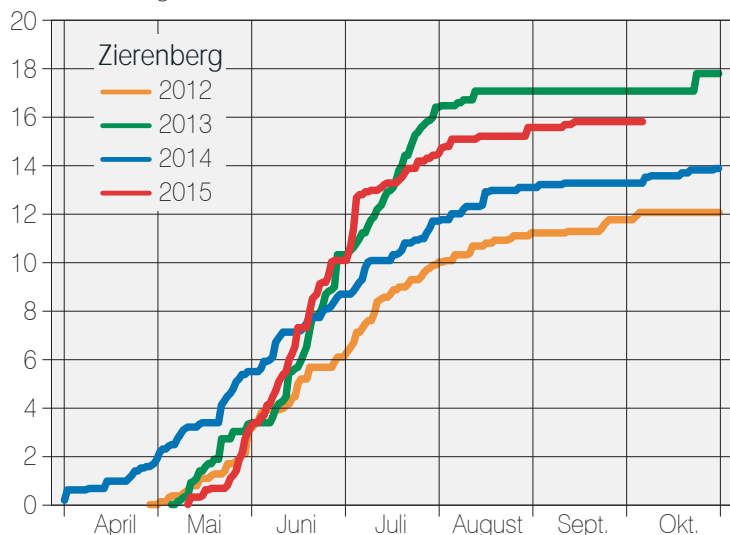
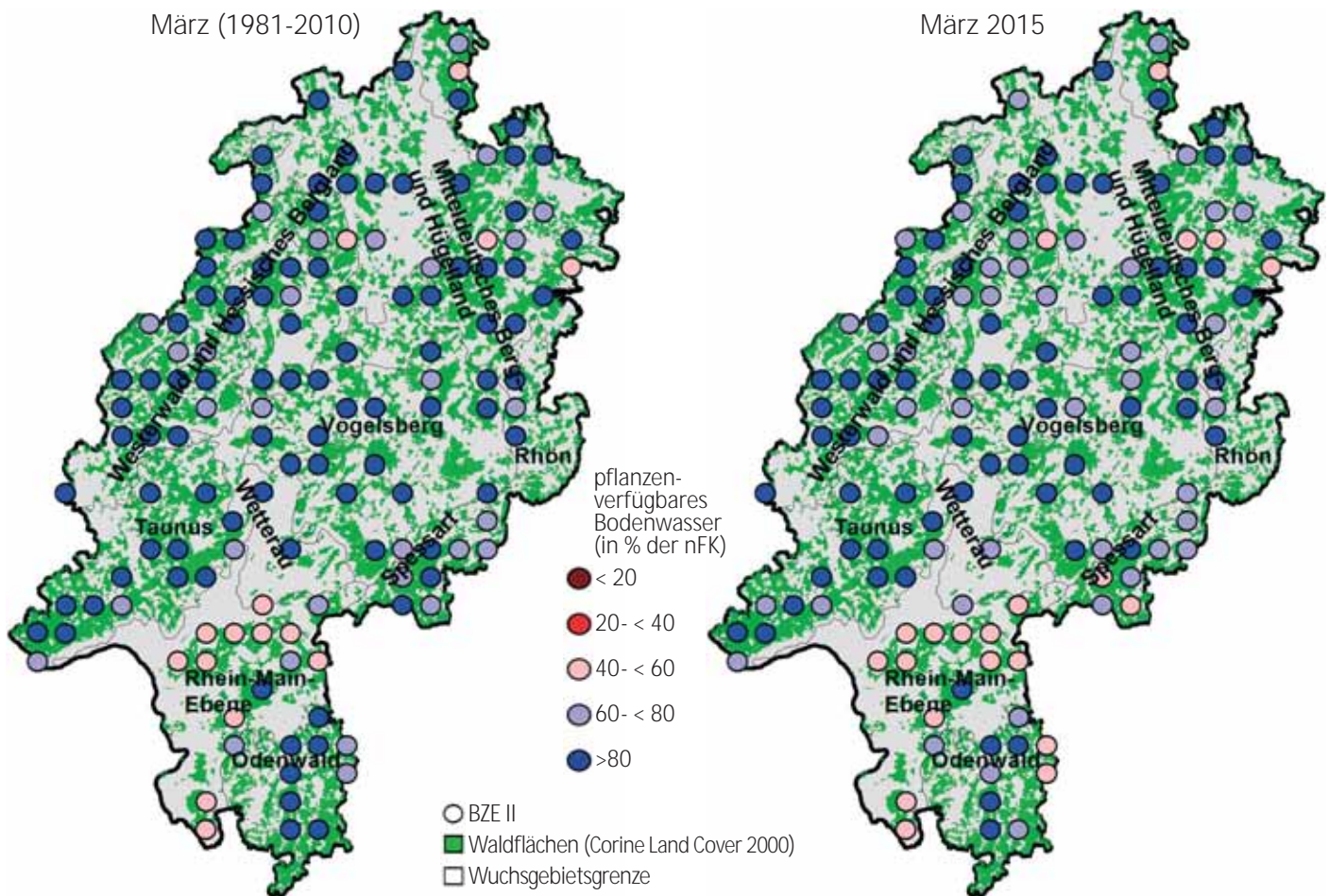


Foto: J. Weymar

# Auswirkungen der Frühjahrstrockenheit auf Bodenwasserhaushalt und Baumwachstum

Simuliertes pflanzenverfügbares Bodenwasser in Prozent der nutzbaren Feldkapazität (nFK) im durchwurzelten Bodenraum auf den BZE II-Punkten; Mittelwert für den Monat März (Periode 1981-2010), März 2015



Die Simulation des Bodenwasserhaushalts ergab, dass die Böden im März die höchsten Bodenwassergehalte aufwiesen. Im langjährigen Mittel der Periode 1981 bis 2010 betrug der relative Anteil des pflanzenverfügbaren Bodenwassers (nFK) über alle BZE II-Standorte 85 %. Dabei sind auf vielen Standorten im Hessischen Bergland die Böden zu Beginn der Vegetationsperiode annähernd mit Wasser gesättigt, während in der Rhein-Main-Ebene im langjährigen Mittel nur 70 % der nFK für die Verdunstung zur Verfügung steht (s. Abbildung oben). Auf vielen BZE II-Plots in der Rhein-Main-Ebene liegt der nFK-Anteil im Mittel sogar unter 60 %. Dies betrifft vornehmlich Sandböden, die eine geringe Wasserhaltefähigkeit aufweisen. Im März 2015 lag der Anteil an pflanzenverfügbarem Bodenwasser mit 82 % (über alle BZE II-Punkte) nur geringfügig unter den langjährigen Mittelwerten. Auch in der Rhein-Main-Ebene entsprach der relative Anteil der nFK mit 66 % annähernd dem Mittelwert für den Monat März der Periode 1981 bis 2010.

Mit Beginn der Vegetationsperiode im April/Mai nahmen die Bodenwassergehalte auf den untersuchten Flächen kontinuierlich ab. Der Höhepunkt der Trockenperiode wurde landesweit dann Ende Juni/Anfang Juli 2015 erreicht. Über alle BZE II-Punkte gemittelt betrug die relative nFK nur 50 % und lag damit signifikant unter den langjährigen Mittelwerten von 70 %. Vergleichbare Bodenwassergehalte werden in „normalen“ Jahren erst im August erreicht. Die Standorte in der Rhein-Main-Ebene verfügten im Mittel sogar nur über 41 % des pflanzenverfügbaren Bodenwassers, wobei auf einigen Flächen um oder sogar unter 20 % nFK ermittelt wurden, so

dass den Pflanzen kaum noch Wasser für die Verdunstung zur Verfügung stand. Auch in den übrigen Wuchsregionen Hessens betrug der Anteil an pflanzenverfügbarem Bodenwasser weniger als 60 % (über 70 % aller Standorte) bzw. weniger als 40 % nFK auf rund 35 % aller Standorte. Während in den meisten Regionen Mittel- und Nordhessens ab Juli infolge vermehrter Niederschläge die Trockenheit abgemildert wurde, verschärfte sich in Südhessen das Niederschlagsdefizit weiter. Im August sank der Anteil der nFK in der Rhein-Main-Ebene auf 28 % (langjähriges Mittel 42 %). Die diesjährige Trockenperiode stellt für Südhessen ein extrem seltenes



Foto: H. Heinemann

## Auswirkungen der Frühjahrstrockenheit auf Bodenwasserhaushalt und Baumwachstum

Ereignis dar und kann aufgrund der Schäden in Land- und Forstwirtschaft als Dürreperiode bezeichnet werden. Die Trockenheit im Frühjahr und Sommer 2015 stellt ein außergewöhnliches Witterungsereignis dar. Dabei begann die Trockenperiode bereits im Herbst 2014 und dauerte mit kurzen Unterbrechungen landesweit bis Ende Juni/Anfang Juli 2015 über mehr als ein halbes Jahr an. Im Rhein-Main-Gebiet wurden sogar erst im August wieder flächendeckend nennenswerte Niederschläge gemessen, die die extreme Trockenheit beendeten. Aufgrund der überdurchschnittlich hohen Niederschläge im Januar 2015 wiesen zu Beginn der Vegetationsperiode die Böden jedoch noch Bodenwassergehalte auf, die nur geringfügig unter den langjährigen Mittelwerten lagen. Folglich zeigte die Buche in Mittel- und Nordhessen keine Vitalitäts- und Zuwachseinbußen. Die Austrocknung der Böden schritt im Frühjahr 2015 infolge fehlender Niederschläge außergewöhnlich schnell voran und erreichte Ende Juni/Anfang Juli 2015 landesweit ihren Höhepunkt. In Südhessen (insbesondere in der Rhein-Main-Ebene) dauerte die extreme Trockenheit dagegen bis Ende August an und führte dazu, dass auf vielen Standorten den gesamten Sommer über nur geringe Bodenwasservorräte zur Verfügung standen. Nur während einzelner Niederschlagsereignisse wurde die extreme Trockenheit kurzfristig und regional begrenzt gelindert. Trockenheitsschäden wurden bei Jungbeständen beobachtet. Zuwachseinbußen sind wahrscheinlich, wurden aber nicht dokumentiert. Ob es auch zu langfristigen Schäden in den Wäldern Hessens gekommen ist, können aber erst die nächsten Jahre zeigen.

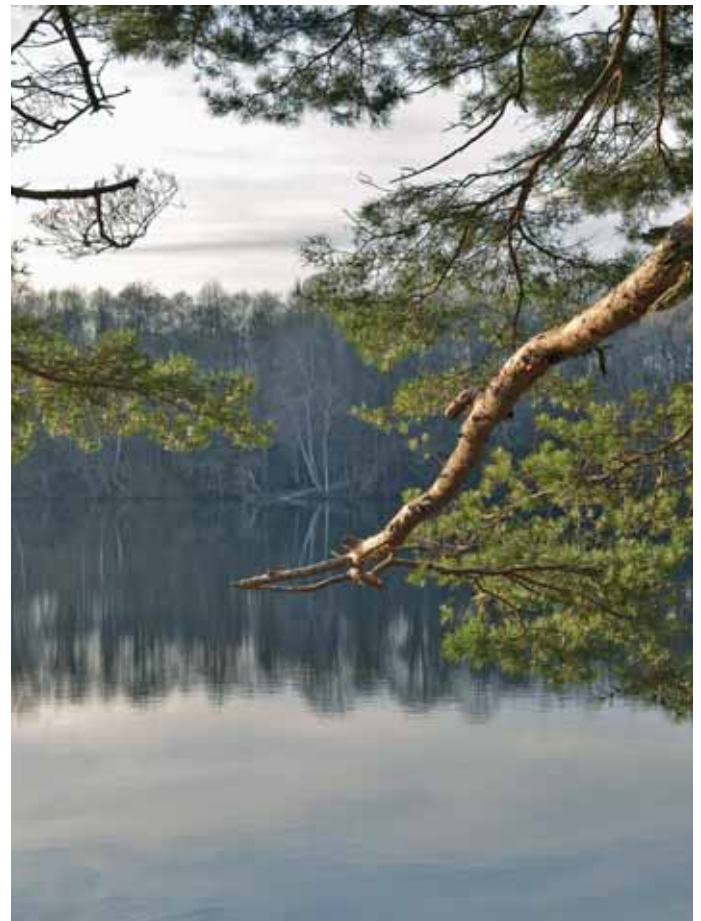
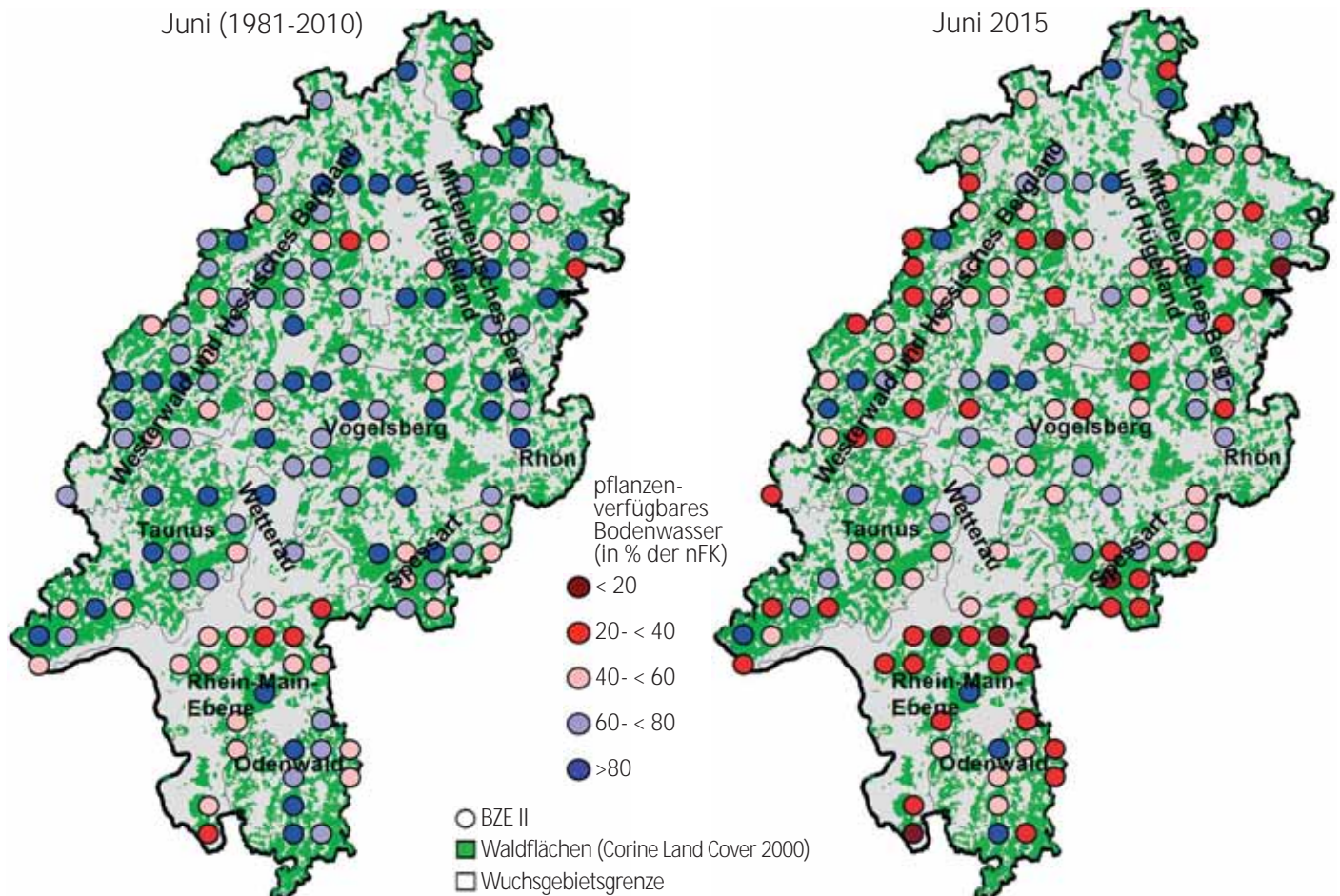


