

Waldzustandsbericht 2014



NW-FVA

Nordwestdeutsche
Forstliche Versuchsanstalt

Vorwort



Liebe Leserinnen, liebe Leser,

auch in diesem Sommer wurde der Zustand des Waldes in Hessen erfasst, wie in ganz Deutschland und in großen Teilen Europas. Diese jährliche Erhebung, für die in Hessen Daten von rund 4.000 Bäumen auf einem repräsentativen Beobachtungsnetz aufgenommen werden, gibt uns einen Überblick über den aktuellen Gesundheitszustand unserer heimischen Wälder und das seit nunmehr über 30 Jahren.

Die in dieser Broschüre veröffentlichten Ergebnisse der jährlichen Erhebungen spiegeln die vielfältigen Einflüsse wie Witterungsverlauf, Stoffeinträge, Insekten- und Pilzbefall wider, die in erheblichem Maße den Zustand des Waldes im Jahresverlauf beeinflussen können.

Die aus den langjährigen Waldzustandserhebungen resultierenden Messreihen und die Ergebnisse intensiver Waldmessflächen sowie ihre wissenschaftliche Auswertung ermöglichen ein rechtzeitiges Erkennen negativer Auswirkungen auf Umwelt und Wald, etwa durch starke Schadstoffeinträge. Sie sind zudem Grundlage für die Initiierung von Gegenmaßnahmen. Dazu zählen die Reduktion von Schadstoffemissionen aus Großkraftwerken und der Aufbau von stabileren Mischwäldern. Inzwischen werden durch das Forstliche Umweltmonitoring auch Themenkomplexe wie Klimaänderung und Kohlenstoffspeicherung erfasst.

Nach den Ergebnissen der diesjährigen Waldzustandserhebung hat sich die mittlere Kronenverlichtung aller Baumarten und Altersstufen um 3 %-Punkte auf 23 % verschlechtert. Dieses Ergebnis wird maßgeblich durch den starken Anstieg der mittleren Kronenverlichtung der älteren Buchen auf aktuell 35 % (2013: 28 %) beeinflusst. Das Ergebnis der Buche hängt mit der starken Bucheckermast in 2014 zusammen. Rund 80 % der über 60-jährigen Buchen haben in diesem Jahr mittel oder stark fruktifiziert mit entsprechender Auswirkung auf die Blattbildung.

Erfreulich bleibt die Tendenz bei den jüngeren Bäumen (aller Baumarten), hier erreicht der Wert mit 6 % mittlerer Kronenverlichtung nahezu das Niveau zu Beginn der Zeitreihe. Die Kronenverlichtung der älteren Eichen hat sich nochmals deutlich um 4 %-Punkte auf 18 % verringert, dem niedrigsten Wert der zurückliegenden zwei Jahrzehnte. Das dürfte wesentlich durch den weiteren Rückgang der Fraßschäden durch die Raupen der Eichenfraßgesellschaft beeinflusst worden sein. Die Kronenverlichtung der älteren Fichten und Kiefern liegt auf dem Niveau des Vorjahres. Größere Insektenschäden waren bei diesen Baumarten nicht festzustellen.

Nach wie vor angespannter bleibt die Situation insbesondere bei den älteren Eichen und den jüngeren Bäumen in der besonders belasteten Rhein-Main-Ebene. Die Ergebnisse des Runden Tisches stehen noch in diesem Jahr an und mit Spannung wird erwartet, welche realistischen Möglichkeiten zur Verbesserung des Waldzustandes im Hessischen Ried gesehen werden.

Die Broschüre enthält zusammen mit den Ergebnissen der Waldzustandserhebung aktuelle Informationen zum Insekten- und Pilzbefall in unseren Wäldern, zum Klima und zur Witterung, zur Waldernährung der Fichte, zur chemischen Qualität von hessischen Waldbächen und zum Trockenstress in Wäldern bei klimatischen Veränderungen.

In Hessen sind das Interesse und die Verbundenheit der Bürgerinnen und Bürger mit ihrem Wald und der Natur besonders groß. Dabei haben wir alle, die wir unsere Wälder aus den verschiedensten Beweggründen in einem guten Zustand erhalten wollen, die Möglichkeit hierzu beizutragen.

Die vor kurzem veröffentlichten Ergebnisse der dritten Bundeswaldinventur haben uns gezeigt, dass die Wälder Hessens in den letzten 10 Jahren naturnäher, vielfältiger, reicher an Laubbäumen und Holzvorräten geworden sind. Ein Beleg dafür, dass wir bei der Bewirtschaftung der Wälder auf dem richtigen Weg sind. Durch die anstehende FSC-Zertifizierung des Hessischen Staatswaldes sollen diese Wälder zukünftig noch stabiler und artenreicher werden.

Beteiligen auch Sie sich bei den vielfältigen Vorhaben in Hessen beispielsweise bei Maßnahmen des Klimaschutzes und der Energieeinsparung sowie der Förderung der Biologischen Vielfalt. Nicht nur der Wald wird es Ihnen danken.

Mit freundlichen Grüßen
Ihre

Priska Hinz

Hessische Ministerin für Umwelt, Klimaschutz,
Landwirtschaft und Verbraucherschutz
Wiesbaden, im November 2014

Hauptergebnisse

Waldzustandserhebung (WZE)

Nach der Verbesserung des Kronenzustandes des hessischen Waldes in den Vorjahren hat sich die mittlere Kronenverlichtung in 2014 wieder um 3 %-Punkte erhöht. Sie liegt in diesem Jahr im Durchschnitt bei 23 %.

Die Verlichtung bei den älteren Bäumen hat sich von 25 % (2013) auf 28 % erhöht, bei den jüngeren Bäumen hat sie von 7 % (2013) auf 6 % abgenommen. Damit erreicht der Wert für die jüngeren Bäume das Niveau wie zu Beginn der Zeitreihe.

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

Die Baumarten im Einzelnen

Nach einem hohen Wert der Kronenverlichtung der älteren Buche 2011 und deutlich verbesserten Werten in den Jahren 2012 bis 2013 hat sich die mittlere Kronenverlichtung erneut auf aktuell 35 % erhöht. Diese Entwicklung steht vor allem im Zusammenhang mit der Fruchtbildung der Buche. Nach dem Ausbleiben einer Buchenmast in den beiden Vorjahren haben 2014 80 % der älteren Buchen mittel oder stark fruktifiziert. Die häufige Fruchtbildung der Buche steht einerseits in Verbindung mit einer Zunahme warmer Jahre, die ein Indiz für eine Klimaveränderung sind, und andererseits mit einer erhöhten Stickstoffversorgung der Bäume, einer Folge der über Jahre hohen Belastung hessischer Wälder durch anthropogene Stickstoffeinträge.

Der Kronenzustand der älteren Eichen hat sich nochmals verbessert (2013: 22 %; 2014: 18 %). Wesentliche Ursache dafür dürfte der weitere Rückgang der Schäden durch die Eichenfraßgesellschaft sein.

Die Kronenverlichtung der älteren Fichten und Kiefern liegt auf dem Niveau des Vorjahres (Fichte 2013: 25 %; 2014: 26 %; Kiefer 2013 und 2014: 21 %).

Die jährliche Absterberate (alle Bäume, alle Alter) hat sich gegenüber dem Vorjahr von 0,1 % auf 0,2 % erhöht. Sie liegt aber insgesamt auf einem sehr niedrigen Niveau. Im Beobachtungszeitraum (1984-2014) zeigen sich erhöhte Absterberaten jeweils nach Sturmwürfen, wie es beispielsweise der Zeitraum von 1990 bis 1995 belegt, sowie nach Trockenjahren, wie es 2003 und die nachfolgenden beiden Jahre zeigen. Die durchschnittliche Absterberate liegt für den gesamten Beobachtungszeitraum bei dennoch nur 0,3 %.

Rhein-Main-Ebene

In der Rhein-Main-Ebene hat sich der Kronenzustand der älteren Bäume im Vergleich zum Vorjahr geringfügig verbessert (2013: 28 %; 2014: 26 %).

Die mittlere Kronenverlichtung der jüngeren Bäume beträgt in diesem Jahr 12 %, sie liegt seit Beginn der Zeitreihe ca. doppelt so hoch wie in Gesamthessen.

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 % (2014) erhöht, im Land Hessen dagegen von 13 % auf 18 %.



Foto: J. Evers

Hauptergebnisse

Witterung und Klima

Der Winter 2013/2014 und der Frühjahrsbeginn waren überdurchschnittlich warm, trocken und sonnenscheinreich. Viele Waldbäume reagierten auf diesen Witterungsverlauf mit einem frühen Austrieb. Der Mai brachte überdurchschnittliche Niederschläge. Der Sommer verlief sehr wechselhaft mit Hitzewellen, Gewittern und starken Niederschlagsereignissen. Seit Ende der 1980er Jahre zeigt sich für Hessen die Tendenz zu überdurchschnittlichen Temperaturen im Vergleich zur Referenzperiode 1961-1990.

Trockenstress der Buche

Modellrechnungen zum Klimawandel zeigen, dass ein hohes Trockenstressrisiko im Zeitraum 1971-2000 nur in einem Jahr auftrat, während für den Zeitraum 2071-2100 insgesamt 12 Trockenjahre prognostiziert werden. In fünf Fällen kommt es für diesen Zeitraum sogar zum Auftreten von mindestens zwei Trockenstressrisikojahren in Folge. Diese Entwicklung ist als besonders kritisch zu bewerten, da bei einer über mehrere Jahre andauernden Trockenstresssituation mit einer erhöhten Absterberate der Buchen gerechnet werden muss.

Waldschutz

Blattfraß durch die Eichenfraßgesellschaft blieb in diesem Jahr in Hessen weitgehend aus. Nur lokal setzen sich auffällige Absterbeprozesse in Alteichenbeständen fort. Nach einem Erkrankungsschub in den Jahren 2011/2012 sind in 2014 erneut Eichen meist unter starker Beteiligung von Hallimasch- und teilweise auch Prachtkäfer-Befall abgestorben. Das Eschentriebsterben ist auch in Hessen weit verbreitet.

Stoffeinträge

Durch Maßnahmen wie Rauchgasentschwefelung bei Großfeuerungsanlagen und der Einführung von schwefelarmen Kraftstoffen nahmen die Sulfateinträge in die Wälder deutlich ab. 2013 betrug der Sulfatschwefeleintrag pro Hektar zwischen 2,2 kg (Krofdorf Buche) und 6,7 kg (Fürth Fichte), im Freiland lag er zwischen 1,6 kg (Kellerwald) und 3,5 kg (Fürth). Dies entspricht im Vergleich zur Mitte der 1980er Jah-

re (1984-1986) einem Rückgang um 91 % in der Gesamtdosition der Buche (Krofdorf), um 87 % in der Gesamtdosition der Fichte (Königstein) und um rund 85 % im Freiland.

Aufgrund rückläufiger Stickoxid-Emissionen hat der Nitratreintrag sowohl im Freiland als auch in der Gesamtdosition auf allen untersuchten Flächen signifikant abgenommen. Beim Ammoniumeintrag zeigt sich zwar auf fünf von sieben Flächen eine signifikante Abnahme im Freiland, in der Gesamtdosition jedoch nur in den untersuchten Waldbeständen des Hessischen Rieds (Buche, Eiche, Kiefer) und in Fürth (Fichte). Trotz des Rückgangs überschreiten insbesondere in den niederschlagsreichen Gebieten und unter Fichte die atmosphärischen Stickstoffeinträge nach wie vor den Bedarf der Bestände für ihr Wachstum.

Ernährungssituation der Fichte

1982/1983 (Bionetz: Untersuchungen zu Boden- und Nadelgehalten der Fichte) und 2007/2008 (BZE II) wurden landesweite Inventuren zur Ernährungssituation der Fichte in Hessen durchgeführt. Die Ergebnisse zeigen Reaktionen der Fichte auf sich ändernde Umweltbedingungen. Die Stickstoffkonzentration in den Nadeln stieg an, die Magnesiumversorgung verbesserte sich, während die Schwefel-, Eisen- und Kaliumkonzentrationen abnahmen.

Bodenvegetation

Mit dem im Rahmen der Bodenzustandserhebung (BZE II) erhobenen Vegetationsdatensatz wurde für Niedersachsen, Hessen und Sachsen-Anhalt das Vorkommen von Waldbodenpflanzen in bestimmten Pufferbereichen statistisch fundiert abgeleitet. Die Bestimmung der Pufferbereiche über die Zeigerarten ist ein wichtiges Hilfsmittel zur Ansprache der Nährstoffverfügbarkeit von Waldstandorten.



Foto: T. Ullrich

Chemische Qualität hessischer Waldbäche

Für 21 von 31 untersuchten hessischen Waldbächen konnte ein signifikanter Rückgang der Sulfatkonzentration belegt werden, acht Bäche wiesen keinen signifikanten Trend auf, bei zwei Bächen nahm die Sulfatkonzentration zu.

Die Zeitreihenanalysen für Nitrat zeigen für 17 Bäche einen abnehmenden und für 12 Bäche einen zunehmenden Trend auf, zwei Bäche zeigen keinen signifikanten Trend.

Die Mehrzahl der beobachteten Waldbäche ist aufgrund ihrer geringen Pufferkapazität versauerungsempfindlich. Eine weitere Reduzierung der Stoffeinträge, insbesondere der Stickstoffeinträge ist für die Erhaltung bzw. Verbesserung der chemischen Qualität hessischer Waldbäche von zentraler Bedeutung.



Foto: R. Steffens

WZE-Ergebnisse für alle Baumarten

Mittlere Kronenverlichtung

Die Waldzustandserhebung 2014 weist als Gesamtergebnis für die Waldbäume in Hessen (alle Baumarten, alle Alter) eine mittlere Kronenverlichtung von 23 % aus. Damit hat sich die mittlere Kronenverlichtung im Vergleich zum Vorjahr um 3 %-Punkte verschlechtert. Der Wert bei den älteren (über 60-jährigen) Bäumen hat sich von 25 % (2013) auf 28 % erhöht. Die Kronenverlichtung der jüngeren Bäume ist von 7 % (2013) auf 6 % zurückgegangen.

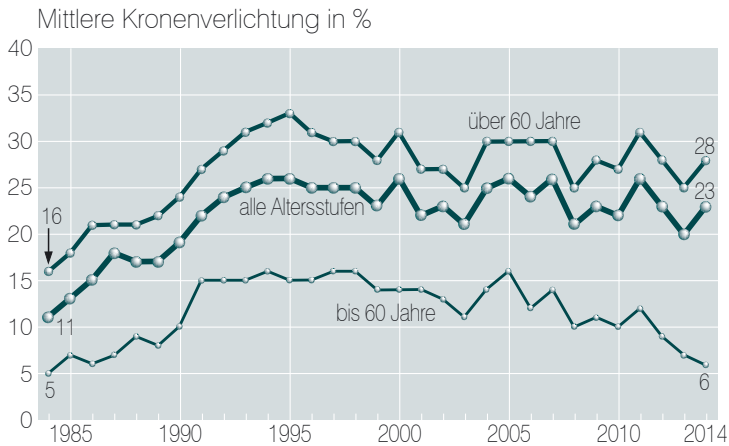


Foto: J. Evers

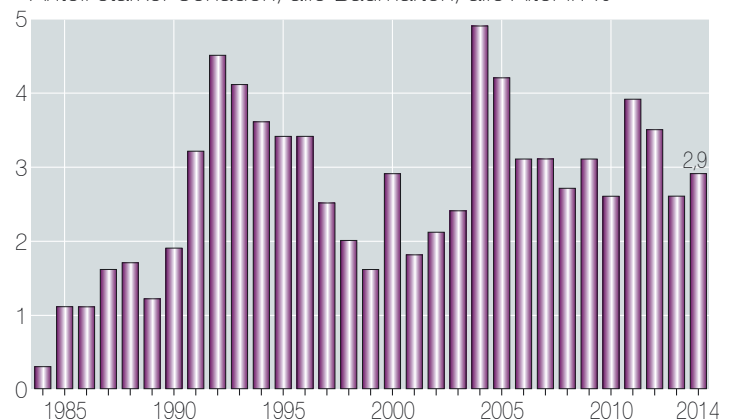


Foto: J. Evers

Anteil starker Schäden

Insgesamt liegt der Anteil starker Schäden über alle Baumarten und alle Alter mit durchschnittlich 3 % auf einem eher geringen Niveau. Der Anteil starker Schäden hat sich bei den älteren Bäumen von 3 % (2013) auf 4 % erhöht. Bei den jüngeren Bäumen liegt der Anteil starker Schäden bei 1 %. Die Zeitreihe der bis 60-jährigen Bäume zeichnet die beiden wesentlichen Ereignisse in der landesweiten Waldentwicklung der letzten 25 Jahre, die Stürme Vivian und Wiebke 1990 und den extremen Sommer 2003, besonders klar nach. In beiden Fällen wirken die Ereignisse mehrere Jahre nach.

