



# Waldzustandsbericht 2017





## Vorwort



Liebe Leserinnen, liebe Leser,

die sichtbaren Auswirkungen des Klimawandels, die uns regelmäßig mit drastischen Bildern aus aller Welt in den Medien präsentiert werden, machen auch vor Deutschland und unseren heimischen Wäldern in Hessen nicht halt. Jahrhundertfluten und kontinuierlich zu heiße Sommer, intensivste Niederschlagsereignisse, extreme Trockenperioden, neuartige Schaderscheinungen und Schadorganismen im Wald sind deutliche Anzeichen hierfür.

Belegt werden dieser Wandel und seine Auswirkungen auf den Wald durch klimatologische Daten, aber auch durch die jahrzehntelangen Erhebungen im Rahmen des forstlichen Umweltmonitorings. Die jährliche Waldzustandserhebung, bei der Daten von über 4.000 Bäumen in Hessen erhoben werden, das Intensivmonitoring auf ausgewählten Flächen, bundesweite Bodenzustandserhebungen und viele weitere spezielle Forschungsprojekte liefern hierzu belastbare Daten.

So unterschiedlich sich das Wetter im Jahresverlauf zeigte, so differenziert sind auch die diesjährigen Ergebnisse der Waldzustandserhebung in Hessen zu betrachten. Zumindest aus Sicht des Waldes mit einem erfreulichen Gesamtergebnis.

Die mittlere Kronenverlichtung aller Baumarten und Altersstufen ist um 3 %-Punkte auf 22 % zurückgegangen. Mit Blick auf die zurückliegenden 25 Jahre ein günstiger Wert.

Dieses positive Ergebnis war nach der ersten Jahreshälfte so nicht zu erwarten. Schließlich war das Vegetationsjahr 2016/2017 (Oktober-September) das 21. Jahr in Folge, das zu warm ausfiel. Zudem waren von Oktober 2016 bis April 2017 landesweit alle Monate zu trocken. Die Trockenheit wurde insbesondere für die Vegetationsentwicklung im Frühjahr zu einem zunehmenden Problem und als weitere Folge gab es bereits bis Ende Mai zahlreiche Waldbrände. Erst hohe Niederschläge im Juli und August führten zu einer Entspannung in Bezug auf die Trockenheit, waren aber lokal mit heftigen Starkregenereignissen und Gewitterstürmen mit Überschwemmungen und erheblichen Schäden im Wald verbunden.

Maßgeblich beeinflusst wird das Ergebnis der Waldzustandserhebung 2017 durch eine günstige Entwicklung bei den älteren Buchen und einen stabilen Zustand bei den älteren Kiefern und Fichten. Nach einer sehr starken Buchenmast im Vorjahr blieb die Fruchtbildung in diesem Jahr aus, der Stoffhaushalt wurde weniger belastet und die Belaubung der Buchenkrone zeigte sich um 8 %-Punkte deutlich verbessert. Die Kronenverlichtung der älteren Eichen ist dagegen um 5 %-Punkte deutlich angestiegen. Ein wieder zunehmender Fraß durch Schmetterlingsraupen der Eichenfraßgesellschaft spielt hier eine wichtige Rolle, aber auch Nachwirkungen zurückliegender Trockenperioden sind nicht auszuschließen.

Weitere ausgewählte Fachbeiträge in dieser Broschüre geben Ihnen einen Einblick in aktuelle Forschungsergebnisse der Nordwestdeutschen Forstlichen Versuchsanstalt, beispielsweise zur Entwicklung der Waldböden, zu Stoffeinträgen sowie Witterung und Klima.

Standen zu Beginn des forstlichen Umweltmonitorings insbesondere noch Fragen zu Stoffeinträgen und ihren Auswirkungen im Fokus, so spielen mittlerweile Themen wie Klimawandel und Kohlenstoffspeicherung ebenfalls eine zentrale Rolle. Wie schon in den 1980er Jahren, als die Erkenntnisse dieser Erhebungen und Forschungen Anstoß gaben für erfolgreiche Maßnahmen zur Luftreinhaltung sowie Möglichkeiten zur Schadensbegrenzung aufzeigten, erwarten wir auch weiterhin Anregungen und konkrete Vorschläge zum Umgang mit den neuen Herausforderungen. Obwohl die Ausgangslage noch komplizierter geworden ist, sind wir zuversichtlich. Erste Schritte wurden mit der Begründung artenreicher und stabilerer Mischbestände bereits seit einiger Zeit eingeleitet.

Mit dem Integrierten Klimaschutzplan Hessen 2025, der im März 2017 von der Hessischen Landesregierung beschlossen wurde, stellen wir uns auf breiter Basis den Herausforderungen des sich ändernden Klimas. Für den Wald in Hessen soll unter anderem im Rahmen eines mehrjährigen Projektes auf der Basis neuester Erkenntnisse eine Klimarisikokarte erstellt werden. Diese soll eine landesweite Beratung aller Waldbesitzerinnen und Waldbesitzer über künftige Risiken und Anpassungsmöglichkeiten im Wald unter Berücksichtigung biotischer und abiotischer Gefahren ermöglichen. Ziel ist der Aufbau artenreicher Mischwälder, die langfristig klimaangepasst und klimaresilient sind. Einen wichtigen Schritt hin zu diesem Ziel sind wir mit der Umstellung auf den FSC-Standard, den international strengsten in der Waldwirtschaft, in rund der Hälfte der hessischen Forstämter bereits gegangen. So sorgen wir für einen stabileren, gesünderen, vielfältigeren und damit auch nachhaltigeren Wald für uns und die kommenden Generationen.

Unterstützen Sie uns auf diesem Weg!

Mit freundlichen Grüßen

Ihre

Priska Hinz  
Hessische Ministerin für Umwelt, Klimaschutz,  
Landwirtschaft und Verbraucherschutz  
Wiesbaden, im Oktober 2017



## Inhaltsverzeichnis

	Seite
Vorwort	2
<b>Inhaltsverzeichnis</b>	3
<b>Hauptergebnisse</b>	4
Uwe Paar und Inge Dammann	
<b>WZE-Ergebnisse für alle Baumarten</b>	6
Uwe Paar und Inge Dammann	
<b>Buche</b>	8
<b>Eiche</b>	9
<b>Fichte</b>	10
<b>Kiefer</b>	11
<b>Wald in der Rhein-Main-Ebene</b>	12
Uwe Paar und Inge Dammann	
<b>Witterung und Klima</b>	13
Johannes Suttmöller	
<b>Insekten und Pilze</b>	17
Ulrich Bressemer, Michael Habermann, Rainer Hurling, Andreas Rommerskirchen, Gitta Langer und Pavel Plašil	
<b>Forstliches Umweltmonitoring</b>	20
Johannes Eichhorn, Uwe Paar, Henning Meeseburg, Andreas Schulze, Jörg Weymar, Michael Spielmann und Inge Dammann	
<b>Standortsinformationen für die Bundeswaldinventur in Hessen</b>	25
Bernd Ahrends, Paul Schmidt-Walter und Henning Meeseburg	
<b>Stoffeinträge</b>	29
Birte Scheler	
<b>Entwicklung der Bodenversauerung auf Intensiv-Monitoringflächen in Nordwestdeutschland</b>	31
Nils König, Heike Fortmann, Henning Meeseburg und Egbert Schönfelder	
<b>Die Substratgruppe Basalt/Diabas</b>	35
Jan Evers, Uwe Paar und Inge Dammann	
Literaturverzeichnis	39
Impressum	40

Foto: J. Weymar





# Hauptergebnisse

## Waldzustandserhebung

Nach der Verschlechterung des Kronenzustandes im hessischen Wald im Vorjahr hat sich die mittlere Kronenverlichtung in 2017 wieder um 3 %-Punkte verbessert. Sie liegt in diesem Jahr bei 22 %.

Die Verlichtung der Kronen bei den älteren Bäumen ist von 30 % (2016) auf 26 % zurückgegangen. Bei den jüngeren Bäumen hat sie von 12 % (2016) auf 10 % abgenommen.

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 1995-1999. Seit 2000 sind stärkere Schwankungen der mittleren Kronenverlichtung zwischen 20 und 26 % festzustellen.

Der Anteil starker Schäden ist moderat (2,6 %). Die Absterberate (alle Bäume, alle Alter) hat sich von 0,5 % in 2015/2016 auf 0,2 % verringert. Sie liegt damit auf einem sehr geringen Niveau.

## Die Baumarten im Einzelnen

Im Vergleich zum Vorjahr hat sich der Kronenzustand der älteren Buche in 2017 um 8 %-Punkte verbessert (2016: 37 %, 2017: 29 %). Dieses Ergebnis steht vor allem im Zusammenhang mit der Fruchtbildung der Buche. Nach der starken Fruktifikation der älteren Buchen im Vorjahr blieb die Fruchtbildung der Buchen in 2017 aus.

Die Kronenverlichtung der älteren Eiche in 2017 hat sich dagegen verschlechtert (2016: 19 %, 2017: 24 %).

Bei der älteren Fichte hat sich die mittlere Kronenverlichtung von 31 % im Vorjahr auf 28 % verbessert. Die ältere Kiefer liegt mit 23 % auf dem gleichen Niveau wie im Vorjahr.

## Rhein-Main-Ebene

Im Vergleich zum Vorjahr hat sich in der Rhein-Main-Ebene der Kronenzustand der älteren Bäume geringfügig verbessert (2016: 29 %, 2017: 27 %). Die mittlere Kronenverlichtung der jüngeren Bäume liegt bei 15 %. Insbesondere die jüngeren Bäume zeigen aber in der Rhein-Main-Ebene einen erheblich schlechteren Kronenzustand als in Gesamthessen (10 %).

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 32 % (2017) erhöht, im Landesdurchschnitt dagegen von 13 % auf 24 %.



Foto: M. Spielmann



Foto: M. Spielmann

## Witterung und Klima

Das Vegetationsjahr 2016/2017 (Oktober-September) ist das 21. Jahr in Folge, das im Vergleich zur Klimanormalperiode (1961-1990) zu warm ausfiel. Mit einer Temperatur von 9,3 °C im Flächenmittel des Landes Hessen betrug die Abweichung rund +1,0 °C. Insbesondere ein kühler Herbst und ein deutlich zu kalter Januar waren die Ursache, dass die Temperaturabweichung geringer war als in den Vorjahren. Von Oktober 2016 bis April 2017 waren landesweit alle Monate zu trocken, so dass im Laufe des Frühjahrs die Trockenheit zu einem zunehmenden Problem für die Vegetationsentwicklung wurde. Insbesondere in Süd- und Mittelhessen betrug das Niederschlagsdefizit in der Nichtvegetationszeit zwischen 20 und teilweise über 30 %. Erst die hohen Niederschlagsmengen im Juli und August, die regional um mehr als 200 % über dem langjährigen Mittelwert lagen, beendeten die Trockenheit. Trotz des nassen Sommers wurde mit 740 mm das langjährige Niederschlagssoll um rund 50 mm unterschritten.

## Insekten und Pilze

Das *Diplodia*-Triebsterben tritt seit einigen Jahren in Kiefernbeständen der Trägerländer der NW-FVA auf. Seit dem Frühjahr 2017 werden auffällige bis wirtschaftlich fühlbare Schäden bei Waldkiefer infolge des *Diplodia*-Triebsterbens in Hessen beobachtet. Diese Erkrankung, die durch den wärmeliebenden Mikropilz *Sphaeropsis sapinea* ausgelöst wird, tritt vornehmlich bei vitalitätsgeschwächten Kiefern aller Altersstufen auf, kommt jedoch auch bei anderen Nadelbäumen vor.

Das in Deutschland weit verbreitete Eschentriebsterben ist eine ernste Bedrohung für die Esche. Im Zuständigkeitsgebiet der NW-FVA sind sowohl die Ausbreitung in den Beständen als auch die Intensität des Krankheitsverlaufs vor Ort noch nicht zum Stillstand gekommen. Die Erkrankung wird durch den invasiven Mikropilz *Hymenoscyphus fraxineus* hervorgerufen und führt mit seinen Folgeerscheinungen bei einem hohen Prozentsatz der Eschen zum Absterben.



# Hauptergebnisse



Foto: J. Evers

## Standortsinformationen für die Bundeswaldinventur (BWI) in Hessen

Für bundesweit mehr als 24.000 BWI-Punkte des 4 km x 4 km Grundnetzes konnten die Daten der Bundeswaldinventur um zeitlich und räumlich hochaufgelöste Klima- und Bodendaten ergänzt werden. Die Ableitung von Leitprofilen mit vollständigen horizontweisen Angaben zu Bodenart, Skelettgehalt und Trockenrohdichte und die Ableitung von Klimadaten in hoher zeitlicher Auflösung erlauben eine präzise Modellierung des Wasserhaushaltes. Diese zeigt, dass in den letzten 50 Jahren das Trockenstressrisiko aufgrund des Klimawandels zugenommen hat. Ein Trend, der sich vermutlich noch verschärfen wird.

## Stoffeinträge

Die Deposition ist in Wäldern für viele Nähr- und Schadstoffe wie beispielsweise Sulfatschwefel eine bedeutende Eintragsquelle.

Durch vielfältige Maßnahmen zur Luftreinhaltung konnte die Mitte der 1980er Jahre sehr hohe Belastung durch Schwefel einträge von bis zu 58 kg je Hektar unter Fichte und bis 30 kg je Hektar unter Buche deutlich reduziert werden. 2016 betrug der Sulfateintrag je Hektar zwischen 1,8 kg (Buche: Kellerwald) und 4,0 kg (Buche: Fürth, Fichte: Königstein).

Der Eintrag von Nitratstickstoff ist auf allen Monitoringflächen zurückgegangen, beim Ammoniumstickstoff trifft dies nur für vier der 11 Flächen zu. Der anorganische Stickstoffeintrag je Hektar lag 2016 im Freiland zwischen 4,4 kg (Hess. Ried) und 9,9 kg (Fürth) sowie zwischen 7,6 kg (Hess. Ried, Buche) und 20 kg (Königstein, Fichte).

Durch den Rückgang des Schwefeleintrags ist der anorganische Stickstoffeintrag ( $\text{NH}_4\text{-N} + \text{NO}_3\text{-N}$ ) mit Anteilen zwischen 76 % und 86 % der Hauptverursacher der nach wie vor zu hohen Gesamtsäurebelastung.

## Entwicklung der Bodenversauerung auf Intensiv-Monitoringflächen in Nordwestdeutschland

Bei 30 von 47 Intensiv-Monitoringflächen in Nordwestdeutschland handelt es sich um basenarme Standorte mit tiefgründiger Versauerung. Anhand der langen Zeitreihen einer Buchen- und einer Fichtenfläche im Solling sowie einiger anderer Flächen lässt sich der Versauerungsprozess im Boden seit den 1960er Jahren nachverfolgen: die Basensättigung geht zurück, die Calciumvorräte nehmen ab und die austauschbaren Aluminiumgehalte steigen an. Dank des starken Rückgangs der Säureeinträge in die Wälder scheint diese Entwicklung seit Beginn der 2000er Jahre nicht weiter fortzuschreiten.

Mit Kalkungsmaßnahmen wird der Bodenversauerung entgegengewirkt und damit eine Stabilisierung der bodenchemischen Verhältnisse erreicht. Die Kalkung hebt die Basensättigung, wirkt weiteren Nährstoffverlusten entgegen und führt zu einer Verlagerung von organischem Kohlenstoff aus dem Auflagehumus in den Mineralboden.

## Substratgruppe Basalt/Diabas

Die Substratgruppe Basalt/Diabas ist – neben den Lösslehm-Standorten – die am zweithäufigsten vorkommende Substratgruppe in Hessen. Am häufigsten kommt in Hessen die Substratgruppe Buntsandstein vor (28 %).

Das größte zusammenhängende Basaltgebiet des europäischen Festlandes stellt der hessische Vogelsberg dar. In der Regel findet man an den Basalt/Diabas-Standorten in Hessen bis zu 70 cm mächtige, z. T. steinreiche Decken aus Feinboden über basenreichem Grundgestein. Die Substratgruppe Basalt/Diabas ist durch das Vorkommen der Bodentypen Parabraunerden (55 %) und Braunerden (35 %) gekennzeichnet.

Wie auf Basalt finden sich auch auf Diabas Hainsimsen-Waldmeister-Buchenwälder, Waldmeister-Buchenwälder und Waldgersten-Buchenwälder.

Für die BZE-Punkte auf Basalt/Diabas-Standorten verringerten sich die durchschnittlichen Basensättigungswerte zwischen den BZE-Zeitpunkten leicht.

Die Substratgruppe Basalt/Diabas gehört in Hessen aber weiterhin zu den am besten mit Nährstoffen versorgten Standorten. Auf diesen Standorten werden keine Kalkungsmaßnahmen durchgeführt. Auch die Analyse der Nährelementgehalte in den Blättern und Nadeln von Buche, Fichte und Eiche zeigt, dass in dieser Substratgruppe die Bäume besser und ausgewogener ernährt sind als auf anderen Standorten.



Foto: M. Spielmann



# WZE-Ergebnisse für alle Baumarten

Uwe Paar und Inge Dammann

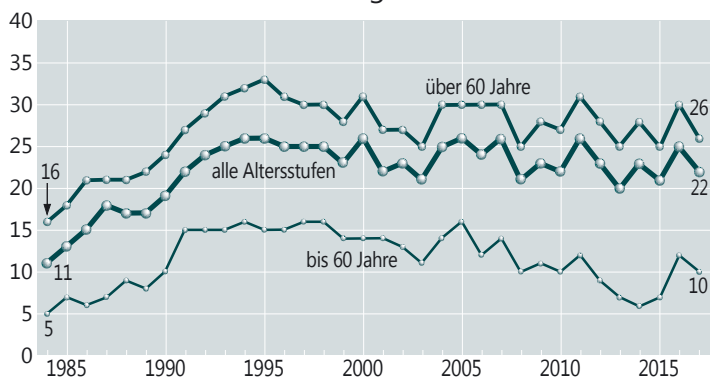
## Mittlere Kronenverlichtung

Die Waldzustandserhebung 2017 weist als Gesamtergebnis für die Waldbäume in Hessen (alle Baumarten, alle Alter) eine mittlere Kronenverlichtung von 22 % aus.

Damit hat sich die mittlere Kronenverlichtung im Vergleich zum Vorjahr um 3 %-Punkte verbessert.

Der Wert ist bei den älteren (über 60jährigen) Bäumen von 30 % (2016) auf 26 % zurückgegangen. Der Kronenzustand der jüngeren Bäume hat sich von 12 % (2016) auf 10 % verbessert.

Mittlere Kronenverlichtung in %



## Anteil starker Schäden

Insgesamt liegt der Anteil starker Schäden über alle Baumarten und alle Alter mit durchschnittlich 3 % im langjährigen Mittel auf einem eher geringen Niveau. Der Anteil starker Schäden ist bei den älteren Bäumen mit 3 % und bei den jüngeren Bäumen mit 2 % auf demselben Niveau wie im Vorjahr. Die 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.

Anteil starker Schäden, alle Baumarten, alle Alter in %

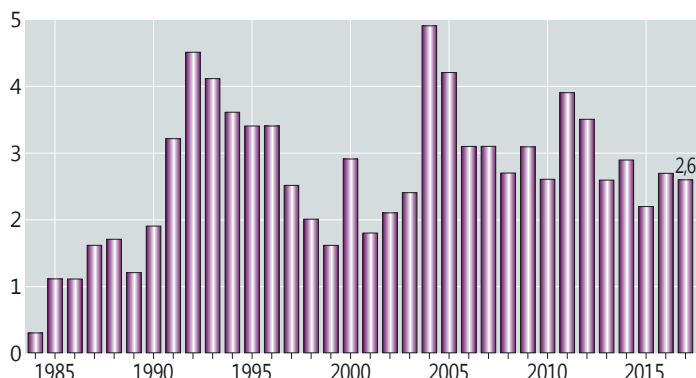


Foto: J. Evers



# WZE-Ergebnisse für alle Baumarten

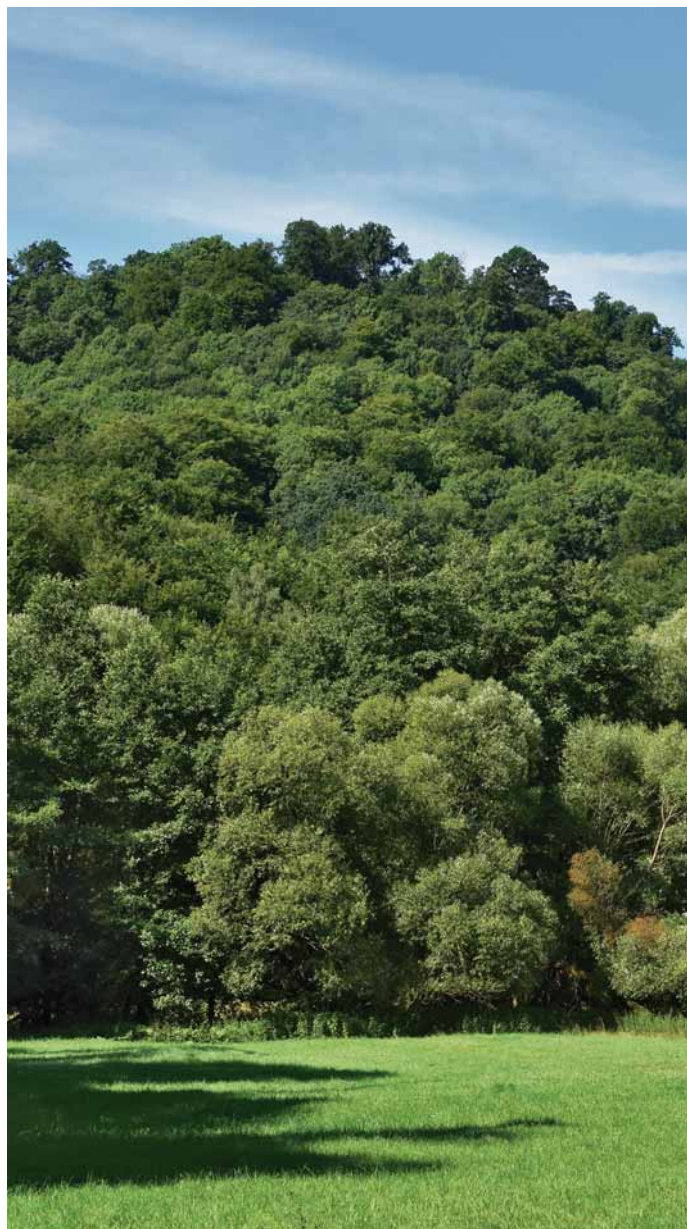


Foto: M. Spielmann

## Vergilbungen

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

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

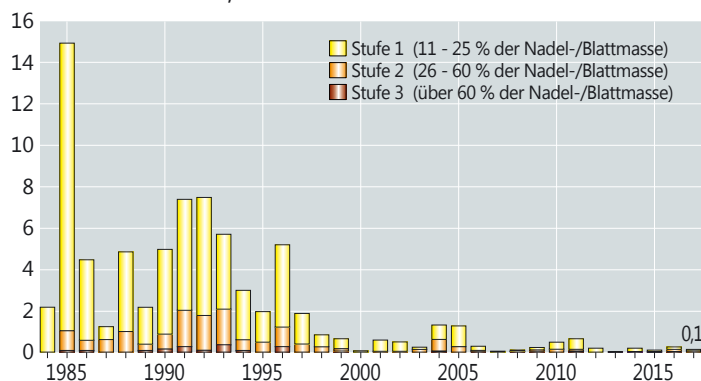
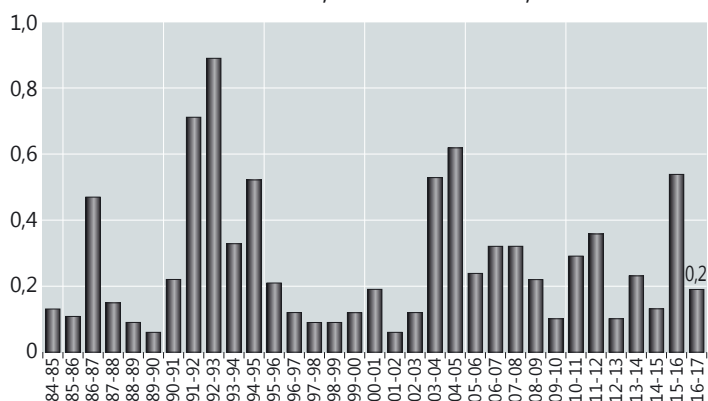


Foto: M. Spielmann

## Absterberate

Die Absterberate (alle Bäume, alle Alter) hat sich von 0,5 % in 2015/2016 auf 0,2 % verringert. Sie liegt damit gegenwärtig auf einem geringen Niveau. Die jährliche Absterberate ist ein wichtiger Indikator für Vitalitätsrisiken des Waldes. Sie stellt eine wichtige Basislinie dar. Dies gilt besonders vor dem Hintergrund prognostizierter Klimaänderungen.

Jährliche Absterberate, alle Baumarten, alle Alter in %





# Buche

## Ältere Buche

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

In 2017 hat sich der Kronenzustand im Vergleich zum Vorjahr um 8 %-Punkte verbessert (2016: 37 %; 2017: 29 %). Diese Entwicklung steht vor allem im Zusammenhang mit der Fruchtbildung der Buche. Nach der starken Fruktifikation der älteren Buchen im Vorjahr blieben über 99 % der älteren Buchen in 2017 ohne Fruktifikation.

Die durch eine Hitzewelle im August 2016 ausgelöste frühe Herbstverfärbung und der vorzeitige Blattabfall auf sonnenexponierten und flachgründigen Standorten hat sich 2017 nicht nachhaltig auf den Austrieb und die Kronenentwicklung der Buchen ausgewirkt.