Foto: J. Evers

Simuliertes pflanzenverfügbares Bodenwasser in Prozent der nutzbaren Feldkapazität (nFK) im durchwurzelten Bodenraum auf den BZE II-Punkten; Mittelwert für den Monat Juni (Periode 1981-2010), Juni 2015



# Trockenstressrisiko der Buche in Hessen

## Entwicklung der Häufigkeit und Intensität von Risikojahren bis 2100

Der Rotbuche kommt als häufigster Baumart in Hessen sowohl unter ökonomischen wie auch ökologischen Gesichtspunkten besondere Bedeutung zu. Ihre Verbreitung wird insbesondere durch die standörtliche Wasserverfügbarkeit begrenzt. Die im Zuge des Klimawandels prognostizierte Verknappung des Wasserangebots war daher Anlass für eine umfassende Untersuchung der Entwicklung des zukünftigen Trockenstressrisikos hessischer Buchenwälder (NW-FVA 2015). Verringerte Zuwächse der Buche dienen dabei als Indikator für das Auftreten und die Intensität von Trockenstress. Gefördert wurden diese Untersuchungen durch das Fachzentrum Klimawandel Hessen des Hessischen Landesamtes für Umwelt und Geologie im Rahmen des Forschungsverbundes INKLIM A. Wichtige Ziele des Forschungsvorhabens waren die Ableitung kritischer Grenzwerte für klimatisch-hydrologische Indikatoren des Trockenstressrisikos sowie die Abschätzung der zukünftigen Entwicklung klimabedingter Risiken für das Wachstum der Buchenbestände in Hessen. Ein statistisches Modell, welches die Zuwachsvariabilität der Buche mittels einer Kombination ausgewählter Wasserhaushaltsgrößen simuliert (NW-FVA 2015), lieferte die hierfür erforderliche Datenbasis. Die Zuwachsvariabilität wurde dabei definiert als relative Abweichung der Jahrringbreite von einem gleitenden sechsjährigen Mittelwert (JRBabw).



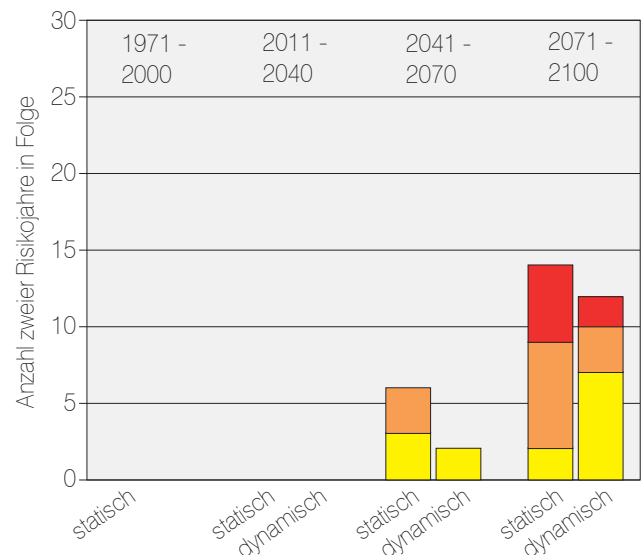
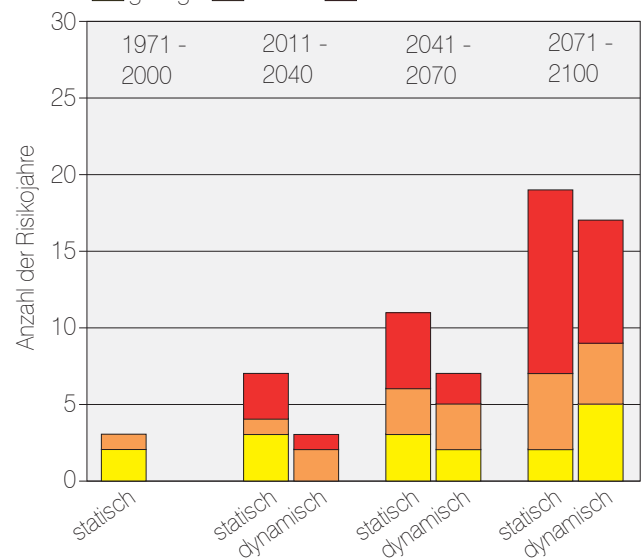
Foto: J. Evers

Um flächenrepräsentative Aussagen zu den Auswirkungen extremer Trockenheit auf das Wachstum der Buche zu erhalten und Schwellenwerte für eine Risikoklassifikation von Trockenstress ableiten zu können, wurden das zur Beschreibung der Zuwachsvariabilität dienende Modell sowie einzelne daraus abgeleitete klimatisch-hydrologische Trockenstressindikatoren für die Jahre 1933 bis 2012 auf die überwiegend mit Buche bestandenen Standorte des hessischen BZE II-Rasters angewendet. Da die trockenheitsbedingten Zuwachseinbußen in der Vergangenheit sehr häufig mit zeitlicher Verzögerung auftraten, empfahl sich für die Definition von Risikostufen insbesondere die Verwendung des auf die Vegetationsperiode des Vorjahres bezogenen

Median der JRBabw (%)	SWB <sub>-1</sub> (mm)	Trockenstressrisikostufe
-5	-100 bis -169	gering
-15	< -169 bis -259	mittel
-30	< -259	hoch

Trockenstressrisikostufen nach SWB<sub>-1</sub>)

gering mittel hoch



statisch: ohne Bestandesentwicklung (Zustand von 2010)  
dynamisch: mit Bestandesentwicklung (inkl. forstl. Nutzung)

# Trockenstressrisiko der Buche in Hessen

Indikator der Standortwasserbilanz (Grier & Running 1977, SWB<sub>-1</sub>, Differenz aus der Summe von Niederschlag und potenziell pflanzenverfügbarem Bodenwasservorrat und der potenziellen Verdunstung der Buchenbestände).

Die Festlegung von Schwellenwerten für die Risikostufen orientierte sich an der Größenordnung der JRBabw. Bei einem hohen Risiko vermindert sich der Zuwachs durchschnittlich um 30 %, bei einem mittleren Risiko um 15 % und bei einem geringen Risiko um 5 %. Für die SWB<sub>-1</sub> resultiert danach bei weniger als -259 mm ein hohes Risiko, bei < -169 bis -259 mm ein mittleres Risiko und bei < -100 bis -169 mm ein geringes Risiko, während bei geringen Defiziten kein Risiko besteht.

Um eine Vorstellung von der zukünftigen Entwicklung des Trockenstressrisikos zu erhalten, wurde unter Verwendung des Klimamodells CCLM/ECHAM5 (Szenario A1B) die Anzahl und Intensität der sich aus der SWB<sub>-1</sub> ergebenden Trockenstressrisikojahre für vier verschiedene 30-Jahre-Perioden ermittelt. Neben der Vergangenheit (1971-2000) wurden die drei zukünftigen Perioden 2011-2040, 2041-2070 und 2071-2100 betrachtet. Die in den Säulendiagrammen auf Seite 22 dargestellten Werte gelten für durchschnittliche Standortverhältnisse (beruhend auf Medianwerten der BZE II-Standorte), hydrologische Extremstandorte weisen im Einzelfall eine deutlich niedrigere oder höhere Anzahl an Risikojahren auf. Unterschieden wurde bei der Auswertung zwischen einer statischen und einer dynamischen Bestandesentwicklung. Bei der statischen Variante wurde über alle Zeiträume hinweg der Bestandeszustand von 2010 verwendet, um gezielt die Auswirkung der durch das Klimamodell projizierten Klimaänderung erfassen zu können. Um jedoch ein realistischeres Bild der Trockenstressentwicklung für die Buchenwälder zu erhalten, wurde bei der dynamischen Variante sowohl das Bestandeswachstum als auch die an der hessischen Waldbaufibel orientierte forstwirtschaftliche Nutzung der Bestände berücksichtigt.

Bedingt durch den Klimawandel muss bei der statischen Variante bis 2100 mit einer deutlichen Zunahme des Trockenstressrisikos gerechnet werden und die Anzahl der Risikojahre wird von drei auf 19 ansteigen (s. Abbildung Seite 22, Mitte). Zwischen den Perioden 2041-2070 und 2071-2100 verläuft diese Entwicklung besonders rasant mit einem Anstieg der Anzahl der Risikojahre von 11 auf 19. Gleichzeitig verstärkt sich auch die Intensität des Risikos sehr deutlich. Tritt die Trockenstressrisikostufe „hoch“ 1971-2000 nicht auf, wird sie 2071-2100 zur häufigsten Risikostufe. Allein diese Risikostufe würde dann über einen Zeitraum von 30 Jahren gesehen in 12 Jahren erreicht werden.

Für die dynamische Bestandesvariante zeichnet sich hinsichtlich des Trends ein vergleichbares Bild ab, allerdings nimmt das Risiko bis 2100 sowohl hinsichtlich der Anzahl der erwarteten Risikojahre (17) als auch hinsichtlich deren Intensität (8 Jahre mit hohem Risiko) weniger deutlich zu. Eine durch die forstliche Nutzung bedingte Verkürzung der Lebensdauer dichter, wasserbedarfsintensiver Altbestandsphasen sowie eine kontinuierliche Dichterreduktion auf dem Weg der Durchforstungen tragen hier zu einem verminderten Trockenstressrisiko bei.

Mit der Erhöhung der Anzahl der Trockenstressrisikojahre steigt auch die Wahrscheinlichkeit des Auftretens mehrerer Risikojahre in Folge. Diese Entwicklung ist besonders kritisch zu bewerten, da bei einer über mehrere Jahre andauernden Trockenstresssituation mit einer erhöhten Absterberate der Buche gerechnet werden muss (Bigler et al. 2006, Eichhorn et al. 2008). Während zwei aufeinanderfolgende Risikojahre bis 2040 noch als unbekanntes Phänomen angesehen werden können, steigt nachfolgend ihre Anzahl spürbar an und es muss 2071-2100 bereits mit dem Auftreten von 14 (statisch) bzw. 12 (dynamisch) solcher Doppel-Risikojahre gerechnet werden (s. Abbildung Seite 22 unten).



# Insekten und Pilze

## Borkenkäfer

Nach einer meist entspannten Gefährdungslage zum Ausklang des Winters 2014/2015 wurde trotz der für die Fichten-Borkenkäfer günstigen Frühjahrswitterung eine eher verzögerte Brutentwicklung in den Brutbildern und damit ein oftmals verzögerter Ausflug der Jungkäfer beobachtet. In weiten Teilen erhöhten allerdings Einzel- bis Gruppenwürfe als Folge von Sturmereignissen sowie Niederschlagsdefizite mit Trockenstress und verschiedentlich auch Hallimaschbefall die Prädisposition der Fichte. Aufgrund der günstigen Sommertemperaturen hatte der Buchdrucker in der zweiten Generation noch die Möglichkeit, lokal erhöhte Dichten aufzubauen. Zu landesweit größeren Befallsflächen und Schadholzmengen kam es bislang nicht.