Anteil starker Schäden, alle Baumarten, alle Alter in %

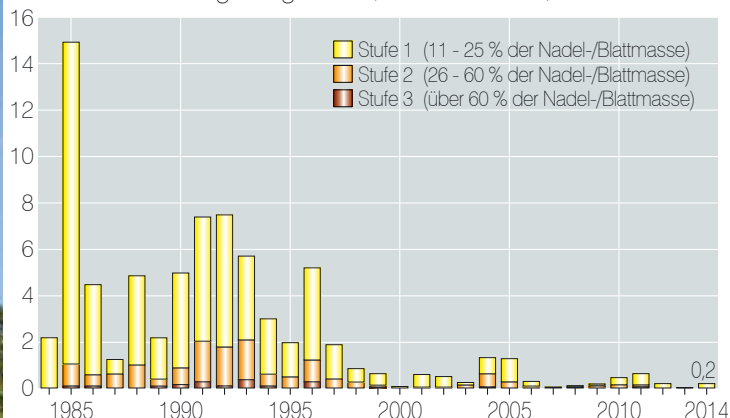


WZE-Ergebnisse für alle Baumarten



Foto: J. Evers

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



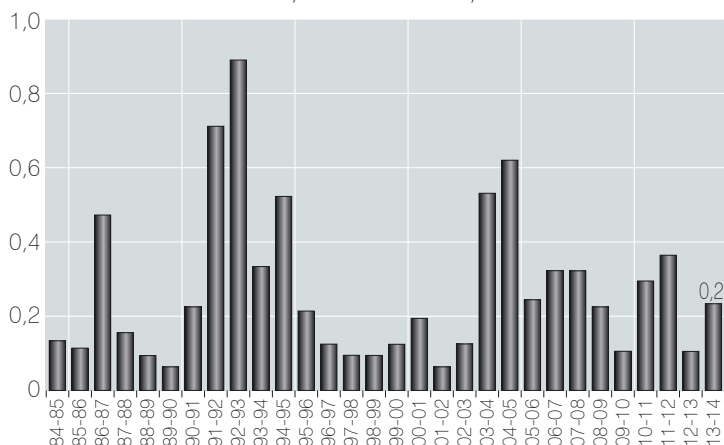
Vergilbungen

Vergilbungen der Nadeln und Blätter sind häufig ein Indiz für Magnesiummangel in der Nährstoffversorgung der Wald-bäume. 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 gehen 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 Schwefel-emissionen haben dazu beigetragen, das Auftreten dieser Mangelercheinung zu reduzieren.



Foto: E. Langer

Jährliche Absterberate, alle Baumarten, alle Alter in %



Absterberate

Die Absterberate (alle Bäume, alle Alter) liegt 2013/2014 mit 0,2 % auf einem geringen Niveau. Auch im langjährigen Mittel der Jahre 1984–2014 ergibt sich mit 0,3 % eine sehr geringe Absterberate. Nach dem Trockenjahr 2003 waren für zwei Jahre erhöhte Werte festzustellen. Auch in Folge der gravierenden Sturmwürfe Anfang der 1990er Jahre traten für einige Jahre erhöhte Werte auf. Die jährliche Absterberate ist ein wichtiger Indikator für Vitalitätsrisiken des Waldes. Dies gilt besonders vor dem Hintergrund prognostizierter Klimaänderungen.

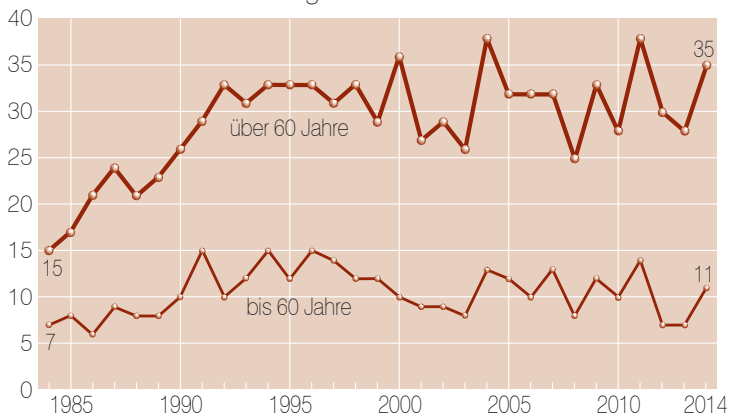
Buche

Ältere Buche

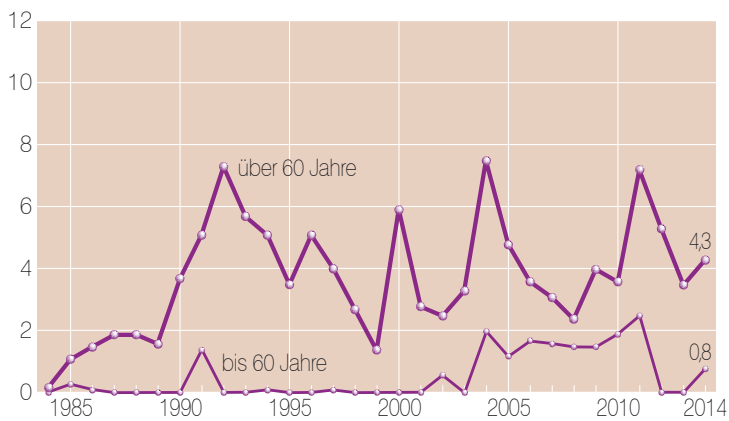
Nach dem deutlichen Anstieg der Kronenverlichtung im Zeitraum 1984-1992 und einer Stagnation auf nahezu gleich bleibendem Niveau in der Zeit 1993-1999 sind ab 2000 deutliche Schwankungen in der Ausprägung des Kronenzustandes der Buche festzustellen. Hierbei sind bei der älteren Buche vor allem stärkere Fruktifikationsereignisse als Ursache zu nennen.

2011 erreichte die Kronenverlichtung mit 38 % einen der höchsten Werte der bisherigen Zeitreihe. Nach der erheblichen Verbesserung des Belaubungszustandes der älteren Buche in den Jahren 2012 und 2013 hat sich die mittlere Kronenverlichtung von 28 % im Jahr 2013 erneut auf aktuell 35 % erhöht. Diese Entwicklung steht auch im Zusammenhang mit der Fruchtbildung der Buche. Nach dem Ausbleiben von starken Buchenmasten in den beiden Vorjahren haben 2014 erneut fast alle älteren Buchen (80 %) mittel oder stark fruktifiziert.

Mittlere Kronenverlichtung in %



Anteil starker Schäden in %



Anteil mittel und stark fruktifizierender älterer Buchen in %

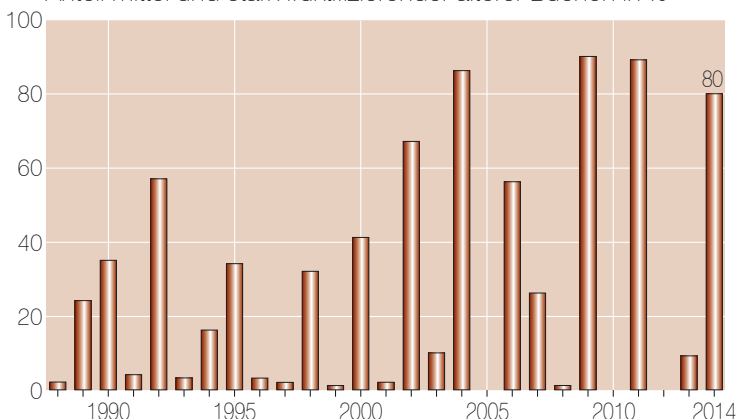


Foto: J. Evers

Jüngere Buche

Bei der jüngeren Buche ist die mittlere Kronenverlichtung von 7 % (2013) auf 11 % angestiegen.

Starke Schäden

Der Anteil starker Schäden an älteren Buchen liegt wie im Vorjahr bei 4 %. Dieser Wert entspricht dem langjährigen Durchschnitt.

Bei den jüngeren Buchen zeigen ca. 1 % deutliche Schäden, dies entspricht ebenfalls dem Durchschnittswert der Zeitreihe.

Absterberate

Die Buche weist im Vergleich der Hauptbaumarten seit 1984 die geringste Absterberate auf. Im Mittel liegt die Absterberate der Buche bei 0,05 %. 2014 beträgt sie 0,1 %.

Fruchtbildung

Nach dem Ausbleiben starker Fruchtbildung in den beiden Vorjahren haben 2014 80 % der älteren Buchen mittel oder stark fruktifiziert.

Die Ergebnisse zur Fruchtbildung im Rahmen der Waldzustandserhebung zeigen die Tendenz, dass die Buche in den letzten drei Jahrzehnten in kurzen Abständen und vielfach intensiv fruktifiziert. Die häufige Fruchtbildung der Buche steht einerseits in Verbindung mit einer Zunahme warmer Jahre, die ein Indiz für eine Klimaveränderung sind, und andererseits mit 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 fruktifiziert, ergibt sich rechnerisch für den Beobachtungszeitraum 1988-2014 alle 2,7 Jahre eine starke Mast. Literaturrecherchen hingegen ergaben für den Zeitraum 1839-1987 Abstände zwischen zwei starken Masten von im Mittel 4,7 Jahren.

Buchenspringrüßler

In diesem Jahr wurde örtlich insbesondere an Bestandesrändern Befall durch den Buchenspringrüßler beobachtet. Da es sich nicht nur um den typischen Lochfraß handelte, sondern auch Nekrosen ausgebildet wurden, war dieser Befall sehr auffällig. Von den Buchen in der WZE-Stichprobe (alle Alter) waren 3 % mittel oder stark durch den Buchenspringrüßler befallen.

Eiche

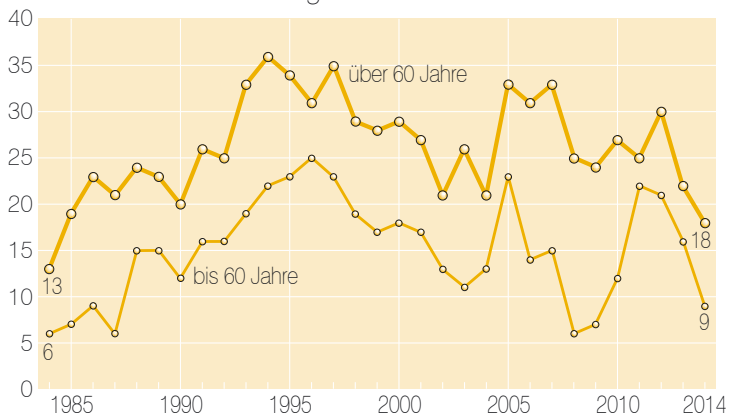
Ältere Eiche

Nach der deutlichen Verbesserung des Kronenzustandes der älteren Eiche in 2013 hat sich die Kronenverlichtung der älteren Eiche 2014 nochmals um 4 %-Punkte verbessert (2013: 22 %; 2014: 18 %). Dabei wird der Verlauf der Kronenverlichtung der Eiche stark durch das unterschiedlich ausgeprägte Vorkommen der Eichenfraßgesellschaft bestimmt. 2014 wurde in der WZE-Stichprobe kein mittlerer oder starker Fraß durch Schmetterlingsraupen festgestellt.

Jüngere Eiche

Auch die Kronenverlichtung der jüngeren Eiche ist 2014 nochmals zurückgegangen (2012: 21 %; 2013: 16 %; 2014: 9 %).

Mittlere Kronenverlichtung in %



Anteil starker Schäden in %

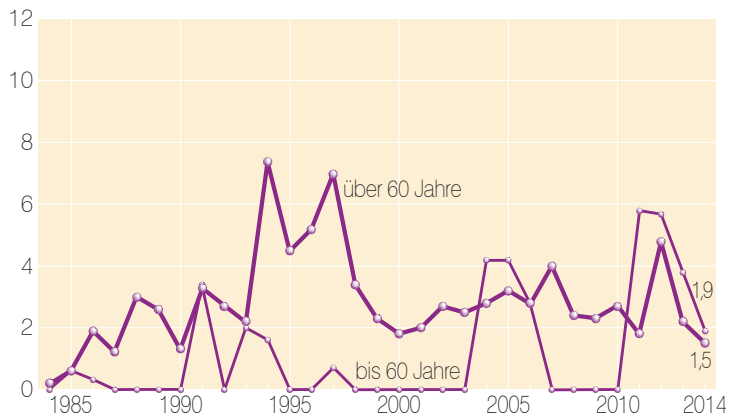


Foto: J. Evers

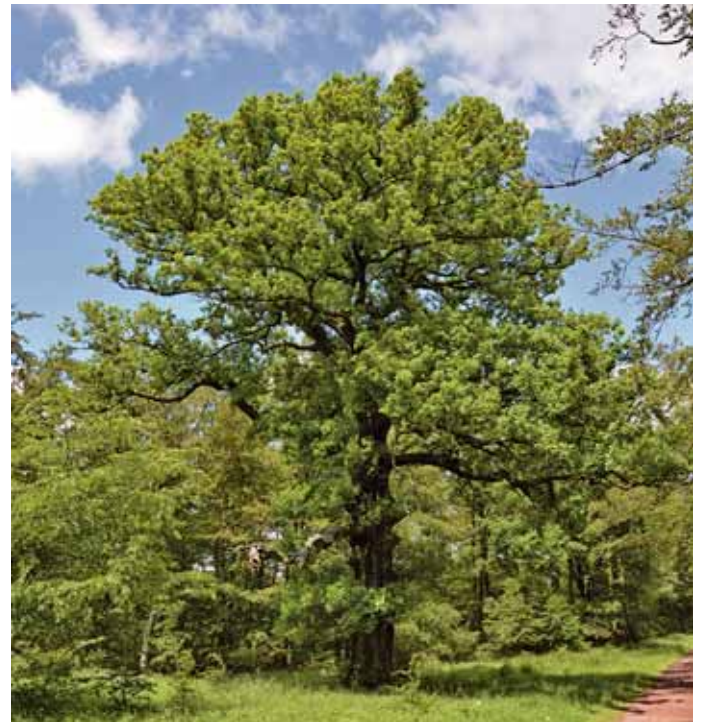


Foto: J. Evers

Starke Schäden

Phasen mit erhöhten Anteilen starker Schäden an Eichen stehen in der Regel in Verbindung mit intensivem Insektenfraß. In 2014 liegt der Anteil starker Schäden bei nur 2 %.

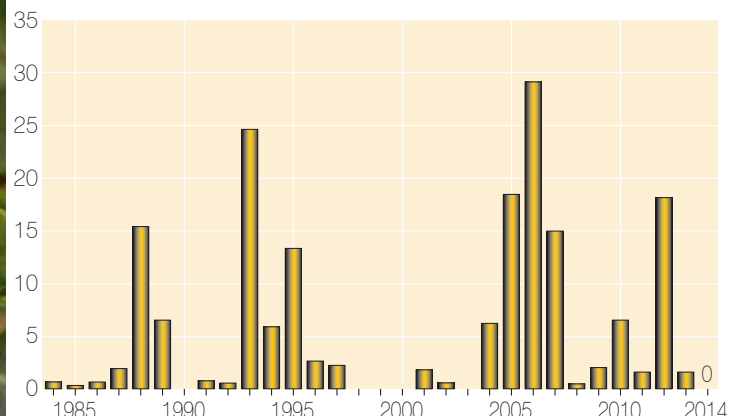
Absterberate

Trotz lokal feststellbarer Absterbeprozesse ist 2014 keine Eiche auf dem repräsentativen Landesraster abgestorben.



Foto: T. Ullrich

Anteil mittlerer und starker Fraßschäden an älteren Eichen in %



Fichte

Ältere Fichte

Bei der älteren Fichte hat sich die mittlere Kronenverlichtung von 25 % (2013) auf 26 % geringfügig erhöht.

Jüngere Fichte

Bei der jüngeren Fichte ist die mittlere Kronenverlichtung von 6 % (2013) auf 4 % (2014) zurückgegangen. In den letzten Jahren ist eine leichte Tendenz der Verbesserung des Kronenzustandes der Fichte erkennbar.