## Jüngere Buche

Bei der jüngeren Buche hat sich die mittlere Kronenverlichtung von 15 % (2016) auf 6 % verbessert.

Mittlere Kronenverlichtung in %

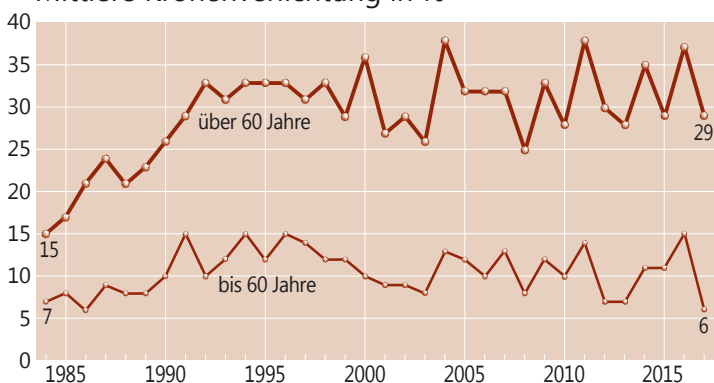


Foto: J. Evers

## Starke Schäden

Der Anteil starker Schäden an älteren Buchen liegt wie im Vorjahr bei 3 %. Bei den jüngeren Buchen wurden in 2017 keine starken Schäden festgestellt.

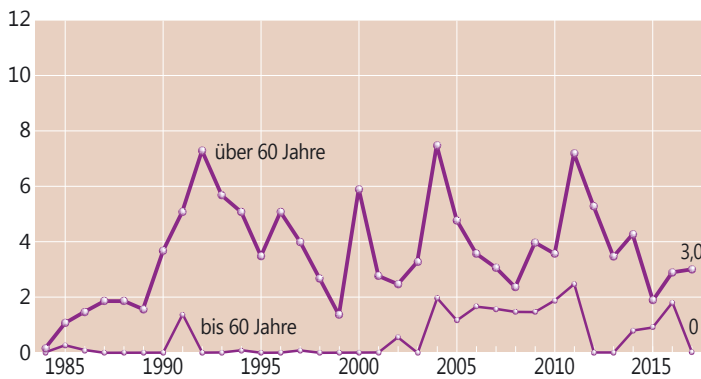
## Absterberate

Die Buche weist im Vergleich der Hauptbaumarten seit 1984 die geringste Absterberate auf. Im Mittel liegt die Absterberate der jüngeren und älteren Buche unter 0,1 %. Im Beobachtungszeitraum 2016/2017 sind keine Buchen abgestorben.

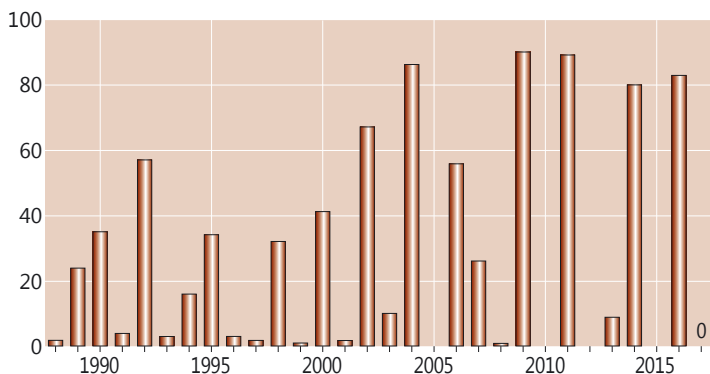
## Fruchtbildung

Für 2017 ist ein Ausbleiben der Fruchtbildung festzustellen. Die Zeitreihe zur Fruchtbildung im Rahmen der Waldzustandserhebungen zeigt aber eine Tendenz, dass die Buche in den letzten drei Jahrzehnten in kurzen Abständen und vielfach intensiv fruktifiziert hat. Dies steht einerseits im Zusammenhang mit einer Häufung warmer Jahre, die in Verbindung mit der Klimaerwärmung zu sehen sind, sowie einer erhöhten Stickstoffversorgung der Bäume, einer Folge der über Jahre hohen Belastung hessischer Wälder durch anthropogene Stickstoffeinträge. 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 1988-2017 alle 2,7 Jahre eine starke Mast. Literaturrecherchen (Paar et al. 2011) hingegen ergaben für den Zeitraum 1839-1987 Abstände zwischen zwei starken Masten von im Mittel 4,7 Jahren. Des Weiteren zeigt sich, dass sich auch die Intensität der Fruktifikation in den einzelnen Fruktifikationsjahren insgesamt erhöht hat.

Anteil starker Schäden in %



Anteil mittel und stark fruktifizierender älterer Buchen in %





# Eiche

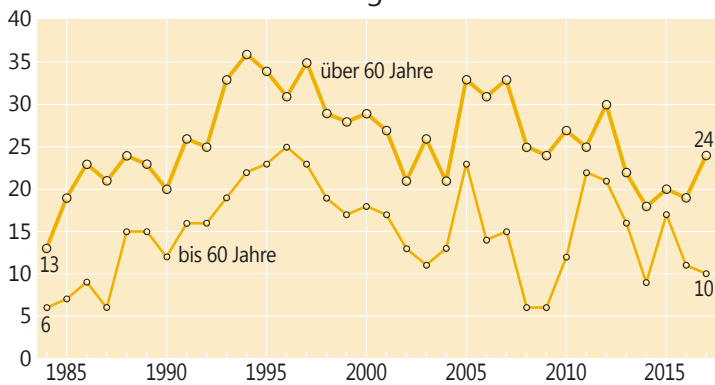
## Ältere Eiche

Die Kronenverlichtung der älteren Eiche hat sich in 2017 um 5 %-Punkte verschlechtert (2016: 19 %, 2017: 24 %). Die Entwicklung der Kronenverlichtung der Eiche wird insgesamt stark durch das unterschiedlich ausgeprägte Vorkommen der Eichenfraßgesellschaft bestimmt. Im Zeitraum 2013-2016 wurde in der WZE-Stichprobe kein oder nur ein geringer Anteil an mittleren oder starken Fraßschäden durch Schmetterlingsraupen an der älteren Eiche festgestellt. In 2017 wurde an 12 % der älteren Eiche wieder intensiverer Fraß festgestellt (2016: 0 %).

## Jüngere Eiche

Die Kronenverlichtung der jüngeren Eiche zeigt mit 10 % in 2017 ein ähnliches Bild wie im Vorjahr.

Mittlere Kronenverlichtung in %



Anteil starker Schäden in %

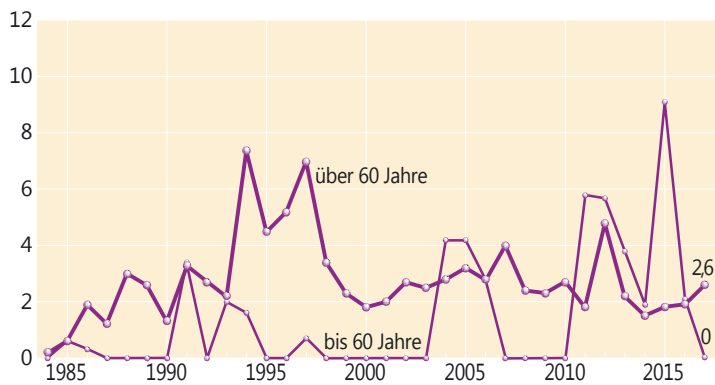


Foto: J. Weymar



Foto: M. Spielmann

## Starke Schäden

Phasen mit erhöhten Anteilen starker Schäden (über 5 %) an älteren Eichen stehen in der Regel in Verbindung mit intensivem Insektenfraß. In 2017 liegt der Anteil starker Schäden für die älteren Eichen bei 3 %. Dies entspricht dem Mittelwert der WZE-Zeitreihe.

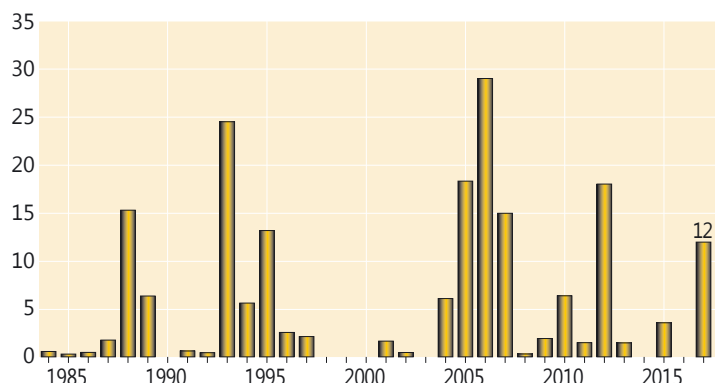
## Absterberate

2017 ist im WZE-Kollektiv keine Eiche 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 24 % mittel und stark fruktifiziert.

Anteil mittlerer und starker Fraßschäden an älteren Eichen in %





# Fichte

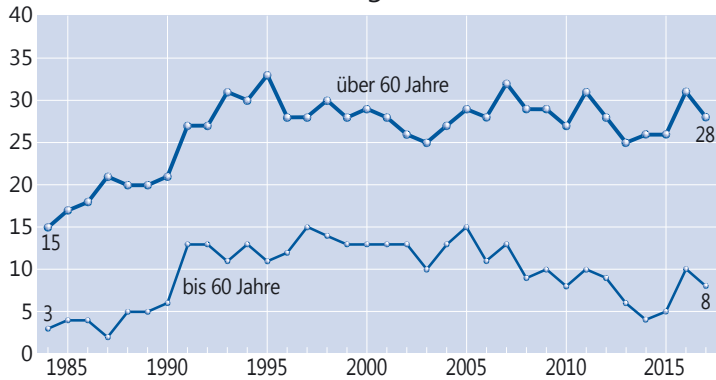
## Ältere Fichte

Bei der älteren Fichte hat sich die mittlere Kronenverlichtung von 31 % im Vorjahr auf 28 % verringert.

## Jüngere Fichte

Auch bei der jüngeren Fichte ist die mittlere Kronenverlichtung von 10 % (2016) auf 8 % zurückgegangen.

Mittlere Kronenverlichtung in %



Anteil starker Schäden in %

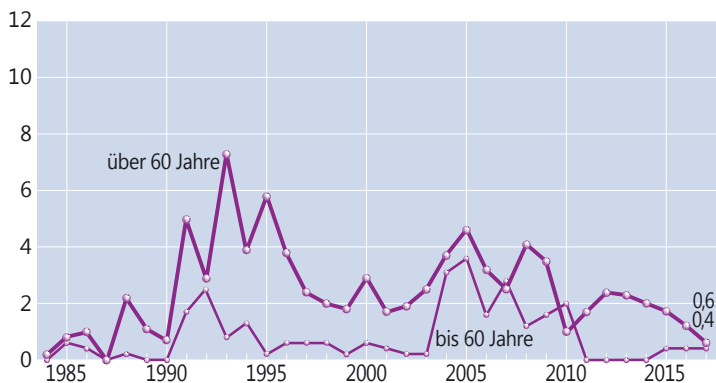


Foto: J. Evers

## 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 0,6 % 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 1984-2017 bei 0,4 %. Im Zeitraum 2016 bis 2017 liegt der Wert bei 0 %. Erhöhte Absterberaten sind 1991-1995 (bis 2 %), 2004-2005 (bis 1,4 %) und 2008-2009 (bis 1,1 %) aufgetreten, jeweils nach besonderen abiotischen und biotischen Schadereignissen.



Foto: T. Ullrich



# Kiefer

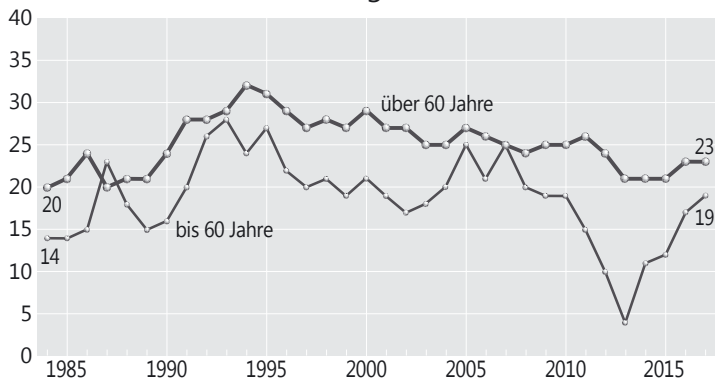
## Ältere Kiefer

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

## Jüngere Kiefer

Die mittlere Kronenverlichtung der jüngeren Kiefer ist von 17 % (2016) auf 19 % leicht angestiegen.

Mittlere Kronenverlichtung in %



Anteil starker Schäden in %

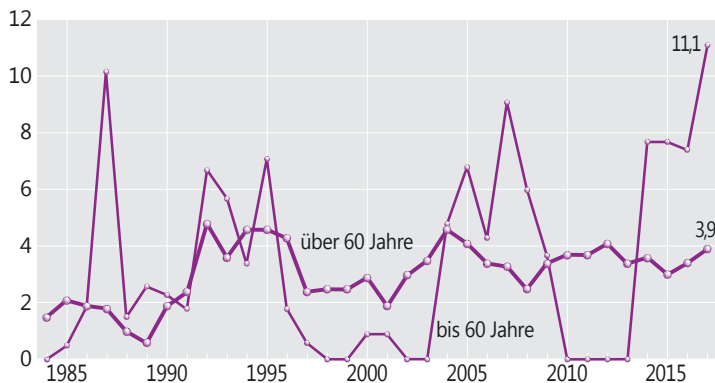


Foto: M. Spielmann

## Starke Schäden

Der Anteil starker Schäden liegt bei der Kiefer im langjährigen Mittel bei 3 %. Bei der jüngeren Kiefer beträgt der Anteil starker Schäden in 2017 11 %.

## Absterberate

Die Absterberate der Kiefer (alle Alter) schwankt im Erhebungszeitraum zwischen 0 und 2 %. In 2017 liegt der Wert bei nur 0,4 %.



Foto: M. Spielmann



# Wald in der Rhein-Main-Ebene

**Uwe Paar und Inge Dammann**

Im Vergleich zum Vorjahr hat sich auch in der Rhein-Main-Ebene der Kronenzustand der älteren Bäume geringfügig verbessert (2016: 29 %, 2017: 27 %). Die mittlere Kronenverlichtung der jüngeren Bäume liegt mit 15 % annähernd auf dem Niveau des Vorjahres (16 %). 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.

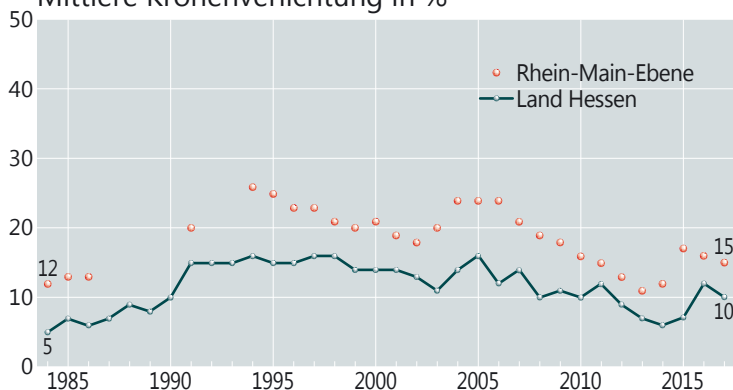
Dass sich mittelfristig die Situation in der Rhein-Main-Ebene grundlegend verschlechtert hat, wird am Beispiel der Eiche deutlich. 1984 zu Beginn der methodisch unveränderten Zeitreihe lag die Kronenverlichtung älterer Eichen in der Rhein-Main-Ebene bei 15 %. Der heutige Wert von 32 % stellt eine Verdopplung des mittleren Blattverlustes dar. Günstiger ist dagegen die Entwicklung des Kronenzustandes der älteren Eiche in Gesamthessen (1984: 13 %, 2017: 24 %).

Bereits im Rahmen der ersten Aufnahme zum Mistelbefall an der Kiefer im Jahr 2002 wurde für ca. ein Drittel der Kiefern in der Rhein-Main-Ebene Mistelbefall festgestellt. Seitdem erhöhte sich der Anteil von Kiefern mit Mistelbefall auf 43 %. 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 Hess. Ried sind in verschiedenen Forschungsberichten dargelegt (z. B. Waldentwicklungsszenarien für das Hess. Ried, Ahner et al. 2013, zu beziehen über die NW-FVA). Zusammenfassend bestätigen die Ergebnisse, dass die Wälder im Ballungsraum Rhein-Main zu den forstlichen Brennpunkten in Mitteleuropa gehören. Höhere Trinkwasserfördermengen, Flächenverbrauch, Zerschneidung, Stoffeinträge aus der Luft, erhöhte Transpirationsraten 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.

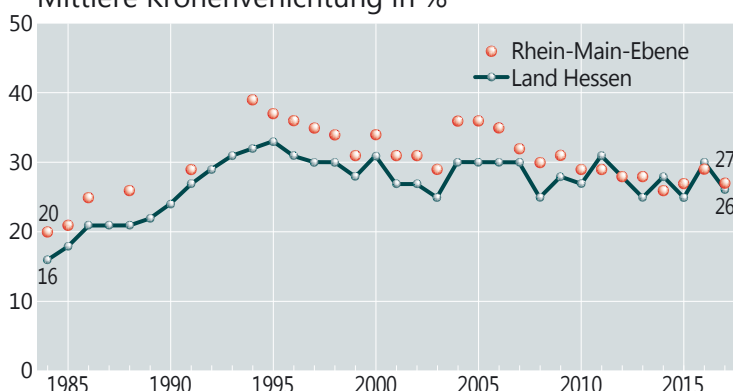


Foto: J. Weymar

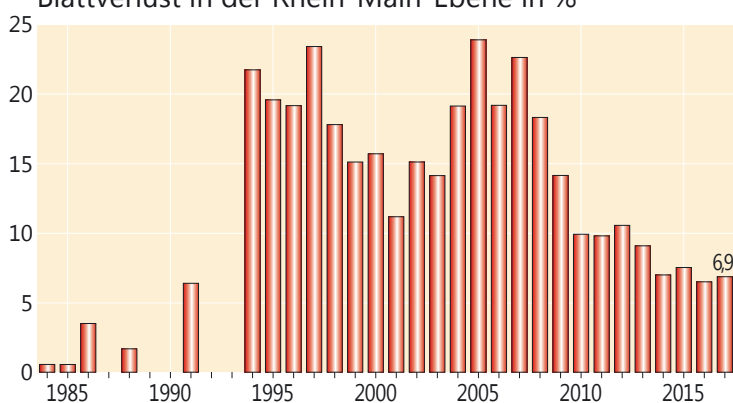
Alle Baumarten, bis 60 Jahre  
Mittlere Kronenverlichtung in %



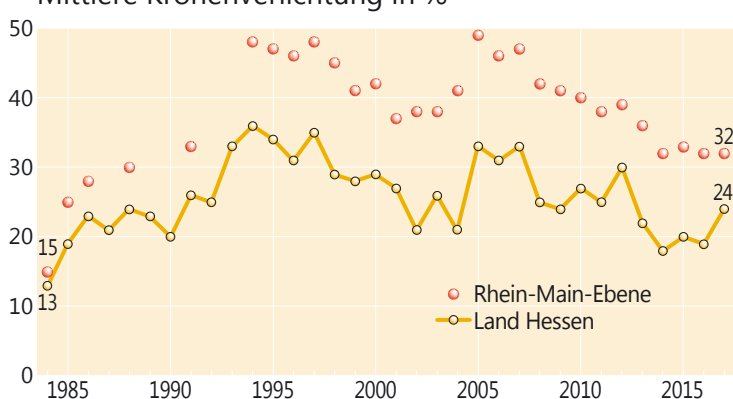
Alle Baumarten, über 60 Jahre  
Mittlere Kronenverlichtung in %



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



Eiche, über 60 Jahre  
Mittlere Kronenverlichtung in %



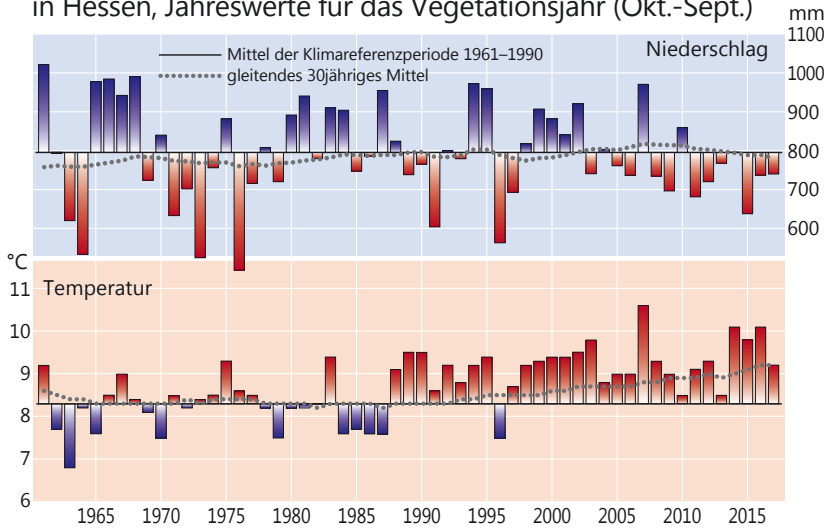


# Witterung und Klima

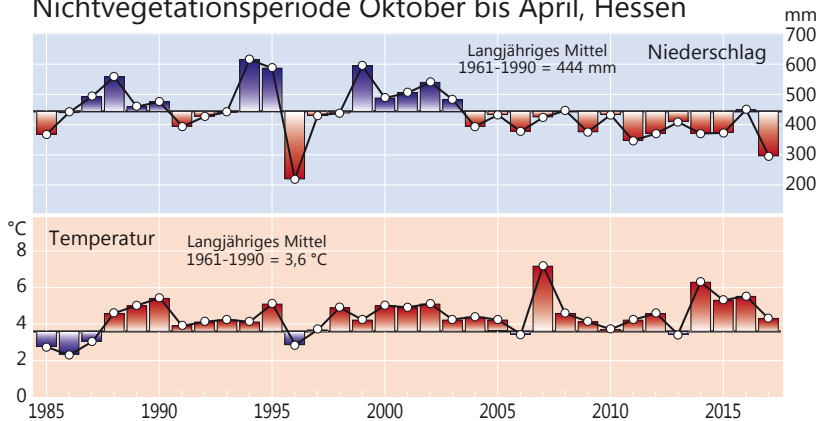
Johannes Suttmöller

Der Witterungsverlauf im Vegetationsjahr 2016/17 (Oktober bis September) war in Hessen äußerst abwechslungsreich. Die Mitteltemperatur über die gesamte Landesfläche (Berechnungsgrundlage 200 m Raster) lag knapp 1 °C über dem langjährigen Durchschnitt der Klimanormalperiode 1961 bis 1990. Dabei zeigt die Auswertung der rund 200 Klimastationen des Deutschen Wetterdienstes (DWD), dass die Abweichung in der Vegetationsperiode (Mai bis September) deutlich stärker ausgefallen ist als in der Nichtvegetationszeit (Oktober bis April). Die Niederschlagsverteilung weist wie die Temperatur starke jahreszeitliche Schwankungen auf. Die Ergebnisse der

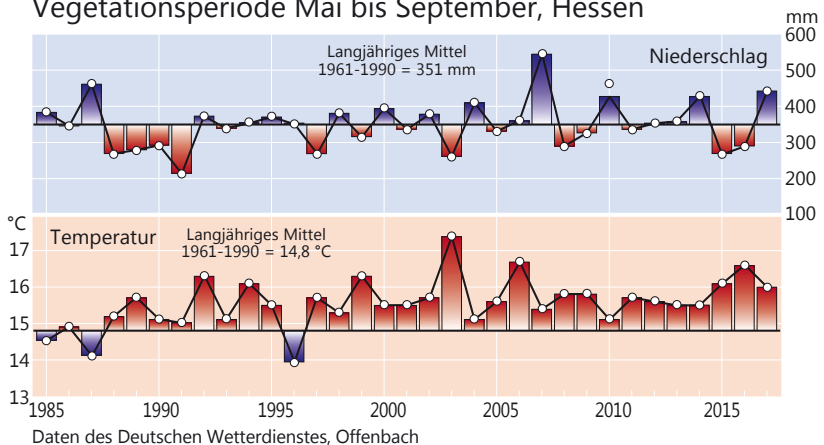
Abweichungen von Niederschlag und Temperatur vom Mittel der Klimareferenzperiode 1961-1990 (durchgezogene schwarze Linie) und gleitendes 30jähriges Mittel (gepunktete graue Linie) in Hessen, Jahreswerte für das Vegetationsjahr (Okt.-Sept.)



Langjährige Klimawerte (1985-2017)  
Nichtvegetationsperiode Oktober bis April, Hessen



Langjährige Klimawerte (1985-2017)  
Vegetationsperiode Mai bis September, Hessen



mehr als 1000 Niederschlagsstationen zeigen für das Vegetationsjahr nur ein leichtes Niederschlagsdefizit auf. In der Nichtvegetationszeit fielen jedoch nur zwei Drittel der üblichen Niederschlagsmenge, während in der Vegetationsperiode das Soll mit mehr als 120 % deutlich übertroffen wurde. 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.