## Waldmaikäfer

Im Raum Hanau-Wolfgang fand von Anfang Juli bis Mitte August 2015 erstmalig eine Wiederholungsgrabung nach Maikäfer-Entwicklungsstadien auf einem systematischen Raster statt. Diese Maßnahme ist Bestandteil des langjährigen Monitoringprogramms zum Waldmaikäfer in Südhessen. Im Frühjahr 2016 ist das nächste Hauptflugjahr der Maikäfer im Raum Hanau-Wolfgang.



Maikäfergrabungen im Forstamt Hanau-Wolfgang im Sommer 2015.  
Foto: NW-FVA, Abteilung Waldschutz



Maikäferpuppe

Foto: NW-FVA, Abteilung Waldschutz

## Eichenfraßgesellschaft

In den vergangenen drei Jahren hatten die Populationsdichten des Kleinen und des Großen Frostspanners rückläufige Tendenzen. Die Ergebnisse der Frostspannerüberwachung mit Leimringen aus dem Herbst/Winter vergangenen Jahres und das Fraßgeschehen in Eichenbeständen aus dem Jahr 2015 belegen, dass sich die Frostspannerpopulationen weiterhin in der Latenz befinden. Nur aus Südhessen wurden lokale Licht- bis Kahlfraßereignisse durch die Eichenfraßgesellschaft inklusive Eichenprozessionsspinner gemeldet und auch auf Beobachtungsflächen der NW-FVA festgestellt. Die Überwachung des Falterfluges des Schwammspinners mit Pheromonfallen ergab keine erhöhten Falterfänge; die Population befindet sich weiterhin in der Latenz.

## Buchenkomplexerkrankung / Buchenrindennekrose

Die Buchenkomplexerkrankung, die bisher nur lokal begrenzt auftritt, hat sich in den letzten Jahren in den betroffenen Gebieten weiter ausgeweitet. Die Erkrankung wird abgeschwächt im Waldeckischen Upland (Nordhessen) beobachtet. Darüber hinaus gibt es Hinweise auf die Erkrankung aus dem Raum Wehretal und aus der Rhön. Sie wird durch ein Zusammenspiel von Buchenwollschildläusen, Nectria-Rindenpilzen und im Holz brütenden Nutzholzborkenkäfern ausgelöst. Die an der Rinde saugenden Schildläuse bilden den ersten Schritt in der Erkrankungskette. Über die Saugstellen infizieren sich die Buchen mit Nectria-Pilzen, die Rindennekrosen hervorrufen. An diesen Rindenschadstellen dringen Nutzholzborkenkäfer



Buchenkomplexerkrankung, fortgeschrittenes Stadium mit geschädigten Rindenpartien und Weißfäule durch Zunderschwamm in mehreren Metern Höhe bei noch grüner Krone.  
Foto: NW-FVA, Abteilung Waldschutz



# Insekten und Pilze

(z. B. *Trypodendron domesticum*) in das Holz ein. Weißfäule entwickelt sich im Holz unter den Schadstellen. Fruchtkörper am Stamm, z. B. vom Zunderschwamm, zeigen, dass eine Buche erkrankt ist. Danach kann der Baum in fünf bis acht Metern Höhe an den weißfaulen Schadstellen abbrechen, obwohl die Krone noch grüne Blätter trägt. Die Schäden sind in den Waldgebieten ab 400 Meter Höhenlage besonders stark ausgeprägt.

## Buchenvitalitätsschwäche

Im Verlauf des Sommers wurden örtlich schlechte Vitalitätszustände bis hin zu Absterberscheinungen in älteren, aufgelichteten Buchenbeständen Mittelhessens festgestellt, in denen schon seit längerer Zeit die so genannte „Buchenvitalitätsschwäche“ beobachtet wird. Besonders auf flachgründigen und/oder wechselfeuchten Böden kam es infolge der letzt- und diesjährigen Niederschlagsdefizite und der teilweise extremen Sommerhitze zu einem merklichen Schadensfortschritt bei den betroffenen Buchen. Die signifikante Schwächung der Buchen war zu erkennen an schütterer Belaubung, Kleinblättrigkeit, vorzeitigem Blattabfall sowie einem Verlust an Feinreisig in der Oberkrone, Totastbildung und Zoptrocknis.

## Eschentriebsterben (ETS)

Für das Eschentriebsterben (Erreger: *Hymenoscyphus fraxineus*/*Chalara fraxinea*) wurde in vielen Regionen eine Verstärkung der Schäden beobachtet (z. B. im Vogelsberg). Die Schädigungen durch ETS sind mittlerweile auf großer Fläche präsent und führten örtlich bereits zur Auflösung von Bestandteilen und zum Absterben von Eschenaufforstungen.



Eschentriebsterben

Foto: NW-FVA, Abteilung Waldschutz



Eschentriebsterben

Foto: NW-FVA, Abteilung Waldschutz

Auch in Eschenverjüngungen sind die Infektions- und Absterberaten hoch:

Bei Untersuchungen in Eschen-Naturverjüngungen (Wuchshöhen ab ca. 30-50 cm) wurden von 2013 bis 2015 deutlich ansteigende Infektionsraten festgestellt (auf einer hessischen Beobachtungsfläche: 36 % im Jahr 2013, 55 % in 2014, 71 % in 2015). Die Absterberaten der untersuchten Eschen stiegen auf diesen Beobachtungsflächen in Hessen von 6 % (2013) über 14 % (2014) auf 38 % (2015).

Stammfußnekrosen können an befallenen Eschen zum Schadbild gehören. Sie werden im Jungwuchs, bei Baumhölzern und bei Alteschen beobachtet. Nicht alle vom ETS betroffenen Eschen weisen jedoch diesen Symptomkomplex, der durch *H. fraxineus* selbst oder durch andere Schaderreger wie z. B. Hallimasch ausgelöst wird, auf. Das Auftreten von Eschenbastkäfern im Zuge stärkerer ETS-Schäden wird weiterhin als sekundär gewertet, ein Primärbefall dieser Käferarten an gesunden Eschen ist bisher nicht bekannt.

## Wurzelschwamm

Der Wurzelschwamm wurde als maßgeblicher Schadfaktor bei Bereisungen und Untersuchungen bestätigt. Betroffen waren neben der Kiefer u. a. Aufforstungen und Jungwüchse der Douglasie. Örtlich bereitet der Wurzelschwamm weiterhin größere Probleme an vorangebauten Douglasien und Roteichen in mit Wurzelschwamm durchseuchten Kiefernaltbeständen.

# Forstliches Umweltmonitoring

## 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. Es 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.

## 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 Experimentalfächen unterschieden.

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



Stammablaufmessanlage auf der Level II-Fläche Solling, Buche  
Foto: H. Heinemann

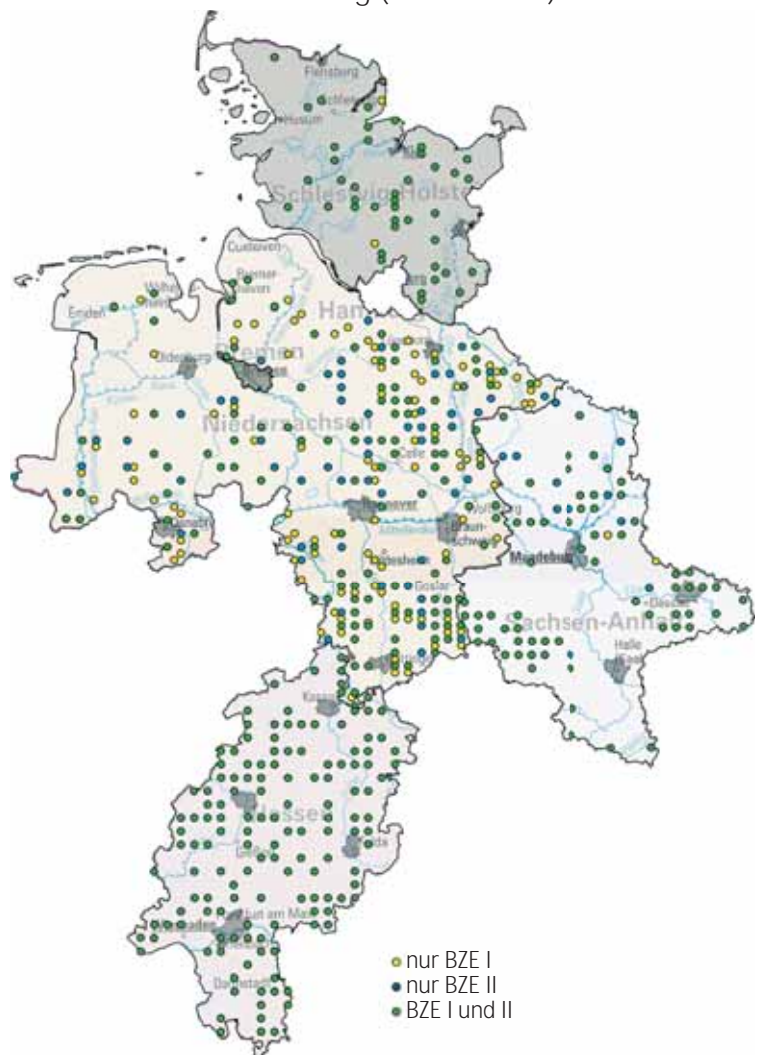
- Level I (Übersichtserhebungen)
- BDF (Bodendauerbeobachtungsprogramm)
- Level II (ICP Forests Intensive Monitoring Plots)
- Level II Core (Level II mit intensivierten Erhebungen)
- WÖSSH (Waldökosystemstudie Hessen)
- Experimentalfächen; dazu zählen:  
Forsthydrologische Forschungsgebiete, Flächen zur Bodenschutzkalkung und zur Nährstoffergänzung sowie zur wasser- und stoffhaushaltsbezogenen Bewertung von Nutzungsalternativen.

An den Level I-Plots werden folgende Erhebungen durchgeführt:

- Kronen- und Baumzustand, abiotische und biotische Faktoren (auf allen Stichprobenpunkten der Waldzustandserhebung (WZE) und der Bodenzustandserhebung (BZE)). Auf den BZE-Punkten werden zusätzlich Baumwachstum, Nadel-/Blatternahrung, Bodenvegetation und der morphologische, physikalische und chemische Bodenzustand untersucht. Auf dem BZE-Netz erfolgt zusätzlich in einer fünften Traktecke eine Erhebung von Daten entsprechend dem Verfahren der Bundeswaldinventur.

Auf Bodendauerbeobachtungsflächen (BDF) werden langfristig standorts-, belastungs- und nutzungsspezifische Einflüsse auf Waldböden erfasst. BDF dienen als Eichstelle und der Vorsorge für rechtzeitige Maßnahmen zum Schutz von Böden in ihrer Substanz und ihren Funktionen. Das BDF-

## Übersichtserhebung (Level I - BZE)



# Forstliches Umweltmonitoring

Programm umfasst für forstlich genutzte Flächen folgende Erhebungen (Höper und Meesenburg 2012):

- Chemischer und physikalischer Bodenzustand, Nadel-/Blatternahrung, Baumwachstum, Bodenvegetation, Kronen- und Baumzustand, abiotische und biotische Faktoren.

Auf Intensiv-BDF werden zusätzlich Erhebungen zum Wasser- und Stoffhaushalt von Waldböden durchgeführt:

- Deposition, Bodenlösung, Streufall, Meteorologie und Bodenhydrologie.

Auf den Flächen der Waldökosystemstudie Hessen werden auf repräsentativen Standorten Waldökosystemzustände und -prozesse beobachtet, um Veränderungen von Waldfunktionen durch Umwelteinflüsse festzustellen. Die Erhebungen auf WÖSSH-Flächen beinhalten folgende Indikatoren:

- Deposition, Bodenlösung, Nadel-/Blatternahrung, Baumwachstum, Kronen- und Baumzustand, abiotische und biotische Faktoren, chemischer und physikalischer Bodenzustand sowie Bodenvegetation.

Das Monitoring auf Level II-Flächen (Standard) umfasst nach der Modifizierung im Rahmen der ICP Forests Manual revision 2010 folgende Erhebungen:

- Kronen- und Baumzustand, abiotische und biotische Faktoren, Baumwachstum, Nadel-/Blatternahrung, Bodenvegetation, Deposition, Bodenzustand.

Level II Core-Flächen sind eine Unterstichprobe der Level II-Flächen. Sie haben die Zielsetzung einer möglichst umfassenden Beobachtung. Neben den Erhebungen auf Level II-Standardflächen sind hier folgende Erhebungen verpflichtend durchzuführen (ICP Forests 2010):

- Streufall, Baumphänologie, Baumwachstum (intensiviert), Bodenlösung, Bodenfeuchte, Luftqualität, Meteorologie.

Die im Forstlichen Umweltmonitoring verwendeten Instrumente der Ökosystemüberwachung stehen europaweit harmonisiert nach den Grundsätzen des ICP Forests (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.

Das Untersuchungsdesign der forstlichen Umweltkontrolle für die Bereiche Level I, intensives forstliches Umweltmonitoring und Experimentalfächen für die Länder Hessen, Niedersachsen, Bremen, Sachsen-Anhalt und Schleswig-Holstein zeigen die Abbildungen unten.