Mittlere Kronenverlichtung in %

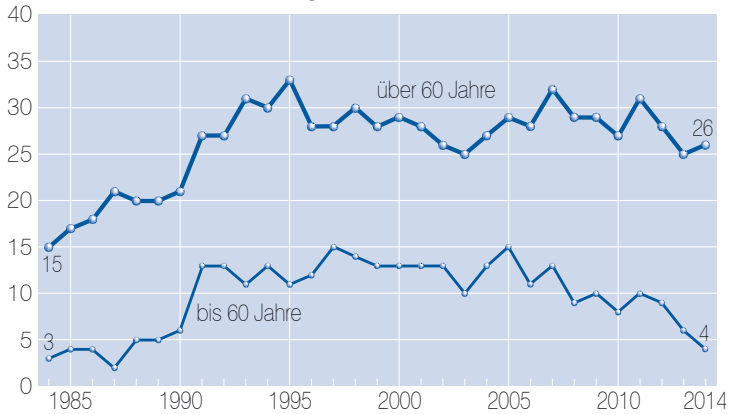


Foto: J. Evers

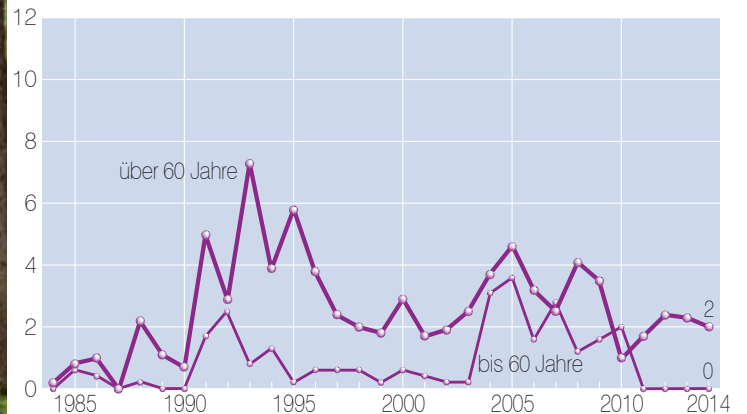


Foto: J. Evers

Starke Schäden

Für die Fichte ergibt sich im Mittel aller Erhebungsjahre ein Anteil an starken Schäden von 2 %. Aktuell sind keine jungen Fichten stark geschädigt. Besonders hoch sind die Anteile starker Schäden Anfang der 1990er Jahre, mit verursacht durch Sturmschäden, sowie nach dem extremen Trockenjahr 2003.

Anteil starker Schäden in %



Absterberate

Die Absterberate der Fichte liegt im Mittel der Jahre 1984-2014 bei 0,4 %. Im Zeitraum 2012 bis 2014 ist im Aufnahme-kollektiv keine Fichte abgestorben. Erhöhte Absterberaten sind 1991-1995 (bis 2 %), 2004-2005 (bis 1,4 %) und 2008-2009 (bis 1,1 %) aufgetreten.

Kiefer

Ältere Kiefer

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

Jüngere Kiefer

Die mittlere Kronenverlichtung der jüngeren Kiefer hat sich von 4 % (2013) auf 11 % deutlich verschlechtert. Gründe hierfür sind nicht ersichtlich.

Mittlere Kronenverlichtung in %

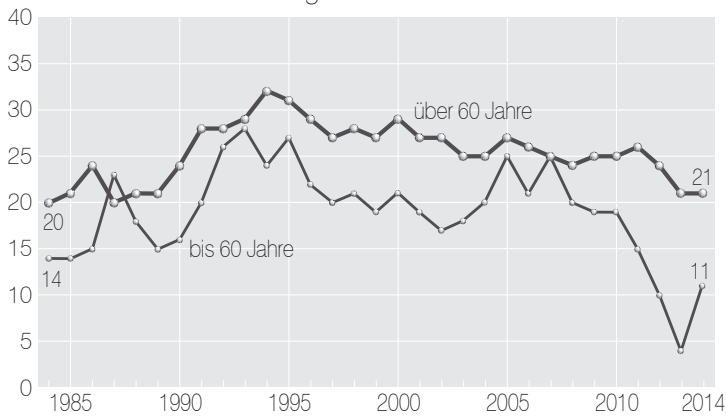


Foto: E. Langer

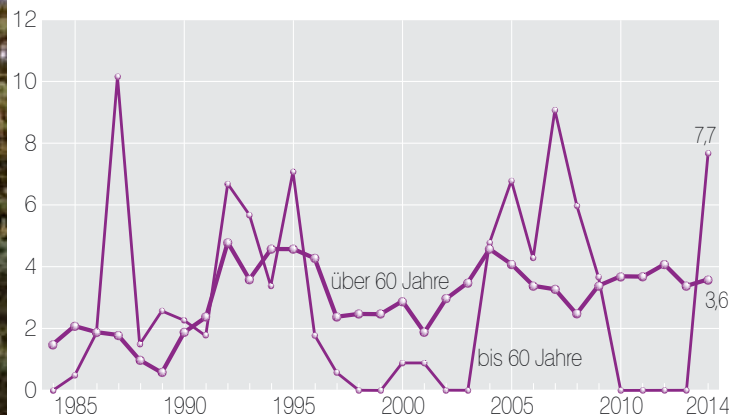


Foto: J. Evers

Starke Schäden

Der Anteil starker Schäden liegt bei der Kiefer (alle Alter) im langjährigen Mittel bei 3 %. Erhöhte Anteile starker Schäden wurden 1987 (jüngere Kiefer), 1992-1996 und im Anschluss an das Trockenjahr 2003 festgestellt.

Anteil starker Schäden in %



Absterberate

Die Absterberate der Kiefer schwankt im Erhebungszeitraum zwischen 0 und 2 %. In 2014 liegt sie bei 0,9 %.

Wald in der Rhein-Main-Ebene

Im Vergleich zum Vorjahr hat sich in der Rhein-Main-Ebene der Kronenzustand der älteren Bäume geringfügig verbessert (2013: 28 %; 2014: 26 %). Im gleichen Zeitraum veränderte sich die Kronenverlichtung der jüngeren Bäume von 11 % im Vorjahr auf 12 % 2014.

Die Eiche zählt zu den charakteristischen Baumarten dieser Region, die an die dortigen Klimabedingungen grundsätzlich gut angepasst sind. Die Entwicklung der Eiche folgt dem Gesamtbild der Baumkronen der Region (2013: 36 %; 2014: 32 %). Ein ähnlicher Befund zeigt sich für den Anteil der Bäume mit starker Kronenverlichtung mit über 60 % Blattverlust. Auch dieser hat sich geringfügig verbessert.

Der Vergleich zum Vorjahr darf nicht darüber hinwegtäuschen, dass sich mittelfristig die Situation in der Rhein-Main-Ebene grundlegend verschlechtert hat. Dies wird am Beispiel der Eiche veranschaulicht. 1984, zu Beginn der methodisch unveränderten Zeitreihe, lag die Kronenverlichtung älterer Eiche bei 15 %. Der heutige Wert von 32 % stellt fast eine Verdopplung des mittleren Blattverlustes dar.

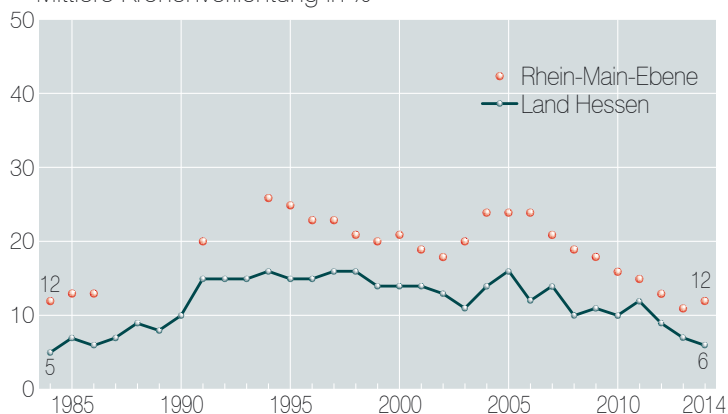
Bereits im Rahmen der ersten Aufnahme zum Mistelbefall an der Kiefer im Jahr 2002 wurde für ca. ein Drittel der Kiefern in der Rhein-Main-Ebene Mistelbefall festgestellt. Seitdem erhöhte sich der Anteil von Kiefern mit Mistelbefall auf 36 %. Ihr gehäuftes Vorkommen kann als Hinweis auf ökologische Ungleichgewichte interpretiert werden.

Die Ergebnisse zum Waldzustand und für die Gründe seiner Entwicklung in der Rhein-Main-Ebene und im Besonderen im Hessischen Ried sind in verschiedenen Forschungsberichten dargelegt (z. B. Waldentwicklungsszenarien für das Hessische Ried, Ahner et al. 2013, zu beziehen über die Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt). Danach wird bestätigt: "Die Wälder im Ballungsraum Rhein-Main gehören zu den forstlichen Brennpunkten in Mitteleuropa. Flächenverbrauch, Zerschneidung, Stoffeinträge aus der Luft, steigender Wasserbedarf und biotische sowie abiotische Belastungen führen zu einer schleichenden Destabilisierung der Wälder und damit verbundenen Waldauflösungserscheinungen. Ein geordneter Forstbetrieb ist somit vielerorts nicht mehr möglich."

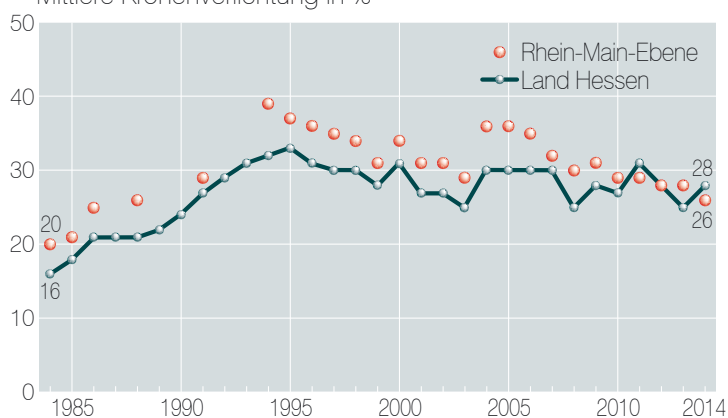


Foto: J. Evers

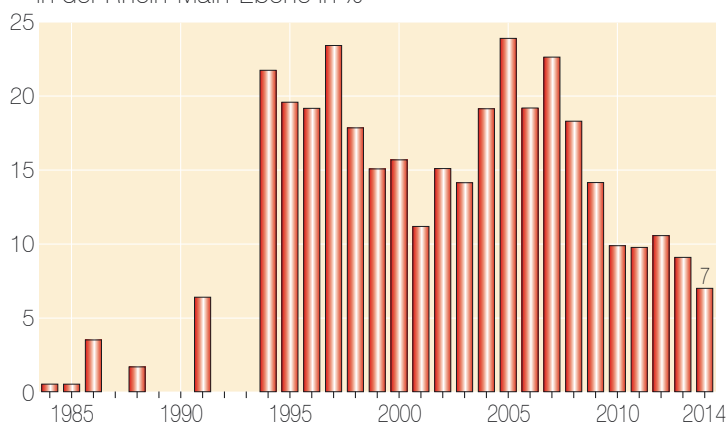
Alle Baumarten, bis 60 Jahre
Mittlere Kronenverlichtung in %



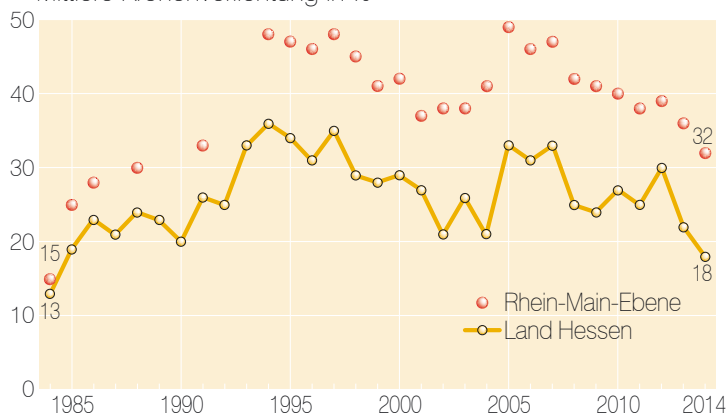
Alle Baumarten, über 60 Jahre
Mittlere Kronenverlichtung in %



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



Eiche, über 60 Jahre
Mittlere Kronenverlichtung in %



Forstliches Umweltmonitoring

Johannes Eichhorn, Uwe Paar, Henning Meeseburg,
Nils König, Jörg Weymar 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 der gesellschaftlichen 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



Foto: J. Evers

auf der Grundlage von Referenzwerten. Die Forstliche Umweltkontrolle leistet Beiträge zur Daseinsvorsorge, arbeitet die Informationen bedarfsgerecht auf, erfüllt Berichtspflichten der EU, gibt für die Forstpraxis Entscheidungshilfen und berät die Politik auf fachlicher Grundlage.

Die Forstliche Umweltkontrolle geht ursprünglich von den Fragestellungen der Genfer Luftreinhaltekonvention (1979) aus. In deren Mittelpunkt stehen Belastungen der Gesellschaft und des Waldes durch Umweltveränderungen in Folge einer Nutzung fossiler Energieträger, insbesondere im Hinblick auf die damit verursachten Säureeinträge. Das Handwerkszeug zur Erfassung der Säurebelastung geht dabei im Wesentlichen auf die Arbeiten von Prof. Ulrich (Göttingen) zur Bodenkunde und Waldernährung zurück (Ulrich et al. 1979). In der Folgezeit hat sich das Forstliche Umweltmonitoring als inhaltlich flexibel und breit genug angelegt erwiesen, um auch Informationen zum Stickstoffhaushalt, zur Kohlenstoffspeicherung und zu möglichen Risiken infolge des Klimawandels zu gewinnen.

Durch die Einbindung des Forstlichen Umweltmonitorings in Deutschland in das Europäische Waldmonitoring unter ICP Forests (Level I seit 1984, Level II seit 1994) und die Orientierung an den dort definierten Standards (ICP Forests 2010) ist ein hinsichtlich inhaltlicher Tiefe, räumlicher Repräsentanz, Langfristigkeit, Datenqualität und internationaler Vergleichbarkeit weltweit beispielhaftes Monitoringprogramm entstanden.

Konzept

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

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

- Level I (Übersichtserhebungen)
- BDF (Bodendauerbeobachtungsprogramm)
- 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.

Forstliches Umweltmonitoring

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 grundsätzlich:

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

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

- Deposition, Bodenlösung, Streufall, Meteorologie und Bodenhydrologie.

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

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

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

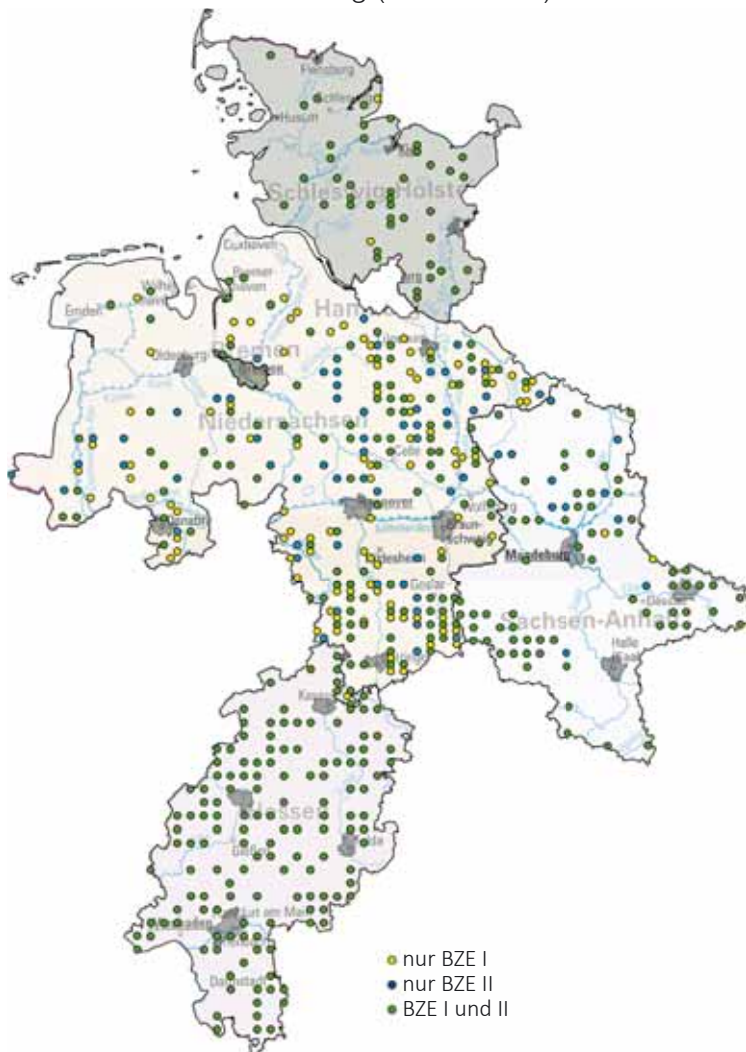
- Kronen- und Baumzustand, abiotische und biotische Faktoren, Baumwachstum, Nadel-/Blatternahrung, Bodenvegetation, Deposition, Bodenzustand.