## Temperatur und Niederschlag im langjährigen Verlauf

Die langjährigen Messdaten für den Zeitraum von 1961 bis 2017 zeigen seit 1988 eine gegenüber der Referenzperiode (1961-1990) erhöhte Temperatur. Die langjährige Mitteltemperatur beträgt 9,2 °C und liegt damit knapp 1 °C über der Mitteltemperatur der Klimanormalperiode. 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, Abb. links oben). Die Mitteltemperatur für das Vegetationsjahr 2017 lag im Flächenmittel des Landes Hessen ebenfalls bei 9,2 °C und damit 0,9 °C über dem langjährigen Mittelwert bzw. 0,4 °C über dem Wert der Periode 1981 bis 2010.

Wie bereits in den Vorjahren waren die meisten Monate zu warm (7 von 12). Die höchsten positiven Abweichungen wurden in den Monaten Februar, März (+3,7 °C), Juni und Juli mit jeweils über +2 °C gemessen. Etwas zu kühl waren der Oktober und November 2016 sowie der April und September 2017 (<1 °C Abweichung). Der Januar fiel mit einer Mitteltemperatur von -2,3 °C um 2,0 °C deutlich zu kalt aus.

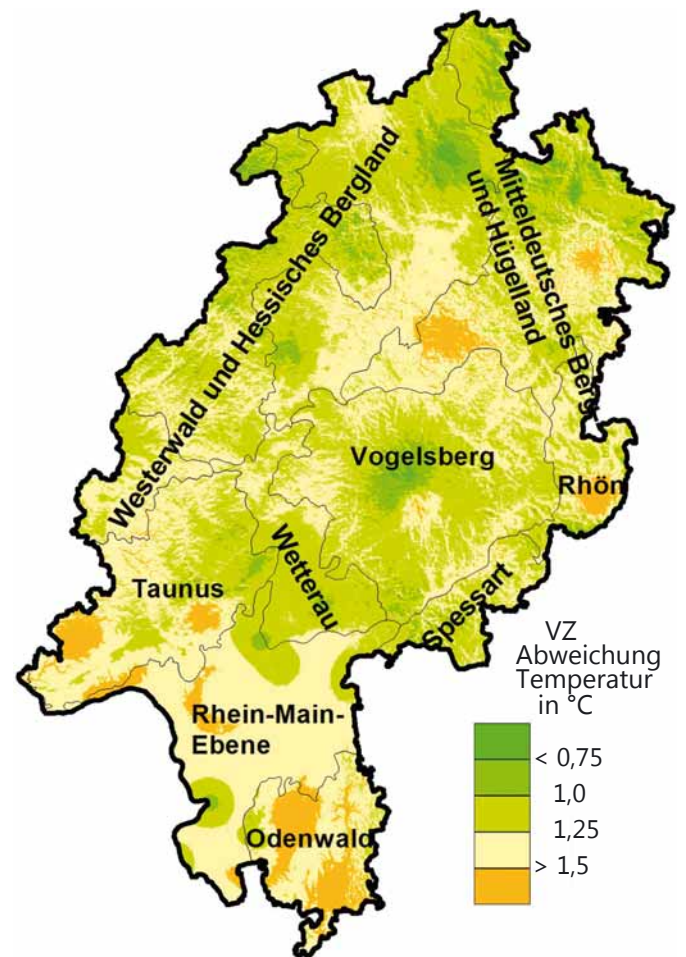
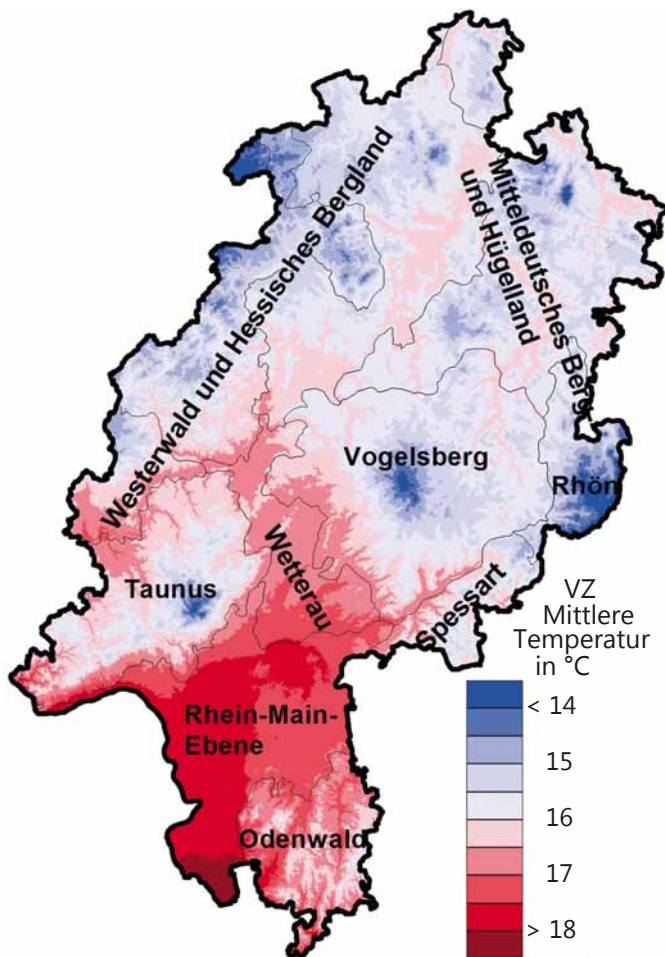
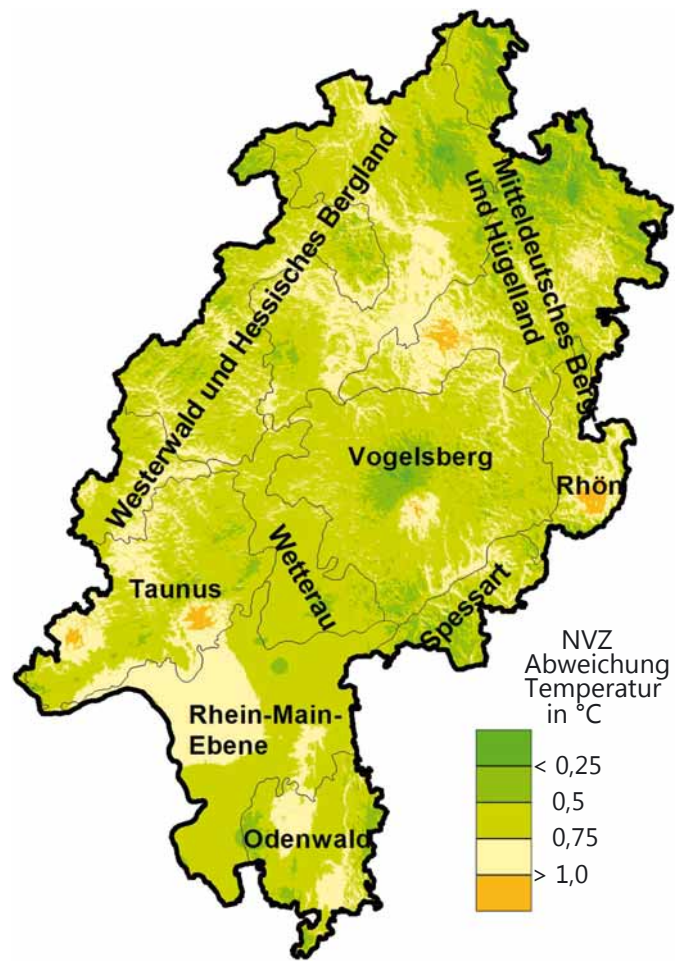
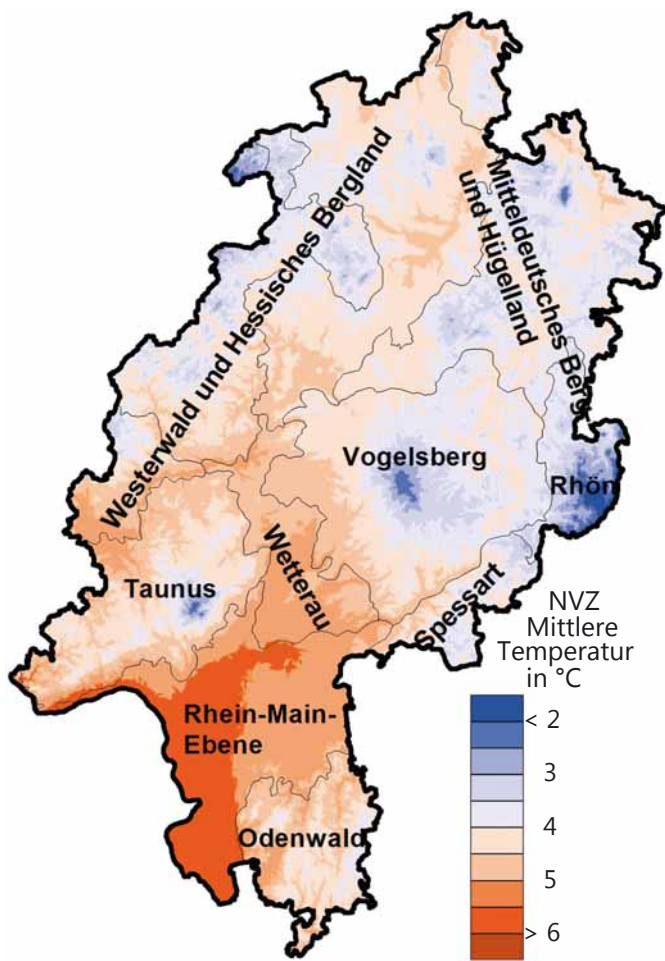
Die Niederschlagssumme im Vegetationsjahr 2017 betrug rund 740 mm. Dies entspricht 94 % des langjährigen Mittelwertes von knapp 800 mm. Damit wurde im dritten Jahr in Folge das Niederschlagssoll unterschritten, so dass sich im gleitenden 30jährigen Mittel die Niederschlagssumme von 818 mm im Jahr 2007 auf nunmehr 782 mm verringert hat.

Die Nichtvegetationszeit von Oktober 2016 bis April 2017 war mit 4,3 °C um 0,7 °C wärmer als der langjährige Durchschnitt der Klimanormalperiode. Im Vergleich zur wärmeren Periode 1981 bis 2010 betrug die Abweichung dagegen nur +0,1 °C. In den letzten dreißig Jahren waren nur drei Nichtvegetationsperioden zu kühl (Abb. links Mitte). In der Vegetationszeit (Mai bis September) wurde die Mitteltemperatur von 14,8 °C mit 16,0 °C deutlich übertroffen (Abb. links unten). Zur Mitteltemperatur der Periode 1981 bis 2010 von 15,4 °C war die Abweichung mit +0,6 °C etwas geringer. Damit sind bis auf das Jahr 1996 seit 1988 alle Vegetationsperioden im Vergleich zur Klimanormalperiode zu warm ausgefallen.



# Witterung und Klima

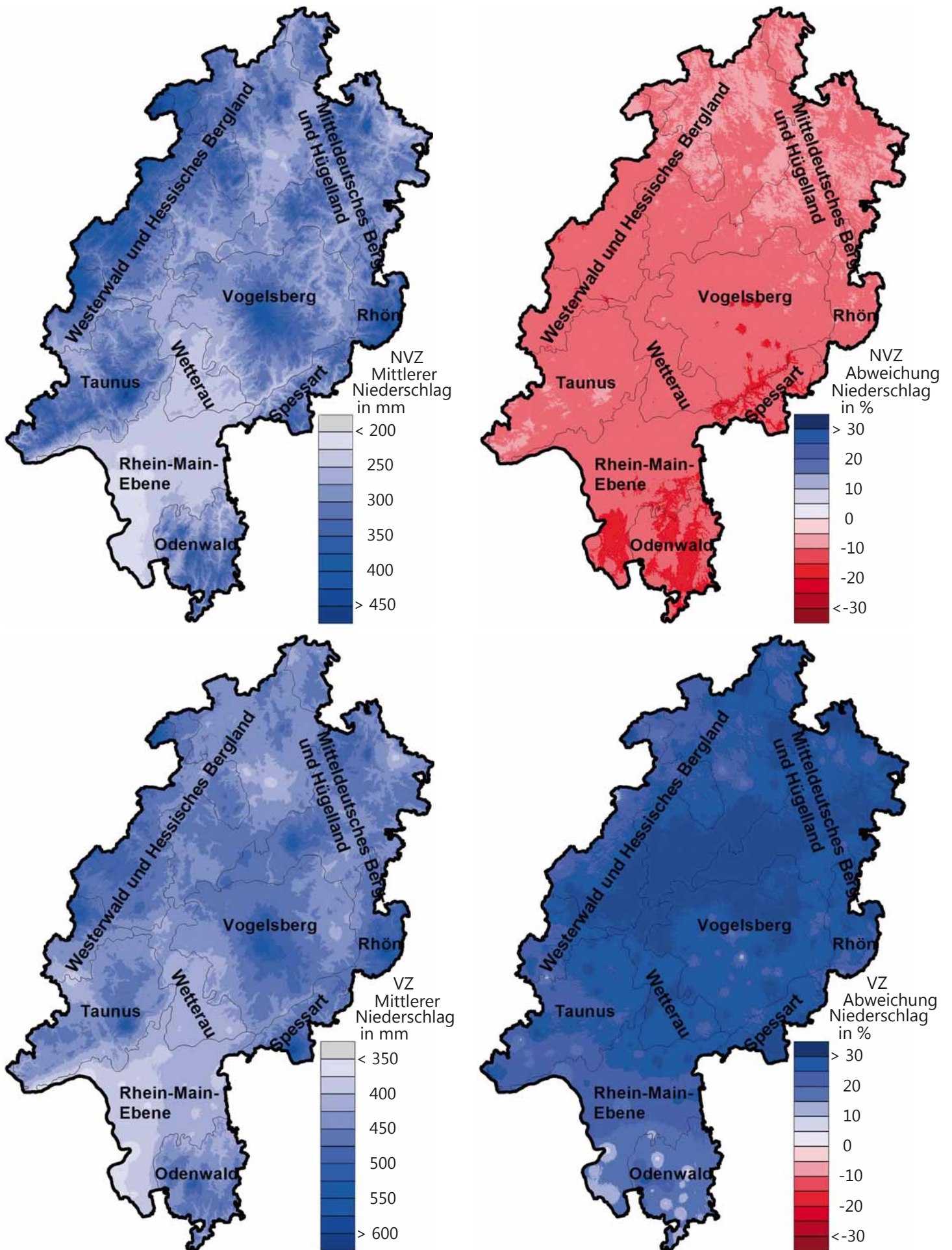
Gemessene Temperaturen und deren Abweichungen zum langjährigen Mittel in der Nichtvegetationszeit (NVZ) 2016/2017 und in der Vegetationszeit (VZ) 2017





# Witterung und Klima

Gemessene Niederschlagssummen und deren Abweichungen zum langjährigen Mittel in der Nichtvegetationszeit (NVZ) 2016/2017 und in der Vegetationszeit (VZ) 2017





## Witterung und Klima

Die Niederschläge fielen über das Vegetationsjahr betrachtet sehr ungleichmäßig. In der Nichtvegetationsperiode wurden im Flächenmittel von Hessen nur 293 mm Niederschlag gemessen. Dies sind 66 % des langjährigen Mittelwertes von 444 mm. In den letzten dreißig Jahren fiel nur in der Nichtvegetationsperiode 1995/96 mit 217 mm noch weniger Niederschlag (Abb. Seite 13, Mitte). Die Vegetationsperiode 2017 zeigte dagegen ein komplett anderes Bild. Das Niederschlagsdefizit aus den Vormonaten konnte fast ausgeglichen werden. Die Niederschlagssumme betrug 450 mm und damit knapp ein Drittel mehr als im langjährigen Durchschnitt. Seit 1988 war nur die Vegetationsperiode 2007 mit 546 mm noch deutlich feuchter (Abb. Seite 13, unten).

Die Erwärmung, die seit Ende der 1980er Jahre gemessen wird, hat sich weiter fortgesetzt. Im Mittel der letzten Jahre betrug der Temperaturanstieg pro Jahr rund 0,05 °C. Setzt sich dieser Trend unverändert fort, ist etwa alle 20 Jahre mit einer weiteren Temperaturerhöhung von 1 °C zu rechnen. Bei den Niederschlägen ist in Hessen seit einigen Jahren eine leichte Abnahme zu beobachten. Dies liegt darin begründet, dass insbesondere der Spätwinter und das Frühjahr regelmäßig zu trocken sind. Für die Vegetationsperiode ist dagegen kein eindeutiger Trend erkennbar.

### Witterungsverlauf von Oktober 2016 bis September 2017

Das Vegetationsjahr 2016/2017 ist bereits das 21. Jahr in Folge, das zu warm ausgefallen ist. Dabei schwankten die Mitteltemperaturen der Monate Oktober bis Dezember um die langjährigen Mittelwerte der Klimanormalperiode 1961 bis 1990. Es folgte ein sehr kalter Januar. Die Monate Februar und März waren mit Temperaturabweichungen von +2,8 °C bzw. +3,7 °C deutlich zu warm. Die überdurchschnittlich hohen Temperaturen wurden bis in die erste Aprilhälfte hinein gemessen, so dass es zu einem frühzeitigen Beginn in der Vegetationsentwicklung kam. Starke Nachtfröste in der zweiten Aprilhälfte führten zu Frostschäden an der Vegetation. Von Mai bis einschließlich August war es mit Temperaturabweichungen von +1,2 °C (August) bis +2,5 °C (Juni) durchgehend zu warm. Der September schließlich war rund 0,5 °C kühler als im langjährigen Mittel.

Die Niederschlagsentwicklung im abgelaufenen Vegetationsjahr verlief in Hessen zweigeteilt. Von Oktober bis einschließlich April waren alle Monate zu trocken. Die Monate Dezember (21 %), Januar (60 %) und April (37 %) fielen sogar deutlich zu trocken aus. Da bereits im Sommer 2016 nur etwa zwei Drittel der Niederschlagsmenge der Klimanormalperiode gefallen war, wurde befürchtet, dass sich die Trockenheit vergleichbar mit dem Jahr 2015 zu einer Dürre ausweiten könnte. Allerdings setzten ab Mai vermehrt Niederschläge ein, die die Trockenheit verminderten. Der Juni war zwar wiederum zu trocken (82 %), doch ab Juli bis in den August hinein führten wiederholt auftretende Starkniederschlagsereignisse dazu, dass beide Monate deutlich zu nass waren. Im Juli fielen im Landesmittel über 200 % der sonst üblichen Niederschläge und im August knapp 140 %. Im September wurde die langjährige Niederschlagsmenge erreicht. Aufgrund der hohen Sommerniederschläge wurde in Hessen das Niederschlagssoll fast erreicht. Wie bereits in den letzten Jahren zu beobachten war, fallen die meisten Monate im Jahresverlauf zu trocken aus. Überdurch-

schnittlich hohe Niederschläge in einzelnen Monaten führen dazu, dass das Niederschlagsdefizit über das gesamte Jahr in Hessen nur relativ gering ausfällt.

In der Nichtvegetationszeit lag die Mitteltemperatur in der wärmsten Region Hessens (Rhein-Main-Gebiet) über 5,0 °C. In den Mittelgebirgen (Rhön, Vogelsberg, Taunus, Nord- und Mittelhessisches Bergland) betrug die Mitteltemperatur von Oktober bis April regional weniger als 2 °C. Die Temperaturabweichung zum Temperaturmittel der Periode 1961 bis 1990 war landesweit mit rund +0,5 °C relativ einheitlich. Nur kleinräumig in der Rhön, im Taunus und Westerwald sowie Teilen Nordhessens wurde mehr als +1,0 °C Temperaturanomale gemessen, während am Vogelsberg und regional in Nordhessen der langjährige Mittelwert nur geringfügig überschritten wurde (Abbildungen Seite 14). In der Vegetationsperiode treten die höchsten Abweichungen von mehr als 1,5 °C im Vergleich zum langjährigen Mittel in Südhessen (Rhein-Main-Gebiet, Odenwald), in der Rhön und in Teilen Nordosthessens auf. Nördlich des Vogelsbergs und regional in Nordhessen lagen die Mitteltemperaturen weniger als 0,75 °C über den Werten der Referenzperiode. Die Nichtvegetationszeit 2016/2017 war in Hessen landesweit zu trocken. Während in Nordhessen das Niederschlagsdefizit unter 30 % lag, wurden in Mittel- und Südhessen flächendeckend 30-40 % weniger Niederschlag gemessen. In einigen Regionen Südhessens und des Spessarts betrug das Niederschlagsdefizit von Oktober bis April sogar annähernd 50 % (Abbildungen Seite 15). In der Vegetationsperiode ergibt sich ein völlig anderes Bild. Flächendeckend wurde in Hessen das Niederschlagssoll um 20 bis 30 % überschritten. In Mittelhessen fielen teilweise sogar bis zu 50 % mehr Niederschläge als im langjährigen Mittel. In den südlichen Bereichen der Rhein-Main-Ebene und des Odenwaldes wurde das Niederschlagssoll dagegen nur leicht übertroffen (< 10 %).

### Fazit

Das Vegetationsjahr 2016/2017 (Oktober-September) reiht sich nahtlos in die überdurchschnittlich warmen Jahre der letzten Jahrzehnte ein. Es ist mit einer Mitteltemperatur von 9,2 °C jedoch nicht so warm ausgefallen wie die Jahre 2014 bis 2016. Die Temperaturabweichung betrug knapp +1 °C. Die Niederschläge lagen mit 740 mm im Landesmittel nur leicht unter den Mittelwerten der Referenzperiode von 1961 bis 1990. Dabei haben die hohen Niederschlagssummen in den Sommermonaten verhindert, dass es, wie im Jahr 2015 in Südhessen, zu einer ausgeprägten Dürresituation kam.



Foto: T. Ullrich



# Insekten und Pilze

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

## Borkenkäfer

Wie in den beiden Vorjahren konnten relativ viele Borkenkäfer im Herbst 2016 überwintern. Die Gefährdungslage war zu Saisonbeginn gegenüber dem Frühjahr 2016 nochmals erhöht. Anfang April 2017 gab es bei sehr heißer Witterung bereits einen kurzen, starken Schwärmflug mit vereinzelt Stehendbefall. Nach Ende einer meist kühlfeuchten Wetterphase setzte der eigentliche Hauptflug erst drei Wochen später ein. Ab Anfang Mai wurde aus vielen Regionen frischer Stehendbefall gemeldet, die vorherige mehrwöchige wetterbedingte „Wartezeit“ der Käfer führte zu einem stark synchronisierten Flugbeginn. Im Verlauf der folgenden Wochen zeigte sich weiterer Stehendbefall, zunehmend auch im Bestandesinneren. Trotz der im Sommer wechselhaften Witterung mit schnellen Temperaturwechseln und häufigen, teilweise sehr starken Niederschlägen waren die Entwicklungsbedingungen für den Buchdrucker bis Mitte August überwiegend sehr gut. Im Vergleich zum August 2016 ist die Anzahl der durch Borkenkäfer besiedelten Fichten leicht gestiegen. Betroffene Forstbetriebe nutzen momentan die Zeit für Aufarbeitungen, um die Ausgangssituation für das Jahr 2018 zu entspannen.

## Waldmaikäfer

Im Sommer 2017 wurden auf einem systematischen 500 m x 500 m-Raster auf Waldflächen im Hessischen Ried Grabungen nach Engerlingen des dritten Stadiums des Waldmaikäfers (E3-Engerlinge) durchgeführt. Die Grabungen finden im Rahmen des Maikäfermonitorings alle vier Jahre statt. Anhand der Befunde können Aussagen über die aktuelle Dichte und Verbreitung des Waldmaikäfers getroffen werden, außerdem ist eine grobe Abschätzung möglich, in welchen Regionen des Hessischen Rieds im Frühjahr 2018 mit stärker ausgeprägten Flug- und Blattfrassaktivitäten der Waldmaikäfer zu rechnen ist. Erste Trends deuten nach stärkerem Rückgang der Populationsdichten in den Jahren nach 2009 nun wieder Dichteanstiege in einigen Regionen des Hessischen Rieds an. Die Werte bleiben allerdings deutlich unter den sehr hohen Dichten, wie sie während der Grabungen 2009 auftraten.



Eschentriebsterben

Foto: NW-FVA, Abteilung Waldschutz

## Eschentriebsterben

Das Eschentriebsterben (ETS) ist eine Erkrankung an verschiedenen Eschen-Arten, die durch den invasiven Schlauchpilz *Hymenoscyphus fraxineus* (Herkunft: Ostasien - Japan, China, Korea) ausgelöst wird. Dessen windverbreitete Pilzsporen infizieren Blattspreiten und Blattstiele sowie Rindenbereiche von Trieben, Stämmen und Wurzelansätzen der Eschen und ermöglichen dem Erreger so das Einwachsen in junge Triebe und Stämme. Typische Symptome sind u. a.: Blattverfärbungen, Blattwelke, braun bis violett verfärbte, abgestorbene Triebe, schildartige Rindennekrosen an Stämmchen von Jungpflanzen, auffällige Rindennekrosen an Stamm- und Wurzelanläufen (so genannte „Stammfußnekrosen“) sowie vor allem weithin sichtbare Kronenverlichtungen. Die Erkrankung kann schwerwiegende Schäden an Eschen jeden Alters hervorrufen und zum Absterben führen. Im internationalen Expertenkreis gelten die Stammfußnekrosen, die auch an der NW-FVA / Abt. Waldschutz untersucht werden, als einer der Hauptmortalitätsfaktoren beim Eschentriebsterben. Die Ergebnisse der Abt. Waldschutz weisen darauf hin, dass die Stammfußnekrosen überwiegend primär durch den ETS-Erreger selbst hervorgerufen werden. In den Nekrosen hat *Hymenoscyphus fraxineus* eine



Waldmaikäfer

Foto: NW-FVA, Abteilung Waldschutz



Stammfußnekrose

Foto: NW-FVA, Abteilung Waldschutz



## Insekten und Pilze

hohe genetische Variabilität. Sekundär treten bodenbürtige Holzfäulepilze, wie z. B. der Hallimasch (*Armillaria* ssp.), auf. Insbesondere bei sehr starken Kronenschäden etwa ab Blattverlusten von 70 % muss im Wurzelraum generell mit Befall durch Hallimasch und andere Wurzelpilze gerechnet werden, die das Absterben beschleunigen.