In Hessen umfasst das Level I-Netz 139 Inventurpunkte, das intensive Forstliche Umweltmonitoring 11 Monitoringflächen und 27 Experimentalfächen. Das hessische Bodendauerbeobachtungsprogramm fällt in die Zuständigkeit des HLUG (Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie). Die hessischen Bodendauerbeobachtungsflächen sind daher nicht in der Abbildung unten dargestellt.

Intensives Monitoring



Experimentalfächen



# Forstliches Umweltmonitoring

## Neue rechtliche Grundlage für das Forstliche Umweltmonitoring in Deutschland (ForUm)

Die grundlegenden Verfahren des Forstlichen Umweltmonitorings wurden durch eine Anpassung des Bundeswaldgesetzes gefestigt. Der § 41a stellt erstmalig eine rechtliche Grundlage zur Durchführung von Walderhebungen in Deutschland dar. Gestützt darauf, trat zu Beginn des Jahres 2014 eine Rechtsverordnung zum Forstlichen Umweltmonitoring in Kraft und stellt die kontinuierliche Arbeit im Rahmen des Forstlichen Umweltmonitorings sicher.

Angefangen hat das Forstliche Umweltmonitoring aber schon viel früher im Solling in Niedersachsen. Die Waldentwicklung Ende der 1960er Jahre stand im Zeichen hoher Säure- und Schwefeleinträge sowie entsprechender Schädigungsmuster betroffener Wälder. Sichtbare Veränderungen der Wälder waren für Wissenschaftler, aber auch für Förster und für die Öffentlichkeit erkennbar. Als Geburtsstunde des Forstlichen Umweltmonitorings in Deutschland können Untersuchungen von Prof. Dr. Bernhard Ulrich (Universität Göttingen) bezeichnet werden, die Ende der 60er Jahre begannen. Ulrich untersuchte im Solling in Fichten- und Buchenwäldern den Eintrag an Luftschadstoffen und den Austrag an Nährstoffen mit dem Sickerwasser. Mit dem Durchgang durch das Waldökosystem verändert sich die chemische Zusammensetzung des Niederschlags. Aus dem Maß der Veränderung konnte auf einen weitreichenden Säureeintrag in die Wälder geschlossen werden. Mitte der 70er Jahre erreichten die Einträge an Säure, Schwefel und Stickstoff Höchstwerte. Anfang der 80er Jahre wurden die sichtbaren Veränderungen der Wälder immer deutlicher und das Monitoring durch die Waldzustandserhebung erweitert. Die mit Messungen nachweisbare und mit dem Auge an den Waldbäumen sichtbare Wahrnehmung veränderter Umweltbedingungen führte zu einem starken Interesse der Medien und zu politischen Entscheidungen.

Daten des nun entwickelten Forstlichen Umweltmonitorings hatten Einfluss darauf, dass nationale wie internationale umweltpolitische Maßnahmen den Eintrag von Schwefel in die

Wälder wirksam zu reduzieren vermochten. Die Waldbewirtschaftung zog mit. Die Anpassungsfähigkeit der Wälder wurde durch mehr Mischwälder und durch eine Schutzkalkung für Waldböden gesteigert. Mit der Zeit traten allerdings durch unverändert hohe Stickstoffeinträge und den Klimawandel neue Herausforderungen auf.

Auch weitete sich das räumliche Verständnis der Wirkungen von Luftverunreinigungen auf die Wälder aus. Bereits 1979 schuf die Genfer Luftreinhaltekonvention die Grundlage für europaweite umweltpolitische Maßnahmen und für weitere Untersuchungen der Wälder. Ein wesentlicher Erfolg dieser Arbeit sind regelmäßig dem Wissensstand angepasste Handbücher („ICP Forests manual“), die staatenübergreifend genaue Vorgaben für zu verwendende Methoden im Umweltmonitoring leisten.

An diesen Beispielen wird deutlich, dass das forstliche Umweltmonitoring verpflichtet ist, bestehende Kern-Zeitreihen weiterzuführen, sich andererseits flexibel und zukunftsgerichtet auf neue Themen einstellen muss.

Im Bundeswaldgesetz ist geregelt, dass das Forstliche Umweltmonitoring eine gemeinschaftliche Leistung von Bund und Ländern ist. Das nun gesetzlich verankerte Forstliche Umweltmonitoring nutzt die methodische Grundlage des ICP Forests und passt sie an die Gegebenheiten bei uns an. Gegenwärtig wird in einer vom Bundeslandwirtschaftsministerium (BMEL) geleiteten Arbeitsgruppe aus Bund und Ländern das Durchführungskonzept des Forstlichen Umweltmonitorings erarbeitet. An dieses schließen sich die so genannten Leitfäden an, die konkrete Handlungsanweisungen für die zu erhebenden Merkmale definieren.

## 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 Erhebungspunkt Stichprobenbäume begutachtet. In einsehbaren Beständen sind Kreuztrakte mit markierten Stichprobenbäumen angelegt. In dichten, nicht einsehbaren Beständen werden in Quadrattrakten Stichprobenbäume ausgewählt.

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 2015 auf der Basis von 131 Punkten, für die Rhein-Main-Ebene wurden insgesamt 49 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 aus Seite 29 die 95 %-Konfidenzintervalle für die Baumarten und Altersgruppen der WZE-Stichprobe 2015. 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 Auswer-



Foto: R. Steffens

# Forstliches Umweltmonitoring

teeinheit 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. Mit dem 8 km x 8 km-Raster werden – mit Abstrichen bei der jüngeren Buche, Eiche und Kiefer, den anderen Laubbäumen (alle Alter, über 60 Jahre) und den anderen Nadelbäumen (über 60 Jahre) – für die Baumartengruppen belastbare Ergebnisse für die Kronenverlichtungswerte erzielt.

## Aufnahmeparameter

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

*95 %-Konfidenzintervalle für die Kronenverlichtung der Baumartengruppen und Altersstufen der Waldzustandserhebung 2015 in Hessen. Das 95 %-Konfidenzintervall (= Vertrauensbereich) gibt den Bereich an, in dem der wahre Mittelwert mit einer Wahrscheinlichkeit von 95 % liegt.*

Baumarten- gruppe	Altersgruppe	Anzahl Bäume	Anzahl Plots	Raster	95%-Konfidenz- intervall (+/-)
Buche	alle Alter	1113	92	8x8 km	3,0
	bis 60 Jahre	108	17	8x8 km	6,0
	über 60 Jahre	1005	76	8x8 km	2,8
Eiche	alle Alter	322	55	8x8 km	2,9
	bis 60 Jahre	44	10	8x8 km	14,1
	über 60 Jahre	278	46	8x8 km	2,9
Fichte	alle Alter	626	57	8x8 km	4,1
	bis 60 Jahre	280	23	8x8 km	1,7
	über 60 Jahre	346	35	8x8 km	4,0
Kiefer	alle Alter	584	49	8x8 km	2,2
	bis 60 Jahre	26	6	8x8 km	11,7
	über 60 Jahre	558	43	8x8 km	2,2
andere Laubbäume	alle Alter	275	40	8x8 km	5,5
	bis 60 Jahre	163	21	8x8 km	3,7
	über 60 Jahre	112	22	8x8 km	8,9
andere Nadelbäume	alle Alter	224	39	8x8 km	4,5
	bis 60 Jahre	127	22	8x8 km	3,3
	über 60 Jahre	97	19	8x8 km	5,4
alle Baumarten	alle Alter	3144	131	8x8 km	1,9
	bis 60 Jahre	748	40	8x8 km	2,4
	über 60 Jahre	2396	103	8x8 km	1,7

## 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.

## Durchführungsoptimierung und Qualitätssicherung durch spezifische Datenbankapplikation

Die datentechnische Verarbeitung der jährlichen Waldzustands-Aufnahmen wird an der NW-FVA in allen Teil-Arbeitsschritten seit über 10 Jahren durch eine spezifische Datenbank-Anwendung gesteuert. Die Gesamt-Datenbestände der vier Partnerländer liegen seit dem jeweiligen Messbeginn zeitübergreifend einheitlich und vollständig in dieser auf der Datenbank ECO basierenden Umgebung vor. Im Vordergrund stehen dabei

- die lückenlose, fehlerfreie und harmonisierte Erfassung aller Einzelinformationen und
- deren zeitübergreifende Verfügbarkeit einschließlich der Dokumentation methodischer Modifikationen.



Foto: J. Evers

# Forstliches Umweltmonitoring

Dazu wurden die erforderlichen Verfahrensschritte und Prüfroutinen in einer Endbenutzer-Applikation implementiert, mit der auch Standard-Auswertungen und -Datenexporte automatisiert durchgeführt werden können.

Das Datenmanagement unterstützt dabei folgende Bereiche:

## ■ Arbeitsorganisation

Grundsätzlich besteht eine rechteabhängige Zugriffssteuerung, d. h. der Personenkreis, der bestimmte Teilarbeiten im WZE-Kontext durchführen kann, wird auf entsprechend geschultes Personal eingeschränkt.

Es lässt sich jederzeit ein Überblick über bereits durchgeführte und noch ausstehende Arbeitsschritte generieren.

## ■ Erstellen flächenspezifischer Erfassungsformulare

Die Erhebungen erfolgen auf jahresaktuell automatisiert generierten Feldbelegen, die wichtige Vorab-Informationen enthalten und die Teams bei der Auffindung der Versuchsflächen und der Identifizierung der WZE-Bäume unterstützen. Pflichteinträge sind baumartenspezifisch hervorgehoben. Nicht in Frage kommende Angaben werden baumartenspezifisch gestrichen. Auf Sondersituationen wie z. B. die abweichende Lage von Satelliten wird hingewiesen.

## ■ Datenerfassung

Nach Abschluss der Felderhebungen werden zunächst etwaige strukturelle Veränderungen auf den Versuchsflächen in die Datenbank übernommen. Dies umfasst die Ersatzbaumthematik, etwaige methodische Änderungen wie Traktwechsel, oder Änderungen des Flächen-Status (z. B. ruhend, temporär stillgelegt, endgültig ausgeschieden). Im Anschluss erfolgt die Eingabe der eigentlichen Erhebungsdaten. Diese unterliegt einer mehrstufigen Prüfung auf Vollständigkeit, zulässige Parameterwerte und korrekten Baumartenbezug. Weiterhin werden Interparameter-Abgleiche (z. B. Absterbegrund vs. Kronenverlichtung) und die Analyse zeitlicher Parameter-Verläufe (z. B. zunehmender Baumumfang, Folgewerte nach 100 % Kronenverlichtung) durchgeführt. Für die Kernparameter Kronenverlichtung und Vergilbung erfolgen zwingend unabhängige Doppeleingaben zur Aufdeckung etwaiger Eingabefehler.

## ■ Übergeordnete Prüf- und Kontrollroutinen

Die inhaltliche Plausibilität und Vollständigkeit kann jederzeit isoliert von der aktuellen Datenerfassung mit einer Vielzahl von Funktionen geprüft und sichergestellt werden. So können u. a. auffällige Wertesprünge (unwahrscheinliche Verläufe) oder heterogene Begründungsjahre einer Baumart auf einem Plot detektiert werden. Zur Wahrung der strukturellen Integrität lassen sich z. B. die Baumzahlen oder die Traktarten und abhängige, konventionsgebundene Bezeichnungen analysieren.

## ■ Standardverrechnungen

Die Schadstufen, die mittlere Kronenverlichtung, die Mortalität und Fruktifikationsklassen können für beliebige Plotkollektive Einzelbaum-bezogen, Baumarten-bezogen oder Hauptbaumartengruppen-bezogen automatisiert abgeleitet und graphisch dargestellt werden. Es bestehen weitere Filter- und Eingrenzungsmöglichkeiten, wie z. B. Traktarten, Mindestbaumartenanteil, frei definierbare Alterstufen oder die Flächenrepräsentanz in verschiedenen Erhebungssubnetzen (z. B. Haupttraster und Verdich-

tungen). Diese Standard-Auswertungsergebnisse sowie die Urdaten lassen sich zu weiteren Analysen jeweils in standardisierter Form als Datei exportieren. Sie sind auch unmittelbar in der Form von Zeitreihen produzierbar.

## ■ Datenexport Bund / EU

Ein definierter Teil-Datensatz wird jährlich den Fachbehörden des Bundes und der EU zur übergreifenden Auswertung zur Verfügung gestellt. Auch hierzu existieren Prozeduren, die die erforderlichen technisch-strukturellen und inhaltlichen Anpassungen, die recht aufwändig und fehlerträchtig sind, automatisiert durchführen (z. B. Zuordnung abweichender Plotidentifikatoren bei Bund und EU, Übersetzung der intern verwendeten Begriffe der sog. „Nationalen Liste“ von Schadmerkmalen auf die formalen Parameter des ICP Forests, Zuweisung abweichender kategorialer Bezeichnungen).

Der initial erhebliche Aufwand für die Erstellung der Programmvorgaben und für die Programmierung wurde mittelfristig durch die Standardisierung von Benennungen und Verfahren sowie den dadurch bedingten Wegfall sonst jährlich wiederkehrender Kontroll- und Auswertungsarbeiten mehr als kompensiert. Die datenbankgestützte Verwaltung der WZE-Daten stellt sich als zentrales Werkzeug der Qualitätssicherung und Aufwandsminimierung dar.