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

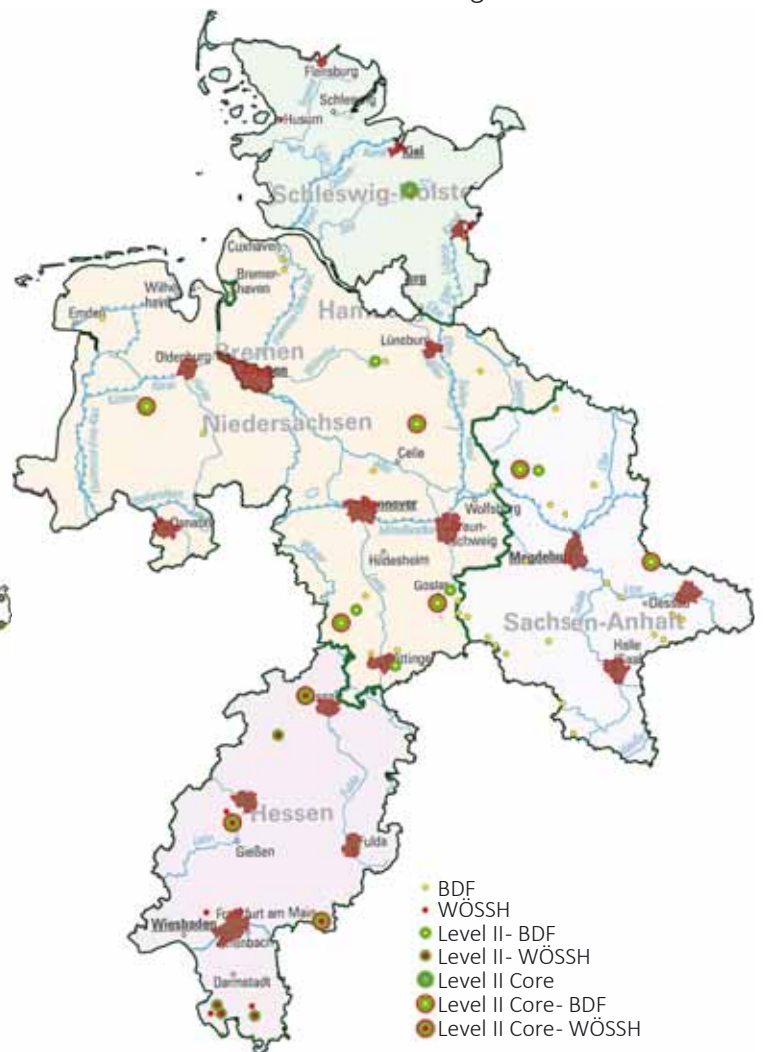
- Streufall, Baumphänologie, Baumwachstum (intensiviert), Bodenlösung, Bodenfeuchte, Luftqualität, Meteorologie.

Anhand von Übersichtserhebungen (Level I) können frühzeitig Entwicklungen und Störungen aufgezeigt und Gegenmaßnahmen eingeleitet werden. Als erfolgreiches Beispiel ist hier die Bodenschutzkalkung zu nennen, die den Waldböden wesentlich vor anthropogenen Säureeinträgen schützt und zum Nährstoffhaushalt der Wälder positiv beiträgt. Das Intensive Monitoring ermöglicht einen viel detaillierteren Blick auf die Abläufe im Ökosystem als es Übersichtserhebungen leisten könnten und trägt somit wesentlich zum Verständnis der Entwicklungen bei. Im Falle von umweltpolitischen Maßnahmen ermöglicht das Forstliche Monitoring eine wirksame Kontrolle der Erfolge.

Übersichtserhebung (Level I - BZE)



Intensives Monitoring



Forstliches Umweltmonitoring



Foto: J. Evers

Die im Forstlichen Umweltmonitoring verwendeten Instrumente der Ökosystemüberwachung stehen europaweit harmonisiert nach den Grundsätzen des ICP Forests (Methoden: <http://icp-forests.net>; Manual: <http://icp-forests.net/page/icp-forests-manual>), 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 Monitoring und Experimentalfächen für die Länder Hessen, Niedersachsen, Bremen, Sachsen-Anhalt und Schleswig-Holstein zeigen die Abbildungen auf den Seiten 13 und 14 unten.

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

Qualitätsmanagement in der Forstlichen Analytik

Seit nunmehr 25 Jahren werden im Umweltlabor der Nordwestdeutschen Forstlichen Versuchsanstalt die chemischen Analysen von Wasser-, Boden- und Pflanzenproben aus den langjährigen Umweltmonitoring-Programmen und zahlreichen Versuchen zur Kalkung, Düngung, Bodenbearbeitung oder unterschiedlichen Nutzungsformen durchgeführt. Insbesondere bei Untersuchungen für langfristige Zeitreihen muss sichergestellt sein, dass die angewandten Untersuchungs- und Elementbestimmungsmethoden vergleichbare Ergebnisse liefern. Um dies zu gewährleisten, sind nicht nur eine umfangreiche Methodendokumentation, sondern auch eine kontinuierliche Anpassung der Methoden an die jeweils neuste Analysegeräte-Generation und ein umfangreicher Methodenvergleich bei wechselnden Methoden nötig.

Aus diesem Grund hat das Labor der NW-FVA bereits sehr früh ein sogenanntes Labor-Informations- und Management-System (LIMS) entwickelt und eingeführt, das nicht nur den Laborablauf steuert und als Datenbank für alle im Labor erhobenen Daten dient, sondern auch für jeden Arbeitsschritt (Probenvorbereitung, Aufschluss- oder Extraktionsverfahren, Parameter-Messung) die angewandte Methodik eindeutig dokumentiert. In Kombination mit den bei Methodenwechseln immer durchgeführten Methodenvergleichen können so auch jahrzehntealte Untersuchungsergebnisse mit heutigen Daten verglichen und gemeinsam ausgewertet werden. Da alle seit 1989 angewandten Methoden auch in bisher 15 Bänden der Berichtreihe Waldökosystemforschung veröffentlicht worden sind, können sogar nachträglich Untersuchungen zur Vergleichbarkeit von Daten oder Methoden durchgeführt werden.

Neben der langfristigen Datenhaltung in Datenbanken und der damit verknüpften Methodendokumentation mit einem durch den Gutachterausschuss Forstliche Analytik (GAFA) eingeführten, bundesweit einheitlichen Methoden-Code stellt ein laborinternes und -externes Qualitätskontrollsystem sicher, dass nur qualitätsgeprüfte Analyseergebnisse in die Datenbanken und an die auswertenden WissenschaftlerInnen weitergegeben werden. Dazu wurde dem LIMS ein im Hause entwickeltes Datenprüf- und Übertragungsprogramm

Experimentalfächen



Forstliches Umweltmonitoring



Messungen von Wasser-, Boden- und Humusproben im Labor der NW-FVA
Foto: N. König

RELAQS vorgeschaltet, das die Messdaten von den Analyseräten nach verschiedenen Kriterien überprüft und dann an das LIMS überträgt. So werden die fehlerträchtigen Übertragungen von Analysedaten per Hand weitestgehend vermieden. Im LIMS werden weitere methodenübergreifende Qualitätsprüfungen durchgeführt. Neben den Standardmaterialprüfungen und der dazugehörigen Führung von Blindwert- und Mittelwertkontrollkarten erfolgen diverse Bilanzprüfungen (Stickstoffbilanz, Kohlenstoffbilanz, Na/Cl-Verhältnis, Ionen- und Leitfähigkeitsbilanz bei Wasserproben), pH-Wert-Plausibilitätsprüfungen und eine Kontrolle der Wiederholungsproben. Im Falle der Nichteinhaltung vorgegebener Kriterien werden automatisch Nachmessungen vom System angefordert, die dann im Labor durchgeführt werden.

Die externe Qualitätssicherung des Labors ist durch die Teilnahme an zahlreichen Ringanalysen sichergestellt, an denen das Labor jedes Jahr teilnimmt. Neben den zweijährigen Bodenringanalysen des GAFA und den Boden-, Pflanzen- und Wasserringanalysen im Rahmen des europäischen ICP Forests-Programms beteiligt sich das Labor an den europäischen ISE- und EMEP-Ringanalysenprogrammen für Boden- bzw. Wasserringanalysen.

Für spezielle Analysenprogramme, an denen viele Labore in Deutschland oder Europa beteiligt sind, werden darüber hinaus noch programmbegleitende Ringanalysen und Kontrollprobenuntersuchungen durchgeführt, deren Ergebnisse dann Aussagen über die Datenvergleichbarkeit zulassen. So wurde z. B. bei der 2. Bodenzustandserhebung im Wald (BZE II) neben der genauen Festlegung der zu verwendenden Untersuchungs- und Analysemethoden ein 6-jähriges Kontrollprogramm mit fünf Ringanalysen und sechs von allen Labors kontinuierlich mit zu messenden Kontrollstandards durchgeführt und danach die Vergleichbarkeit der Daten ermittelt.

Ein weiteres wichtiges Element des Qualitätsmanagements ist der kontinuierliche Informationsaustausch über Methoden- und Geräteentwicklungen sowie Methodenvergleiche zwischen den LaborleiterInnen der bundesdeutschen forstlichen Labore GAFA und in der Arbeitsgruppe Qualitätskontrolle im europäischen ICP-Forests-Programm.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass sich das aufwändige Qualitätsmanagement des Umweltlabors der NW-FVA bewährt hat, wie die immer wieder hervorragenden Ergebnisse des Labors bei Ringanalysen auf deutscher und europäischer Ebene beweisen.

Waldzustandserhebung – Methodik und Durchführung

Die Waldzustandserhebung ist Teil des Forstlichen Umweltmonitorings in Hessen. Sie liefert als Übersichtserhebung Informationen zur Vitalität der Waldbäume unter dem Einfluss sich ändernder Umweltbedingungen.

Aufnahmeumfang

Die Waldzustandserhebung erfolgt auf mathematisch-statistischer Grundlage. Auf einem systematisch über Hessen verteilten Rasternetz werden seit 1984 an jedem Erhebungspunkt Stichprobenbäume begutachtet. In einseharen Beständen sind Kreuztrakte mit markierten Stichprobenbäumen angelegt. In dichten, nicht einseharen Beständen werden in Quadrattrakten Stichprobenbäume ausgewählt.

Die Rasterweite des landesweiten Stichprobennetzes beträgt 8 km x 8 km, in der Rhein-Main-Ebene werden zusätzliche Erhebungen im 4 km x 4 km-Raster durchgeführt. Die landesweite Auswertung erfolgte 2014 auf der Basis von 129 Punkten, für die Rhein-Main-Ebene wurden insgesamt 49 Punkte ausgewertet. Dieser Aufnahmeumfang ermöglicht repräsentative Aussagen zum Waldzustand auf Landesebene und für die Rhein-Main-Ebene. Für den Parameter mittlere Kronenverlichtung zeigt die Tabelle auf Seite 16 unten die 95 %-Konfidenzintervalle für die Baumarten und Altersgruppen der WZE-Stichprobe 2014. Je weiter der Vertrauensbereich, desto unschärfer sind die Aus-



Mit Unterdruck wird Bodenlösung aus verschiedenen Bodentiefen gewonnen
Foto: NW-FVA

Forstliches Umweltmonitoring



Dr. Henning Meesenburg ist Leiter des Sachgebietes Intensives Monitoring. Foto: NW-FVA

sagen. 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, den anderen Laubbäumen (alle Alter, über 60 Jahre) und den anderen Nadelbäumen (über 60 Jahre) – für die Baumartengruppen belastbare Ergebnisse für die Kronenverlichtungswerte erzielt.

Elemente der Qualitätssicherung im Rahmen der Waldzustandserhebung an der NW-FVA sind

- der Einsatz langjährig erfahrenen Fachpersonals bei den Außenerhebungen
- bundesweit erarbeitete Referenzbilderserien
- internationale Abstimmungskurse
- gemeinsame Schulungen der Aufnahmeteams der NW-FVA-Partnerländer vor Beginn der Erhebungen im Juli
- Plausibilitätsanalysen und Kontrollerhebungen
- bundeslandübergreifend vereinheitlichte, personenunabhängige Datenhaltung in einer relationalen Datenbank (ECO) mit darauf aufsetzenden, zentralen Prüf- und Auswertungsfunktionen.

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.

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 2014 in Hessen.

Das 95 %-Konfidenzintervall (= Vertrauensbereich) gibt den Bereich an, in dem der wahre Mittelwert mit einer Wahrscheinlichkeit von 95 % liegt.

Baumarten- gruppe	Altersgruppe	Anzahl Bäume	Anzahl Plots	Raster	95%-Konfidenz- intervall (+/-)
Buche	alle Alter	1114	91	8x8 km	3,3
	bis 60 Jahre	131	18	8x8 km	4,9
	über 60 Jahre	983	74	8x8 km	2,9
Eiche	alle Alter	323	55	8x8 km	2,6
	bis 60 Jahre	52	11	8x8 km	3,5
	über 60 Jahre	271	45	8x8 km	2,9
Fichte	alle Alter	618	56	8x8 km	4,3
	bis 60 Jahre	271	21	8x8 km	2,2
	über 60 Jahre	347	36	8x8 km	3,9
Kiefer	alle Alter	583	48	8x8 km	2,3
	bis 60 Jahre	26	5	8x8 km	11,0
	über 60 Jahre	557	43	8x8 km	2,3
andere Laubbäume	alle Alter	234	38	8x8 km	5,4
	bis 60 Jahre	129	19	8x8 km	2,6
	über 60 Jahre	105	21	8x8 km	6,9
andere Nadelbäume	alle Alter	224	38	8x8 km	4,4
	bis 60 Jahre	126	21	8x8 km	3,0
	über 60 Jahre	98	19	8x8 km	5,2
alle Baumarten	alle Alter	3096	129	8x8 km	2,2
	bis 60 Jahre	735	37	8x8 km	1,7
	über 60 Jahre	2361	100	8x8 km	2,0

Witterung und Klima

Uwe Paar und Olaf Schwerdtfeger

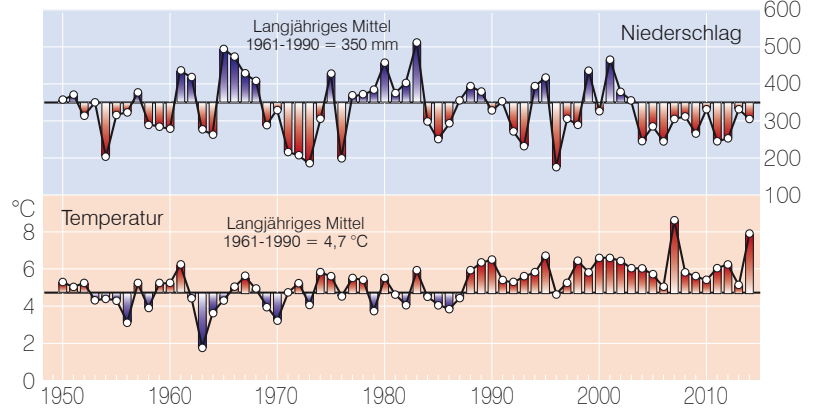
Der Witterungsverlauf für Hessen wird anhand von Daten des Deutschen Wetterdienstes (DWD) beschrieben. Die Höhe der Niederschläge und ihre Verteilung über das Jahr sowie die Temperaturdynamik sind wichtige Einflussgrößen auf die Vitalitätsentwicklung der Waldbäume. Dabei spielen sowohl der langjährige Witterungsverlauf als auch die Werte des vergangenen Jahres eine Rolle. Grundlage bilden zum einen die Messergebnisse der Flugwetterwarte Frankfurt, für die hessenweit seit 1949 die längsten Temperatur- und Niederschlags-Datenreihen vorliegen, und zum anderen die seit 1984 ermittelten Durchschnittswerte von repräsentativ ausgewählten Stationen der Buchenmischwaldzone (ca. 200-500 m ü. NN), zu der etwa 80 % der hessischen Waldfläche gehören. Als Vergleichsmaß dienen Mittelwerte der Jahre 1961 bis 1990.



Foto: H. Heinemann

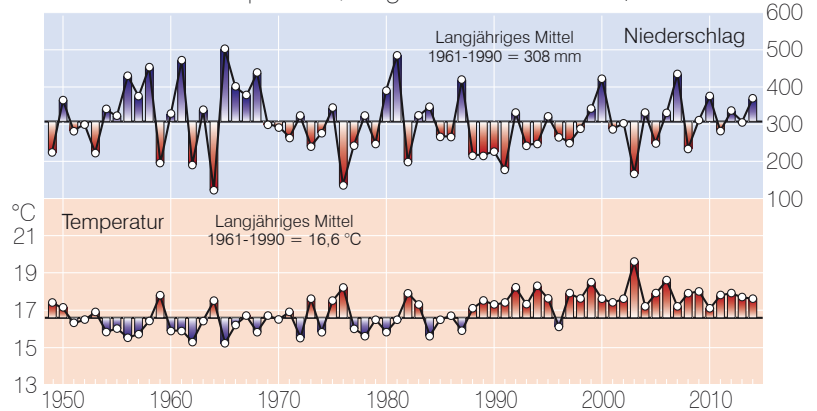
Langjährige Klimawerte (1949 - 2014)

Periode Oktober bis April, Flugwetterwarte Frankfurt/M.