Das Eschentriebsterben ist in Deutschland erstmals im Jahr 2002 in Mecklenburg-Vorpommern beobachtet worden. Inzwischen ist die Erkrankung bundesweit und in insgesamt 26 europäischen Staaten (Stand 2015) verbreitet. Sie kommt im Zuständigkeitsgebiet der NW-FVA bei Eschen aller Altersklassen und auf allen Eschen-Standorten vor und ist auf großer Fläche präsent. Sowohl die Ausbreitung in den Beständen als auch die Intensivierung des Krankheitsverlaufs sind noch nicht zum Stillstand gekommen. Es entstehen örtlich große Verluste durch schlechte Stammformen an Jungpflanzen und das Absterben von Eschen jeden Alters bis hin zur Auflösung von Bestandteilen. Die heimische Gemeine Esche (*Fraxinus excelsior*) ist durch die Pilzerkrankung stark gefährdet. Es wird deshalb aus forstlicher Sicht empfohlen, auf absehbare Zeit nur reduzierten Pflegeaufwand in diese Baumart zu investieren.

Die Esche wird vermutlich nicht vollständig aus dem Baumartenspektrum verschwinden. Bisher scheint ein kleiner Prozentsatz (1-2 %) der Eschen gegenüber der Erkrankung weniger anfällig zu sein. Ob dieser geringe Prozentsatz an

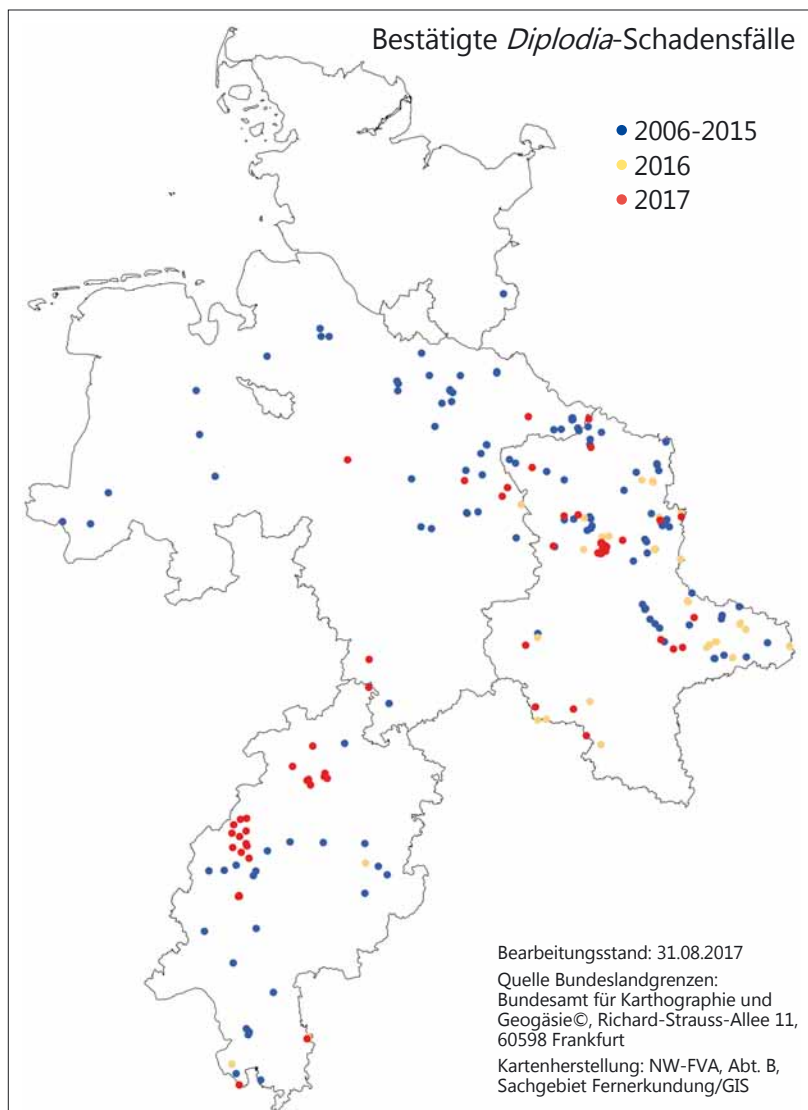
Eschen auch auf Dauer mehr oder minder befallsfrei bleibt oder sogar weitgehend resistent ist, muss die Zukunft zeigen. In verschiedenen europäischen Ländern werden aktuell wissenschaftliche Projekte zur Identifizierung weniger anfälliger Eschen und zu deren Vermehrung durchgeführt, z. B. in Deutschland, Großbritannien und Österreich. Ergebnisse liegen noch nicht vor.

Zum jetzigen Zeitpunkt muss vorrangig mit den vorhandenen mehr oder minder stark erkrankten Eschen gewirtschaftet werden. Ergebnisse der meist langfristigen Resistenzzüchtungen können nur für zukünftige Eschengenerationen genutzt werden.

Mittlerweile ist bekannt, dass ein Komplex von nahe verwandten Arten um *Hymenoscyphus fraxineus* und *H. albidus* in Asien existiert, der bei einer Einschleppung nach Deutschland eine weitere potentielle Gefahr für heimische Eschen darstellen könnte.

Direkte Gegenmaßnahmen gegen das Eschentriebsterben kann und wird es in Zukunft nicht geben, da der Erreger über Sporenflug (Ascosporen) mit dem Wind auch über große Entfernungen verbreitet wird und Bäume infiziert. Diese Art der Verbreitung lässt sich nicht verhindern oder aufhalten.

In der Praxisinformation Nr. 4 (8/2016) der NW-FVA zum Eschentriebsterben sind weitere Hinweise und Handlungsempfehlungen für die Forstbetriebe umrissen.



## *Diplodia*-Triebsterben der Kiefer

Der Wärme liebende Pilz *Sphaeropsis sapinea* (Synonym: *Diplodia pinea*) tritt seit einigen Jahren verstärkt auf. Er verursacht ein Triebsterben, zieht Folgeschäden nach sich (z. B. Käferbefall, Bläue im Holz) und führt im ungünstigsten Fall bei entsprechend starker Kronenschädigung zum Absterben der Bäume.

Der Pilz *S. sapinea* ist als weltweiter Parasit mit bevorzugtem Vorkommen in wärmeren Regionen (z. B. Mittelmeerraum; subtropische und tropische Klimagebiete) bekannt. Hier verursacht er Triebsterben, Wipfeldürre und Rindenschäden.

In Mitteleuropa sind die Gemeine Kiefer (*Pinus sylvestris*) und die Schwarzkiefer (*P. nigra*) besonders betroffen. Der Erreger wird in geringerem Umfang auch an jüngeren Douglasien und an anderen Nadelbäumen gefunden. Ein Zusammenhang mit der allgemeinen Klimaerwärmung und mit Witterungsextremen muss angenommen werden.

Beobachtet wird ein Absterben diesjähriger, im Streckungswachstum befindlicher Triebe, die sich braun verfärben. Das Triebsterben wird oft von Harzfluss begleitet. Befallen werden alle Altersklassen: Kulturen, Dickungen, Stangenhölzer bis hin zu Baumhölzern. An jüngeren Bäumen sind die befallenen Triebspitzen oftmals gekrümmt bzw. nach unten gebogen. Der Befall kann auch in etwas stärkere Zweige hineingehen.

Dem Auftreten des *Diplodia*-Triebsterbens geht in der Regel eine Schwächung der Kiefer voraus.



# Insekten und Pilze



*Diplodia-Triebsterben der Kiefer*

Foto: M. Spielmann

Auslösende Faktoren können nach derzeitiger Einschätzung sein: Wasserdefizite durch Trockenheit (Niederschlagsdefizite), Hitze oder Verletzungen der Triebe durch Hagelschlag. Trockenstress kann insbesondere auf flachgründigen Standorten, in sonnenexponierten Randlagen, in Kuppenlagen und in aufgelichteten, wärmeren Beständen entstehen.

Die Pilzbesiedelung von stärkeren Zweigen und Ästen kann durch Hagelschlag und entsprechende Rindenverletzungen gefördert werden (Eintrittspforten für *S. sapinea*). Hier verursacht der Pilz zusätzlich eine verstärkte Bläueentwicklung im Splintholz. Hagelschlag ist aber nicht in jedem Falle die Voraussetzung für einen beobachteten Befall.

Umfangreiche Untersuchungen der Abt. Waldschutz belegen, dass *S. sapinea* bereits in Trieben und Zweigen lebender Kiefern vorkommen kann, ohne erkennbare Schäden zu verursachen (endophytische Lebensweise). Erst nach starken Beeinträchtigungen der Baumvitalität treten die pathogenen Eigenschaften des Pilzes in den Vordergrund und führen zur Erkrankung.

Zu vermehrten Schadensfällen durch das *Diplodia*-Triebsterben kam es in diesem Jahr in Hessen und in Sachsen-Anhalt. Der Erreger wurde dort mehrfach durch Laboruntersuchungen bestätigt (siehe auch Abb. links).

Auch an Douglasien-Jungwüchsen traten 2017 Schäden auf, die auf den Erreger des *Diplodia*-Triebsterbens zurückzuführen waren.

## Eichenfraßgesellschaft

Der Kleine Frostspanner und der Große Frostspanner befanden sich im Jahr 2016 in der Latenz. Die Ergebnisse der Überwachung mit Hilfe von Leimringen aus dem Herbst/Winter 2016/2017 deuteten bereits auf eine leichte Zunahme der Frostspannerpopulationen in Südhessen hin.

Für das Jahr 2017 wurden in den Eichenbeständen lokale Licht- bis Kahlfraßereignisse durch die Eichenfraßgesellschaft über ganz Hessen verteilt auf insgesamt 355 Hektar beobachtet. Davon wurden auf 88 Hektar Fraßschäden durch den Eichenprozessionsspinner verursacht. Der Umfang der gemeldeten Schäden durch die Eichenfraßgesellschaft ist damit im Vergleich zum Vorjahr auf ähnlichem Niveau, wobei die Intensität der Fraßschäden zugenommen hat.



*Eichenmehltau*

Foto: M. Habermann



*Eichenprozessionsspinner*

Foto: NW-FVA, Abteilung Waldschutz



# Forstliches Umweltmonitoring

Johannes Eichhorn, Uwe Paar, Jan Evers, Andreas Schulze, Jörg Weymar, Henning Meeseburg, Michael Spielmann und Inge Dammann

## 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.

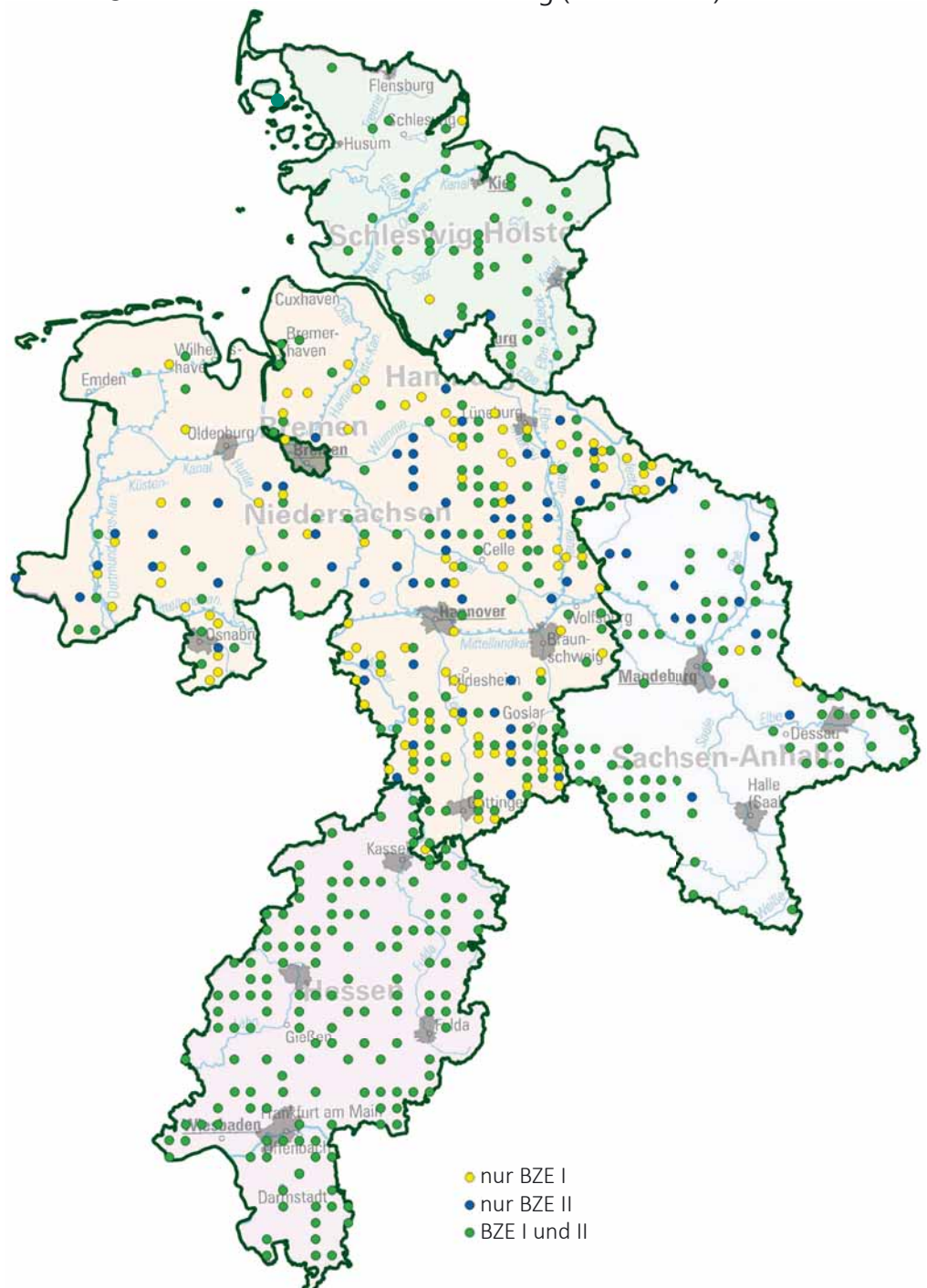
Die rechtliche Grundlage für Wald-erhebungen in der Forstlichen Umweltkontrolle stellt §41a des Gesetzes zur Erhaltung des Waldes und zur Förderung der Forstwirtschaft (Bundeswaldgesetz-BWaldG) dar. Dies wird konkretisiert durch die Verordnung über Erhebungen zum Forstlichen Umweltmonitoring (ForUmV 2014) und durch das Durchführungskonzept Forstliches Umweltmonitoring (2016).

Grundsätzlich sieht die Rechtsgrundlage vor, dass den Bundesländern die Verpflichtung zur Erhebung der Daten zukommt und der Bund, hier das BMEL und das Thünen-Institut die Verantwortung für die Auswertung der Daten tragen. Da dies eine intensive Abstimmung zwischen Bund und Ländern erfordert, regelt das



Foto: J. Weymar

Übersichtserhebung (Level I - BZE)





# Forstliches Umweltmonitoring



Foto: J. Weymar

Durchführungskonzept Forstliches Umweltmonitoring die Zusammenarbeit in einer themenbezogenen Bund-Länder Arbeitsgruppe.

Die Rechtsgrundlagen stellen sicher, dass die Kernelemente des Forstlichen Umweltmonitorings langfristig zu erarbeiten sind. Die daraus entstehenden Zeitreihen sind eine wesentliche Informationsgrundlage für die Entscheidungsträger der Waldentwicklung.

## Konzept

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

### Intensives Monitoring

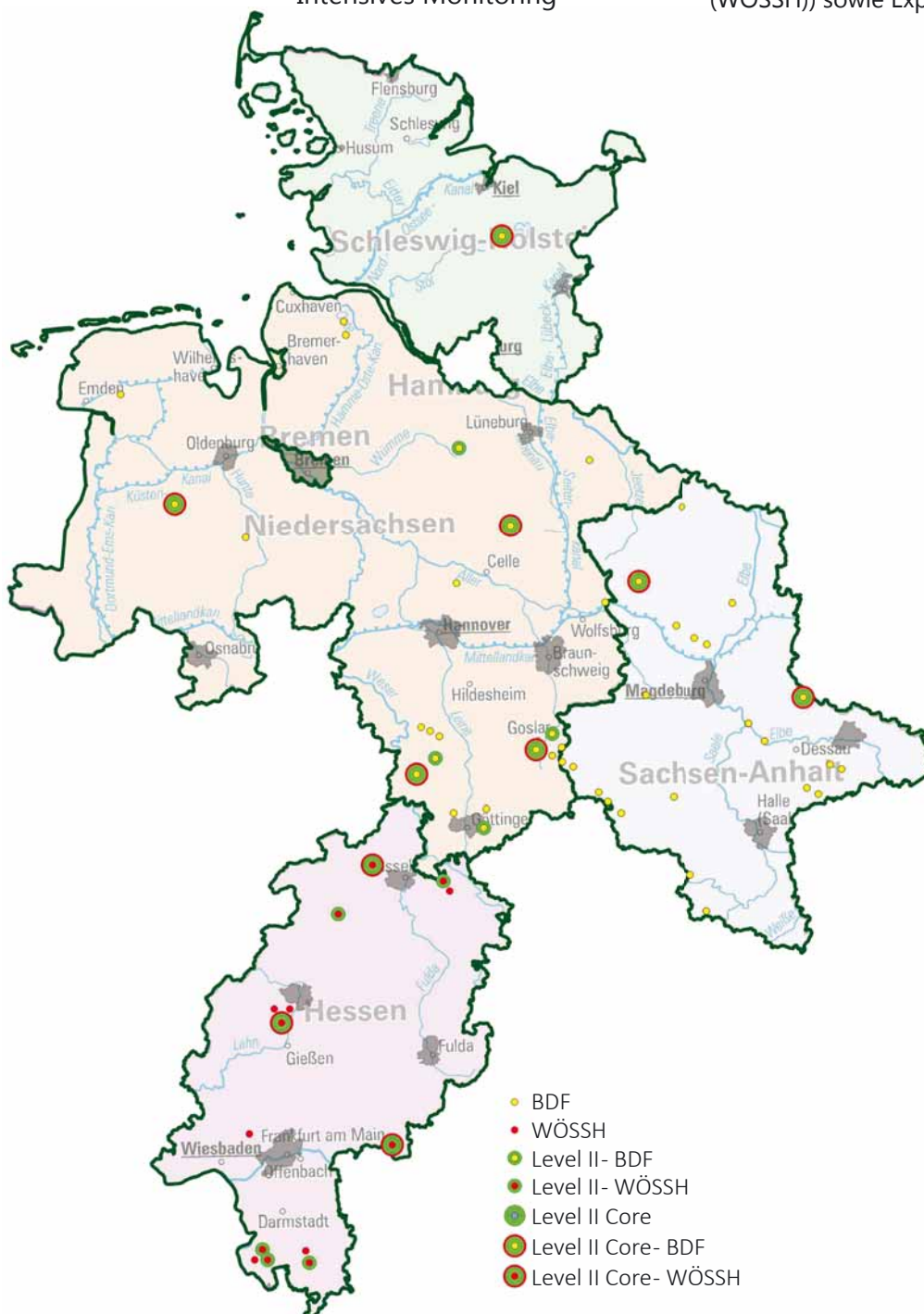


Foto: J. Evers



# Forstliches Umweltmonitoring

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

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

An den Level I-Punkten 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-/Blatternährung, 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

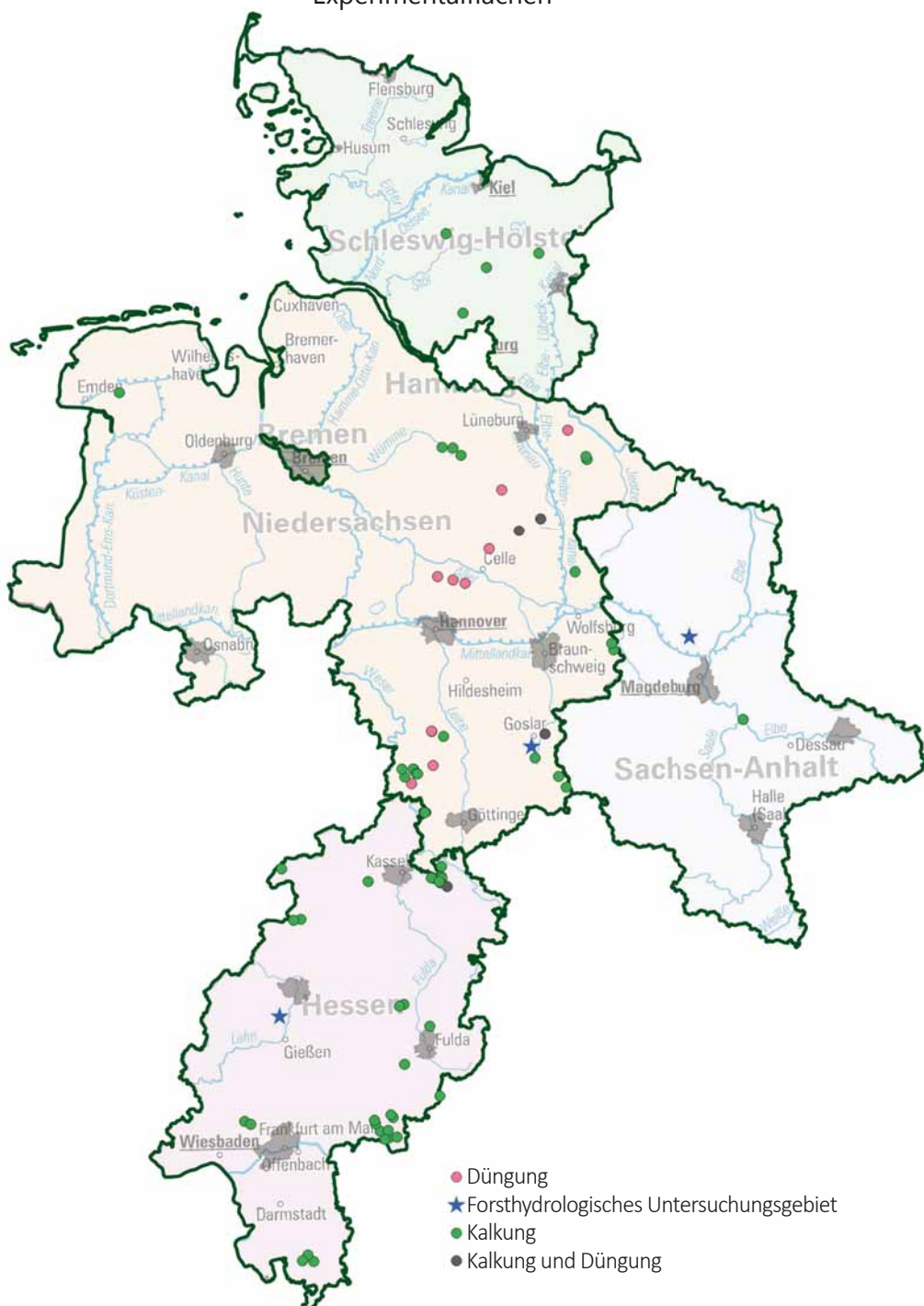
erfasst. BDF dienen als Eichstelle und der Vorsorge für rechtzeitige Maßnahmen zum Schutz von Böden in ihrer Substanz und ihren Funktionen. Das BDF-Programm umfasst für forstlich genutzte Flächen folgende Erhebungen (Höper & Meesenburg 2012):

- Chemischer und physikalischer Bodenzustand, Nadel-/Blatternährung, 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.

## Experimentalflächen



Level II-Fläche im Solling  
Foto: O. Schwerdtfeger



## Forstliches Umweltmonitoring

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-/Blatternährung, 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 Manuallrevision 2010 folgende Erhebungen:

- Kronen- und Baumzustand, abiotische und biotische Faktoren, Baumwachstum, Nadel-/Blatternährung, 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.