Foto: R. Steffens

# Stoffeinträge

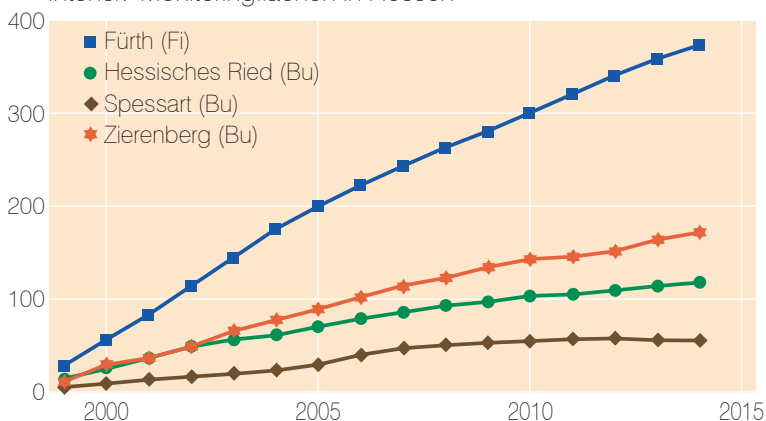
Aufgrund des Filtereffektes der Kronen für gas- und partikelförmige Luftverunreinigungen sind Wälder stärker als alle anderen Landnutzungsformen durch anthropogen verursachte Stoffeinträge von Sulfatschwefel und Stickstoffverbindungen belastet. In Hessen wurde 1984 mit der Erfassung der Stoffeinträge im Rahmen des Intensiven Forstlichen Umweltmonitorings begonnen, um die Wirkungen erhöhter Stoffeinträge und damit verbundener Risiken für Wälder, Waldböden und angrenzende Ökosysteme zu untersuchen. Derzeit wird die Deposition in sieben Buchen- und zwei Fichtenbeständen sowie je einer Kiefern- und Eichenfläche erfasst.

Die Höhe der Stoffeinträge wird maßgeblich durch verschiedene Faktoren wie Niederschlagsmenge und -verteilung, Baumart, Bestandeshöhe, Kronenrauigkeit bzw. lokale Emittenten bestimmt. Aus diesem Grund sind die Stoffeinträge im niederschlagsreichen Bergland (Fürth/Odenwald, Spessart und Königstein) höher als in niederschlagsärmeren Gebieten wie der Rhein-Main-Ebene oder dem Mittelhessischen Raum sowie unter Fichte höher als unter Buche, Eiche und Kiefer. Die Höhe des Freilandniederschlags entsprach auf drei der sieben Flächen dem langjährigen Mittel, in Zierenberg (-69 mm), Fürth (-85 mm), Krofdorf (-107 mm), und Spessart (-131 mm) war 2014 deutlich weniger, im Kellerwald 48 mm mehr Niederschlag gefallen. Beim Bestandesniederschlag betragen die negativen Abweichungen zum langjährigen Mittel zwischen 65 mm (Fürth Fichte) und 145 mm (Krofdorf Buche). Leicht überdurchschnittliche Bestandesniederschläge wurden aufgrund höherer Niederschläge im Kellerwald (+26 mm) und in Folge abgestorbener Kiefern im Hessischen Ried (Kiefer +27 mm) gemessen.

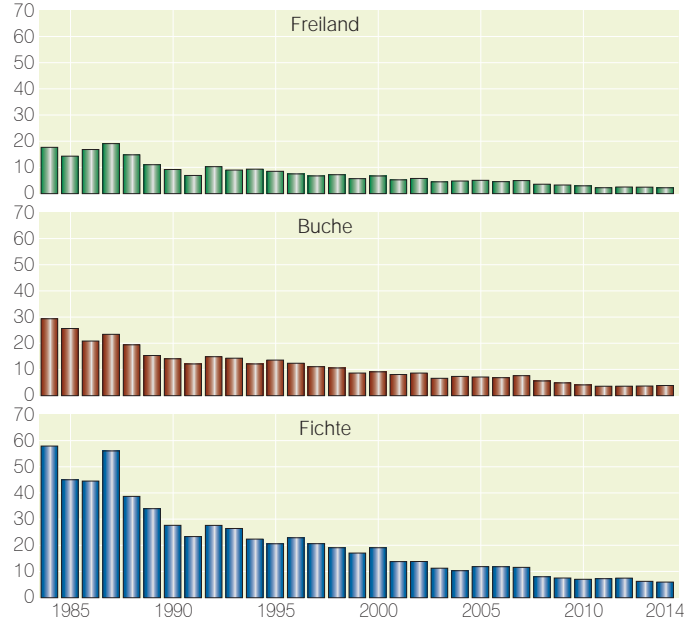
Durch die konsequente Umsetzung von Maßnahmen zur Luftreinhaltung hat der Schwefeleintrag sehr stark abgenommen. 2014 betrug die Schwefeldeposition pro Hektar zwischen 2,4 kg (Hess. Ried Kiefer) und 6,0 kg (Königstein Fichte), im Hessenmittel der Buchenflächen 3,7 kg und im Freiland zwischen 1,6 kg (Krofdorf) und 2,9 kg (Fürth). Im Vergleich zum Zeitraum 1984 bis 1986 ging der Schwefeleintrag in Krofdorf (Buche und Freiland) um 90 %, in Königstein unter Fichte um 88 % und im Freiland um 84 % zurück.

Hauptquellen für Stickstoff sind der Kfz-Verkehr (oxidierte Stickstoffverbindungen, Nitrat) sowie die Landwirtschaft (reduzierte Stickstoffverbindungen, Ammonium). Trotz verschiedener Bemühungen zur Reduktion der Stickstoffemissionen wird den Wäldern durch anthropogen bedingte atmosphärische Ein-

Summarischer Stickstoffüberschuss ( $\text{NH}_4\text{-N} + \text{NO}_3\text{-N}$ ) aus atmosphärischem Stoffeintrag (abzüglich des Entzuges durch Bestandeswachstum und Holznutzung) in kg pro Hektar auf vier Intensiv-Monitoringflächen in Hessen



Schwefel-Eintrag ( $\text{SO}_4\text{-S}$ ) in kg je Hektar und Jahr



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



träge nach wie vor mehr Stickstoff zugeführt, als sie für ihr Wachstum nachhaltig benötigen. Es kommt zu einer Stickstoffanreicherung im Boden mit zunächst schleichenden, langfristig jedoch gravierenden Konsequenzen für den Wald sowie angrenzende Ökosystemen wie Fließ- und Grundgewässer.

Die Emissionen oxidierten Stickstoffverbindungen sind in Deutschland in den letzten zwei Jahrzehnten um die Hälfte zurückgegangen (Bultjes et al. 2011). In der Folge hat der Nitratstickstoffeintrag sowohl im Freiland als auch in der Gesamtdosition aller vier Baumarten auf allen langfristig untersuchten Flächen signifikant abgenommen. Er betrug 2014 im Hessenmittel pro Hektar im Freiland 3,0 kg und unter Buche 5,9 kg (Gesamtdosition mit Stammablauf). Unter Fichte war er am höchsten und betrug pro Hektar 8,8 kg in Königstein und 10,9 kg in Fürth.

Ein uneinheitliches Bild bietet sich weiterhin beim Eintrag von Ammonium, dessen Emissionen in den 2000er Jahren nahezu unverändert hoch blieben (Bultjes et al. 2011). Eine signifikante Abnahme des Ammoniumstick-

# Stoffeinträge

stoffeintrags sowohl im Freiland als auch mit der Gesamtdosition gibt es im Hess. Ried (Buche, Eiche, Kiefer) und in Fürth (Fichte) während auf allen anderen untersuchten Bestandesflächen, teilweise trotz eines signifikanten Rückgangs im Freiland, lediglich eine tendenzielle Abnahme der Gesamtdosition erkennbar ist. Im Spessart (Buche) verharret der Ammoniumeintrag mit jährlichen Schwankungen sogar auf unverändert hohem Niveau.

Im Hessenmittel betrug der Ammoniumstickstoffeintrag pro Hektar im Freiland 2,7 kg und unter Buche 5,9 kg. In den beiden Fichtenbeständen lag er pro Hektar bei 12 kg (Königstein) bzw. 10 kg (Fürth).

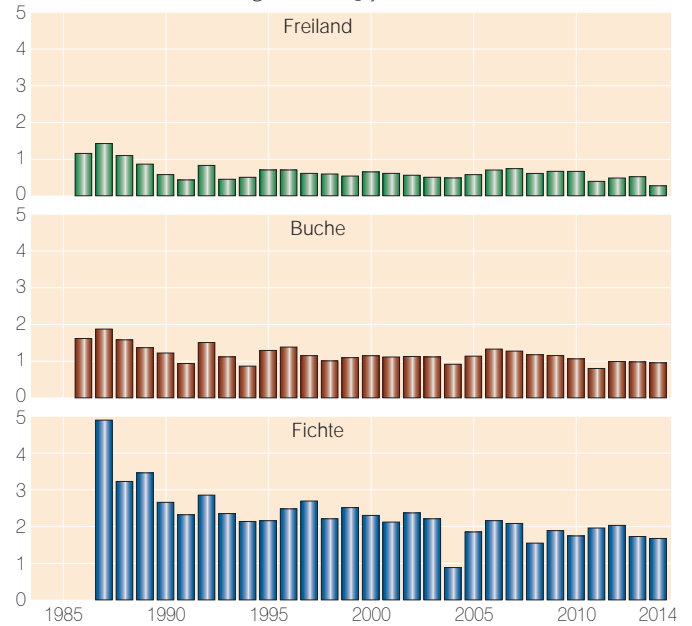
Für vier hessische Flächen wurde beispielhaft der Stickstoffüberschuss (atmosphärischer anorganischer Stickstoffeintrag abzüglich des Entzuges durch Bestandeswachstum und Holznutzung) berechnet. Für den Zeitraum 1999 bis 2014 summiert sich dieser Stickstoffüberschuss pro Hektar unter Buche im Spessart auf 55 kg, im Hess. Ried auf 118 kg und in Zierenberg auf 171 kg. In Fürth betrug der Überschuss pro Hektar unter Fichte im obigen Zeitraum 373 kg, im gesamten Beobachtungszeitraum seit 1987 sogar 687 kg. Sichtbare Folgen dieser Überschüsse sind in Fürth (Fichte) hohe bis sehr hohe Nitratkonzentrationen im Sickerwasser sowie in Zierenberg (Buche) das flächendeckende Wachstum von meterhohen Brennnesseln, sehr hohen Nitratkonzentrationen im Sickerwasser insbesondere während der Nichtvegetationszeit und eine häufige Fruktifikation.

Der aktuelle Gesamtsäureeintrag berechnet sich als Summe der Gesamtdosition von Nitrat, Ammonium, Sulfat und Chlorid abzüglich der mit dem Niederschlag eingetragenen Basen Calcium, Magnesium und Kalium.

2014 betrug der aktuelle Gesamtsäureeintrag pro Hektar 0,5 kmol<sub>c</sub> im Freiland (Hessenmittel), 1,0 kmol<sub>c</sub> unter Buche (Hessenmittel) und 1,7 kmol<sub>c</sub> (Fichte Fürth und Königstein).

Im Vergleich zum Mittel der Jahre 1987 bis 1989 ist er im Freiland um 50 % (Königstein) bis 72 % (Krofdorf) zurückgegangen und

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



unter Fichte um 44 % (Fürth) bzw. 57 % (Königstein). Unter Buche reduzierte sich der Gesamtsäureeintrag zwischen 39 % (Spessart) und 51 % (Krofdorf). Sofern Bestände auf nährstoffarmen, pufferschwachen Waldböden stocken, ist eine standortsangepasste Bodenschutzkalkung zum Schutz der Waldböden und ihrer Filterfunktion nach wie vor angezeigt.

*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> pro Hektar.*



Foto: J. Evers



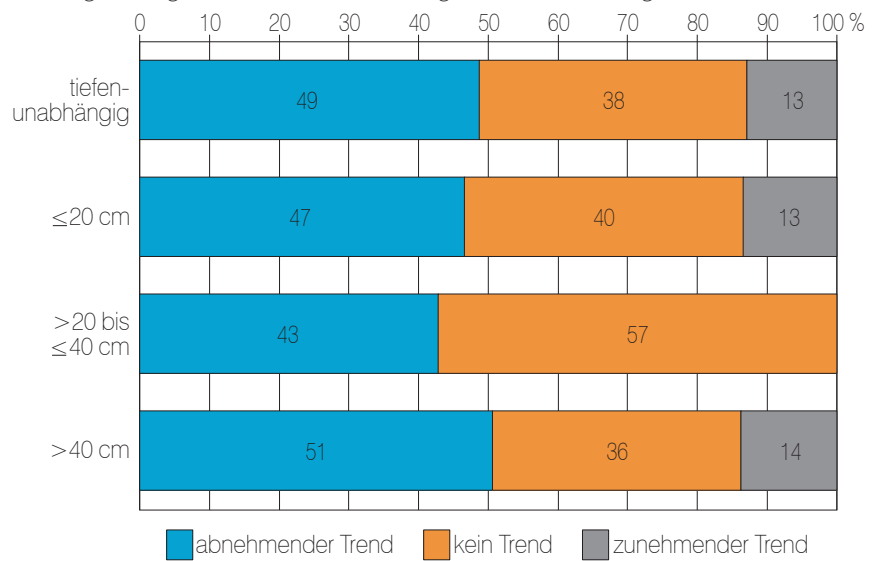
# Trends in der Bodenlösung von Waldökosystemen

Die Bodenlösung ist der wichtigste Umsatzraum für Nähr- und Schadstoffe in Wäldern. Sie vermittelt einerseits zwischen den Wurzeln von Bäumen sowie der Bodenvegetation und der festen Bodensubstanz, andererseits werden die meisten Stoffe in gelöster Form in den Waldboden ein- bzw. ausgetragen. Die Zusammensetzung der Bodenlösung ist damit das Resultat des geologischen Ausgangssubstrats, atmosphärischer Einträge, biologischer Prozesse und chemischer Reaktionen. Indikatoren wie das Verhältnis der basischen Kationen Calcium + Kalium + Magnesium zu Aluminium (sogenanntes Bc/Al-Verhältnis) oder die Höhe der Konzentration anorganischer Stickstoffverbindungen (Ammonium + Nitrat + Nitrit) in der Bodenlösung können über die Nährstoffverfügbarkeit an einem Standort und den Zustand des betreffenden Waldökosystems Auskunft geben. Weiterhin kann anhand dieser Indikatoren das Risiko erhöhter Austräge von Aluminium und Nitrat in das Grundwasser abgeschätzt werden.