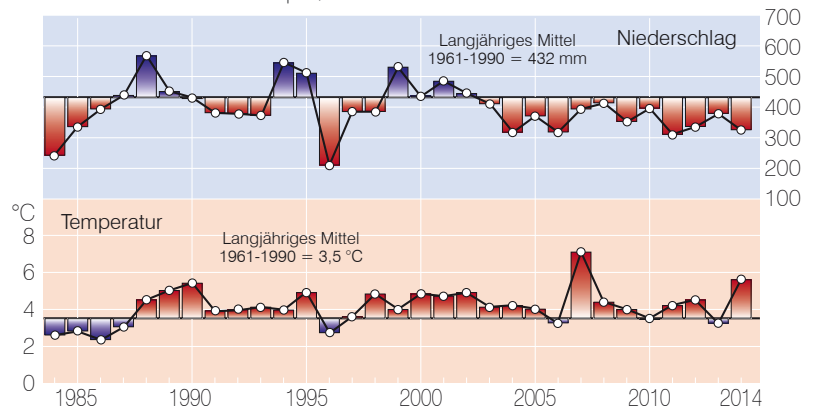
Langjährige Klimawerte (1949 - 2014)

Periode Mai bis September, Flugwetterwarte Frankfurt/M.



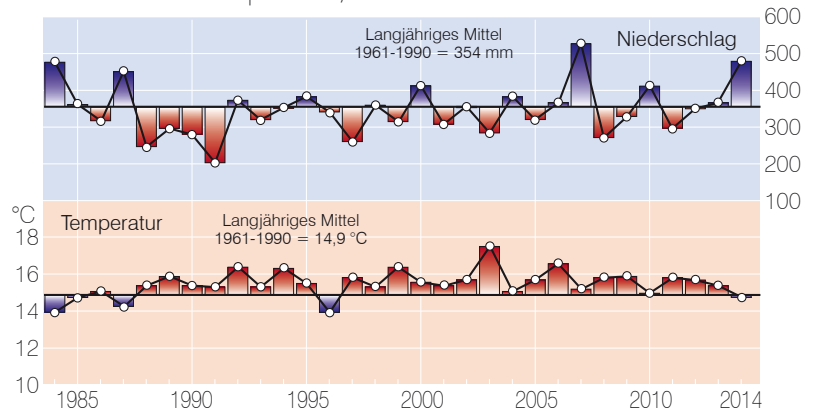
Langjährige Klimawerte (1984 - 2014)

Periode Oktober bis April, Buchen-Mischwaldzone Hessen



Langjährige Klimawerte (1984 - 2014)

Periode Mai bis September, Buchen-Mischwaldzone Hessen



Daten des Deutschen Wetterdienstes, Offenbach

Witterung und Klima

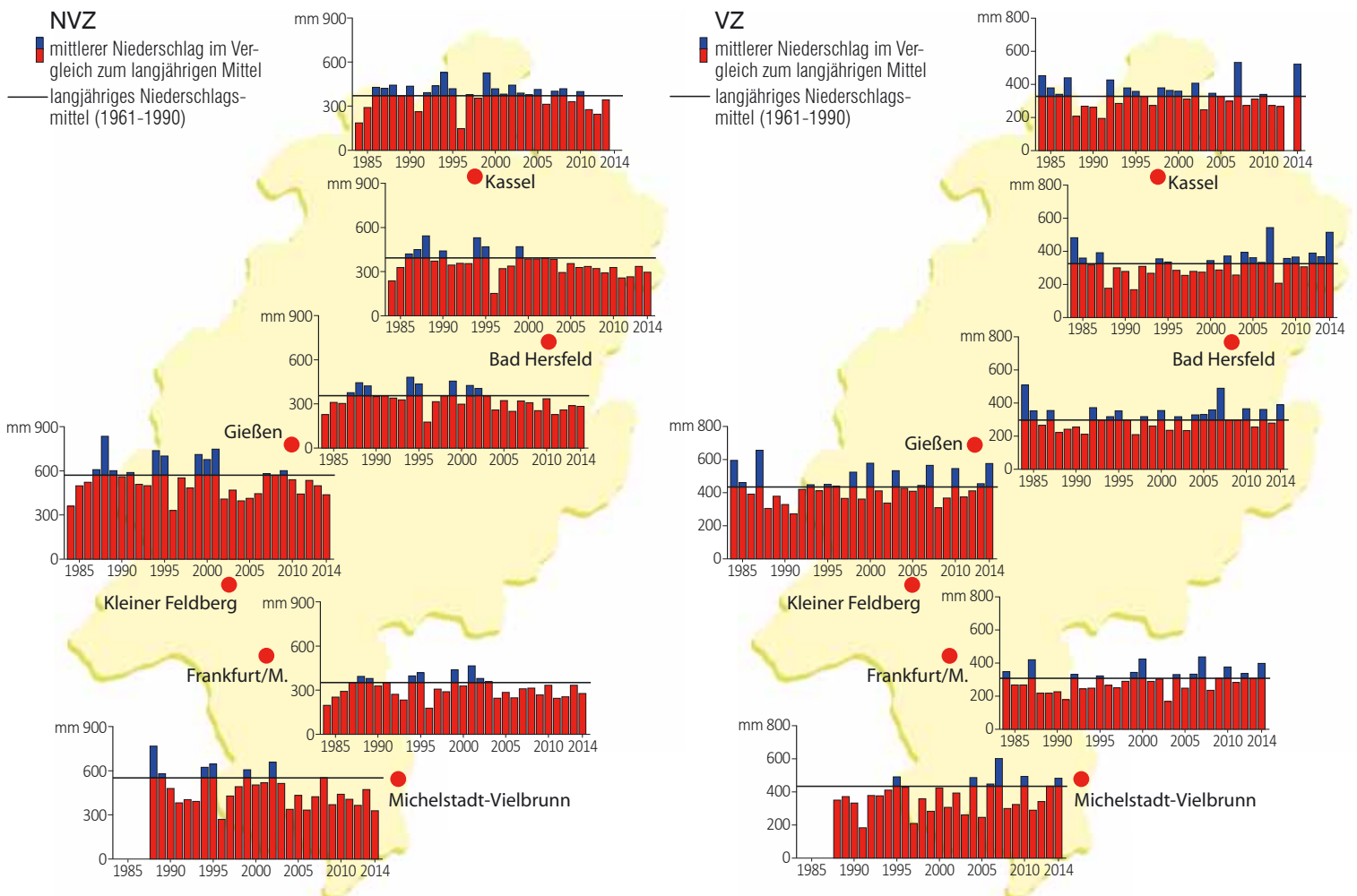
Temperatur und Niederschlag im langjährigen Verlauf

Die Messdaten für den Zeitraum 1984-2014 zeigen seit 1988 eine gegenüber der Referenzperiode (1961-1990) erhöhte Temperatur. In der Vegetationszeit (Mai bis September) wurde seit 1988 in 25 von 27 Jahren der Durchschnittswert überschritten, in der Nichtvegetationszeit (Oktober bis April) war dies in 24 von 27 Jahren der Fall. Mit deutlichen Abweichungen vom langjährigen Mittel waren die Vegetationsperioden 1992, 1994, 1999, 2003 und 2006 und die Nichtvegetationszeit 2006/2007 die wärmsten. Bei den im Zeitraum 1984-2014 gemessenen Niederschlagswerten bestehen zwischen den einzelnen Jahren zum Teil starke Schwankungen. Besonders niederschlagsreich war die Vegetationsperiode 2007, besonders trocken war die Nichtvegetationsperiode 1996/1997. Bei den im Zeitraum 1984-2014 gemessenen Niederschlagswerten in der Vegetationszeit wird keine klare Tendenz deutlich. Zwischen den einzelnen Jahren bestehen z. T. starke Unterschiede. Allerdings war die Niederschlagsmenge in den letzten 12 Wintern geringer als im langjährigen Mittel.



Foto: H. Heinemann

Niederschlagsentwicklung im Winter (Nichtvegetationszeit NVZ) und im Sommer (Vegetationszeit VZ)



Witterung und Klima

Witterungsverlauf von Oktober 2013 bis September 2014

In der Nichtvegetationszeit 2013/2014 (Oktober bis April) wurde das langjährige Mittel der Temperatur zum Teil deutlich überschritten. Besonders warm war es in der Zeit von Dezember 2013 bis April 2014.

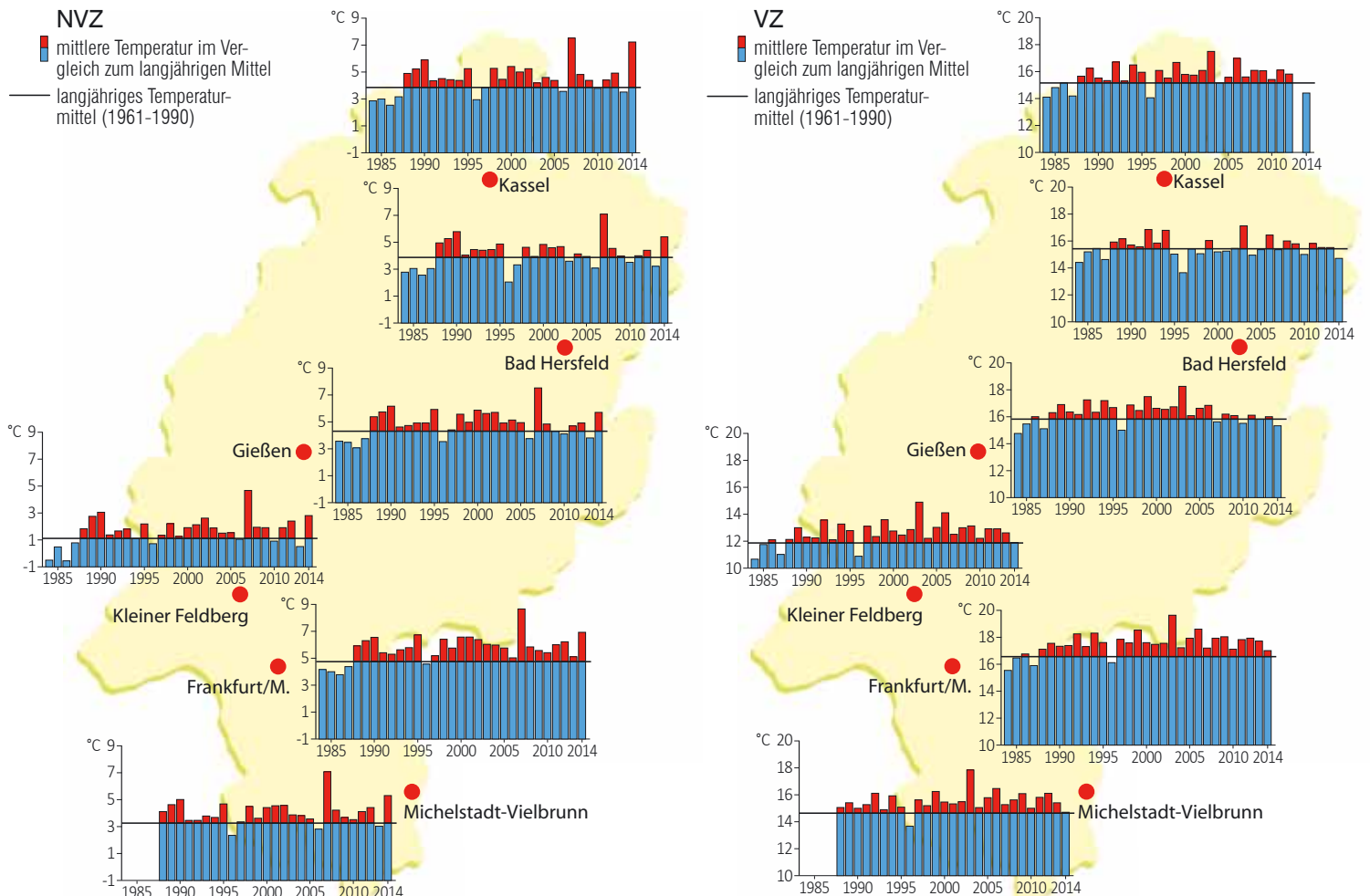
Die Niederschlagsmengen waren im Winter und zum Frühjahrsbeginn (Dezember bis April) unterdurchschnittlich. In der Vegetationszeit (Mai bis September) war die Niederschlagsmenge überdurchschnittlich. Im Juli wurde der langjährige Mittelwert weit überschritten (221 %). Auch 2014 fielen die Niederschläge häufig in Verbindung mit heftigen Gewittern und örtlichen Starkregenereignissen. Die Temperaturen in der Vegetationszeit lagen im Durchschnitt auf dem Niveau des langjährigen Mittels.

Die warme, sonnenscheinreiche Frühjahrswitterung 2014 bewirkte bei vielen Baumarten einen frühen Austrieb, die Blühtentfaltung der Rotbuche beispielsweise setzte in Hessen ca. vierzehn Tage früher ein, als aufgrund langjähriger Mittelwerte zu erwarten war.



Foto: R. Steffens

Temperaturentwicklung im Winter (Nichtvegetationszeit NVZ) und im Sommer (Vegetationszeit VZ)



Zukünftige Entwicklung des Trockenstressrisikos in hessischen Buchenwäldern

Markus Wagner, Johannes Suttmöller und Johannes Eichhorn

Neben der Verfügbarkeit von Nährstoffen ist eine ausreichende Wasserversorgung Grundvoraussetzung für das Wachstum der Wälder. Obwohl die allgemeinen klimatischen Bedingungen der vergangenen Jahrzehnte in Hessen als ausreichend feucht angesehen werden können, trat infolge seltener, extremer Trockenjahre das Wasserangebot als limitierender Faktor für den Zuwachs der Bäume in Erscheinung. Für die Buche als dominierende Baumart in hessischen Wäldern konnten spürbare Rückgänge im jährlichen Durchmesserzuwachs der Stämme beobachtet werden. Der prognostizierte Klimawandel lässt aus heutiger Sicht für Hessen sowohl eine Zunahme der Lufttemperatur, als auch eine Verringerung der Niederschläge während der Vegetationsperiode erwarten, was in Kombination einen deutlichen Anstieg des Risikos einer unzureichenden Wasserversorgung der Buchenwälder erwarten lässt. Ein durch das Hessische Landesamt für Umwelt und Geologie im Rahmen des Forschungsverbundes INKLIM A gefördertes Projekt hat sich daher zum Ziel gesetzt, die zukünftige Entwicklung dieses Trockenstressrisikos bis ins Jahr 2100 zu prognostizieren.

An sieben hessischen Intensiv-Monitoringflächen (Level II, vgl. Seite 13) liegen für die Jahre 1933 bis 2006 sowohl Messdaten des jährlichen Stammumfangzuwachses als auch berechnete Wasserhaushaltsdaten vor. Die Zuwachsdaten gehen dabei auf Jahrringzeitreihen von insgesamt 137 Probestämmen zurück. Diese Datensätze ermöglichen nicht nur eine Auswahl geeigneter Wasserhaushaltsindikatoren zur Beschreibung trockenstressbedingter Wachstumseinschränkungen, sondern auch deren Quantifizierung. Infolge der besonders extremen Trockenjahre 1948, 1959, 1976 und 2003 lassen sich kurzzeitig Zuwachseinschränkungen von über 30 % an den Level II-Standorten nachweisen.