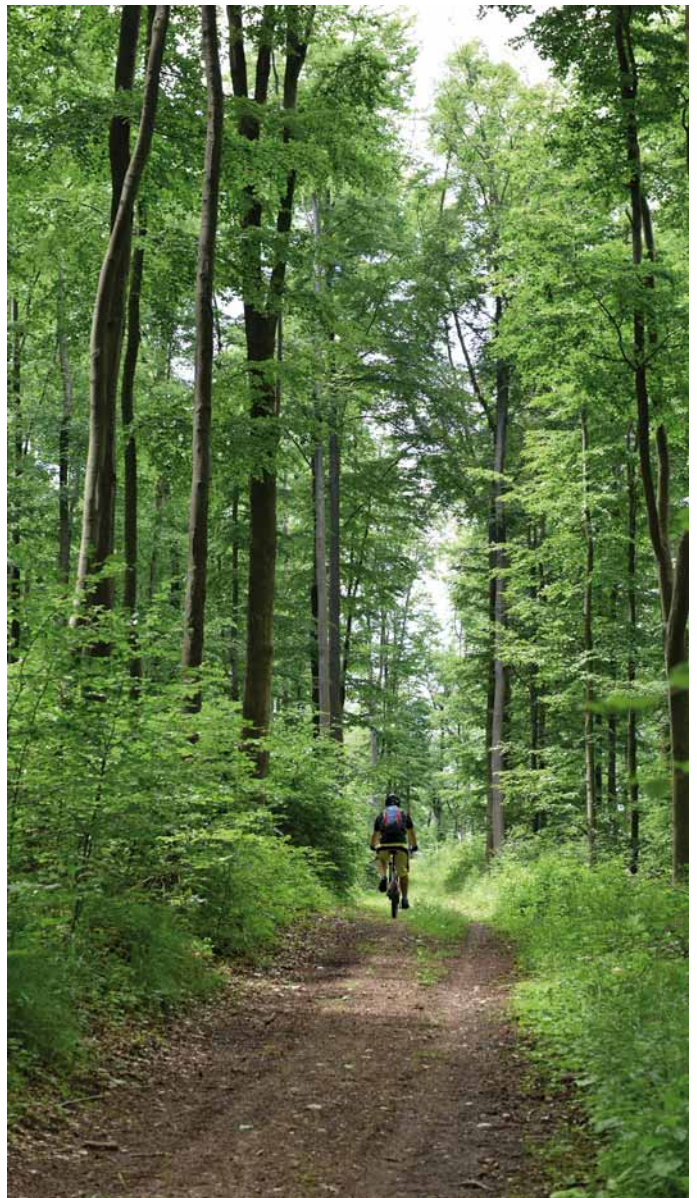


Foto: J. Evers



Foto: J. Weymar

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

Das Untersuchungsdesign der Forstlichen Umweltkontrolle für die Bereiche Level I, Intensives Forstliches Umweltmonitoring und Experimentalflächen für die Länder Hessen, Niedersachsen, Bremen, Sachsen-Anhalt und Schleswig-Holstein zeigen die Abbildungen Seite 20, 21 und 22.

In Hessen umfasst das Level I-Netz 139 Inventurpunkte, das Intensive Forstliche Umweltmonitoring 11 Monitoringflächen und 27 Experimentalflächen. Das hessische Bodendauerbeobachtungsprogramm fällt in die Zuständigkeit des HLNUG (Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie). Die hessischen Bodendauerbeobachtungsflächen sind daher nicht in der Abbildung Seite 21 dargestellt.



# Forstliches Umweltmonitoring

## 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.

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 2017 auf der Basis von 132 Punkten, für die Rhein-Main-Ebene wurden insgesamt 48 Punkte ausgewertet. Dieser Aufnahmeumfang ermöglicht repräsentative Aussagen zum Waldzustand auf Landesebene und für die Rhein-Main-Ebene. Für den Parameter mittlere Kronenverlichtung zeigt die Tabelle die 95 %-Konfidenzintervalle für die Baumarten und Altersgruppen der WZE-Stichprobe 2017. Je weiter der Vertrauensbereich, desto unschärfer sind die Aussagen. Die Weite des Vertrauensbereiches wird im Wesentlichen beeinflusst durch die Anzahl der Stichprobenpunkte in der jeweiligen Auswerteeinheit und die Streuung der Kronenverlichtungswerte. Für relativ homogene Auswerteeinheiten mit relativ gering streuenden Kronenverlichtungen sind enge Konfidenzintervalle auch bei einer geringen Stichprobenanzahl sehr viel leichter zu erzielen als für heterogene Auswerteeinheiten, die sowohl in der Altersstruktur als auch in den Kronenverlichtungswerten ein breites Spektrum umfassen. Mit dem 8 km x 8 km-Raster werden – mit Abstrichen bei der jüngeren Kiefer sowie den anderen Laubbäumen (Alter 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.



Schulung der WZE-Aufnahmeteams Foto: M. Spielmann

### 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.

*95 %-Konfidenzintervalle für die Kronenverlichtung der Baumartengruppen und Altersstufen der Waldzustandserhebung 2017 in Hessen. Das 95 %-Konfidenzintervall (= Vertrauensbereich) gibt den Bereich an, in dem der wahre Mittelwert mit einer Wahrscheinlichkeit von 95 % liegt.*

Baumarten- gruppe	Alters- gruppe	Anzahl Bäume	Anzahl Plots	Raster	95%-Konfidenz- intervall (+/-)
Buche	alle Alter	1113	92	8x8 km	3,4
	bis 60 Jahre	118	18	8x8 km	3,1
	über 60 Jahre	995	75	8x8 km	3,2
Eiche	alle Alter	321	54	8x8 km	3,4
	bis 60 Jahre	47	11	8x8 km	4,3
	über 60 Jahre	274	44	8x8 km	3,6
Fichte	alle Alter	629	59	8x8 km	4,2
	bis 60 Jahre	275	25	8x8 km	2,8
	über 60 Jahre	354	36	8x8 km	4,2
Kiefer	alle Alter	568	50	8x8 km	2,4
	bis 60 Jahre	27	7	8x8 km	16,3
	über 60 Jahre	541	43	8x8 km	2,4
andere Laubbäume	alle Alter	305	43	8x8 km	3,7
	bis 60 Jahre	192	24	8x8 km	4,2
	über 60 Jahre	113	23	8x8 km	7,0
andere Nadelbäume	alle Alter	232	41	8x8 km	4,2
	bis 60 Jahre	131	23	8x8 km	2,9
	über 60 Jahre	101	19	8x8 km	4,8
alle Baumarten	alle Alter	3168	132	8x8 km	1,9
	bis 60 Jahre	790	44	8x8 km	2,3
	über 60 Jahre	2378	105	8x8 km	1,8



# Standortsinformationen für die Bundeswaldinventur in Hessen

Bernd Ahrends, Paul Schmidt-Walter und Henning Meesenburg

## Das Projekt WP-KS-KW

Im Waldklimafonds-Projekt WP-KS-KW („Waldproduktivität-Kohlenstoffspeicherung-Klimawandel“) wurden länderübergreifend einheitliche Standortsinformationen (Klima, Boden) für die Inventurpunkte der Bundeswaldinventur (BWI) erhoben. Innerhalb des 4 km x 4 km Grundnetzes der BWI werden deutschlandweit alle 10 Jahre an ca. 26.450 Inventurpunkten eine Vielzahl von Bestandesparametern (z. B. Baumartenzusammensetzung, Holzvorrat, Zuwachs, Altersverteilung) erhoben. Um die Produktivität, die Kohlenstoffspeicherung und weitere Ökosystemleistungen unserer Wälder verlässlicher unter sich verändernden Klimabedingungen prognostizieren zu können, sind detaillierte Standortsinformationen eine wichtige Ergänzung zu diesen Daten.

Insbesondere zeitlich und räumlich hochaufgelöste Klima- und Bodendaten fehlten bislang für die Inventurpunkte der BWI oder waren in einer sehr uneinheitlichen und unbefriedigenden Auflösung vorhanden. Wasserhaushaltssimulationen mit prozessorientierten Modellen zur Abbildung des Standortwasserhaushaltes und der Trockenstresssituation waren durch fehlende Informationen zu bodenphysikalischen Eigenschaften der Bodenprofile an den BWI-Traktecken dieses Projekts in einer bundesweit einheitlichen Form nicht durchführbar. Für diese Mammutaufgabe ist es den zwölf Projektpartnern aus ganz Deutschland gelungen, eine deutlich verbesserte Datengrundlage zu schaffen. Hierdurch

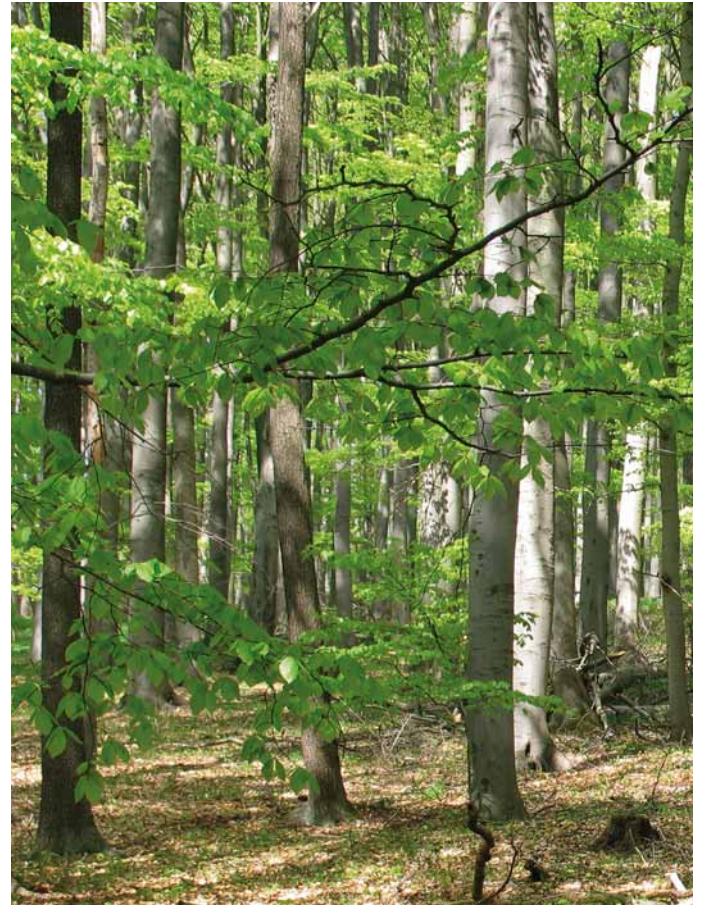
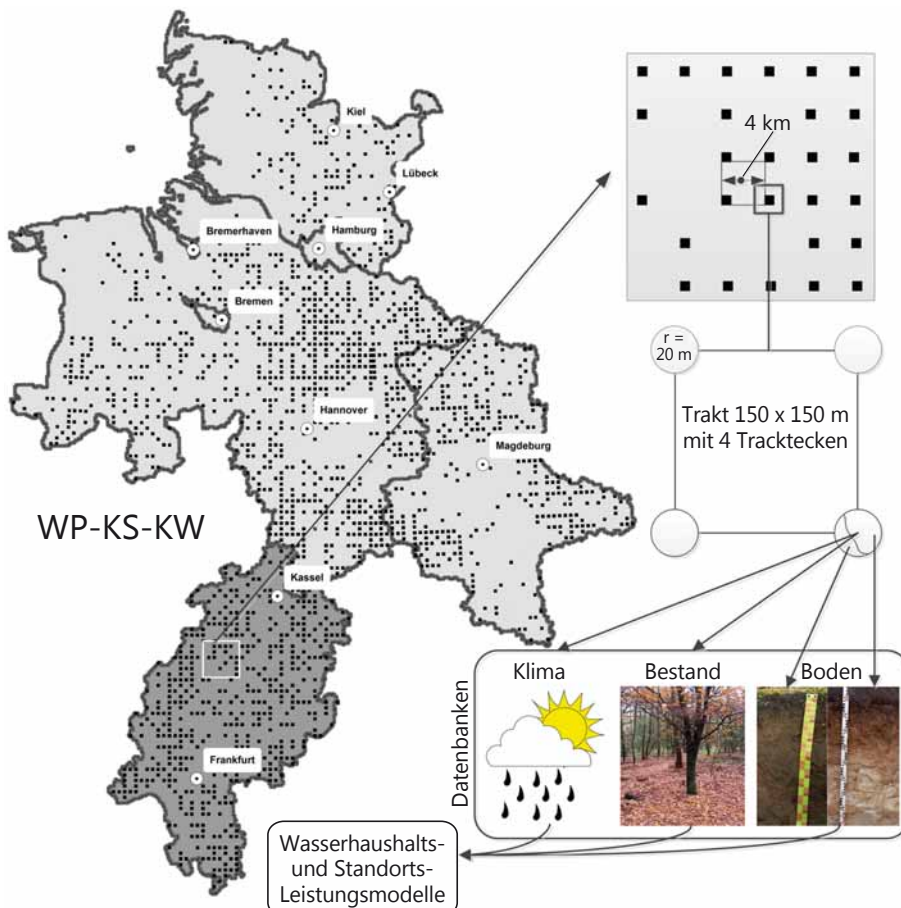


Foto: M. Schmidt



Schematische Darstellung der Ableitung von Umweltinformationen (Klima, Boden) für Traktecken der BWI

ist es nun möglich, für die Traktecken der BWI belastbarere Erklärungen des Zusammenhangs zwischen Standort und Waldwachstum zu erhalten, z. B. durch eine genauere Ableitung von Kenngrößen des Wasserhaushaltes, welche für die Standort-Leistungs-Modellierung verwendet werden können.

## Boden-Leitprofile für BWI-Traktecken

Ziel war es, für jede Traktecke des Grundnetzes der BWI Leitprofile mit bodenphysikalischen Grundlagendaten zu erstellen. Eine wichtige Datengrundlage bilden hierbei die in den Bundesländern zur Verfügung stehenden Informationen aus der Standorts- und Bodenkartierung. In den jeweiligen Bundesländern erfasst jedoch die traditionelle forstliche Standortskartierung Bodeninformationen in sehr unterschiedlicher Intensität und Qualität. Diese Ausgangslage erforderte ein länderspezifisches Vorgehen, das durch einheitliche Vorgaben in einem homogenen bundesweiten Datensatz mündete.

Als Grundlage für die Erstellung der Bodenleitprofile in Hessen dienten die Bodenkarten BFD25 und BFD50. Bei einer Abdeckung durch die BFD25 wurde diese verwendet, bei allen anderen Standorten



# Standortsinformationen für die Bundeswaldinventur in Hessen

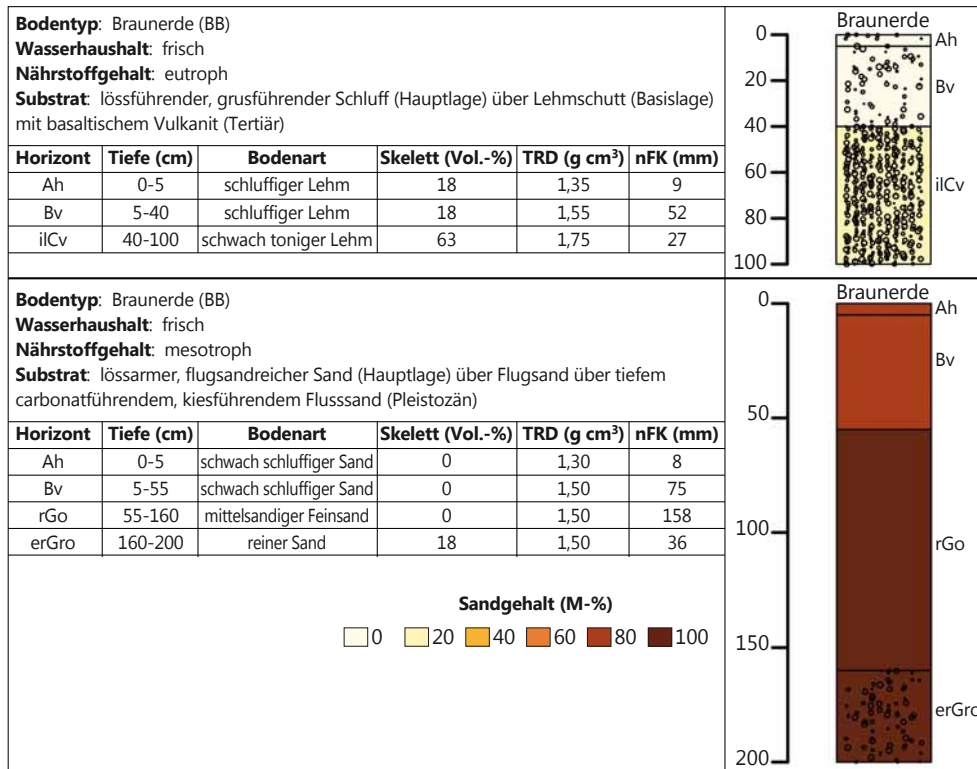


Foto: M. Schmidt

Beispielhafte Darstellung von zwei Bodenprofilen an BWI-Traktecken in Hessen und verfügbare Profilinformationen (Auszug) (verändert nach HLUg 2006 u. 2011).

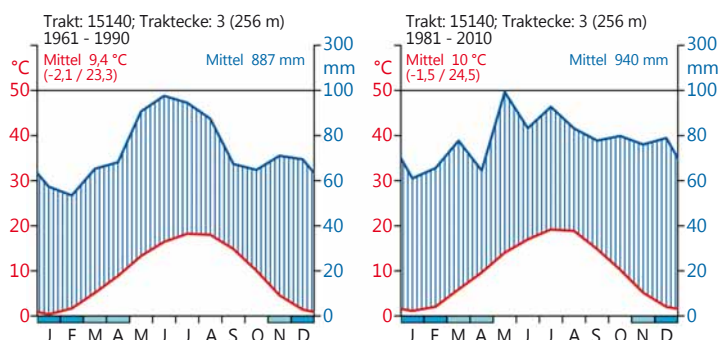
entsprechend die BFD50. Eine Ableitung von Leitprofilen für die hessischen Standortseinheiten, wie sie z. B. in anderen Bundesländern durchgeführt wurde (vgl. Benning et al. 2016) war nicht erfolgreich, da die Anzahl von qualitativ hochwertigen Profilen, die dem Projekt zur Verfügung standen, zu gering und die räumliche Verteilung der verfügbaren Profile sehr inhomogen war. Auch Versuche, die räumliche und/oder inhaltliche Auflösung der BFD50 z. B. anhand von Informationen aus der Forsteinrichtung oder unter Berücksichtigung der Geometrien der Standortkartierung zu optimieren, führten bei einer abschließenden Validierung an unabhängigen Bodenprofilen zu keiner signifikanten Verbesserung gegenüber den BFD50 Daten. Dieses kann auch darauf zurückgeführt werden, dass die räumliche Auflösung der BFD50 in Hessen im Vergleich zu anderen Bodeninformationen aus anderen Bundesländern in einem entsprechenden Maßstab als deutlich besser zu bewerten ist (vgl. Ad-hoc-AG Boden 2006). Entsprechend konnten aus einer relativ homogenen Datengrundlage konkrete Bodenprofile abgeleitet werden (vgl. Abb. oben), auf deren Grundlage dann für BWI-Trakte-

ecken wichtige ökologische Kennwerte, wie z. B. die nutzbare Feldkapazität oder die potenzielle Kationenaustauschkapazität mittels so genannter Pedotransferfunktionen berechnet werden können.

Für die Zuordnung der bodenkundlichen Kartiereinheiten zu den BWI-Traktecken wurde eine Kreisfläche mit einem Radius von 20 m (vgl. Abb. Seite 25) um die Traktecke betrachtet. Innerhalb dieser Kreisfläche wurden die zwei flächenmäßig bedeutendsten Standortseinheiten (Flächenanteil > 20 %) berücksichtigt.

## Klimadaten für die Bundeswaldinventur

Das Klima ist häufig eine entscheidende Einflussgröße für das standörtliche Leistungsvermögen und das Risiko von biotischen Schädigungen der Bestände. Entsprechend sind zur Bewertung der vergangenen und zukünftigen Wachstumsbedingungen unserer Wälder räumlich und zeitlich hoch aufgelöste Klimadaten eine wichtige Grundlage. Eine klimasensitive Berechnung der Vegetationsperiode oder der Einsatz von prozessorientierten Wasserhaushaltsmodellen erfordert in der Regel Klimadaten in täglicher Auflösung. Entsprechende Zeitreihen wurden am Institut für Geographie der Universität Hamburg an 26.450 BWI-Punkten für acht Klimagrößen entwickelt (Kawohl et al. 2017). Die Zeitreihen umfassen dabei sowohl eine retrospektive Betrachtung (ab 1961) als auch die Projektion von mehreren Klimaszenarien bis zum Jahr 2100. Mit dieser Datengrundlage können zum einen einfache Auswertungen in monatlicher Auflösung zur klimatischen Charakterisierung der einzelnen Traktecken der BWI durchgeführt werden und zum anderen Tagesdaten als Antrieb von komplexen Modellen verwendet werden. Die Abbildung links zeigt so genannte Walter/Lieth-Klimadiagramme beispielhaft für eine Traktecke. Es ergeben sich zwischen den beiden retrospektiven Zeiträumen (1961-1990



Klimadiagramme auf Grundlage der generierten Klimazeitreihen für die Traktecke 3 des Traktes 15140 für die Zeiträume 1961-1990 (links) und 1981-2010 (rechts).



# Standortsinformationen für die Bundeswaldinventur in Hessen

und 1981-2010) ein Temperaturanstieg um 0,6 °C und ein Niederschlagsanstieg von 53 mm. Während bei der Niederschlagsverteilung 1961 bis 1990 ein ausgeprägtes Maximum in den Sommermonaten (Juni bis August) zu beobachten war, erfolgte im Zeitraum von 1981 bis 2010 eine ausgeglichene Verteilung mit einer deutlichen Erhöhung der Winterniederschläge.

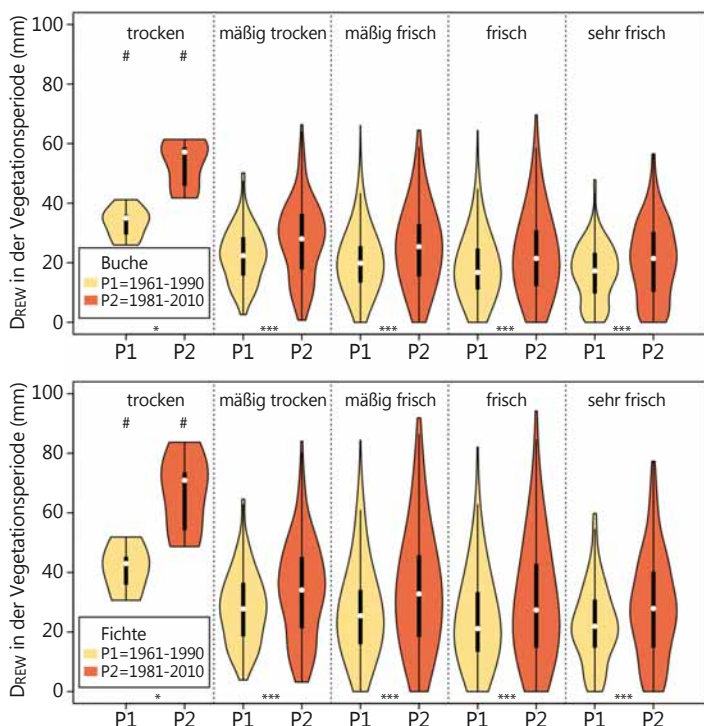
Die so für die BWI generierten Klimadaten können zusammen mit den Bodenprofilen einerseits verwendet werden, um mit Hilfe von Wasserhaushaltsmodellen zeitlich hochaufgelöste Kenngrößen des Wasserhaushaltes (z. B. Trockenstressindikatoren) zu ermitteln und mit der Wasserhaushaltseinstufung der Standortkartierung zu vergleichen (vgl. folgendes Kapitel). Andererseits bilden sie eine wichtige Grundlage für ein verbessertes Verständnis der Standort-Leistungsbeziehungen und möglicher Prognosen im Klimawandel.

## Der Trockenstress nimmt zu

Für insgesamt 24.610 Traktecken der Bundeswaldinventur (BWI) wurde der Wasserhaushalt von Buchen- und Fichtenbeständen für den Zeitraum von 1961 bis 2013 berechnet. Verwendet wurde das Modell LWF-Brook90, welches die Verdunstung, die Bodenwasserflüsse einschließlich Sickerwasserspense sowie die Bodenwasserverfügbarkeit von Wäldern in täglicher Auslösung berechnet. Grundlage für die Berechnungen sind unter anderem die vorab beschriebenen bodenkundlichen und klimatischen Eingangsdaten. Für jede Traktecke wurden die Berechnungen jeweils für Modellbe-

stände von Buche und Fichte durchgeführt, um den Einfluss der flächenhaft bedeutendsten Nadel- und Laubbaumart auf den Wasserhaushalt abzuschätzen und deren Standortseignung zu beurteilen. Aus den Modellergebnissen wurden verschiedene Trockenstressindikatoren abgeleitet, welche Einschränkungen der Wasserverfügbarkeit an den BWI-Traktecken beschreiben. Ein häufig verwendeter Indikator ist beispielsweise die relative pflanzenverfügbare Bodenwasserspeicherfüllung (REW). Diese wird als Verhältnis aus aktueller Bodenwasserspeicherfüllung und der maximal pflanzenverfügbaren Bodenwassermenge berechnet und quantifiziert somit die Bodenwasserverfügbarkeit. Unterschreitet dieser Indikator 40 % der nutzbaren Feldkapazität wurden in zahlreichen Studien Wachstumseinschränkungen in Waldbeständen beobachtet (z. B. Granier et al. 1999; 2007). Um die Dauer und Intensität einer solchen Unterschreitung zu berücksichtigen, kann die Defizitsumme unterhalb des 40 %-Schwellenwertes für die Vegetationsperiode berechnet werden ( $D_{REW}$ ).