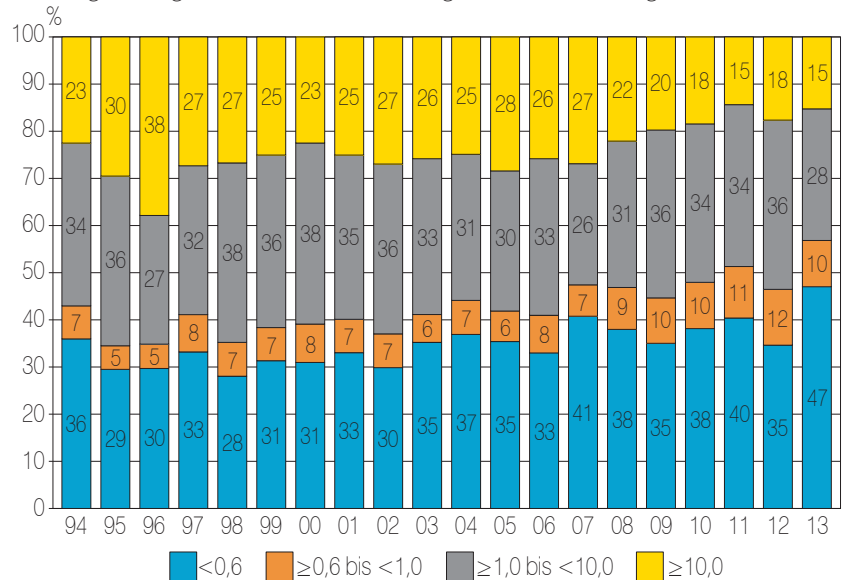
Grundlage der Auswertungen war die chemische Zusammensetzung der Bodenlösung aus den Jahren 1994 bis 2013. Sie stammen von 37 Intensiv-Monitoringflächen der NW-FVA, auf denen Buchen- (18), Douglasien- (1), Eichen- (2), Fichten- (10) oder Kiefern-Bestände (6) stocken und auf denen jeweils in mehreren Tiefenstufen Bodenlösung gewonnen wurde. Zwei dieser Flächen sind in den 1980er Jahren einmalig gekalkt worden. Die Daten wurden auf Plausibilität geprüft und mit dem Ziel der Analyse von a) Trends sowie b) der Häufigkeit der Über- bzw. Unterschreitung von kritischen Grenzwerten ausgewertet. Die Auswahl der Grenzwerte orientierte sich an der Vorgehensweise für die Ableitung von kritischen Belastungsgrenzen für Wälder (Critical Loads).

Für Laubbäume wird bei einem Bc/Al-Verhältnis kleiner 0,6, für Nadelbäume kleiner 1,0 von Alu-

Trend des Bc/Al-Verhältnisses in der Bodenlösung verschiedener Tiefen.  
Datengrundlage: 37 Intensiv-Monitoringflächen, Zeitbezug: 1994-2013



Tiefenunabhängiges Bc/Al-Verhältnis in der Bodenlösung.  
Datengrundlage: 37 Intensiv-Monitoringflächen, Zeitbezug: 1994-2013

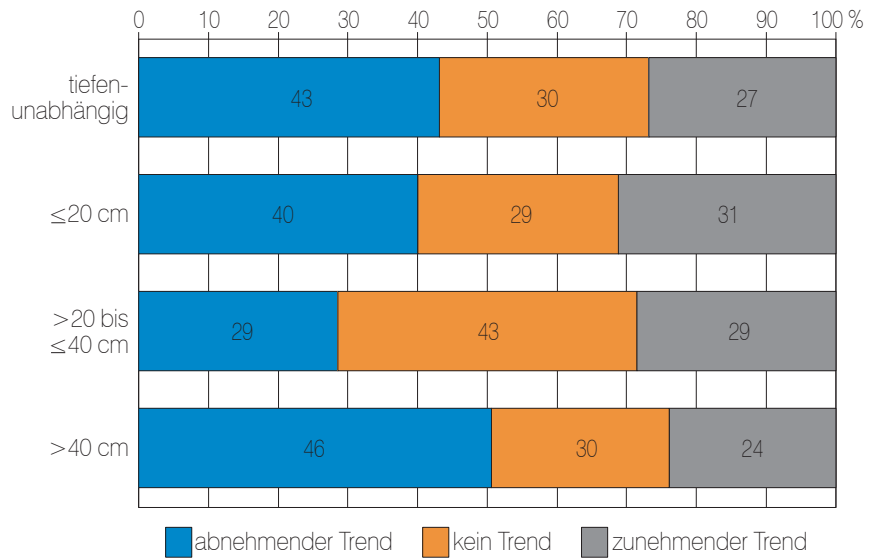


# Trends in der Bodenlösung von Waldökosystemen

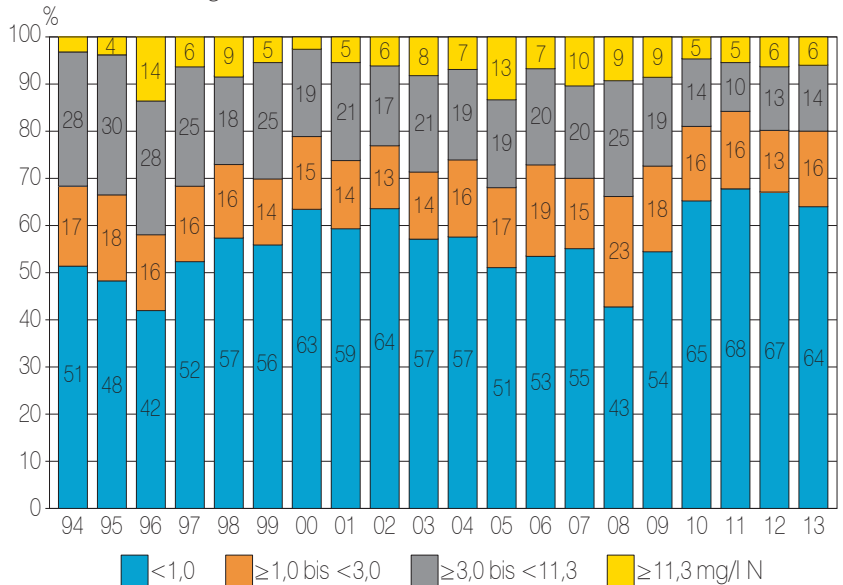
minium-Toxizität bzw. einer gestörten Nährstoffaufnahme ausgegangen. Das Bc/Al-Verhältnis unterlag zwischen 1994 und 2013 tiefenunabhängig in fast der Hälfte aller Fälle einem signifikant abnehmenden Trend (Abbildung Seite 33 oben). Demnach nahmen die Aluminiumanteile in der Bodenlösung im Vergleich zu den Anteilen der Nährstoffkationen entweder stärker zu, schwächer ab oder sie blieben bei abnehmenden Anteilen der Nährstoffkationen konstant. Ein signifikant zunehmender Trend konnte nur für 13 % aller Fälle festgestellt werden. Diesbezüglich zeigten sich in der profilspezifischen Betrachtung für die Tiefenstufen „≤20 cm“ und „>20 bis ≤40 cm“ nahezu identische Muster, in der Tiefenstufe „>20 bis ≤40 cm“ überwogen mit 57 % jedoch die nicht signifikanten Trends, während zunehmende Trends nicht beobachtet werden konnten. Aus diesen Ergebnissen der Intensiv-Monitoringflächen kann abgeleitet werden, dass das Risiko von Aluminium-Toxizität bzw. das Risiko einer gestörten Nährstoffaufnahme in den Wäldern Nordwestdeutschlands eher zugenommen hat.

Ein zunehmendes Risiko der Aluminium-Toxizität spiegelte sich durch die Häufigkeit der Über- bzw. Unterschreitung verschiedener kritischer Grenzwerte in der Bodenlösung wieder (Abbildung Seite 33 unten). Der Vergleich der Mittelwerte der ersten fünf (1994-1998) gegen die letzten fünf Jahre (2009-2013) der Zeitreihe zeigte, dass zu Beginn in 38 %, am Ende aber in 49 % aller Fälle zumindest einer dieser Grenzwerte nicht eingehalten wurde. In der Klasse „≥1,0 bis <10,0“, gab es keine Veränderungen, während die Klassenstärken, in denen kritische Bc/Al-Verhältnisse auftraten, zunahmen (+8 % für die Klasse „<0,6“, +4 % für die Klasse „≥0,6 bis <1,0“) und gleichzeitig weniger Standorte in die unkritische Klasse mit einem Bc/Al-Verhältnis ≥10 fielen (-12 %). In der profilspezifischen Betrachtung zeigte sich die Tiefenstufe >20 bis ≤40 cm besonders auffällig.

Trend der Höhe der Konzentration anorganischer Stickstoffverbindungen in der Bodenlösung verschiedener Tiefen. Datengrundlage: 37 Intensiv-Monitoringflächen, Zeitbezug: 1994-2013



Tiefenunabhängige Höhe der Konzentration anorganischer Stickstoffverbindungen in der Bodenlösung. Datengrundlage: 37 Intensiv-Monitoringflächen, Zeitbezug: 1994-2013



Mit Unterdruck wird Bodenlösung aus verschiedenen Tiefen gewonnen

Foto: H. Meesenburg

# Trends in der Bodenlösung von Waldökosystemen

Seit 2001 wurde hier in mehr als 90 %, seit 2004 sogar in mehr als 95 % der Fälle mindestens der Grenzwert von 1,0 unterschritten (nicht dargestellt).

Die Konzentration der anorganischen Stickstoffverbindungen in der Bodenlösung zeigte zwischen 1994 und 2013 in 70 % aller Fälle einen signifikanten Trend (43 % abnehmend, 27 % zunehmend, Abbildung Seite 34 oben). Dabei wurde in allen Tiefenstufen ein ähnliches Verhältnis zunehmender und abnehmender Trends gefunden. Die abnehmenden Trends sind vermutlich auf abnehmende atmosphärische Stickstoffeinträge zurückzuführen. Die beobachteten zunehmenden Trends sind eine Folge der Sättigung der Waldökosysteme mit Stickstoff aufgrund eines weiterhin über dem Bedarf für den Zuwachs der Waldbestände liegenden Eintrags.

Bei einer Konzentration anorganischer Stickstoffverbindungen von mehr als 1,0 mg/l N kann von erhöhten Stickstoffausträgen infolge von Stickstoffsättigung ausgegangen werden. Auch unterhalb dieses Grenzwertes sind Nährstoffungleichgewichte möglich, oberhalb von 3,0 mg/l N können Schädigungen des Wurzelsystems der Bäume auftreten. Als Grenzwert im Trinkwasser sind in Deutschland 11,3 mg/l N (entspricht einem Nitratgehalt von 50 mg/l) festgelegt. Der Vergleich der Mittelwerte der ersten fünf (1994-1998) gegen die letzten fünf Jahre (2009-2013) der Zeitreihe zeigt, dass sich die Anteile der 3 obersten Klassen (-1 % für die Klassen „ $\geq 11,3$ “ und „ $\geq 1,0$  bis  $< 3,0$ “, -12 % für die Klasse „ $\geq 3,0$  bis  $< 11,3$ “) zugunsten der Klasse „ $< 1,0$ “ (+14 %) verringert haben (Abbildung Seite 34 unten). Somit deutet die Betrachtung der Überschreitung kritischer Werte für anorganischen Stickstoff ein geringeres Risiko von erhöhten Nitratausträgen in das Grundwasser an. Es ist jedoch erforderlich, die weitere Entwicklung zu beobachten, da die atmosphärischen



Saugkerzen zur Gewinnung von Bodenlösung in verschiedenen Tiefen  
Foto: NW-FVA



Boden des Jahres 2015: Pseudogley

Foto: H. Kasel

Stickstoffeinträge weiterhin vielerorts über den kritischen Belastungsgrenzen liegen und daher mit einer Stickstoffsättigung zu rechnen ist. Bei einer zunehmenden Stickstoffsättigung wäre von wieder ansteigenden Nitratausträgen auszugehen. Hierbei ist auch die Dynamik der organischen Substanz, in der ein Großteil des Boden-Stickstoffs gespeichert wird, von besonderer Bedeutung. Da der Einfluss des Klimawandels auf die Vorräte der organischen Substanz schwer abzuschätzen ist, kann auch das zukünftige Risiko erhöhter Nitratausträge nur bedingt prognostiziert werden.