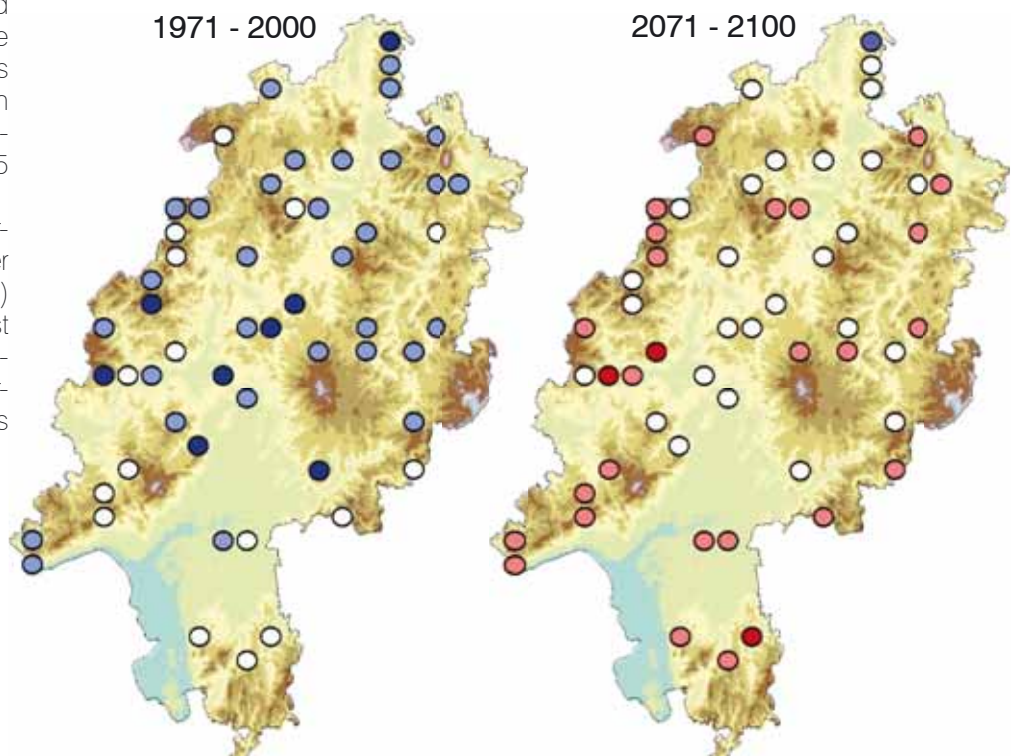
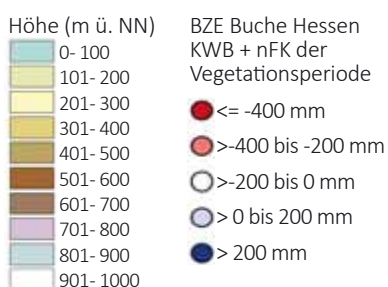
Um flächenrepräsentative Aussagen für die zukünftige Entwicklung des Trockenstressrisikos der Buche in Hessen treffen zu können, wurden vier besonders sensitive Wasserhaushaltsindikatoren für alle 55 überwiegend mit Buche bestockten BZE-Punkte Hessens für den Zeitraum 1971 bis 2100 berechnet. Die verwendeten Klimadaten basieren auf dem Klimamodell COSMO-CLM/ECHAM5 (Szenario A1B).

Einer der ausgewählten Wasserhaushaltsindikatoren basiert auf der Klimatischen Wasserbilanz (KWB) der Vegetationsperiode. Sie lässt sich als einfache Bilanzgröße zwischen Wasserzufuhr und Wasserbedarf beschreiben und wird aus

der Differenz zwischen Niederschlag und potentieller Verdunstung der Buchenbestände gebildet. Zu dieser wurde die nutzbare Feldkapazität des Bodens (nFK) als zusätzlicher potentieller Wasservorrat aufsummiert. Gemittelt über den Zeitraum 1971-2000 ergibt sich für die KWB+nFK an den BZE-Punkten durchschnittlich ein Wert von 73 mm in der Vegetationsperiode (Abbildung unten links). Mit gut 70 % weist eine deutliche Mehrheit der Standorte eine positive KWB+nFK auf, 15 % erreichen sogar Werte von mehr als 200 mm. Nur knapp 30 % der Standorte liegen im negativen Wertebereich, ohne jedoch ein hinsichtlich der Wasserverfügbarkeit als kritisch einzustufendes Niveau zu erreichen. Standorte mit einer negativen KWB+nFK sind häufig im Randbereich des Taunus, Odenwald und Spessart in Südhessen zu finden, was sich durch eine Kombination vergleichsweise hoher Temperaturen in Südhessen sowie niedriger nFK-Werte der skelettreicheren Mittelgebirgsböden erklären lässt. Blickt man 100 Jahre in die Zukunft (Abbildung unten rechts), ergibt sich eine deutliche Verschiebung des Niveaus der KWB+nFK, denn der langjährige Mittelwert für den Zeitraum 2071-2100 liegt im Durchschnitt aller BZE-Punkte bei nur -213 mm und damit fast 300 mm niedriger als unter heutigen Klimabedingungen. Es tritt somit ein deutliches Was-



Foto: NW-FVA



Zukünftige Entwicklung des Trockenstressrisikos in hessischen Buchenwäldern

serdefizit auf. Nur noch ein Standort am Nordrand Hessens erreicht eine positive Bilanz, während bei mehr als der Hälfte aller BZE-Punkte ein Niveau von -200 mm unterschritten wird. In Südhessen trifft dies sogar auf alle Buchenstandorte zu.

Ein weiterer sensibler Wasserhaushaltsindikator summiert die Anzahl der auf die Bodenfeuchte bezogenen Trockentage während der Vegetationsperiode auf. Die Wasseraufnahme der Bäume erfolgt mittels ihrer Wurzeln aus dem Bodenwasser. Ein Trockentag tritt auf, wenn der tatsächliche, pflanzenverfügbare Bodenwassergehalt (bis 1,4 m Tiefe) unter 40 % der nFK sinkt. Als langjähriger Durchschnitt zwischen 1971 und 2000 werden gemittelt über alle 55 BZE-Punkte sechs Trockentage erreicht (Abbildung unten links). An mehr als 2/3 aller Standorte sind weniger als acht Trockentage zu verzeichnen, mehr als 25 Trockentage weist dagegen nur ein einziger, am Nordrand des Odenwaldes gelegener Standort auf. Für den Zeitraum 2071-2100 (Abbildung unten rechts) steigt die durchschnittliche Anzahl der Trockentage im Mittel aller BZE-Standorte deutlich auf 23 an.

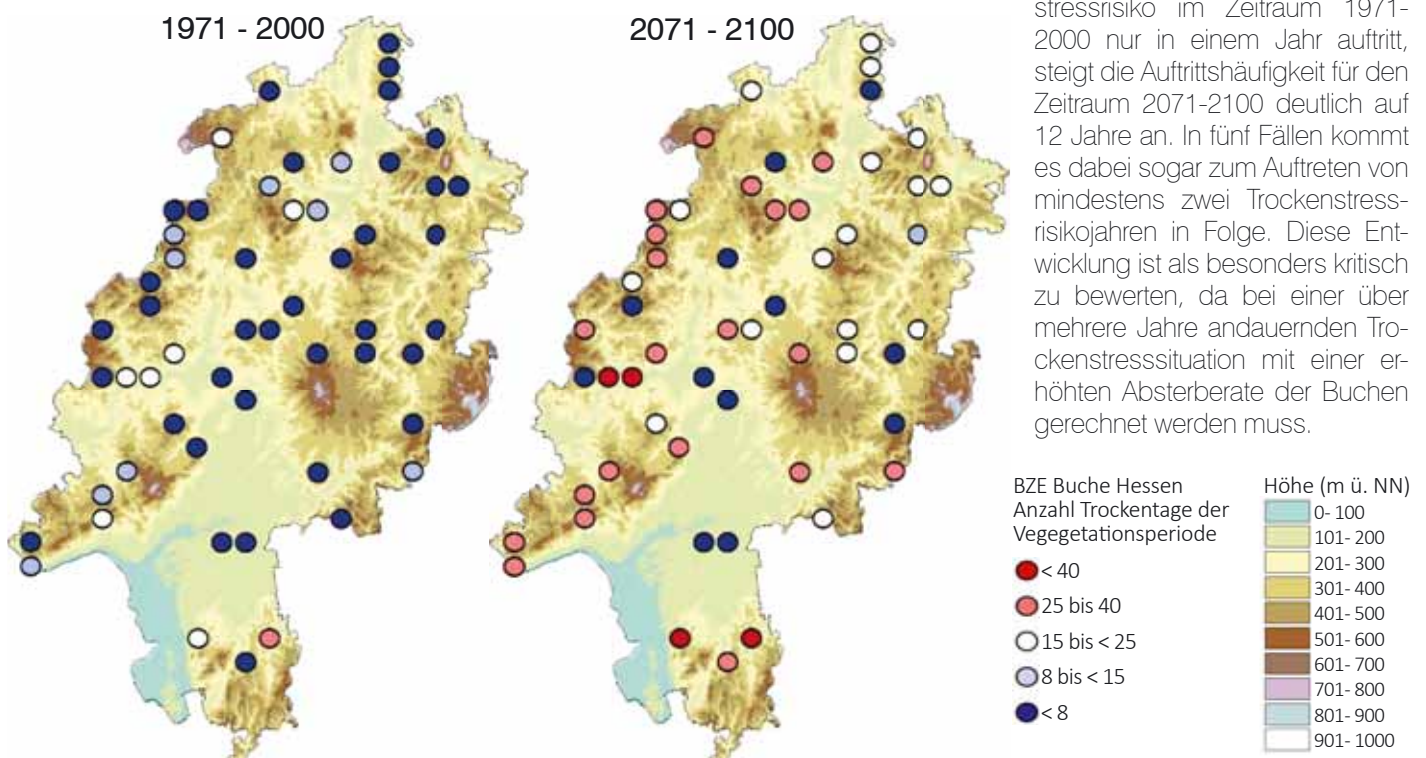
An fast der Hälfte aller Standorte ergeben sich hierdurch im Mittel mehr als 25 Trockentage und an vier Standorten sogar mehr als 40 Trockentage. Diese Extremstandorte befinden sich am Übergang vom Odenwald in das Rhein-Main-Tiefland sowie vom Westerwald in das Gießener Becken. Geringe Niederschläge im Lee des Westerwaldes und die hohen Temperaturen in der Rhein-Main-Ebene können hier in Kombination mit einem generell geringen Bodenwasserspeichervermögen als mögliche Ursachen für die häufige Bodentrockenheit angeführt werden. Trotz der allgemein deutlichen Zunahme der Bodenaustrocknung weisen mehr als 20 % aller BZE-Punkte weiterhin weniger als acht Trockentage auf. Das Bodenwasserspeichervermögen an diesen Standorten ist so groß, dass trotz eines deutlichen Anstiegs der klimatischen Trockenheit keine Zunahme der Trockentage erfolgt.

Bedenkt man, dass die gezeigten Ergebnisse jeweils Durchschnittswerte für eine Periode von 30 Jahren darstellen, verstärken sich die Intensität und Häufigkeit einzelner, extremer



Foto: J. Evers

Trockenjahre noch deutlicher. Mittels eines einfachen Regressionsmodells lassen sich aus einer Kombination der vier besonders wachstumssensitiven Wasserhaushaltsindikatoren die an den Intensiv-Monitoringflächen gemessenen, trockenstressbedingten Zuwachsrückgänge verlässlich simulieren. Übertragen auf die BZE-Standorte ergibt sich dabei ein hohes Trockenstressrisiko mit Wachstumseinschränkungen von durchschnittlich mehr als 30 %, wenn die KWB+nFK auf unter -259 mm sinkt. Während ein so definiertes hohes Trockenstressrisiko im Zeitraum 1971-2000 nur in einem Jahr auftritt, steigt die Auftrittshäufigkeit für den Zeitraum 2071-2100 deutlich auf 12 Jahre an. In fünf Fällen kommt es dabei sogar zum Auftreten von mindestens zwei Trockenstressrisikojahren in Folge. Diese Entwicklung ist als besonders kritisch zu bewerten, da bei einer über mehrere Jahre andauernden Trockenstresssituation mit einer erhöhten Absterberate der Buchen gerechnet werden muss.



Insekten und Pilze

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

Borkenkäfer

Ab Juli 2013 konnte nach mehreren ruhigen Käferjahren zunehmend beobachtet werden, dass die bis dahin meist nur in geringen Dichten vorhandenen Buchdrucker die einsetzende sehr warme Sommerwitterung 2013 nutzten. Insbesondere in Berglandbereichen konnte sich die zweite Buchdrucker-Generation relativ gut etablieren.

Das ungewöhnlich zeitig einsetzende Frühjahr 2014 ermöglichte einen besonders frühen Start der Borkenkäferaktivitäten. Aufgrund der Wärme in der Flugzeit der Käfer trat Befall stellenweise nicht nur an besonnten Bestandesrändern, sondern unüblich für das Frühjahr teilweise auch schon im Bestandesinneren auf. Zu landesweit größeren Befallsflächen und Schadmengen kam es jedoch nicht.

Waldmaikäfer

Im Frühjahr 2014 war für den Waldmaikäferstamm des Hessischen Rieds Flugzeit. Auch wenn die Maikäferdichten in vielen Regionen des Rieds nach Grabungsergebnissen rückläufig sind, wurde auffälliger, in einigen Bereichen (Darmstadt, Pfungstadt, Groß-Gerau) auch starker Maikäferflug beobachtet. Untersuchungen zur Schlupfphänologie der Waldmaikäfer, die während der Monate April bis Juni durchgeführt wurden, bestätigten die auffälligen Flugbeobachtungen in mittleren und nördlichen Regionen des Hessischen Rieds. Inwieweit die günstigen Witterungsbedingungen während der Schwärmflüge und des Reifungsraßes einen positiven Effekt auf die Reproduktion des Maikäfers hatten, werden künftige Probegrabungen zeigen.

Eichenfraßgesellschaft

Auf den meisten hessischen Beobachtungsflächen war insgesamt nur ein leichter Anstieg der Populationsdichte des Frostspanners zu verzeichnen. 2014 kam es in Hessen lokal zu Licht- und Kahlfraßereignissen (z.B. Groß-Gerau). Insbesondere der Eichenprozessionsspinner (*Thaumetopoea processionea* L.; nur Südhessen) und Frostspannerarten spielten hierbei eine Rolle.

Nur lokal setzen sich auffällige Absterbeprozesse in Alteichen-Beständen fort. Nach einem Erkrankungsschub in



Großer und Kleiner Frostspanner

Foto: G. Hartmann

den Jahren 2011/2012 sind in solchen Teilbereichen in 2014 erneut Eichen meist unter starker Beteiligung von Hallimasch- und teilweise auch Prachtkäfer-Befall abgestorben. Dies geht einher mit entsprechenden Auflichtungen und ungünstigen Veränderungen des Bestandesinnenklimas (mehr Wärme, stärkere Besonnung von Stämmen).

Eschentriebsterben

Bezogen auf das Eschentriebsterben (pilzlicher Erreger) wird 2014 in vielen Regionen sowohl eine Zunahme der Schädflächen als auch eine Verstärkung der Schäden vor Ort beobachtet. Starke Schädigungen führten teilweise schon bis zur Auflösung von Bestandesteilen.

Die so genannten "Stammfußnekrosen" gehören vielerorts ebenfalls zum Schadbild. Das Auftreten von Eschenbastkäfern im Zuge stärkeren Eschentriebsterbens wird als sekundär gewertet.



Kieferntriebsterben

Foto: NW-FVA, Abt.B

Diplodia-Triebsterben der Kiefer

Auffällig waren im Frühjahr 2014 stärkere Diplodia-Schäden (pilzlicher Erreger) auf Kiefernflächen in Mittelhessen. Meist waren die betroffenen Standorte durch angespannten Wasserhaushalt gekennzeichnet (mäßig frisch/mäßig trocken, hoher Skelettanteil). In der Absterbephase war teilweise Hallimasch beteiligt. In Mittel- und Südhessen hat der Erreger an Kiefern-Kulturpflanzen braun verfärbte und absterbende Triebspitzen verursacht.



Geschädigter Eichenbestand

Foto: NW-FVA, Abt.B

Stoffeinträge

Birte Scheler

Wald filtert durch seine große Kronenoberfläche gas- und partikelförmige Stoffe aus der Luft. Aufgrund dieses Filtereffektes sind Wälder stärker als andere Landnutzungsformen durch anthropogen verursachte Stoffeinträge insbesondere von Schwefel und Stickstoff (Nitrat und Ammonium) belastet. Um die Wirkungen dieser erhöhten Stoffeinträge sowie die damit verbundenen Risiken für Wälder, Waldböden und angrenzende Ökosysteme zu untersuchen, wird in Hessen der Stoffeintrag auf zwei Fichten- und sieben Buchenflächen sowie einer Eichen- und einer Kiefernfläche des Intensiven Forstlichen Umweltmonitorings erfasst.

Die Höhe der Stoffeinträge wird maßgeblich durch verschiedene Faktoren wie Niederschlagsmenge, Baumart, Bestandeshöhe, Kronenrauigkeit bzw. lokale Emittenten bestimmt. Aus diesem Grund sind die Stoffeinträge im niederschlagsreichen Bergland (Fürth/Odenwald, Spessart und Königstein) höher als in niederschlagsärmeren Gebieten wie der Rhein-Main-Ebene oder dem Mittelhessischen Raum sowie unter Fichte höher als unter Buche, Eiche und Kiefer. Der Bestandesniederschlag lag 2013 zwischen 502 mm (Kellerwald, Buche) und 953 mm (Fürth, Buche). In Königstein, Fürth sowie im Hessischen Ried lag der Bestandesniederschlag damit deutlich über dem langjährigen Mittel der jeweiligen Flächen während er in Krofdorf, Spessart und Zierenberg niedriger als im langjährigen Mittel war. Im Vergleich zum Vorjahr ist in den Beständen zwischen 11 % weniger (Krofdorf, Buche) und 28 % mehr (Hessisches Ried, Eiche) Kronentraufe gefallen. Abweichungen in der Gesamtd deposition im Vergleich zum Vorjahr können hierdurch begründet sein.