Dieser Indikator wurde für zwei verschiedene Zeiträume der jüngeren Vergangenheit für Hessen ausgewertet (vgl. Abb. links), da neuere Untersuchungen darauf hindeuten, dass Abweichungen von den langjährigen Witterungsbedingungen eine zentrale Bedeutung für das bestandesspezifische Trockenstressrisiko haben (Choat et al. 2012). Die Defizitsumme des REW bei Unterschreitung der 40 %-Grenze korrespondiert gut mit den Feuchtestufen der Standortkartierung. Bäume auf trockenen Standorten haben ein höheres Trockenstressrisiko als Bäume auf frischen Standorten. Die Fichte weist in allen Feuchtestufen insgesamt ein höheres Trockenstressrisiko auf als die Buche. Das Muster der Feuchtestufen ist jedoch vergleichbar. Des Weiteren wird ersichtlich, dass die mittlere Defizitsumme bei beiden Baumarten im Zeitraum 1981 bis 2010 gegenüber 1961 bis 1990 in allen ökologischen Feuchtestufen signifikant angestiegen ist und sich somit das mittlere Trockenstressniveau erhöht hat. Bei den mäßig frischen Standorten geht der Anstieg des Risikos für die Fichte und Buche so weit, dass diese Standorte im Zeitraum von 1981 bis 2010 im Mittel sogar stärker an Trockenstress litten als die mäßig trockenen Standorte im Zeitraum von 1961 bis 1990. Für diese Standorte hat demnach



Mittlere Defizitsumme ( $D_{REW}$ ) des relativen pflanzenverfügbaren Bodenwassers bei Unterschreitung von 40 % der nutzbaren Feldkapazität in der Vegetationsperiode der Buche (oben) und Fichte (unten) für zwei Zeiträume gruppiert nach ökologischen Feuchtestufen. Signifikant verschiedene Werte zwischen den Zeiträumen sind durch Sternchen gekennzeichnet. Die Anzahl der Sterne beschreibt das Signifikanzniveau (\*\*\*)  $< 0,001$ , \*  $< 0,05$ ; #: äußerst geringer Stichprobenumfang. Das „Violinen“-Diagramm ist sehr ähnlich zum Boxplot. Die Breiten der „Violine“ zeigen zusätzlich an, wie viele Fälle in dem jeweiligen Wertebereich vorliegen.



Foto: M. Spielmann



# Standortsinformationen für die Bundeswaldinventur in Hessen

bereits ein Sprung von einer Wasserhaushaltstufe stattgefunden. Da das Klima die einzige veränderliche Größe in den Wasserhaushaltssimulationen ist, kann der Anstieg des Trockenstressniveaus auf die Klimaänderungen, insbesondere auf die angestiegenen Temperaturen, innerhalb der letzten 50 Jahre zurückgeführt werden. Es ist zu erwarten, dass sich im Zuge des prognostizierten Klimawandels die Trockenstresssituation an vielen BWI-Traktecken durch trockenere und wärmere Bedingungen weiter verschärft und somit die bisher im Rahmen der Standortkartierung erfolgte statische Wasserhaushaltsansprache einer Anpassung bedarf.

## Integrierter Klimaschutzplan Hessen 2025

Wie vorab schon für die jüngere Vergangenheit aufgezeigt, wird der Klimawandel auch in Zukunft die ökologischen Rahmenbedingungen für die Wälder in Hessen verändern, dies jedoch mit einer erheblich gesteigerten Geschwindigkeit, an die sich die relativ „trägen“ Waldökosysteme anpassen müssen. Neben einer Veränderung der Leistungsfähigkeit der Baumarten werden vor allem höhere biotische und abiotische Risiken erwartet, deren Ausprägung jedoch stark standortsabhängig sein wird. Um die bedeutenden Nutz-, Schutz- und Erholungsfunktionen der Wälder für die hessischen Bürgerinnen und Bürger und die Forstwirtschaft nicht zu gefährden und langfristig zu sichern, hat das Land Hessen einen umfangreichen Klimaschutzplan mit konkreten Maßnahmen ins Leben gerufen. Zu den prioritären Maßnahmen mit einem Umsetzungsbeginn bis 2019 zählen die Klimarisikokarten Forst. Diese sollen eine verbesserte Beratungsgrundlage für die hessischen Waldbesitzer unter den sich verändernden Rahmenbedingungen liefern und somit dazu

beitragen, gut durchmischte, artenreiche Wälder langfristig zu sichern, die klimaangepasst und klimaresilient sind. Hierfür werden von Hessen-Forst und der NW-FVA flächenbezogene, dynamische Informationsgrundlagen über abiotische (z. B. Trockenheit) und biotische (z. B. Insekten u. Pilze) Risiken sowie Anpassungs- und Managementmöglichkeiten entwickelt. Um die Waldbesitzer aller Besitzarten zu erreichen, sollen diese Informationen in einem Entscheidungsunterstützungssystem zusammengetragen werden. Konkret sind folgende Punkte vorgesehen (vgl. HMUKLV 2017):

1. Entwicklung eines Entscheidungsunterstützungssystems mit Darstellung in Form von Risikokarten für die Baumartenwahl und Bestandsbehandlung.
2. Baumartenwahl und Bestandsbehandlung berücksichtigen das Spektrum standortgerechter Baumarten im Hinblick auf die ökologische Stabilität der Wälder, sowie Aspekte des Naturschutzes und der Wirtschaftlichkeit.
3. Regelmäßige Aktualisierung der Karten und der verwendeten Grundlagendaten.
4. Berücksichtigung von Erfahrungen aus bestehenden Forschungsprojekten bei der Entwicklung des Entscheidungsunterstützungssystems und Einbeziehung von bestehenden Informationssystemen. Bestehende forstliche und umweltbezogene Monitoringsysteme sind dabei zu verstärken und um klimasensitive Indikatoren zu erweitern.
5. Anwendung der entwickelten Planungsgrundlage für notwendige Anpassungsmaßnahmen des ökologischen Waldmanagements, der Zielbestockung, der Lokalisierung von Umbauschwerpunkten sowie der Sicherung der Klimaschutzleistungen der Holz- und Forstwirtschaft.



Foto: M. Schmidt

## Fazit

Im Projekt WP-KS-KW konnten für die Traktecken im 4 km x 4 km-Grundnetz der Bundeswaldinventur umfangreiche Datensätze mit Umweltdaten erhoben und abgeleitet werden. Diese Datengrundlagen erlauben eine Analyse des Zusammenhangs zwischen Standort und Waldwachstum und somit eine bessere Einschätzung der zukünftigen Waldentwicklung. Aber auch die Wasserhaushaltseinstufung der Standortkartierung kann hinsichtlich ihrer Konstanz bzw. Dynamik bewertet werden. Die durch die Klimaänderungen der jüngeren Vergangenheit bedingte Zunahme der Trockenstressintensität zeigt, wie wichtig eine klimasensitive Einschätzung des Standortwasserhaushalts zur Anpassung unserer Wälder an den Klimawandel zukünftig sein wird. Dies muss bei der Baumartenwahl und der Bewirtschaftung der Bestände berücksichtigt werden. Die Dynamik des Bodenwasserregimes und die damit verbundenen Einschränkungen der Wasserverfügbarkeit stehen direkt mit der Produktionsfunktion unserer Wälder und der zukünftigen Standortseignung der Baumarten in Verbindung. Die im Projekt erarbeiteten Wasserhaushalts- und Trockenstressgrößen eröffnen nun erstmals die Möglichkeit, Zusammenhänge zwischen Produktionsfunktion und Wasserverfügbarkeit großflächig zu analysieren und bilden darüber hinaus eine wichtige Datengrundlage für die Umsetzung des Integrierten Klimaschutzplanes Hessen 2025.



# Stoffeinträge

**Birte Scheler**

In Wäldern ist die Deposition aus der Atmosphäre für viele Nähr- und Schadstoffe die wichtigste Eintragsquelle. Die Kronenoberflächen von Bäumen filtern sehr effektiv gas- und partikelförmige Stoffe aus der Luft. Aufgrund dieses Filtereffektes ist der Eintrag anthropogen bedingter Sulfatschwefel- und Stickstoffverbindungen (Nitrat und Ammonium) im Wald deutlich höher als bei anderen Landnutzungsformen. Diese so genannte Immissionsschutzfunktion des Waldes stellt jedoch für das Ökosystem Wald selbst eine Belastung dar. Deshalb wurde in Hessen 1984 mit der systematischen Erfassung von Stoffeinträgen in Wälder begonnen, um die Wirkungen erhöhter Stickstoff-, Schwefel- und Säureinträge und die damit verbundenen Risiken für Wälder, Waldböden und angrenzende Ökosysteme wie beispielsweise das Grundwasser zu untersuchen. Derzeit wird die Deposition in sieben Buchen-, zwei Fichten- und je einem Kiefern- und Eichenbestand des Intensiven Forstlichen Umweltmonitorings erfasst. Jeder Bestandesmessfläche (Kronentraufe) ist eine Freifläche (Freilandniederschlag) zugeordnet. In Buchenbeständen wird neben der Kronentraufe auch der bei dieser Baumart quantitative bedeutsame Stammablauf gemessen. Mittels eines Kronenraumbilanzmodells (Ulrich 1991) werden aus den gemessenen Stoffflüssen Gesamtdepositionsraten berechnet.

Die Höhe der Stoffeinträge wird maßgeblich durch verschiedene Faktoren wie Niederschlagsmenge und -verteilung, Baumart, Bestandeshöhe, Kronenrauigkeit oder 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. Beim Vergleich der Baumarten sind Fichten-

und Douglasienbestände wegen der ganzjährigen und im Vergleich mit Kiefern dichteren Benadelung stärker durch Stoffeinträge belastet als Buchen-, Eichen- und Kiefernbestände. Dieser Baumarteneffekt zeigt sich sehr gut im Odenwald, wo eine Fichten- und eine Buchenfläche in unmittelbarer Nachbarschaft und somit unter gleichen klimatischen Verhältnissen beobachtet werden.

## Niederschlag

2016 war die Niederschlagshöhe im Freiland im Vergleich zum Mittel der Jahre 2011-2015 uneinheitlich. Während in Nordhessen und im Odenwald z. T. erheblich weniger Niederschlag fiel, wurden insbesondere in der Rhein-Main-Ebene deutlich positive Abweichungen gemessen.

Die höchste negative Abweichung gegenüber dem Mittel 2011-2015 wurde im Kellerwald mit -94 mm, die höchste positive Abweichung im Hess. Ries mit +91 mm registriert. Beim Bestandesniederschlag lagen die Abweichungen zum Mittel 2011-2015 zwischen -77 mm (Kellerwald Buche) und +132 mm (Hess. Ried Buche).

## Schwefel

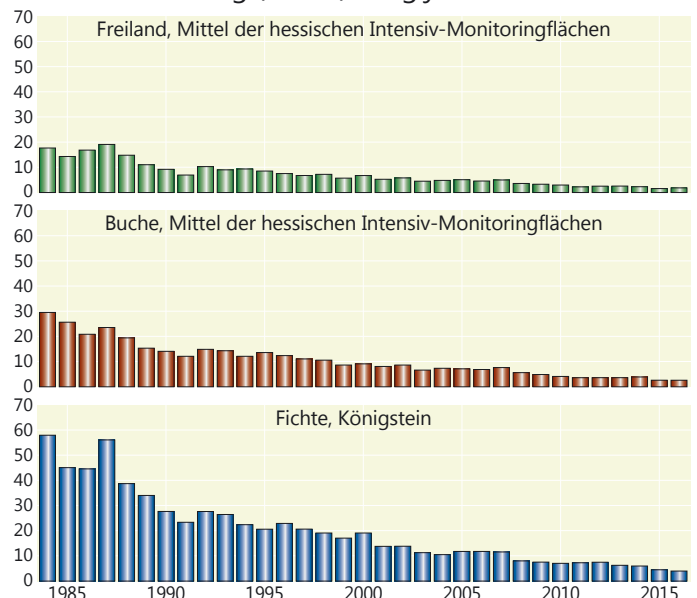
Durch die konsequente Umsetzung von Maßnahmen zur Luftreinhaltung ging der Schwefeleintrag (jeweils gemessen als Sulfatschwefel  $SO_4-S$ ) seit Mitte der 1980er Jahre stark zurück. Die stetige Abnahme der Schwefeleinträge setzte sich auf allen Flächen trotz des bereits zu Beginn der 2000er Jahre erreichten vergleichsweise niedrigen Niveaus in den vergangenen 10 Jahren weiter fort. 2016 betrug der Sulfatschwefeleintrag je Hektar unter Buche im Mittel aller Buchenflächen 2,5 kg, mit Werten zwischen 1,8 kg (Kellerwald) und 4,0 kg (Fürth). Unter Fichte lag er bei 4,0 kg (Königstein) bzw. 3,4 kg (Fürth) und im Freiland zwischen 1,3 kg (Krofdorf, Kellerwald) und 2,2 kg (Fürth). Auf sechs Bestandesmessflächen wurde 2016 der niedrigste Schwefeleintrag seit Beginn der Messungen registriert, auf fünf Flächen der zweitniedrigste Wert nach 2015. Die Säurebelastung des Ökosystems durch nicht seesalzbürtige Schwefeleinträge betrug damit 2016 je Hektar im Mittel im Freiland  $0,09 \text{ kmol}_c$ , unter Buche  $0,14 \text{ kmol}_c$  und unter Fichte  $0,21 \text{ kmol}_c$ .



Intensiv-Monitoringfläche Fürth

Foto: O. Schwerdtfeger

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





# Stoffeinträge

## Stickstoff

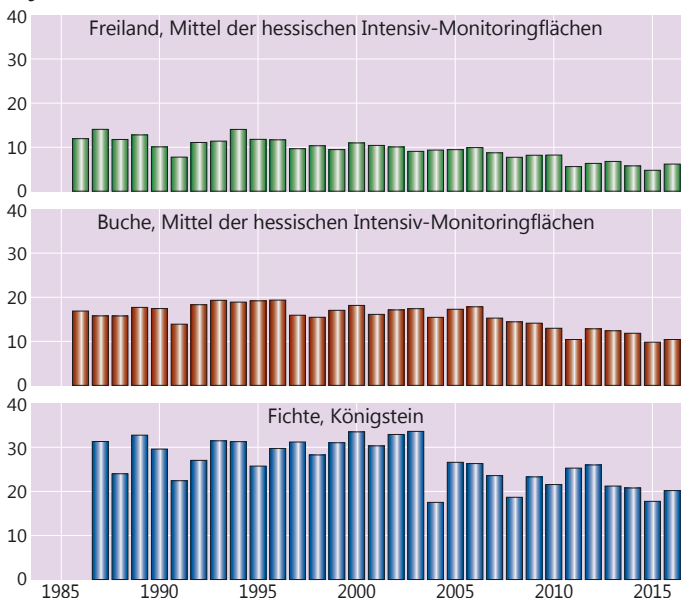
Stickstoff wird einerseits in oxidierter Form als Nitrat (Quellen: Kfz-Verkehr, Verbrennungsprozesse) andererseits in reduzierter Form als Ammonium (landwirtschaftliche Quellen) in das Ökosystem eingetragen. Das Verhältnis von Ammonium zu Nitrat betrug im langjährigen Mittel (1994-2015) annähernd 50:50.

Der Nitratstickstoffeintrag hat im Freiland und als Gesamtd deposition bei allen vier Baumarten seit Untersuchungsbeginn auf allen Flächen signifikant abgenommen. Er betrug 2016 im Hessenmittel je Hektar im Freiland 3,0 kg und unter Buche 4,6 kg (Gesamtd deposition mit Stammablauf). Unter Fichte war er am höchsten und betrug 10,6 kg in Königstein und 8,7 kg in Fürth. Im Vergleich zum Mittel der Jahre 2011-2015 reduzierte sich der Nitratreintrag unter Buche um 1,1 kg (Hessenmittel) und um 0,8 kg (Königstein) bzw. 3,6 kg (Fürth) unter Fichte. Im Freiland entsprach der Nitratreintrag im Mittel der sechs Flächen dem Durchschnitt der Jahre 2011-2015.

Ein uneinheitliches Bild bietet sich weiterhin beim Eintrag von Ammonium. Ein signifikanter Rückgang mit der Gesamtd deposition kann auf den Flächen Fürth (Fichte), Hess. Ried (Buche und Kiefer) sowie Kellerwald (Buche) beobachtet werden. In den übrigen Bestandesflächen nahm der Ammoniumeintrag nur tendenziell ab. Im Hessenmittel betrug der Ammoniumstickstoffeintrag 2016 pro Hektar im Freiland 3,2 kg und unter Buche 5,7 kg. In den beiden Fichtenbeständen lag er bei 9,7 kg (Königstein) bzw. 8,6 kg (Fürth). Damit ist der Ammoniumeintrag (Hessenmittel) im Vergleich zum Mittel der Jahre 2011-2015 unter Buche gleich geblieben und im Freiland um 0,3 kg angestiegen. Unter Fichte hat er um 1,2 kg (Königstein) bzw. um 2,6 kg (Fürth) je Hektar abgenommen.

Trotz verschiedener Bemühungen zur Reduktion der Stickstoffemissionen und hieraus resultierender rückläufiger Einträge übersteigt der anorganische atmosphärische Stickstoffeintrag (Mittel der Jahre 2011-2015) mit Werten unter Buche zwischen 8,9 kg (Hess. Ried) und 15,3 kg (Zierenberg) nach wie vor den Bedarf der Wälder für das Baumwachstum.

Stickstoff-Eintrag (NH<sub>4</sub>-N + NO<sub>3</sub>-N) in kg je Hektar und Jahr

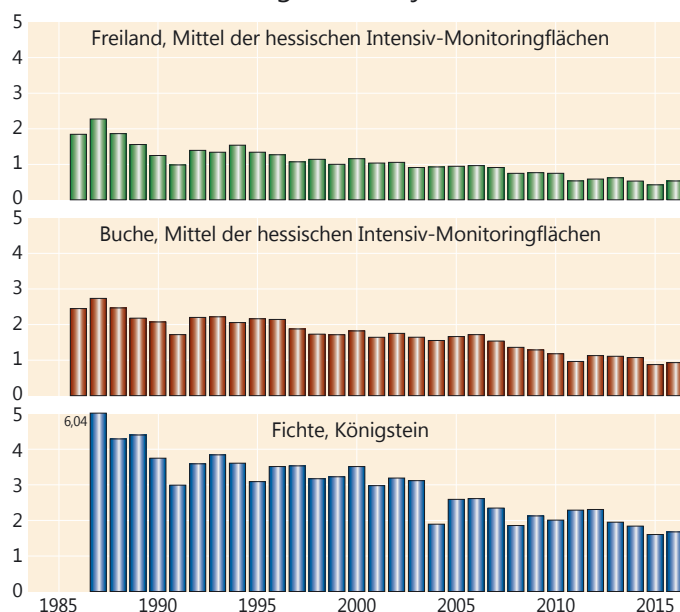


Unter Fichte ist der Stickstoffüberschuss, d. h. die Differenz zwischen Eintrag und Bedarf aufgrund der hohen Einträge zwischen 22 kg (Königstein) und 23,5 kg (Fürth) besonders hoch. Stickstoffeinträge, die über dem Bedarf des Ökosystems für das Wachstum liegen, ziehen jedoch – ggf. zeitverzögert – gravierende negative Konsequenzen für den Wald selbst sowie angrenzende Ökosysteme wie Fließ- und Grundgewässer nach sich.

## Gesamtsäure

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

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



2016 betrug der Gesamtsäureeintrag je Hektar 0,5 kmol<sub>c</sub> im Freiland (Hessenmittel), 0,9 kmol<sub>c</sub> unter Buche (Hessenmittel) und unter Fichte 1,7 kmol<sub>c</sub> (Königstein) bzw. 1,5 kmol<sub>c</sub> (Fürth). Im Freiland lagen die Werte zwischen 0,4 kmol<sub>c</sub> im Hess. Ried und 0,8 kmol<sub>c</sub> in Fürth, unter Buche zwischen 0,7 kmol<sub>c</sub> (Hess. Ried, Kellerwald, Spessart) und 1,5 kmol<sub>c</sub> (Fürth).

Während 1990 der Gesamtsäureeintrag zu ca. 40 % durch Schwefeleintrag und zu 60 % durch anorganischen Stickstoffeintrag (NH<sub>4</sub>-N + NO<sub>3</sub>-N) verursacht wurde, haben sich die relativen Anteile seitdem deutlich zum Stickstoffeintrag hin verschoben. Sein Anteil an der Gesamtsäurebelastung lag 2016 zwischen 76 und 86 %. Auch unter dem Gesichtspunkt der Säurebelastung ist deshalb eine weitere Reduzierung der Stickstoffeinträge dringend geboten.

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

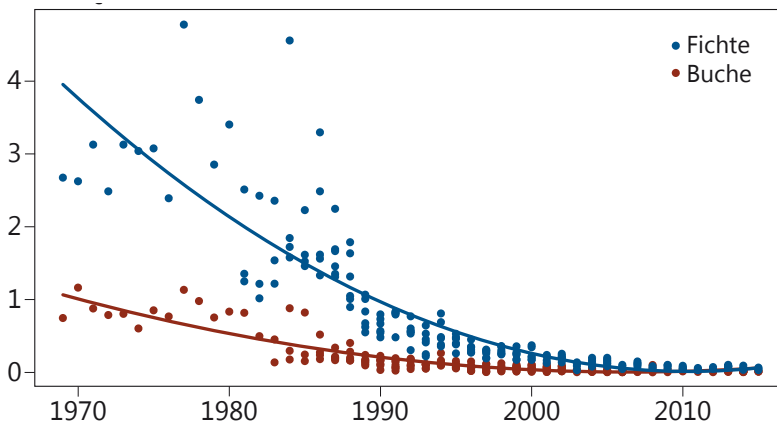


# Entwicklung der Bodenversauerung auf Intensiv-Monitoringflächen in Nordwestdeutschland

Nils König, Heike Fortmann, Henning Meesenburg und Egbert Schönfelder

Der Eintrag von Säure in die Waldökosysteme ist im Vergleich zu den 1970er und 1980er Jahren deutlich zurückgegangen. Dies zeigen die Säureeinträge (Protonen) in Fichten- und Buchenflächen des intensiven Monitorings der Länder Niedersachsen, Hessen, Sachsen-Anhalt und Schleswig-Holstein (siehe Abb. unten). Die Einträge in die Fichtenbestände sind deutlich höher als die in die Buchenbestände.

Säureeintrag (Protonen)  $\text{kmol}_c/\text{ha}$



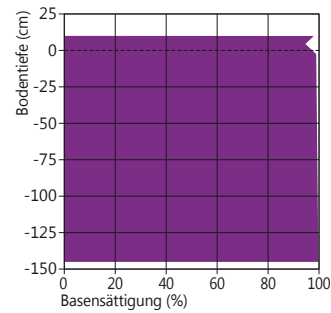
Säureeintrag (Protonen) mit der Kronentraufe auf Buchen- (rot) und Fichten- (blau) Monitoring-Flächen der NW-FVA seit 1968

Im Rahmen des Forstlichen Umweltmonitorings der NW-FVA wurden in den letzten 50 Jahren auf 47 Flächen die Einträge von Nähr- und Schadstoffen sowie deren Austräge mit der Bodenlösung gemessen. Hierzu wurden Bodeninventuren durchgeführt und die Bodenproben hinsichtlich ihres Versauerungszustandes untersucht. Einige Ergebnisse dieser Untersuchungen zur Wirkung und zum Verbleib der eingetragenen Säuren und die Wirkung von Kalkungsmaßnahmen werden im Folgenden dargestellt.

## Bodenversauerung

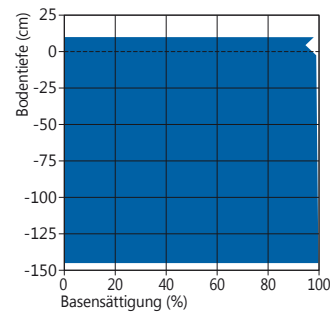
Um den Versauerungszustand von Böden zu beschreiben, werden verschiedene bodenchemische Indikatoren untersucht. Der pH-Wert in wässriger Bodensuspension ( $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$ ) kennzeichnet den aktuellen Säurezustand, während der pH-Wert in Salzlösung ( $\text{pH}(\text{CaCl}_2)$ ) die potenzielle Versauerung widerspiegelt. Mit der Bestimmung der austauschbaren Kationenbasen Calcium, Magnesium, Natrium und Kalium sowie den Kationensäuren Aluminium, Eisen, Mangan und Protonen können ebenfalls Aussagen zum Versauerungsgrad des Bodens gemacht werden. Dabei stellt das Verhältnis der basischen Kationen zur Gesamtsumme der austauschbaren Kationen (AK) die Basensättigung (BS) dar: je geringer die Basensättigung, desto höher ist der Versauerungsgrad. Bei einer Basensättigung unter 20 % besteht das Risiko, dass vermehrt toxische Aluminiumionen in die Bodenlösung abgegeben werden und dort Baumwurzeln und Mikroorganismen schädigen.

Die 47 Flächen des Intensiven Forstlichen Monitorings wurden zunächst auf Basis des Tiefenverlaufs der Basensättigung den fünf Versauerungs- bzw. Basensättigungstypen nach Kölling zugeordnet. Typ 1 beschreibt die Böden mit nahezu vollständiger Basensättigung über die gesamte Profiltiefe, zum Typ 5 gehören alle Flächen mit tiefgründiger Versauerung und einer Basensättigung unter 20 % über die gesamte Profiltiefe. Die Typen 2-4 beschreiben die fortschreitende Versauerung mit der Bodentiefe (siehe Abbildungen rechts).