Trotz aller Bemühungen zur Reduktion der Säureeinträge in den letzten Jahrzehnten sind die pH-Werte in der Bodenlösung bislang nur teilweise wieder angestiegen. Die Erholung der Waldökosysteme wird unter anderem durch die Freisetzung von zwischengespeichertem Schwefel und einem weiterhin hohen Eintrag an Stickstoff verzögert. Seine Anreicherung führt zu zusätzlichen Nährstoffverlusten und Grundwasserbelastungen durch Nitrat. Für viele Waldböden wird deshalb auch weiterhin ein erhöhtes Risiko von Aluminium-Toxizität und Nährstoffungleichgewichten infolge von Bodenversauerung bestehen.

# Bodenchemie und Durchwurzelung in tieferen Bodenschichten

## Wie tief ist der Wurzelraum? Nährlementstatus und Durchwurzelung von Waldböden im Tiefland

Der Nährlementstatus von Waldböden ist für die ökologischen Eigenschaften und die Beurteilung des Leistungspotentials von Waldstandorten von wichtiger Bedeutung. Für die Einschätzung des Nährlementstatus des Waldbodens im Gelände z. B. im Rahmen der forstlichen Standortskartierung sind im Wesentlichen die Ausgangsgesteine und die Bodenarten, der Humuszustand sowie die Zusammensetzung der Vegetation entscheidend. Genauere, quantifizierbare Informationen zum Nährstoffhaushalt bieten chemische und physikalische Bodenanalysen, die in der forstlichen Standortskartierung die Bewertung der forstlichen Standorte vor Ort absichern. Bodenchemische Kennwerte können nicht als allgemein gültig für die Abschätzung des Leistungspotentials von Waldböden herangezogen werden, da vielfältige Faktoren auf den Waldboden einwirken. Dennoch bieten sie wichtige Stützen für die Abschätzung von Standortpotentialen, der Einschätzung von Risiken und einer Bewertung auf messbarer Grundlage für eine standortgerechte, waldbauliche Planung.

Neben intensiven Parametern wie der Basensättigung oder den pH-Werten sind Kapazitätsparameter wie die Vorräte der Hauptnährelemente in Waldböden wichtige Informationen. Dies sind z. B. die austauschbar an den Mineraloberflächen gebundenen Vorräte an Calcium, Magnesium und Kalium, aber auch die Stickstoff- und Phosphorvorräte. Im Zusammenhang mit dem Klimawandel tritt auch der Kohlenstoffvorrat im Waldboden immer mehr in den Vordergrund.

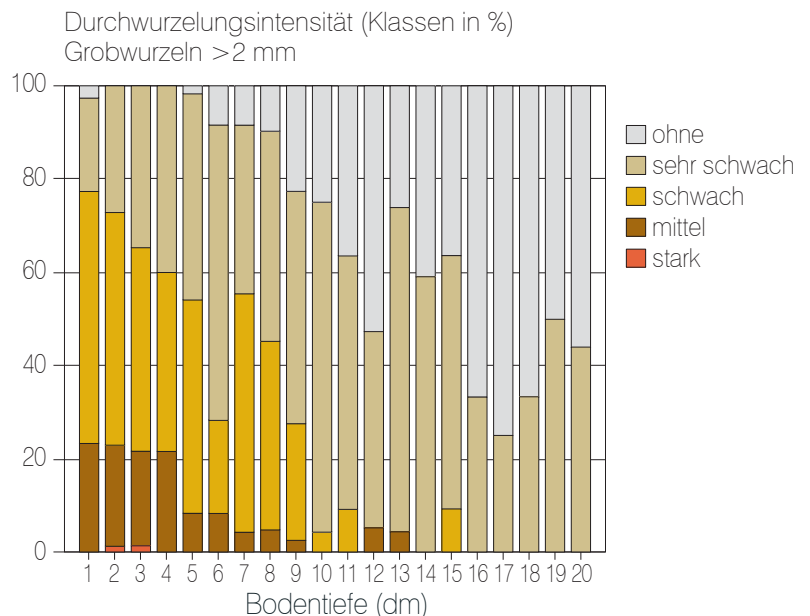
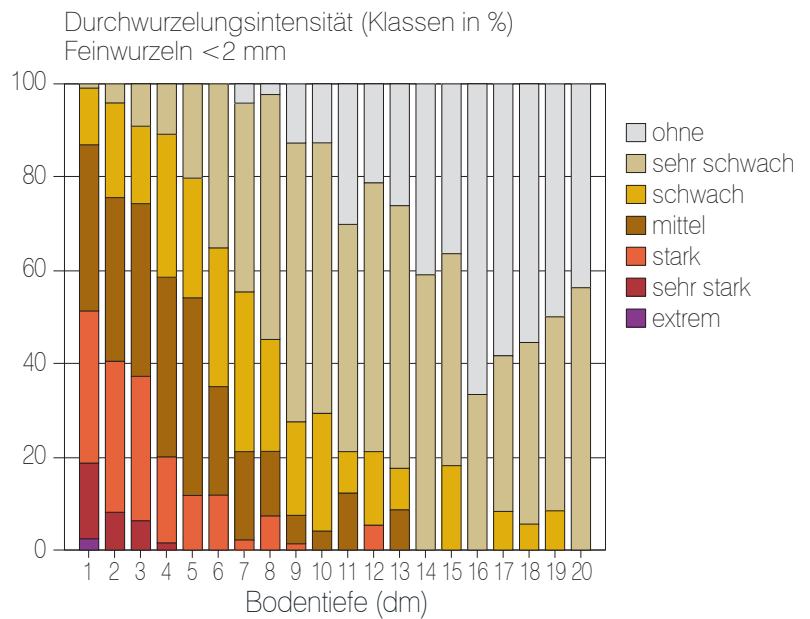
Hinsichtlich der Fragestellung, bis zu welcher Bodentiefe die Nährstoffvorräte für den Wald kalkuliert werden sollten, ist der durchwurzelte Boden entscheidend. Doch wie tief reicht der Wurzelraum? Neben den von Baumarten und -alter abhängigen, genetisch vorgegebenen Grundformen der Ausbildung verschiedener Wurzelsysteme wie Pfahl-, Herz- oder Senkwurzeln bei Bäumen finden sich im Waldboden verschiedenste Übergänge dieser Wurzelsysteme, die sich durch die Anpassung des Wurzelsystems an die gegebenen Bodenverhältnisse ergeben. Bei den meisten Baumarten ist diese Anpassungsfähigkeit relativ hoch. Welche Wurzelsysteme sich in Waldbeständen ausbilden, ist abhängig von der Nährstoffverfügbarkeit im gegebenen Waldboden, aber auch von der Wasserversorgung, insbesondere dem Grundwasserstand, dem Humuszustand sowie der mechanischen Belastung durch Wind und der Konkurrenz der Nachbarbäume (Kutschera und Lichtenegger 2013).

Da die Durchwurzelungsintensität von Baumwurzeln allgemein von oberen in tiefere Bodenschichten deutlich abnimmt, werden häufig Bodentiefen von unter 1 m als durchschnittlich effektiver Wurzelraum angegeben. Auch stehen ganz praktische Gründe für eine genauere Analyse der Durchwurzelung in tieferen Bodenschichten im Wege. Das Anlegen von tieferen Bodenprofilen ist ebenso wie das Freilegen ganzer Wurzelsysteme sehr aufwändig. Im Bergland begrenzen feste Gesteinslagen und hohe Steingehalte die Einbeziehung tieferer

Bodenschichten in Wurzeluntersuchungen, im Tiefland müssen tiefe Profile gesondert abgesichert werden.

Im Rahmen dieser Auswertung wird zunächst anhand der zweiten Bodenzustandserhebung (BZE II) im Wald an rund 170 Profilen für das Tiefland in Niedersachsen, Hessen und Sachsen-Anhalt die mittlere Verteilung der Durchwurzelung mit zunehmender Bodentiefe dargestellt und anschließend die Ergebnisse von 10 Profilen im niedersächsischen Tiefland vorgestellt, für die bis zu einer Bodentiefe von 3 m Informationen zu den Nährstoffvorräten und der Durchwurzelung vorliegen.

In den beiden Abbildungen unten sind die prozentualen Durchwurzelungsklassen für die BZE II der Bundesländer Niedersachsen, Hessen und Sachsen-Anhalt im Tiefland für die unteren Grenzen der Bodenhorizonte klassiert in 10 cm Stufen dargestellt (Anzahl pro Klasse > 10 Bodenhorizonte). Es zeigt sich sowohl für die Verteilung der Fein- als auch der Grobwurzeln die typische Abnahme der stärker durchwurzelten Bereiche mit zunehmender Tiefenstufe. Unterhalb von 100 cm tritt die stärkere Durchwurzelung mit Feinwurzeln kaum noch auf, die mittlere Durchwurzelungsklasse von Feinwurzeln ist ab 130 cm Bodentiefe nicht mehr vertreten. Bei den Grobwurzeln sind starke und intensivere Durchwurzelungen kaum feststellbar, die prozentualen Anteile der jeweiligen Durchwurze-



# Bodenchemie und Durchwurzelung in tieferen Bodenschichten



Foto: V. Steinmann

lungsklassen an den 10 cm Stufen sind geringer. Unterhalb von 130 cm Bodentiefe traten Grobwurzeln nur sehr vereinzelt auf. Es zeigt sich aber deutlich, dass auch unterhalb von 1 m Bodentiefe die Böden durchwurzelt sind, wenn auch überwiegend schwach. Die Ergebnisse der BZE II für das Tiefland zeigen, dass tiefere Bodenschichten von Baumwurzelsystemen erschlossen werden und in die Erfassung und Beurteilung von Standortpotentialen einbezogen werden sollten.

Im Landkreis Harburg (Niedersachsen) wurden in einem Waldgebiet von 300 ha im Besitz der Klosterkammer 60 Bodenprofile im Hinblick auf die Tiefendurchwurzelung bis knapp 4 m Bodentiefe untersucht (Steinmann 2015). Zentrale Fragen waren hierbei, wie groß die Durchwurzelungstiefe auf diesen quartären Standorten ist, ob neben der Wasserversorgung und Bodenart die Verteilung der Nährstoffvorräte dabei eine Rolle spielt und wie hoch die Kohlenstoffspeicherung in diesen Tiefen ist. Das Untersuchungsgebiet liegt im Wuchsbezirk Hohe Heide, der mittlere Jahresniederschlag beträgt 780 mm, die Jahresdurchschnittstemperatur 8 °C (1961-1990). Es finden sich sehr unterschiedliche geologische Schichtenfolgen: am weitesten verbreitet sind Geschiebedecksande über Schmelzwassersanden, gefolgt von Geschiebedecksanden über Geschiebelehmen, Löss geprägten Standorten oder auch holozänen fluvialen Ablagerungen. Daneben kommen vereinzelt auch tertiäre Schichten vor, die aus tonigen bis schluffigen Substraten sowie Fein- bis Mittelsanden bestehen können.

Im Ergebnis betrug die durchschnittliche Durchwurzelung über alle Baumarten hinweg rund 250 cm, wobei Buche und Douglasie mit 280 cm signifikant tiefer wurzeln als die Fichte mit durchschnittlich 170 cm. Allerdings wurden auch Fichtenwurzeln in über 3 m Bodentiefe gefunden. Die mittlere Durchwurzelungstiefe der Kiefer lag bei über 3 m. 30 % dieser untersuchten Profile zeigten Durchwurzelungen von über 3 m Bodentiefe. Weder der Durchmesser noch der Abstand des Baumes zur Profilwand<sup>1</sup>, die Wasser- oder Nährstoffziffer oder die geologischen Schichten der jeweiligen Standorte ließen eindeutige Muster in der Durchwurzelung erkennen. Das Vorhandensein von Calciumcarbonat im Boden scheint die Durchwurzelung in den betreffenden Schichten zu erhöhen.

In 20 % der Profile entsprach die Durchwurzelungstiefe der maximalen Profiltiefe, so dass auch in noch größeren Bodentiefen über 4 m Wurzeln erwartet werden können. Weiterhin wurde gezeigt, dass in Profilwänden Lücken zwischen verschiedenen Etagen des Wurzelsystems bis 2,30 m auftreten. Dies legt den Schluss nahe, dass die maximalen Durchwurzelungstiefen in quartären Lockersedimenten noch deutlich tiefer reichen können, als die Untersuchungstiefe in dieser Studie.

An 10 Profilen wurden zur Abschätzung des Nährstoffstatus im Zusammenhang mit der Durchwurzelung tieferer Bodenschichten chemische Analysen bis 3 m Bodentiefe durchgeführt und mit den Durchwurzelungs-Intensitätsstufen in der Auflage und in 1 m-Schritten im Mineralboden verglichen. Die Nährstoffvorräte von austauschbarem Calcium, Magnesium und Kalium sowie die Gesamtvorräte von Kohlen- und Stickstoff sind in den Abbildungen auf Seite 38 proportional zu ihrer absoluten Größe in Kreisen dargestellt, die Durchwurzelungs-Intensitätsstufen sind farblich gekennzeichnet.