Durch Maßnahmen wie Rauchgasentschwefelung bei Großfeuerungsanlagen oder die Einführung von schwefelarmen Kraftstoffen ging die Schwefeldioxidkonzentration der Luft extrem zurück. Hierdurch nahmen die Sulfateinträge in die Wälder deutlich ab. 2013 betrug der Sulfatschwefeleintrag pro Hektar zwischen 2,2 kg (Krofdorf, Buche) und 6,7 kg (Fürth, Fichte), im Freiland lag er zwischen 1,6 kg (Kellerwald) und 3,5 kg (Fürth). Dies entspricht im Vergleich zur Mitte der 1980er Jahre (1984-1986) einem Rückgang um 91 % in der Gesamtd deposition der Buche (Krofdorf), um 87 % in der Gesamtd deposition der Fichte (Königstein) und um rund 85 % im Freiland.



Bodenhydrologische Messungen

Foto: H. Heinemann



Probenahme von Bodensickerwasser

Foto: O. Schwerdtfeger

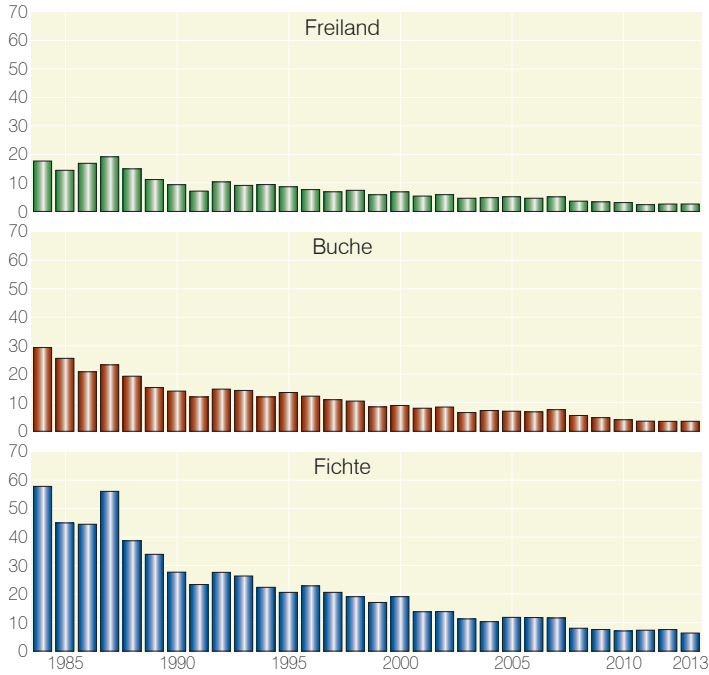
Stickstoff ist der Pflanzennährstoff, der das Wachstum unter natürlichen Umständen am stärksten limitiert, da der Stickstoffgehalt der Ausgangsgesteine der Böden sehr gering ist. Durch anthropogene Stoffeinträge sowohl in gasförmiger als auch in gelöster Form mit dem Niederschlag ist Stickstoff jedoch im Wald zu einem Überflussfaktor geworden. Dies hat gravierende Konsequenzen für den Wald selbst sowie angrenzende Ökosysteme wie Fließ- und Grundgewässer. Zu nennen sind beispielsweise eine Verschiebung des Artengefüges der Wälder, veränderte Spross-Wurzel-Verhältnisse der Bäume und erhöhte Nitratausträge mit dem Sickerwasser. Letztere verursachen den Verlust von Nährstoffen wie Calcium und Magnesium aus den ohnehin eher nährstoffarmen Waldböden und können zu einer Gefährdung für das Grundwasser werden.

Aufgrund rückläufiger Stickoxid-Emissionen hat der Nitrateintrag sowohl im Freiland als auch in der Gesamtd deposition auf allen untersuchten Flächen signifikant abgenommen. 2013 betrug er pro Hektar unter Fichte 12,2 (Königstein) bzw. 12,4 kg (Fürth), im Hessenmittel unter Buche 6,4 kg (zwischen 4,6 kg im Hessischen Ried und 10,1 kg in Zierenberg) sowie unter Eiche und Kiefer 4,7 kg (beide Hessisches Ried). Im Freiland lag der Nitratstickstoffeintrag im Mittel des Landes Hessen pro Hektar bei 3,4 kg (zwischen 2,2 kg im Kellerwald und 4,8 kg in Fürth).

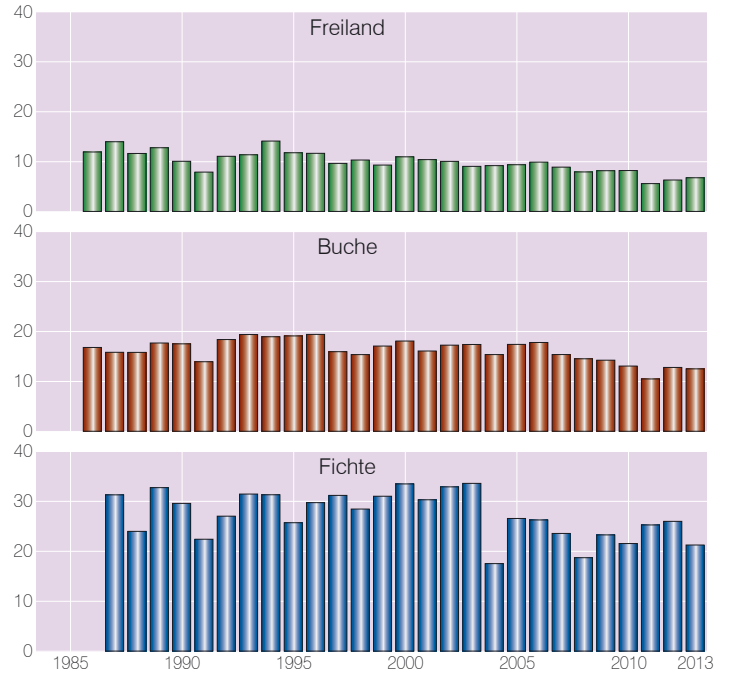
Beim Ammoniumeintrag zeigt sich zwar auf fünf von sieben Flächen eine signifikante Abnahme im Freiland, in der Gesamtd deposition jedoch nur in den untersuchten Waldbeständen des Hessischen Rieds (Buche, Eiche, Kiefer) und in Fürth (Fichte). Dennoch lag der Ammoniumeintrag 2013 auf 10 von 11 Flächen unter dem langjährigen Flächenmittel, auf 6 Flächen war

Stoffeinträge

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



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



Stoffeintragsmessungen auf der Intensiv-Monitoringfläche Kellerwald

Foto: M. Schmidt

Stoffeinträge

Gesamtsäure-Eintrag in kmol_c je Hektar und Jahr

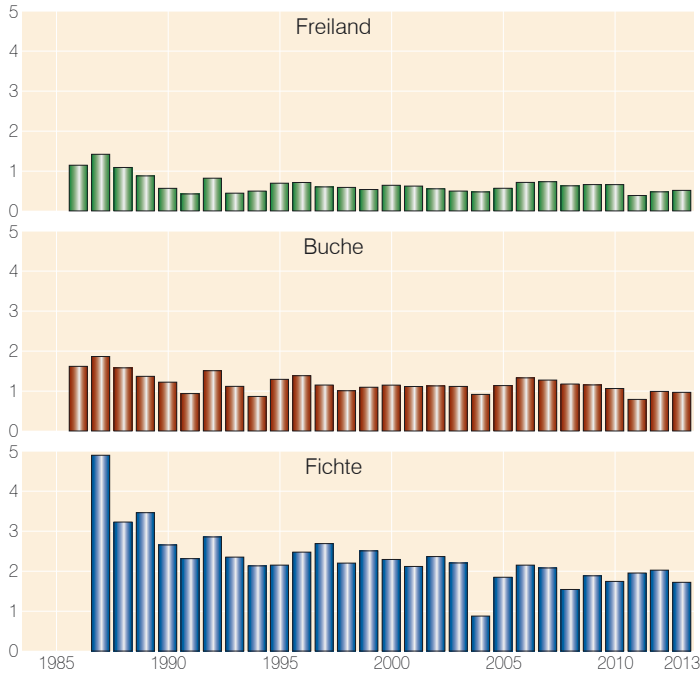


Foto: E. Langer

er außerdem geringer als im Vorjahr. Unter Fichte betrug der Ammoniumstickstoffeintrag pro Hektar 9,1 kg in Königstein und 10,4 kg in Fürth, unter Buche im Hessenmittel 6,0 kg (zwischen 3,5 kg in Krofdorf und 10,4 kg in Zierenberg), unter Eiche 7,4 kg und 5,0 kg unter Kiefer. Im Freiland lag der Ammoniumstickstoffeintrag pro Hektar zwischen 3,1 kg (Hessisches Ried) und 4,8 kg (Fürth), das Hessenmittel betrug 3,3 kg. Der Anteil von Ammonium an den Stickstoffeinträgen beträgt sowohl im Freiland als auch der Gesamtdeposition im langjährigen Mittel zwischen 44 % und 51 %. Damit ist keine der untersuchten Regionen in Hessen unverhältnismäßig hoch durch Stickstoffeinträge aus der Landwirtschaft belastet, die für 95 % der Emissionen von Ammoniak und damit seines Umwandlungsprodukts Ammonium verantwortlich ist, wie dies beispielsweise im Nordwestdeutschen Tiefland der Fall ist. Trotz des Rückgangs überschreiten insbesondere in den niederschlagsreichen Gebieten und unter Fichte die atmosphärischen Stickstoffeinträge nach wie vor den Bedarf der Bestände für ihr Wachstum teilweise erheblich.

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

2013 betrug der Gesamtsäureeintrag pro Hektar $0,5 \text{ kmol}_c$ im Freiland (Hessenmittel), $1,0 \text{ kmol}_c$ unter Buche (Hessenmittel) und $1,8 \text{ kmol}_c$ (Fichte, Fürth). Im Vergleich zum Mittel der Jahre 1987-1989 ist er im Freiland damit um Werte zwischen 44 % (Königstein) bis 68 % (Krofdorf) zurückgegangen, unter Fichte um 49 % (Fürth) bzw. 55 % (Königstein) und unter Buche zwischen 41 % (Fürth) und 54 % (Krofdorf) reduziert. Im Vergleich zum Vorjahr ging der Gesamtsäureeintrag auf sechs Untersuchungsflächen um bis zu $0,3 \text{ kmol}_c$ pro Hektar zurück, während er in Zierenberg unter Buche aufgrund der 2013 auf dieser Fläche deutlich gestiegenen Ammoniumeinträge um $0,5 \text{ kmol}_c$ im Vergleich zum Vorjahr angestiegen ist. Ob dieser Anstieg durch die Stickstoffsättigung dieses Bestandes begründet ist, kann erst anhand der weiteren Entwicklung der Ammoniumeinträge geklärt werden. Die höchsten Säureeinträge finden sich unter Fichte sowie unter Buche in niederschlagsreichen Gebieten. Sofern diese Bestände auf nährstoffarmen, pufferschwachen Waldböden stocken, ist eine standortsangepasste Bodenschutzkalkung zum Schutz der Waldböden und ihrer Filterfunktion weiter notwendig.

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



Messung der Bodenfeuchte

Foto: NW-FVA

Ernährungssituation der Fichte

Inge Dammann, Egbert Schönfelder, Ulrike Talkner, Jan Evers und Uwe Paar

Aus den Ergebnissen der Blatt- und Nadelanalyse im Rahmen der systematischen Beprobung zur Bodenzustandserhebung (BZE II) lassen sich flächenrepräsentative Bewertungen zur Ernährungssituation der Waldbäume ableiten. Die Beprobung an 67 BZE-Fichtenpunkten in Hessen fand im Winter 2007/2008 statt. Es wurden Mischproben von jeweils drei Fichten pro Erhebungspunkt analysiert. Diese Ergebnisse werden verglichen mit den Daten der landesweiten walddemerkungkundlichen Erhebung aus den Jahren 1982/1983, bei der an 147 Erhebungspunkten (Bionetz) Nadelanalysen durchgeführt wurden. Die Bionetz-Erhebung erfolgte im 8 km x 8 km-Raster, es wurde der dem Sollmesspunkt nächstgelegene 61-80-jährige Fichtenbestand beprobt. Das Schwergewicht dieser Aufnahme war der 2. Nadeljahrgang, zusätzlich wurde an 19 Erhebungspunkten auch der 1. Nadeljahrgang analysiert.

Zwischen der ersten landesweiten Erhebung 1983 und der bislang letzten repräsentativen Erhebung liegen 24 Jahre. In diesem Zeitraum haben sich einige Faktoren, die die Ernährung der Fichten beeinflussen, erheblich verändert. Die Eintragsituation für die Wälder hat sich seit Anfang der 1980er Jahre stark gewandelt (siehe Beitrag Stoffeinträge Seite 23-25), und forstliche Maßnahmen wie die Bodenschutzkalkung haben sich auf die chemischen Bodeneigenschaften und die Nährstoffverfügbarkeit für die Waldbäume ausgewirkt. Diese Veränderungen lassen sich an den Nadelinhaltsstoffen der beiden landesweiten Inventuren nachvollziehen. Aufgrund der geringen Anzahl der Beprobungen des 1. Nadeljahrgangs 1982/1983 ist im Folgenden auch der wesentlich umfangreichere Datensatz des 2. Nadeljahrgangs dargestellt. Zur Bewertung der Inventurergebnisse wurden Entwicklungstrends zur Ernährungssituation von Fichtenflächen des Intensiven Monitorings (1994-2007) in Niedersachsen, die im ein- bis zweijährigen Turnus beprobt werden, berechnet.

Stickstoff

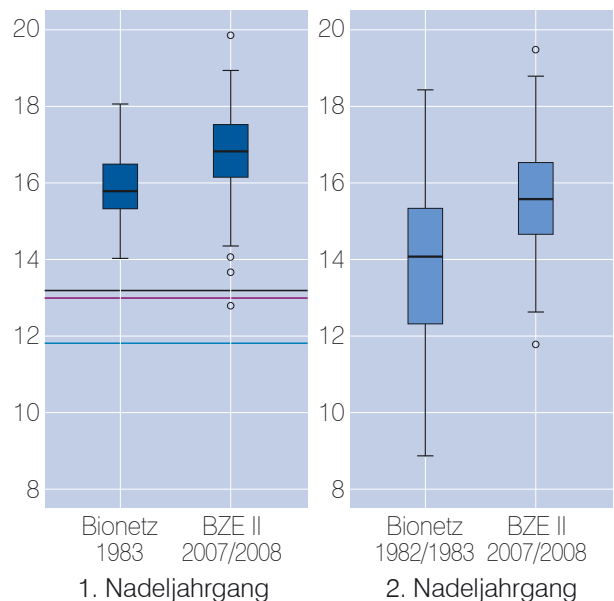
Die Stickstoffkonzentrationen in den Fichtennadeln (1. Nadeljahrgang) liegen bereits 1983 hoch (Median: 15,8 mg Stickstoff/g Trockensubstanz (TS)), 2007/2008 liegt der Median mit 16,8 mg Stickstoff/g TS noch höher. Die Überversorgung der Fichten mit Stickstoff ist auf anhaltend hohe Eintragsraten zurückzuführen. Im Vergleich zu diesen Befunden für das systematische Stichprobennetz weisen die Fichtenflächen im Intensiven Monitoring (hier nicht dargestellt) insgesamt einen niedrigeren Median von 14,8 mg Stickstoff/g TS sowie einen signifikant ansteigenden Trend für die Stickstoffkonzentrationen in den Fichtennadeln auf.