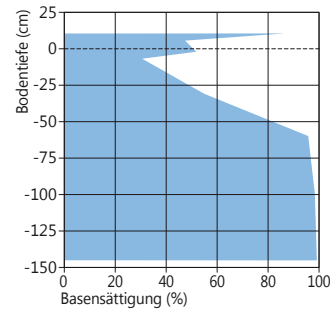


Versauerungstypen  
nach Kölling 1999, Kölling et al. 1996

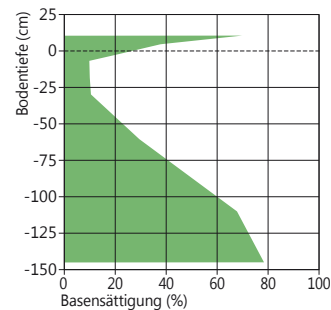
**sehr basenreich (Typ 1+)**  
Gleichmäßig hohe Basensättigung von > 80 % im gesamten Profil mit hohem Calcium-, Magnesium- und Kaliumvorrat, keine Bodenversauerung



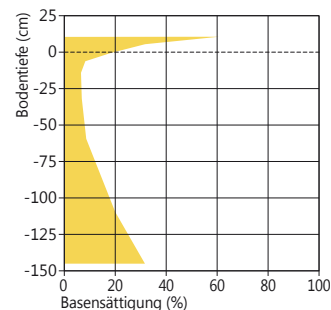
**sehr basenreich, geringes Kaliumangebot (Typ 1-)**  
Gleichmäßig hohe Basensättigung von > 80 % im gesamten Profil mit hohem Calcium-, Magnesium- und geringem Kaliumvorrat (< 400 kg/ha Kalium), keine Bodenversauerung



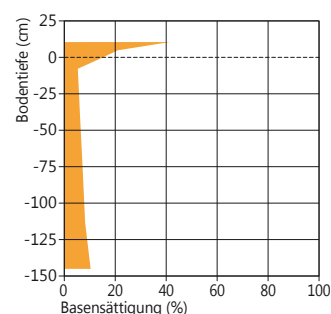
**basenreich (Typ 2)**  
Hohe Basensättigung mit hohem Calcium-, Magnesium- und Kaliumvorrat, leichte Versauerung im Oberboden



**mittelbasisch (Typ 3)**  
Mittlere Basensättigung mit mittlerem Calcium-, Magnesium- und Kaliumvorrat, stärkere Versauerung im Oberboden



**basenarm (Typ 4)**  
Geringe Basensättigung mit geringem Calcium-, Magnesium- und Kaliumvorrat, tieferreichende Bodenversauerung, Anstieg der Basensättigung von > 20 % erst in 1 m Tiefe



**sehr basenarm (Typ 5)**  
Gleichmäßig geringe Basensättigung von < 20 % mit geringem Calcium-, Magnesium- und Kaliumvorrat, tiefreichende Bodenversauerung

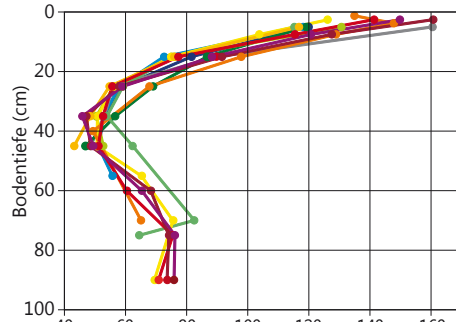


# Entwicklung der Bodenversauerung auf Intensiv-Monitoringflächen in Nordwestdeutschland

Ordnet man die 47 Intensivmonitoringflächen diesen Versauerungstypen zu, so entfallen drei Flächen auf Typ 1, fünf Flächen auf Typ 2, sieben Flächen auf Typ 3, zwei Flächen auf Typ 4 und 30 Flächen auf Typ 5. Zehn dieser Flächen wurden ein- oder mehrmals gekalkt. Die 30 Intensivmonitoringflächen des Versauerungstyps 5 sind in der Regel basenarme Standorte mit geringer Austauschkapazität und gehören vorrangig den Substratgruppen unverlehmter Sand, schwach verlehmter Sand, Buntsandstein und Quarzit an. Ein typisches Beispiel ist die Fichtenfläche im Solling (SLF1, Südniedersachsen) mit übertragbaren Ergebnissen für Hessen.

Diese Fläche ist sehr homogen, was am sehr ähnlichen Verlauf der Austauschkapazität (Abb. rechts, oben links) mit der Bodentiefe zu den verschiedenen Beprobungszeitpunkten und -orten zu erkennen ist. Die Basensättigung (Abb. rechts, oben rechts) hat mit der Zeit über die gesamte Bodentiefe deutlich abgenommen und ist erst in den letzten Jahren wieder leicht angestiegen. Mit der Abnahme der Basensättigung verändert sich das chemische Bodenmilieu. Der Anteil von Aluminium an der Austauschkapazität nimmt zu, die Nährstoffe (u. a. Calcium, Magnesium) werden mit dem Sickerwasser ausgetragen und gehen dem Ökosystem verloren. Diese Entwicklung spiegelt sich in der Zunahme von austauschbarem Aluminium (Abb. rechts, Mitte links) und der Abnahme von austauschbarem Calcium (Abb. rechts, Mitte rechts) auf der Fichtenfläche im Solling (SLF1) wider.

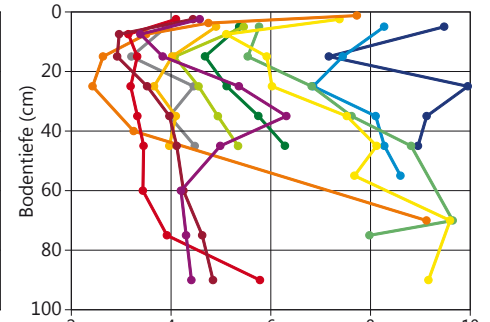
Austauschkapazität (mmol<sub>c</sub>/kg), Solling Fichte



Zeitliche Entwicklung der Austauschkapazität mit der Bodentiefe von 1968-2010

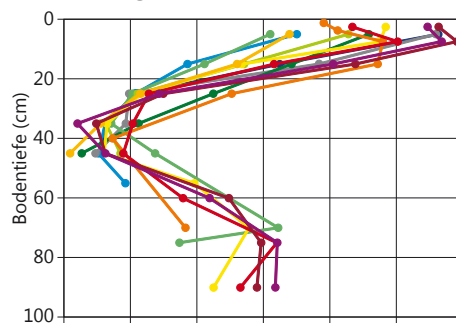
— 1968 — 1977 — 1981 — 1985 — 1990 — 2001  
— 1973 — 1979 — 1983 — 1987 — 1995 — 2010

Basensättigung (%), Solling Fichte



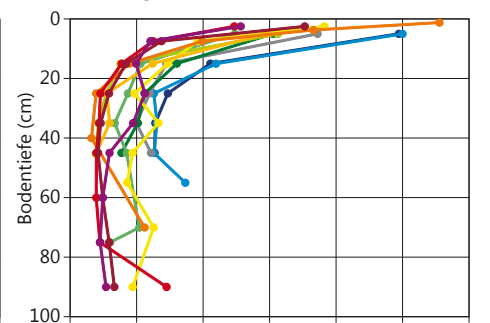
Zeitliche Entwicklung der Basensättigung mit der Bodentiefe von 1968-2010

Aluminium (mmol<sub>c</sub>/kg), Solling Fichte



Zeitliche Entwicklung des Gehalts an austauschbarem Aluminium mit der Bodentiefe von 1968-2010

Calcium (mmol<sub>c</sub>/kg), Solling Fichte



Zeitliche Entwicklung des Gehalts an austauschbarem Calcium mit der Bodentiefe von 1968-2010

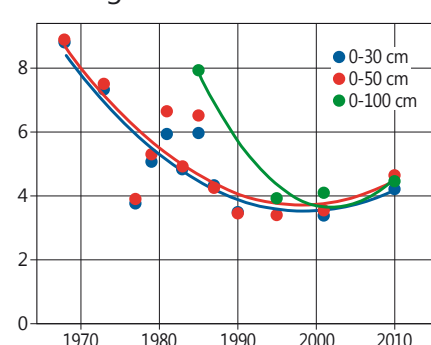
Noch deutlicher ist die Entwicklung der Basensättigung zu erkennen, wenn für verschiedene Bodentiefen (0-30 cm, 0-50 cm, 0-100 cm) die mittlere Basensättigung betrachtet wird (Abb. unten links). Eine Ursache für die Abnahme der Basensättigung ist der Verlust an austauschbarem Calcium, dessen Vorräte im Oberboden (0-50 cm) wie auch im Unterboden (50-100 cm) deutlich abgenommen haben. Seit etwa dem Jahr 2000 deutet sich ein Anstieg der Calciumvorräte im Oberboden an, während der Unterboden weiter an Calcium zu verarmen scheint (Abb. unten rechts).



Bodenprobenahme

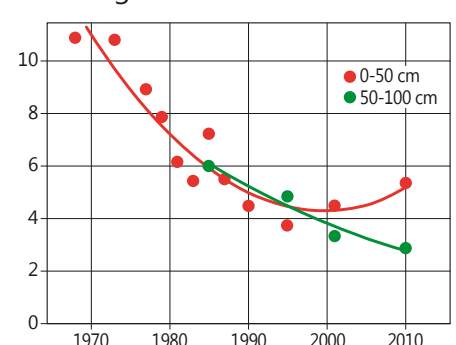
Foto: J. Evers

Mittlere Basensättigung (%), Solling Fichte



Veränderung der mittleren Basensättigung für die Bodentiefe 0-30, 0-50 und 0-100 cm

Calciumvorräte (kmol<sub>c</sub>/ha), Solling Fichte



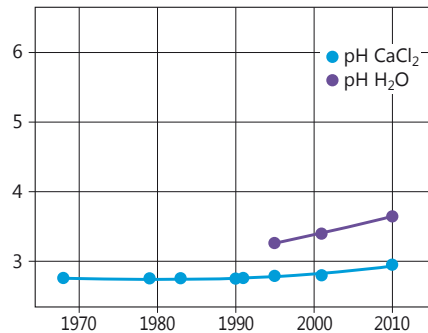
Veränderung der austauschbaren Calciumvorräte für die Bodentiefe 0-50 und 50-100 cm



# Entwicklung der Bodenversauerung auf Intensiv-Monitoringflächen in Nordwestdeutschland

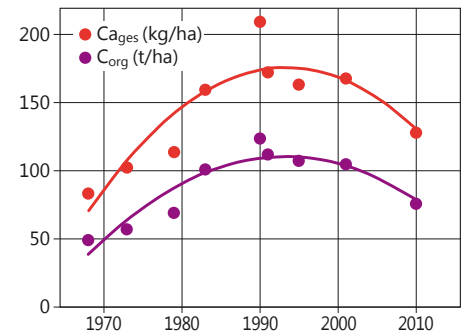
Im Auflagehumus ist der pH-Wert (H<sub>2</sub>O) im Zeitraum 1995-2010 angestiegen (Abb. links). Dies geht einher mit der Abnahme des Auflagehumusvorrats auf der Fläche, der in der Phase der Versauerung zugenommen hatte (Abb. rechts). Diese Ergebnisse sind in ähnlicher Form auch auf den übrigen Flächen des Versauerungstyps 5 festzustellen. Wegen der größeren Inhomogenität anderer Versuchsflächen sind die Tendenzen jedoch nicht immer so klar erkennbar oder es liegen nicht so lange Zeitreihen vor. Betrachtet man die 14 ungekalkten Flächen des Versauerungstyps 5 mit niedrigen Calciumvorräten, auf denen mehr als eine Inventur durchgeführt wurde, gemeinsam, so ergibt sich für eine Reihe von Flächen eine signifikante Abnahme des austauschbaren Calciumvorrates in den vergangenen Jahrzehnten seit 1966 im Oberboden (durchgezogene Linien in roten bis orangenen Farbtönen). Die Abnahme des austauschbaren Calciums im Mineralboden scheint im letzten Jahrzehnt gestoppt zu sein, auf einigen der Flächen ist sogar eine leichte Erholung zu erkennen (Abb. unten).

pH-Werte im Auflagehumus, Solling Fichte



Veränderung der pH-Werte im Auflagehumus in Wasser (H<sub>2</sub>O) und Calciumchlorid (CaCl<sub>2</sub>)

Calcium- und Kohlenstoffvorräte im Auflagehumus, Solling Fichte



Veränderung der Calcium-Vorräte (Ca<sub>ges</sub>) und der Vorräte an organischem Kohlenstoff (C<sub>org</sub>) im Auflagehumus

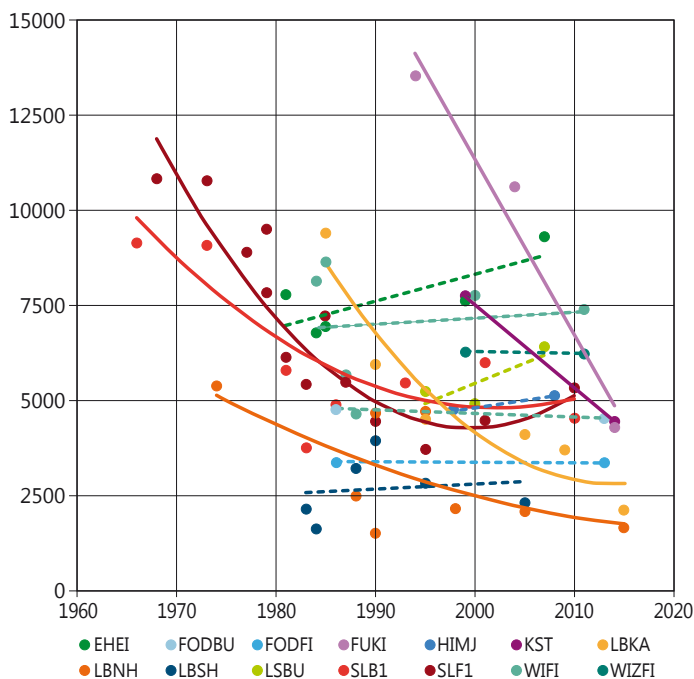
Bei vielen Flächen, deren Zeitreihen erst Mitte der 1980er Jahre oder noch später beginnen, ist in den letzten Jahrzehnten hingegen keine signifikante Veränderung zu erkennen.

Insgesamt muss festgestellt werden, dass die Versauerung auf schwach versorgten Standorten bis um das Jahr 2000 fortgeschritten ist und erst nach dem drastischen Rückgang der Säureeinträge die Calciumverluste gestoppt wurden. Auf einigen Standorten scheint eine langsame Erholung der Calciumvorräte und damit auch der Basensättigung stattzufinden. Diese Entwicklung muss weiter beobachtet werden.

## Kalkung

Auf zehn Monitoringflächen wurden verschiedene Kalkungsmaßnahmen durchgeführt, um den Einfluss der Kalkung auf die Versauerungsindikatoren pH-Wert, Basensättigung, austauschbare Calciumvorräte u. a. zu untersuchen.

Calciumvorräte in 0-50 cm Bodentiefe (mol<sub>c</sub>/ha)



Veränderung der austauschbaren Calciumvorräte für die Bodentiefe 0-50 cm auf 14 Flächen des Versauerungstyps 5. Durchgezogene Linien: signifikante Veränderung. Gestrichelte Linien: keine signifikante Veränderung.

EHEI = Ehrhorn Eiche, FODBU= Fürth im Odenwald Buche, FODFI = Fürth im Odenwald Fichte, FUKI = Fuhrberg Kiefer, HIMJ = Hils Mulde jung Fichte, KST = Königstein Fichte, LBHN = Lange Bramke Nordhang Fichte, LBSH = Lange Bramke Südhang Fichte, LSBU = Lüss Buche, SLB1 = Solling Buche, SLF1 = Solling Fichte, WIF1 = Wingst Fichte, WIZFI = Witzenhausen Fichte



Bodenprobenahme

Foto: J. Evers

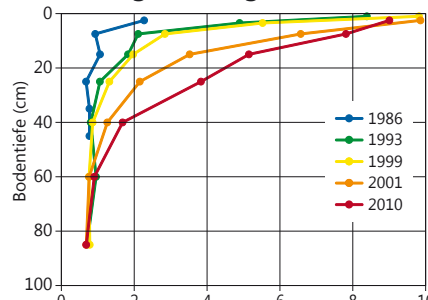


# Entwicklung der Bodenversauerung auf Intensiv-Monitoringflächen in Nordwestdeutschland

Am deutlichsten kann die Wirkung der Kalkung auf einer Buchenfläche im Solling belegt werden, die mit 30 t je Hektar gekalkt wurde. Innerhalb von 25 Jahren stieg die Basensättigung im Oberboden auf bis zu 90 % an und änderte sich bis in eine Bodentiefe von 60 cm (Abb. rechts). Der pH-Wert ( $\text{CaCl}_2$ ) stieg von 3,2 auf 5,4 in den obersten Zentimetern des Mineralbodens an (Abb. rechts). Damit einher gingen ein Abbau des Auflagehumus und eine Anreicherung von organischem Kohlenstoff im Oberboden.

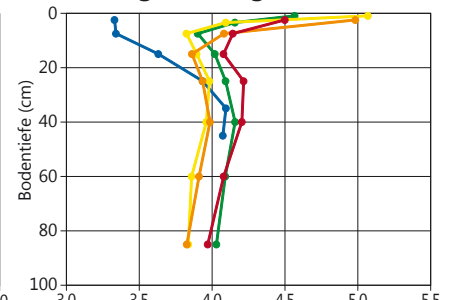
Zwar ist eine Kalkung mit 30 t je Hektar extrem; sie zeigt aber deutlich die Trends auf, die

Basensättigung (%), Solling Buche gekalkt



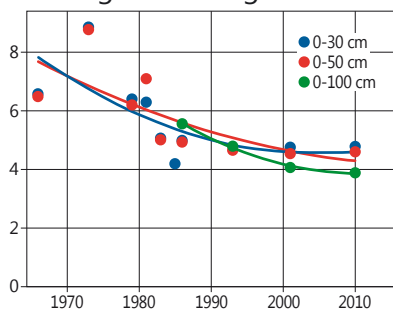
Verlauf der Basensättigung (BS) mit der Bodentiefe von 1986-2010, Kalkung: 30 t je Hektar

pH-Wert ( $\text{CaCl}_2$ ), Solling Buche gekalkt



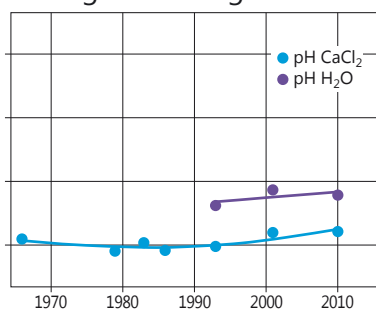
Verlauf des pH ( $\text{CaCl}_2$ )-Wertes mit der Bodentiefe von 1986-2010, Kalkung: 30 t je Hektar

Basensättigung (%), Solling Buche ungekalkt



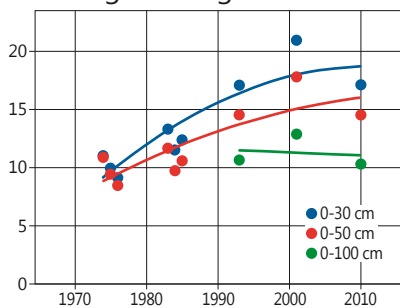
Veränderung der mittleren Basensättigung (BS) für die Bodentiefen 0-30, 0-50 und 0-100 cm

pH-Wert, Solling Buche ungekalkt



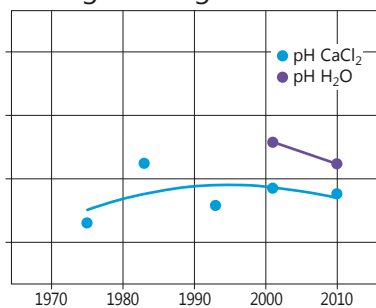
Veränderung der pH-Werte im Auflagehumus

Basensättigung (%), Solling Buche gekalkt



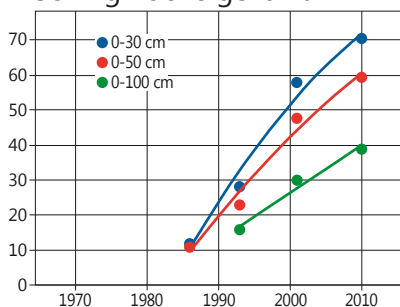
Veränderung der mittleren Basensättigung (BS) für die Bodentiefen 0-30, 0-50 und 0-100 cm, zweimal gekalkt mit je 4 t je Hektar

pH-Wert, Solling Buche gekalkt



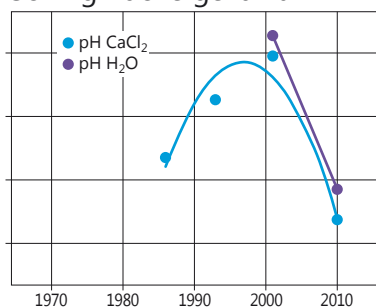
Veränderung der pH-Werte im Auflagehumus, zweimal gekalkt mit je 4 t je Hektar

Basensättigung (%), Solling Buche gekalkt



Veränderung der mittleren Basensättigung für die Bodentiefen 0-30, 0-50 und 0-100 cm, gekalkt mit 30 t je Hektar

pH-Wert, Solling Buche gekalkt



Veränderung der pH-Werte im Auflagehumus, gekalkt mit 30 t je Hektar

grundsätzlich auch bei geringeren Kalkmengen eintreten.

In den Abbildungen links sind die Entwicklungen der Basensättigung im Mineralbodenprofil und die des pH-Wertes im Auflagehumus auf drei Buchenflächen im Solling dargestellt. Die erste Fläche wurde nicht gekalkt, die zweite mit 2 x 4 t je Hektar und die dritte mit 30 t je Hektar. Es zeigt sich deutlich die Wirkung der Kalkung: die ungekalkte Fläche versauerte weiter und zeigt eine abnehmende Basensättigung auf unter 5 %, die sich erst in den letzten 10 Jahren mit leicht ansteigendem pH-Wert stabilisierte. Die mit 2 x 4 t je Hektar gekalkte Fläche zeigt eine leicht ansteigende Basensättigung auf bis zu 20 % im Oberboden und einen steigenden pH-Wert im Auflagehumus. 30 Jahre nach der letzten Kalkung scheinen jedoch beide Indikatoren wieder leicht abzunehmen. Die mit 30 t je Hektar gekalkte Fläche zeigt eine drastisch erhöhte Basensättigung bis in größere Bodentiefen. Der pH-Wert im Auflagehumus steigt zwischenzeitlich auf Werte um pH 6 an und hat nach 30 Jahren fast schon wieder den Ausgangszustand erreicht. Die Bodenschutzkalkung in den Partnerländern der NW-FVA wird in der Regel mit 3 t je Hektar durchgeführt, der Kalkungsturnus variiert. Die mit 2 x 4 t je Hektar gekalkte Fläche kommt von den Versuchsvarianten der Praxiskalkung am nächsten. Der Auflagehumusvorrat hat auf dieser Fläche abgenommen und ist auf der extrem gekalkten Fläche auf die Hälfte reduziert (ohne Abbildung).

Die Tiefenwirkung der Kalkung hängt stark vom Bodensubstrat ab. Auf sandigen Böden mit geringer Austauschkapazität wie der Eichenfläche GDEI in der Görhde ist nach 2-maliger Kalkung der austauschbare Calciumvorrat bis in 1 m Bodentiefe angestiegen und nimmt im Oberboden schon wieder ab (ohne Abbildung).

Insgesamt kann der Kalkung eine positive Wirkung in Bezug auf eine Rückführung der Bodenversauerung sowie einer Verlagerung des organischen Kohlenstoffs vom Auflagehumus in den oberen Mineralboden zugesprochen werden.



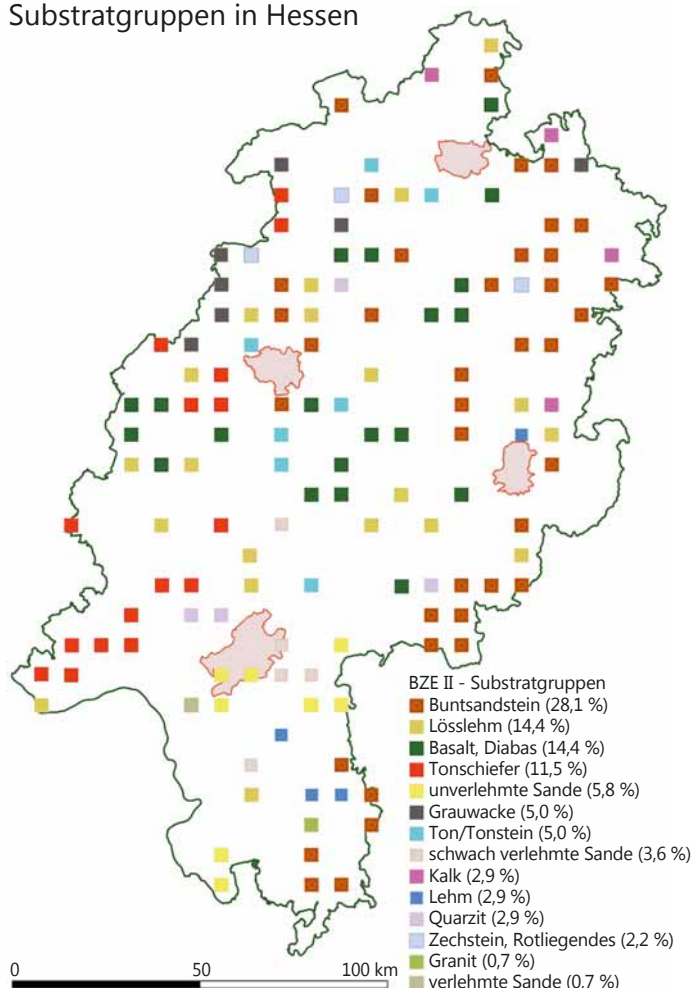
# Die Substratgruppe Basalt/Diabas

Jan Evers, Uwe Paar und Inge Dammann

Jeder der 388 BZE II-Punkte in Hessen, Niedersachsen und Sachsen-Anhalt wurde im Rahmen der Auswertungen der zweiten Bodenzustandserhebung einer Substratgruppe zugeordnet. Die Generierung der länderübergreifenden Substratgruppen erfolgte dabei nach den Merkmalen Ausgangssubstrat (Ausgangsgestein), Lagerung (Substrat-Lagerung), Bodenart, Bodenmorphologie und Bodenphysik. In Hessen kommen 14 der für Nordwestdeutschland insgesamt definierten 16 Substratgruppen vor. Für 20 BZE-Punkte (14 %) in Hessen wurde die Substratgruppe „Basalt/Diabas“ ausgewiesen. Sie ist somit – neben den „Lösslehm“-Standorten – die am zweithäufigsten vorkommende Substratgruppe in Hessen. Am häufigsten kommt in Hessen die Substratgruppe „Buntsandstein“ vor (28 %). Sie wurde ausführlich im Waldzustandsbericht 2016 vorgestellt.