Hohe Nährstoffvorräte von Calcium und Magnesium, teilweise auch von Kalium sind vor allem in den Bodenschichten 1-2 m und 2-3 m festzustellen. Damit fallen diese Standorte meist in sehr hohe Bewertungsbereiche nach der forstlichen

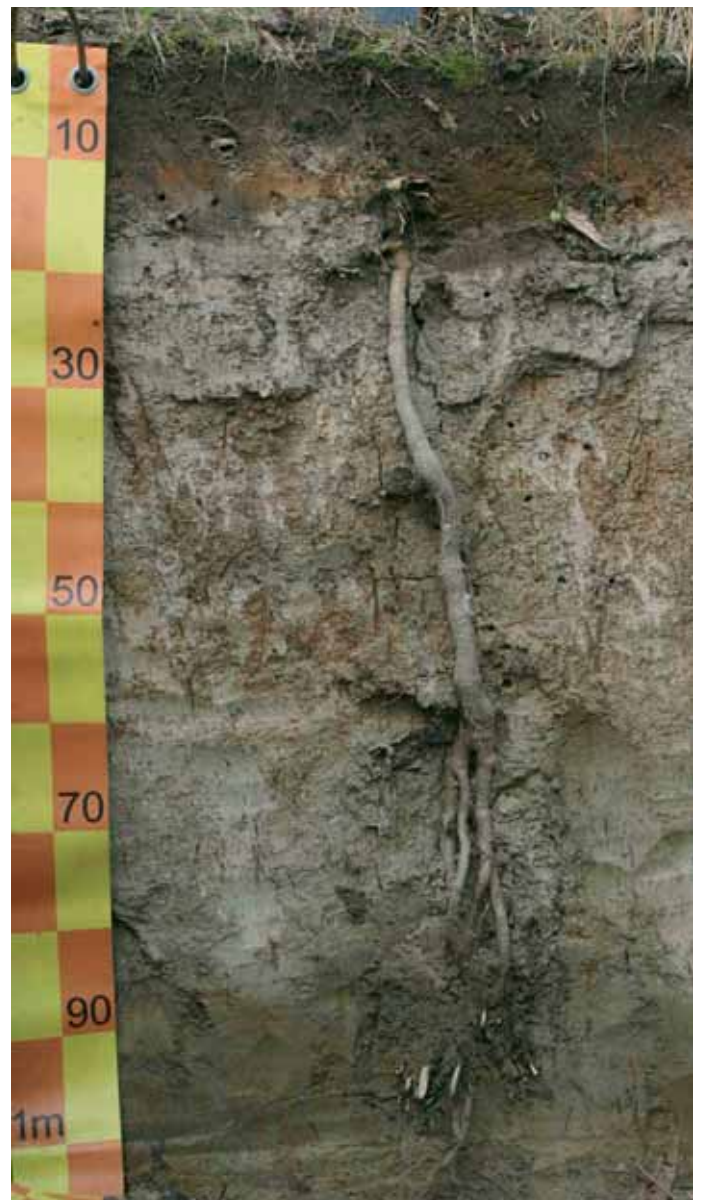


Foto: W. Schmidt

<sup>1</sup>Untersuchungsbereich BHD: 20-60 cm, Abstand Profilwand: max. 6 m

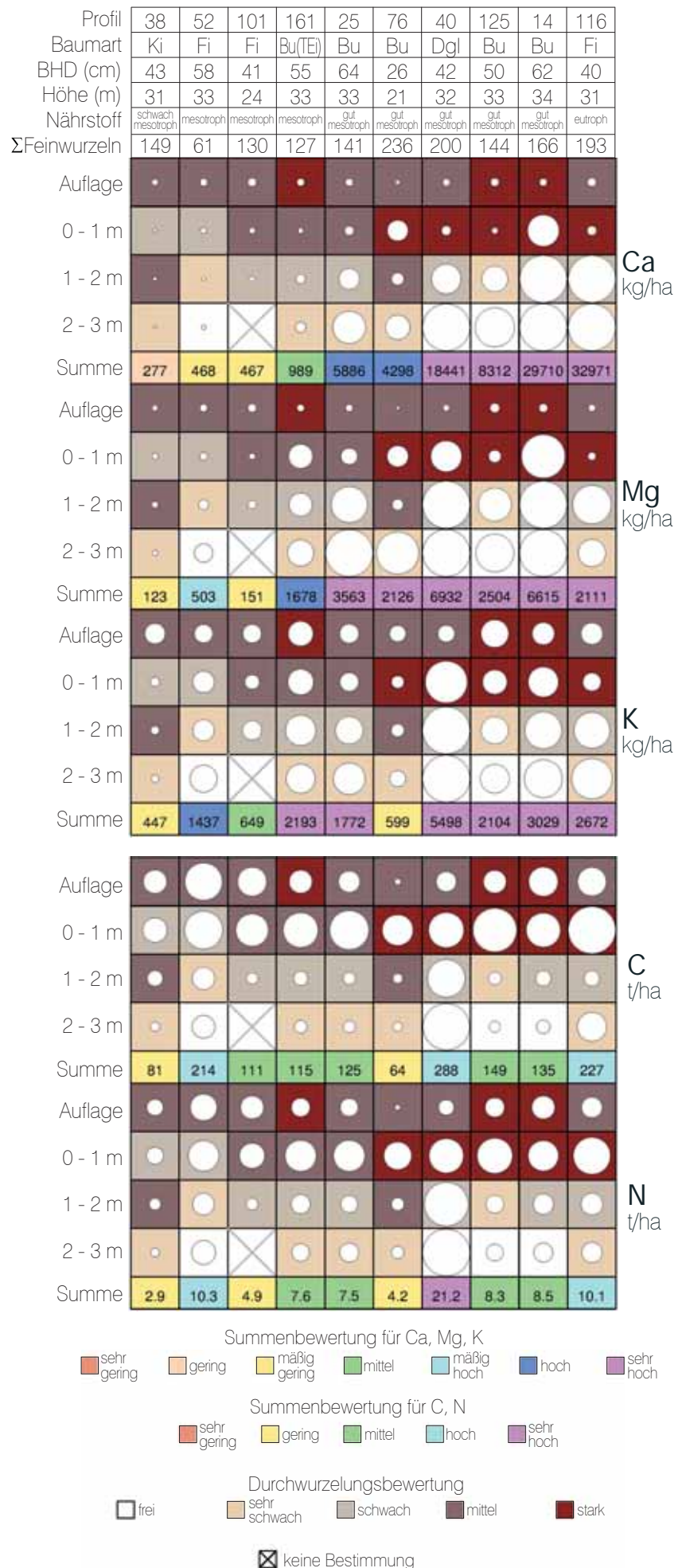
# Bodenchemie und Durchwurzelung in tieferen Bodenschichten

Standortsaufnahme (AK Standortskartierung 2003) und sind entsprechend in der forstlichen Standortskartierung auch mit gut mesotroph bis eutroph bewertet worden. Bei einer Vorratsberechnung nur für die Auflage und 1 m Bodentiefe wären die Nährstoffvorräte (mit einer Ausnahme) nur in gering bis mittlere Bereiche eingestuft worden. Die Stickstoff- und Kohlenstoffvorräte sind im Gegensatz dazu zum überwiegenden Teil in der Auflage und zwischen 0-1 m Bodentiefe gespeichert, obwohl es von diesem Muster auch Abweichungen gibt (z. B. Profil 40). Im Mittel dieser 10 Profile sind 80 % der Kohlenstoff- und 70 % der Stickstoffvorräte in der Auflage und 0-1 m Bodentiefe gespeichert, bei Calcium sind dies nur 30 %, bei Magnesium 25 % und bei Kalium 40 %.

Bis 2 m Bodentiefe sind alle 10 Bodenprofile durchwurzelt, davon 2 Profile mittel, 6 schwach und 2 sehr schwach. In 2-3 m Bodentiefe wurde an 5 Profilen noch eine schwache Durchwurzelung festgestellt, in 4 Profilen gab es keine Feinwurzeln mehr. Die Durchwurzelung des Auflagehumus ist in allen Profilen mittel bis stark, was als typisch angesehen werden kann. In den mit gut mesotroph eingeschätzten Profilen fällt die starke Durchwurzelung des Wurzelraumes bis 1 m Bodentiefe (Profil 76, 40, 125, 14 und 116) gegenüber den schwächer Nährstoff versorgten Profilen auf. Möglicherweise kann ein stärker ausgeprägtes Wurzelwerk in oberen Bodenschichten auch auf zwar schwächer durchwurzelte, aber nährstoffreichere tiefere Bodenschichten zurückgeführt werden. Wenn Wurzeln diese nährstoffreichen Schichten erreichen, wird das Nährstoffreservoir dieser Schichten erschlossen und steht dem Baum zur Verfügung. Für die Erschließung dieser Potentiale können auch schon relativ wenige Wurzeln möglicherweise ausreichen. Dies ist ein Befund, den auch Steinmann (2015) bei der Analyse der 60 Profile vor allem bei Buche festgestellt hat. Ein tiefreichendes Wurzelwerk und eine intensive Durchwurzelung des Oberbodens könnten als Schlüssel sowohl für die große Standortsamplitude als auch Konkurrenzkraft der Buche angesehen werden.

Aber auch schwächer nährstoffversorgte Standorte sind tief durchwurzelt, wie z. B. das Profil 38. Insgesamt scheint jedoch die Anzahl von Feinwurzeln in diesen Profilen geringer zu sein als in den besser mit Nährstoff versorgten.

Insgesamt zeigt sich, dass auf den quartären Lockersedimenten des Tieflandes davon ausgegangen werden kann, dass die durchschnittliche Durchwurzelung mindestens eine Bodentiefe von 2 m erreicht. Vermutlich liegt auf vielen Standorten die Durchwurzelung noch tiefer. Für die Einschätzung der Standortspotentiale von Waldböden sollte dieser Sachverhalt stärker einbezogen und weiter untersucht werden. Denn wie beispielhaft an den bis 3 m bodenchemisch analysierten Profilen deutlich wird, können beträchtliche Nährstoffpotentiale auch in tieferen Bodenschichten durch Wurzelwerke erschlossen werden.



# 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

AK Standortskartierung (2003): Forstliche Standortsaufnahme. Arbeitskreis Standortskartierung in der Arbeitsgemeinschaft Forsteinrichtung, 6. Auflage, Eching bei München, 352 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

Bigler C, Bräker OU, Bugmann H, Dobbertin M & Rigling A (2006): Drought as an inciting mortality factor in Scots pine stands of the Valais, Switzerland. *Ecosystems* 9, 330-343

Builtjes P, Banzhaf S, Gauger T, Hendriks E, Kerschbaumer A, Koenen M, Nagel HD, Schaap M, Scheuscher T, Schlutow A (2011): Erfassung, Prognose und Bewertung von Stoffeinträgen und ihren Wirkungen in Deutschland. UBA-Texte 38/2011

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

Eichhorn J, Dammann I, Schönfelder E, Albrecht M, Beck W & Paar U (2008): Untersuchungen zur Trockenheitstoleranz der Buche am Beispiel des witterungsextremen Jahres 2003. In: *Ergebnisse angewandter Forschung zur Buche*. Beiträge aus der NW-FVA, Band 3, 109-134

Grier CG & Running SW (1977): Leaf Area of Mature Northwestern Coniferous Forests: Relation to Site Water Balance. *Ecology* 58 (4), 893-899

Höper H & Meesenburg H (2012): Das Bodendauerbeobachtungsprogramm. In: 20 Jahre Bodendauerbeobachtungsprogramm in Niedersachsen. Tagungsband, *GeoBerichte*, Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie (Hrsg.), Band 23, 6-18

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

Kutschera L & Lichtenegger E (2013): *Wurzelatlas mitteleuropäischer Waldbäume und Sträucher*. Graz: Stocker Verlag, 2. Auflage, 604 S

NW-FVA (Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt, Hrsg.) (2015): Untersuchungen zur Anpassungsfähigkeit hessischer Buchenwälder an veränderte Klimabedingungen - Analyse der Auswirkungen klimawandelbedingter Erhöhung des Trockenstressrisikos auf die Vitalität und Leistungsfähigkeit von Buchenwäldern. Abschlussbericht. <http://klimawandel.hlug.de/forschungsprojekte/inklim-a.html> (abgerufen am 08.10.2015)

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

Steinmann V (2015): Tiefendurchwurzelung von Waldbäumen auf quartären Standorten im Norddeutschen Tiefland. Masterarbeit an der Fakultät für Forstwissenschaften und Waldökologie der Georg-August-Universität Göttingen, Abteilung Ökopedologie der gemäßigten Zonen des Büsgen-Instituts, 83 S und Anhang

Ulrich B, Mayer R & Khanna PK (1979): Deposition von Luftverunreinigungen und ihre Auswirkungen in Waldökosystemen im Solling. *Schr. Forstl. Fakultät Univ. Göttingen*. 58, 291 S

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



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

**HESSEN-FORST**  
Verpflichtung für Generationen

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

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

Titelfoto: Evers, J.

Graphik und Layout: Paar, E.

Herstellung: Nordwestdeutsche  
Forstliche Versuchsanstalt

Druck: Printec Offset Kassel

Der Waldzustandsbericht 2015  
ist abrufbar unter  
[www.nw-fva.de](http://www.nw-fva.de) und  
[www.umwelt.hessen.de](http://www.umwelt.hessen.de)

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



Thomas Winter  
Außenaufnahmen und Kontrollen



Dr. Bernd Westphal  
Außenaufnahmen und Kontrollen