Das größte zusammenhängende Basaltgebiet des europäischen Festlandes stellt der Vogelsberg dar. Hier werden Mächtigkeiten der vulkanischen Gesteine von mehr als 300 m festgestellt. Über dem Basalt finden sich quartäre Decken aus Lösslehm, Basaltverwitterungsmaterial und Bims. Weitere nennenswerte Basaltvorkommen finden sich im Westerwald, in der Rhön, im Knüllgebirge, im Habichtswald und im oberen Kinzig-Gebiet. Die Hauptvorkommen der Diabasgesteine, die dem Basalt recht ähnlich sind, liegen zum einen im westlichen Lahn-Dill-Bergland sowie zum anderen im Norden des Wuchsbezirks „Östlicher Hintertaunus“.

## Substratgruppen in Hessen



Zuordnung der 139 hessischen BZE II-Punkte zu Substratgruppen



Aufgelassener Basaltsteinbruch an den Niddahängen im Vogelsberg  
Foto: M. Schmidt

## Geologie

Basaltkuppen in Hessen zeugen von einem lebhaften Vulkanismus im Jungtertiär. Der Vulkanismus ist verbunden mit dem Zerbrecen der tieferen Erdkruste. Magma, schmelzflüssiges Gesteinsmaterial, wird als Lava an die Erdoberfläche befördert oder kühlt in tieferen Schichten langsam ab. Je nach dem Abkühlungsprozess werden Tiefen- und Ergussgesteine unterschieden.

Tiefengesteine werden jene Magmatite genannt, die innerhalb der Erdkruste – gewöhnlich in einer Tiefe von einem bis mehreren Kilometern – langsam in einer Magmakammer



BZE-Basaltprofil bei Homberg/Efze, gut erkennbar sind die intensive und tiefe Durchwurzelung, der feimbodenreiche Oberboden und der zunehmende Steinanteil mit zunehmender Bodentiefe.

Foto: H. Kasel



# Die Substratgruppe Basalt/Diabas

auskristallisieren konnten. Diese Gesteine haben eine mittel- bis grobkristalline („grobkörnige“) Struktur. Die einzelnen Mineralkörner, aus denen das Gestein besteht, können also mit dem bloßen Auge erkannt werden. Der am weitesten verbreitete und bekannteste Vertreter ist der Granit.

Ergussgesteine sind jene Magmatite, die aus einer Gesteinschmelze hervorgegangen sind, die bis an die Erdoberfläche gelangt ist. Weil sie infolge des extremen Temperaturunterschiedes an der Erdoberfläche rasch erstarren, sind Ergussgesteine oft sehr feinkörnig oder sogar glasig, da kaum Zeit für das Wachstum größerer Kristalle bleibt. Der am weitesten verbreitete und bekannteste Vertreter ist der Basalt. Seine mineralische Zusammensetzung besteht vorwiegend aus Olivinen, Pyroxenen und Feldspäten.

Diabas ist ein Eruptivgestein aus dem devonischen/karbonischen Erdzeitalter. Seine Entstehung steht im nordwesthessischen Raum auch im Zusammenhang mit dem Einsinken der Lahn-Dillmulde. Der Diabas ist zum Teil in Ergüssen unterhalb des Meeres ausgeflossen. Beim Erreichen der Erdoberfläche wurden die Diabas-Laven oft zu Asche umgewandelt, die sich dann als Tuff (Schalstein) absetzte. Diabase haben eine basaltähnliche mineralische Zusammensetzung und entsprechen auch hinsichtlich der Austauschkapazität und der Austauscherbelegung weitgehend dem Basalt.

## Bodenartenschichtung (Substrat-Lagerung)

In der Regel findet man an den Basalt/Diabas-Standorten in Hessen bis zu 70 cm mächtige, z. T. steinreiche Decken aus Feinboden über basenreichem Grundgestein.



BZE-Diabasprofil bei Bad Wildungen-Braunau

Foto: H. Kasel

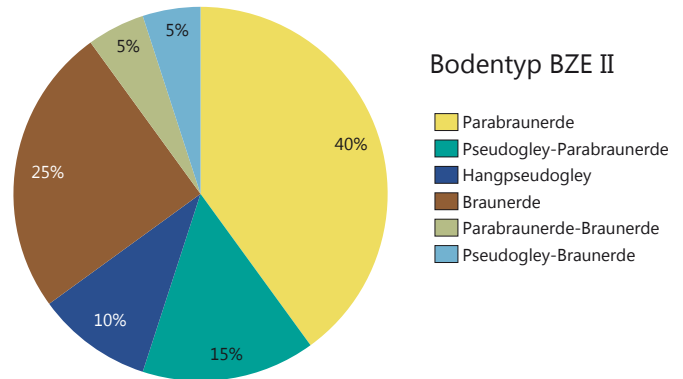


Basalt-Blockhalde

Foto: M. Schmidt

## Bodentypen

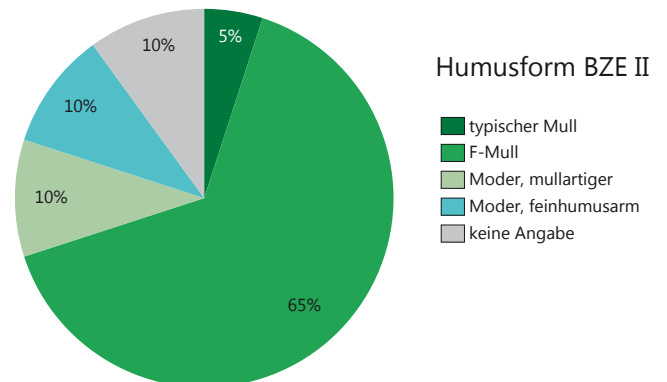
Die Substratgruppe Basalt/Diabas ist durch das Vorkommen der Bodentypen Parabraunerden (55 %) und Braunerden (35 %) gekennzeichnet. 15 % der Parabraunerden weisen Kennzeichen von Stauwasser auf (Pseudogley-Parabraunerden). Bei den Braunerden sind 5 % als Pseudogley-Braunerden ausgewiesen. Hangpseudogleye wurden an 10 % der Basalt/Diabas BZE-Punkte festgestellt und an 5 % der Basalt/Diabas BZE-Punkte traten Parabraunerde-Braunerden auf.



Verteilung der Bodentypen in der Substratgruppe Basalt/Diabas in Hessen (BZE II)

## Humusformen

Die vorkommenden Humusformen auf den Standorten der Substratgruppe Basalt/Diabas sind recht günstig: Insgesamt 70 % der betreffenden BZE-Punkte zeigen die Humusform Mull, 10 % die Humusform mullartiger Moder und nur 10 % sind als Moderstandorte einzuordnen. Den restlichen Basalt/Diabasflächen konnte wegen zu großer Störungen keine eindeutige Humusform zugeordnet werden.



Verteilung der Humusformen in der Substratgruppe Basalt/Diabas in Hessen (BZE II)



# Die Substratgruppe Basalt/Diabas

## Trophie

Die Trophiestufen der Basalt/Diabas-Standorte liegen zu 90 % im eutrophen und zu 10 % im gut mesotrophen Bereich.

## Natürliche Waldgesellschaften und aktuelle Bestockung

Wie auf Basalt sind auch die Diabasflächen durch das Vorkommen von Hainsimsen-Waldmeister-Buchenwäldern, Waldmeister-Buchenwäldern und Waldgersten-Buchenwäldern gekennzeichnet.

Hainsimsen-Waldmeister-Buchenwälder finden sich vorzugsweise auf Standorten mit größeren Lösslehmdecken (bis 70 cm) über Basalt- oder Diabasgestein. Charakterarten der Hainsimsen-Waldmeister-Buchenwälder sind u. a. Weiße Hainsimse, Buschwindröschen, Flattergras, Waldmeister, Wald-Segge, Eichenfarn, Frauenfarn und Goldnessel.

Den typischen Waldmeister-Buchenwald kennzeichnen Waldmeister, Waldsegge, Einblütiges Perlgras, Ährige Teufelskralle und Waldveilchen. Die Standorte weisen mittlere Basensättigungen im oberen Mineralboden auf. Im unteren Mineralboden zeigen sich dagegen hohe bis sehr hohe Basensättigungen.

Im Waldgersten-Buchenwald finden sich hohe Basensättigungen auch im oberen Mineralboden. Kennarten sind hier: Gelbe Anemone, Aronstab, Haselwurz, Waldzwenke, Seidelbast, Leberblümchen, Waldgerste, Bingelkraut und Frühlingsplatterbse.

Zum Zeitpunkt der BZE II waren 65 % der Basalt/Diabas-Standorte mit Laubwald – überwiegend Buche – und 35 % mit Nadelwald bestockt, hier hauptsächlich Fichtenbestände.



Waldmeister-Buchenwald am Wattenberg bei Burghasungen  
Foto: M. Schmidt

## Chemische Bodenkenngrößen

### Austauschkapazität

Eine der wichtigsten bodenchemischen Kenngrößen ist die Austauschkapazität als Summe der Konzentrationen der leicht mobilisierbaren Kationbasen Calcium, Magnesium, Kalium und Natrium sowie der Kationsäuren Aluminium, Eisen, Mangan und Protonen.

Die Substratgruppe Basalt/Diabas gehört in Hessen zu den am besten mit Nährstoffen versorgten Standorten.

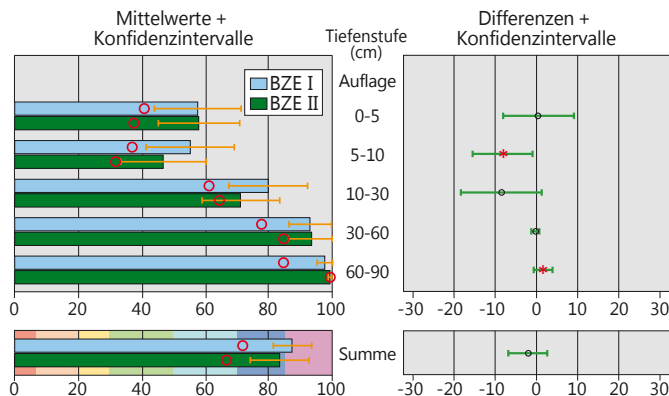
Mit Werten um 1300 kmol<sub>c</sub>/ha Austauschkapazität bis 90 cm Bodentiefe zählen die Basalte/Diabase zu den Standorten mit den höchsten Austauschkapazitäten in Hessen. Die Austauschkapazität hat im gesamten Profil ein ähnliches Niveau.

### Basensättigung

Im Zuge fortschreitender Bodenversauerung werden die an der Pufferung beteiligten basischen Kationen Calcium, Magnesium, Kalium und Natrium vom Austauscher durch die sauren Kationen Aluminium, Eisen, Mangan und Wasserstoff-Ionen verdrängt. Die Austauschkapazität bleibt dabei weitgehend konstant, es verringert sich jedoch die Basensättigung, also der relative Anteil der basischen Nährstoffkationen Calcium, Magnesium, Kalium und Natrium im Vergleich zur Summe aller Kationen am Austauscher. Ein starkes Absinken der Basensättigung im Mineralboden ist eine Folge luftbürtiger, versauernd wirkender Stoffeinträge. Eine Basensättigung unterhalb von 20 % wird als gering und unter 7 % als sehr gering eingestuft. Diese Werte werden in den am stärksten versauerten Waldböden erreicht. Für Böden mittlerer Nährstoffgüte ist eine Basensättigung von 30 bis 50 % definiert.

Für Basalt/Diabas-Standorte in Hessen liegt die durchschnittliche Basensättigung auf Profilebene bei 83 % (Abbildung unten) und damit im hohen Bewertungsbereich nach der AK-Standortskartierung (2016). Hohe durchschnittliche Basensättigungen bis 90 cm Bodentiefe zeigen auch die Substratgruppen Ton(stein), Kalk- und Zechstein. Auch die durchschnittlichen Calcium- und Magnesiumvorräte bis 90 cm Bodentiefe liegen auf Basalt/Diabas im hohen bis sehr hohen Bewertungsbereich. Lediglich die Kaliumvorräte sind durchschnittlich (gering bis mittel).

### Basensättigung (%)



Basensättigung der Substratgruppe Basalt/Diabas (n=20) in hessischen Waldböden als Mittelwert für die BZE I und II (linke Spalte) und Differenz (BZE II – BZE I) (rechte Spalte) nach Tiefenstufen und Summe bis 90 cm.



# Die Substratgruppe Basalt/Diabas



Foto: M. Schmidt

## Veränderung der Basensättigung

Für die Basalt/Diabas-Standorte verringerten sich die durchschnittlichen Basensättigungswerte zwischen den BZE-Erhebungen leicht, doch ist dieser Unterschied nicht signifikant. Bis 10 cm Bodentiefe liegen die Durchschnittswerte der Basensättigung mit 47 bis 57 % im mittleren bis hohen Bewertungsbereich, in tieferen Bodenschichten dann mit Werten über 70 % Basensättigung im hohen bis sehr hohen Bewertungsbereich. Gegenüber der BZE I gab es negative Veränderungen in den Tiefenstufen 5-10 und 10-30 cm Bodentiefe, die für die erstgenannte signifikant waren. Dennoch bleiben diese Standorte in ihrer Bewertung im basenreichen und damit bodenchemisch im guten Versorgungsbereich. Auf den Basalt/Diabas-Standorten findet keine Kalkung statt.

Wesentliche Veränderungen gegenüber der BZE I haben auch für die pH-Werte nicht stattgefunden. Die Basalt/Diabas-Standorte decken den Austauscher- bis Carbonat-Pufferbereich ab. Seit der BZE I sind die pH(H<sub>2</sub>O)-Werte leicht angestiegen, die pH(KCl)-Werte sind gesunken (Ausnahme Auflagehumus). Der Anstieg der pH(H<sub>2</sub>O)-Werte kann mit geringeren Säureinträgen im Niederschlag, vor allem Schwefelsäure, erklärt werden. Dennoch laufen im Boden weiterhin Pufferreaktionen ab, die Protonen an der Bodenmatrix binden und damit sinkende pH(KCl)-Werte verursachen.

## Ernährungssituation der Waldbäume

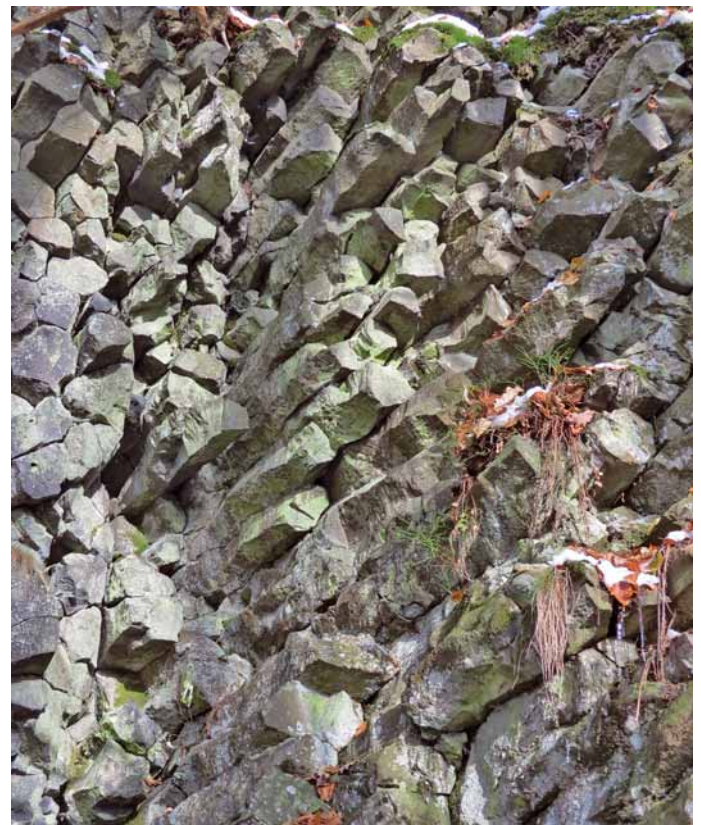
In der Substratgruppe Basalt/Diabas sind in Hessen vorwiegend Buchen und Fichten vertreten, an einigen Punkten kommt auch die Eiche vor. Die Bewertung der Ernährungssituation dieser Baumarten erfolgt anhand der Mediane für die Hauptnährstoffe (Stickstoff, Kalium, Phosphor, Calcium und Magnesium) sowie der Stickstoffquotienten zum Zeitpunkt der BZE II im Jahr 2007 (Tabelle rechts).

Die Mediane für Buche, Fichte und Eiche zeigen auf Standorten der Substratgruppe Basalt/Diabas eine überwiegend gute Versorgung (Normalbereich) mit den Hauptnährstoffen. Die Stickstoffquotienten sind bei allen drei Baumarten ebenfalls überwiegend ausgewogen.

Für Calcium und Magnesium werden an keinem BZE II-Punkt auf Basalt/Diabas Gehalte im (latenten) Mangelbereich festgestellt. Die Magnesiumgehalte der Buchenblätter und die Calciumgehalte der Fichtennadeln liegen sogar oberhalb des Normalbereichs. Phosphor- und Kaliumdefizite treten bei Fichte und Eiche auf Basalt/Diabas nur sehr vereinzelt auf, bei der Buche dagegen häufiger.

Phosphordefizite der Buche sind in Hessen weit verbreitet und werden auf allen Substratgruppen festgestellt. Auf Basalt/Diabas und Grauwacke sind sie aber weniger stark ausgeprägt als auf anderen Standorten. Die Kaliumgehalte der Buchenblätter auf Basalt/Diabas liegen etwas unter dem Landesdurchschnitt der Buche in Hessen, Fichten und Eichen sind dagegen im Vergleich der Substratgruppen auf Basalt/Diabas besonders gut mit Kalium versorgt.

Insgesamt sind die Buchen, Fichten und Eichen auf Basalt/Diabas in Hessen besser und ausgewogener ernährt als auf anderen Standorten.



Basaltsäulen

Foto: M. Schmidt

## Elementgehalte und Stickstoffquotienten

Baumart	Anzahl BZE-Punkte	Elementgehalte (mg/g)					Stickstoffquotient			
		Stickstoff N	Phosphor P	Kalium K	Calcium Ca	Magnesium Mg	N/P	N/K	N/Ca	N/Mg
Rotbuche	12	21	1,19	6,3	7,8	1,73	18	3,7	2,8	13
Rotfichte	10	17	1,82	6,0	5,8	1,20	10	2,8	3,0	13
Eiche	5	26	1,79	8,2	7,5	1,44	14	2,8	3,1	16

- Elementgehalt im latenten Mangel bzw. Stickstoffquotient unausgewogen
- Elementgehalt im Normalbereich bzw. Stickstoffquotient ausgewogen
- Elementgehalt oberhalb des Normalbereichs

Median der Elementgehalte und Stickstoffquotienten in Fichtennadeln (1. Nadeljahrgang) und Blättern von Buche und Eiche an BZE II-Punkten auf Basalt/Diabas. Bewertung der Elementgehalte nach Göttlein (2015) und der Stickstoffquotienten nach Mellert u. Göttlein (2012)



# Literaturverzeichnis

- Ad-hoc-AG Boden (2006): Konzept für eine Vereinheitlichung der Bodenkarte 1: 50.000 (BK50). Bericht im Auftrag des BLA-GEO vom 27./28.09.2006, Königswinter 28 S.
- 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 Standortkartierung (2016): Forstliche Standortaufnahme. Arbeitskreis Standortkartierung in der Arbeitsgemeinschaft Forsteinrichtung, 7. Auflage, IHW Verlag, Eching bei München, 400 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
- Benning R, Petzold R, Danigel J, Gemballa R & Andreae H. (2016): Ableitung von Leitbodenprofilen für die Punkte der Bundeswaldinventur in Sachsen und Thüringen. *Waldökologie, Landschaftsforschung und Naturschutz*, 16, 35-42.
- BMVEL (Hrsg.) (2005): BMELV-Gutachterausschuss Forstliche Analytik: Handbuch Forstliche Analytik – Eine Loseblatt-Sammlung der Analysemethoden im Forstbereich. Mit Ergänzungen bis 2015.
- Choat B, Jansen S, Brodribb TJ, Cochard H, Delzon S, Bhaskar R, Bucci SJ, Feild TS, Gleason SM, Hacke UG, Jacobsen AL, Lens F, Hafiz Maherali H, Martínez-Vilalta J, Mayr S, Mencuccini M, Mitchell PJ, Nardini A, Pittermann J, Pratt RB, Sperry JS, Westoby M, Wright IJ, Zanne AE (2012): Global convergence in the vulnerability of forests to drought. *Nature*, 491, 752-755.
- Gauger T, Anshelm F, Schuster H, Draaijers GPJ, Bleeker A, Erisman JW, Vermeulen AT, Nagel HD (2002): Kartierung ökosystembezogener Langzeittrends atmosphärischer Stoffeinträge und Luftschadstoffkonzentrationen in Deutschland und deren Vergleich mit Critical Loads und Critical Levels. Forschungsvorhaben im Auftrag des BMU/UBA, FE-Nr. 299 42 210., Institut für Navigation, Univ. Stuttgart. 207 S
- Göttlein A (2015): Grenzwertbereiche für die ernährungsdiagnostische Einwertung der Hauptbaumarten Fichte, Kiefer, Eiche, Buche. *Allgemeine Forst- und Jagdzeitung* 182, 173-186
- Granier A, Breda N, Biron P & Villette S (1999): A lumped water balance model to evaluate duration and intensity of drought constraints in forest stands. *Ecol. Modelling*, 116, 269-283.
- Granier A, Reichstein M, Breda N, Janssens I A, Falge E, Ciais P, Grunwald T, Aubinet M, Berbigier P, Bernhofer C, Buchmann N, Facini O, Grassi G, Heinesch B, Ilvesniemi H, Kerönen P, Knohl A, Koster B, Lagergren F, Lindroth A, Longdoz B, Loustau D, Mateus J, Montagnani L, Nys C, Moors E, Papale D, Peiffer M, Pilegaard K, Pita G, Pumpanen J, Rambal S, Rebmann C, Rodrigues A, Seufert G, Tenhunen J, Vesala T, Wang O (2007): Evidence for soil water control on carbon and water dynamics in European forests during the extremely dry year: 2003. *Agricultural and Forest Meteorology*, 143, (1-2), 123-145.
- HLUG (Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie) (2006): Digitale Bodenflächendaten von Hessen 1 : 50 000 (BFD50). Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie; Fachinformationssystem Boden/Bodenschutz. Stand 18. August 2006.
- HLUG (Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie) (2011): Digitale Bodenflächendaten von Hessen 1 : 25 000 (BFD25). Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie; Fachinformationssystem Boden/Bodenschutz. Stand 02. September 2011.
- HMUKLV (Hessisches Ministerium für Umwelt, Klimaschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz) (2017): Integrierter Klimaschutzplan Hessen 2025 - Maßnahmensteckbriefe 235.
- 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
- Kawohl T, Dietrich H, Wehberg J, Böhner J, Wolf T & Röder A (2017): Das Klima in 80 Jahren - Wein- statt Waldbau? *AFZ-DerWald*, 72 Jg., (15), 32-35.
- Kölling C, Hoffmann M, Gulder HJ (1996): Bodenchemische Vertikalgradienten als charakteristische Zustandsgrößen von Waldökosystemen. *Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde*, 159, 69-77
- Kölling C (1999): Ordination von Waldökosystemen nach Stoffkonzentrationen der Lösungsphase und bodenchemischen Tiefengradienten. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 162, 1, 89-95.
- Mellert KH & Göttlein A (2012): Comparison of new foliar nutrient thresholds derives from van den Burg's literature compilation with established central European references. *European Journal of Forest Research* 131, 1461-1472
- Paar U, Guckland A, Dammann I, Albrecht M, Eichhorn J (2011): Häufigkeit und Intensität der Fruktifikation der Buche. *AFZ-DerWald*, 6, 26-29
- Ulrich B (1991): Beiträge zur Methodik der Waldökosystemforschung. Berichte des Forschungszentrums für Waldökosysteme/Waldsterben. Reihe B, Band 24, 142 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



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

Titelfoto: Evers J

Layout: Paar E

Herstellung: Nordwestdeutsche  
Forstliche Versuchsanstalt

Druck: Printec Offset Kassel

Der Waldzustandsbericht 2017  
ist abrufbar unter  
[www.nw-fva.de](http://www.nw-fva.de) und  
[www.umwelt.hessen.de](http://www.umwelt.hessen.de)

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

Prof. Dr. Johannes Eichhorn  
Abteilungsleiter  
Umweltkontrolle



Dr. Uwe Paar  
Sachgebietsleiter Wald- und  
Bodenzustand, Redaktion



Inge Dammann  
Leiterin der Außenaufnahmen,  
Auswertung, Redaktion



Dr. Jan Evers  
Bodenzustandserhebung



Andreas Schulze  
Datenbank



Jörg Weymar  
Außenaufnahmen und Kontrollen



Michael Spielmann  
Außenaufnahmen und Kontrollen



Dr. Bernd Westphal  
Außenaufnahmen und Kontrollen