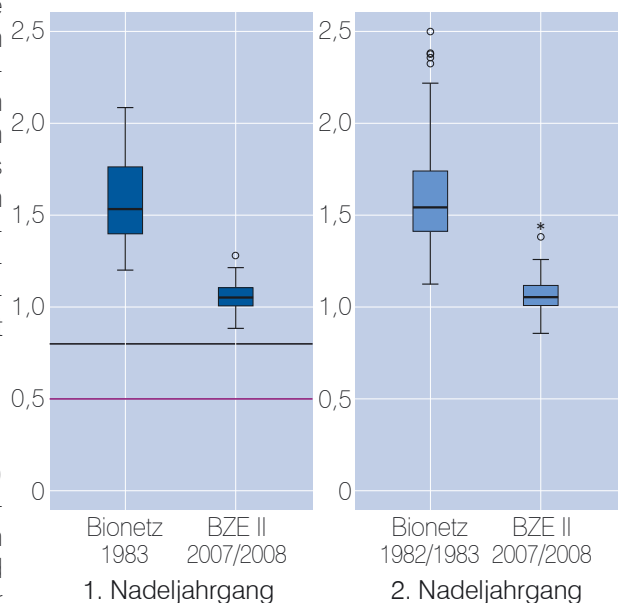
Trennen der Fichtenzweige in Nadeljahrgänge

Foto: I. Dammann

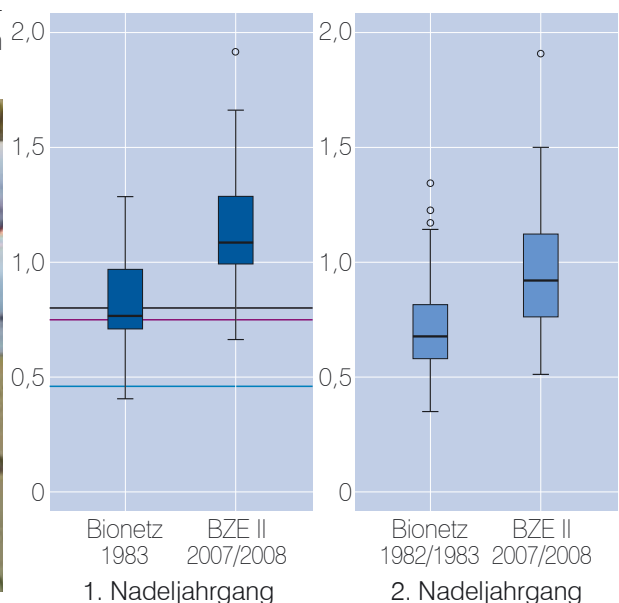
Stickstoff (mg/g Trockensubstanz)



Schwefel (mg/g Trockensubstanz)

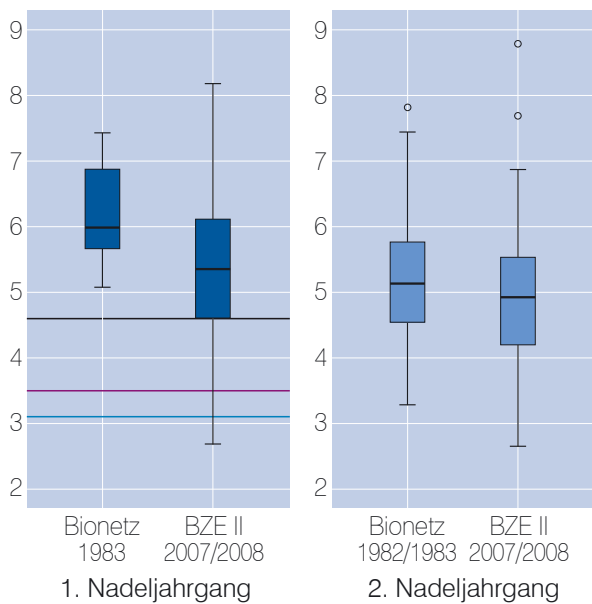


Magnesium (mg/g Trockensubstanz)



Ernährungssituation der Fichte

Kalium (mg/g Trockensubstanz)



Schwefel

Die Schwefelkonzentrationen in den Fichtennadeln sind bei der Bionetz-erhebung hoch, zum Zeitpunkt der BZE II macht sich die Verminderung der Schwefeleinträge in die Wälder bemerkbar, die Schwefelkonzentrationen in den Fichtennadeln sind in beiden Nadeljahrgängen signifikant abgesunken. Diese signifikante Abnahme der Schwefelkonzentrationen bestätigt sich auch auf den Fichtenflächen des Intensiven Monitorings.

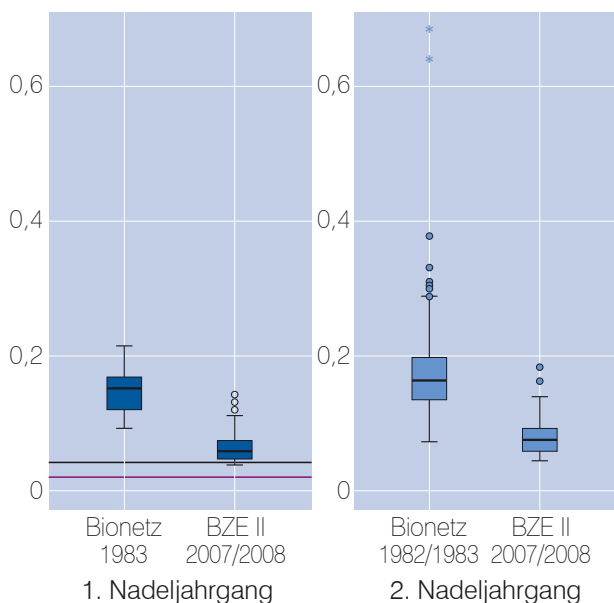


Foto: J. Evers

Magnesium

Infolge der Bodenversauerung sind viele Nährstoffe mit dem Sickerwasser verloren gegangen. Hierzu gehört auch Magnesium. 1983 weisen die beprobten Fichtenbestände teilweise Mängel in der Magnesiumversorgung auf. 2007/2008 zeichnet sich gegenüber 1983 eine signifikante Verbesserung ab. Diese Erholung ist auch auf die Magnesiumzufuhr im Zuge der Bodenschutzkalkung zurückzuführen. Umfangreiche Kalkungsmaßnahmen setzten nach 1983 ein, 2007/2008 waren von 67 Fichtenpunkten 39 (z. T. mehrfach) gekalkt. Die Intensiv-Monitoringflächen zeigen auch für ungekalkte Fichtenflächen einen eindeutig ansteigenden Trend, allerdings bleibt der Anstieg dort so gering, dass die Fichten im Mangelbereich verharren.

Eisen (mg/g Trockensubstanz)



Kalium

Die Kaliumkonzentrationen lagen in der ersten Erhebung oberhalb der angenommenen Mangelgrenzen. 2007/2008 zeigen sich niedrigere Konzentrationen, an einigen Erhebungspunkten unterschreiten die Kaliumkonzentrationen die Mangelgrenze nach Göttlein et al. 2011. Ein abnehmender Trend wird auch auf den Intensiv-Monitoringflächen vorgefunden.

Eisen

Die Eisenkonzentrationen der Fichtennadeln zeigen 1983 hohe Werte. Bis zur BZE II normalisieren sich die Eisenkonzentrationen. Im Gegensatz zum signifikant abnehmenden Trend bei den landesweiten Inventuren ist bei den Eisenkonzentrationen der Fichten auf den Intensiv-Monitoringflächen kein Trend festzustellen. Dies ist vermutlich durch den Erhebungszeitraum begründet, der für das Intensive Monitoring erst 1994 beginnt, also zu einem Zeitpunkt, als die Eisenkonzentrationen bereits einen niedrigen Status erreicht hatten.

Die Ergebnisse zeigen, dass landesweite Inventuren mit mehrjährigen Intervallen die Ernährungssituation und die Nährstoffverfügbarkeit über lange Zeiträume plausibel abbilden können. Auch zeigen die Nadelinhaltsstoffe des 1. und 2. Nadeljahrgangs für die dargestellten Nährelemente gleichgerichtete Trends. Allerdings ist bei diskontinuierlichen Erhebungen nicht auszuschließen, dass jährliche Schwankungen der Nadelinhaltsstoffe langfristige Trends überlagern. Diese Schwankungen der Nadelkonzentrationen können durch unterschiedliche Witterungsbedingungen verursacht werden, die u. a. veränderte Streuzersetzung- und Mineralisierungsraten bedingen. Zur Bewertung der Ergebnisse ist die im Forstlichen Umweltmonitoring praktizierte Kombination aus landesweiten Inventuren mit hoher Anzahl an Beprobungspunkten im mehrjährigen Turnus sowie Nadel- und Blattanalysen von regelmäßig im ein- bis zweijährigen Turnus beprobten ausgewählten Flächen sinnvoll.

Stickstoff-, Schwefel-, Magnesium-, Kalium- und Eisenkonzentrationen (mg/g Trockensubstanz) in Fichtennadeln. Links in den Abbildungen: 1. Nadeljahrgang, Bionetz: n=19, BZE II: n=67. Violette Linie: Grenzwert sehr gering (AK Standortskartierung 2003), blaue Linie: Grenzwert mangelhaft (Krauß & Heinsdorf 2005), schwarze Linie: Grenzwert latenter Mangel (Göttlein et al. 2011). Rechts in den Abbildungen: 2. Nadeljahrgang, Bionetz: n=147, BZE II: n=67



Foto: J. Evers

Gefäßpflanzen und Moose als Indikatoren von Bodeneigenschaften

Marcus Schmidt, Egbert Schönfelder, Uwe Paar und Jan Evers

Im Zuge der Bodenzustandserhebung (BZE) II wurde in den Bundesländern Niedersachsen, Hessen, Sachsen-Anhalt und Bremen erstmalig die Waldvegetation auf der Grundlage einer systematischen, repräsentativen Stichprobe großräumig und vollständig erfasst. Dabei wurden für alle BZE-Punkte in den Vegetationsperioden 2006 bis 2008 auf 400 Quadratmeter großen, dauerhaft markierten Flächen nach einheitlicher Methodik Vegetationsaufnahmen erstellt. Erfasst wurden die Arten der Baum-, Strauch- und Krautschicht mit ihrem Deckungsgrad. Darüber hinaus wurden die Arten der Mooschicht (Moose, Flechten) ohne Deckungsgradangaben notiert. Insgesamt 388 Vegetationsaufnahmen wurden in den Bundesländern Niedersachsen (169), Hessen (139), Sachsen-Anhalt (76) und Bremen (4) im Rahmen der BZE II durchgeführt.



Rotstengelmoss, Besenheide und Vogelbeere sind charakteristische Arten des Eisen- und Aluminium-Pufferbereichs. Fotos: M. Schmidt

Pufferbereiche (nach Ulrich 1981, verändert)

[Kohlensäure/Calcium-]Karbonat (pH H₂O >6,2)

Vorherrschende Pufferreaktion über Kalkauflösung, Humusform Mull, rasche Streuumsetzung, Auswaschung von Calcium, Bodenbildungsprozess Entkalkung, stabiles Bodengefüge, evtl. ungünstiges Ca/K-Verhältnis, keine Behinderung des Wurzelwachstums oder der Zersetzeraktivität aufgrund bodenchemischer Bedingungen, gute Wachstumsbedingungen seitens der Bodenchemie

[Kohlensäure-]Silikat (pH H₂O zwischen 6,2 und 5,0)

Vorherrschende Pufferreaktion Verwitterung der primären Silikate unter Freisetzung von Nährstoffkationen, Bodenbildungsprozess Verbraunung und Tonverlagerung, Humusform Mull und mullartiger Moder, optimale Nährstoffverfügbarkeit und ökologisches Optimum aus bodenchemischer Sicht

Austauscher (pH H₂O zwischen 5,0 und 4,2)

Vorherrschende Pufferreaktion weitere Verwitterung der Restgitter primärer Silikate und Freisetzung von Al-Ionen aus Tonmineralen, Entstehung polymerer Aluminium-Hydroxo-Kationen und Verdrängung von Calcium, Magnesium sowie Kalium vom Austauscher und Auswaschung mit der Bodenlösung, Rückgang der Austauschkapazität und der biologischen Aktivität, Verbraunung des Bodens, Humusform mullartiger Moder und Moder, Konkurrenzkräft anspruchsvoller Pflanzenarten geht zurück

Aluminium (pH H₂O zwischen 4,2 und 3,8)

Pufferung über die Auflösung der Aluminium-Hydroxo-Kationen und sekundärer Tonminerale, Tonmineralzerstörung, Freisetzung von Aluminium-Ionen und Protonen in die Bodenlösung, Podsoligkeit, zunehmende Einschränkung der Wachstumsleistung durch den bodenchemischen Zustand, geringe Basensättigung, Humusform Moder und Rohhumus

Eisen (pH H₂O <3,8)

Pufferung über die Auflösung von Eisenhydroxiden und Aluminium-Hydroxo-Kationen, Mobilisierung von Eisen und Huminstoffen, höhere Anteile von Aluminium, Eisen und Protonen in der Bodenlösung, zunehmender Säurestress, sehr geringe Basensättigung am Austauscher, stärkere bis starke Podsoligkeit, Wachstumsstörungen der Bäume, schlechte Moderhumusformen, Rohhumus

Gefäßpflanzen und Moose als Indikatoren von Bodeneigenschaften



Wald-veilchen und Goldnessel kommen gemeinsam im Austauscher- und Silikat-Pufferbereich vor. Foto: M. Schmidt



Dominanzbestände von Weißmoos, hier zusammen mit Heidelbeere und Draht-Schmiele, weisen darauf hin, dass sich der Oberboden des betreffenden Waldbestandes im Eisen-Pufferbereich befindet.

Foto: J. Evers

Die direkte Verbindung der dabei gewonnenen Vegetationsdaten mit den erfassten bodenchemischen Kenngrößen ermöglicht Aussagen zu den Zusammenhängen zwischen der Artenzusammensetzung der Waldbestände und dem Bodenzustand. Am Beispiel des pH-Wertes von Waldböden sollen im Folgenden Auswertungsmöglichkeiten der Kombination von Vegetations- und Bodendaten sowie deren Nutzung für die waldökologische Praxis gezeigt werden.

Der pH-Wert eines Bodens, die sogenannte Bodenreaktion, ergibt sich aus der Wasserstoff-Ionen-Aktivität in der Bodenlösung. Er hat Einfluss auf zahlreiche chemische und biologische Prozesse im Boden und ist eine der wichtigsten bodenökologischen Kenngrößen, aus der sich viele für das Pflanzenwachstum bedeutsame Bodeneigenschaften, wie die Basen- und Nährstoffversorgung, ableiten lassen. So ergeben sich aus dem pH-Wert einerseits sehr gute Hinweise auf die Verfügbarkeit von Nährstoffen (z. B. Magnesium oder Calcium) und andererseits auf toxisch wirkende Kon-



Der Vorkommensschwerpunkt des Wald-Ehrenpreises liegt im Aluminium-Pufferbereich. Foto: M. Schmidt



Das Wald-Bingelkraut kennzeichnet den Silikat- und Karbonat-Pufferbereich. Foto: M. Schmidt

Gefäßpflanzen und Moose als Indikatoren von Bodeneigenschaften

Auf der Grundlage der BZE II entwickeltes Trennschema zur Ansprache der Pufferbereiche von Waldböden

Eisen	Aluminium	Austauscher	Silikat	Karbonat
Aderfarn, Einseitwendiges Kleingabelzahnmoos, Gewelltblättriges Gabelzahnmoos, Weißmoos				
Besenförmiges Gabelzahnmoos, Besenheide, Breitblättriger Dornfarn, Draht-Schmiele, Echtes Schlafmoos, Europäischer Siebenstern, Faulbaum, Gewöhnlicher Dornfarn, Harzer Labkraut, Heidelbeere, Pfeifengras, Rankender Lerchensporn, Rotstengelmoos, Sand-Segge, Späte Trauben-Kirsche, Vogelbeere, Wald-Frauenhaar				
Flatter-Binse, Pillen-Segge, Roter Fingerhut, Rotes Straußgras, Salbei-Gamander, Schmalblättriges Weidenröschen, Wald-Ehrenpreis, Wald-Geißblatt, Wolliges Honiggras		Behaarte Hainsimse, Hasenfuß-Segge		
Brennnessel, Flattergras, Gewelltes Katharinenmoos, Goldnessel, Großes Springkraut, Hain-Rispengras, Knotige Braunwurz, Rasen-Schmiele, Schwarzer Holunder, Tüpfel-Johanniskraut, Wurmfarne, Zwiebel-Zahnwurz				
Berg-Ahorn, Busch-Windröschen, Einblütiges Perlgras, Große Sternmiere, Scharbockskraut, Waldmeister, Wald-Segge, Wald-Veilchen		Eichenfarn, Gewöhnliches Hexenkraut, Winkel-Segge		
Feld-Ahorn, Esche, Gewöhnliche Nelkenwurz, Knoblauchsrauke, Rainkohl, Vogel-Kirsche, Süß-Kirsche, Wald-Bingelkraut, Waldgerste, Wald-Ziest, Wald-Zwenke, Zaun-Wicke				
Gestreiftes Schönschnabelmoos, Hasel, Spitz-Ahorn, Stink-Storchschnabel, Wald-Erdbeere				

Gefäßpflanzen und Moose als Indikatoren von Bodeneigenschaften



Das Busch-Windröschen fehlt nur im Eisen- und im Aluminium-Pufferbereich. Auf allen basenreicheren Waldböden ist die Art weit verbreitet.
Foto: J. Evers

zentrationen von Elementen wie Aluminium oder Mangan. Dementsprechend ist die Bindung vieler Pflanzenarten und Pflanzengesellschaften an bestimmte pH-Bereiche (auch als Pufferbereiche bezeichnet) unter einheitlichen klimatischen Bedingungen sehr eng.

In der Forstlichen Standortskartierung geben Bodenmerkmale wie die Humusform (Mull, Moder, Rohhumus) oder Podsolierungserscheinungen (Bleichung im Oberboden infolge einer Versauerung) Hinweise auf den Pufferbereich, in dem sich ein Waldboden befindet. Darüber hinaus können aber auch Waldbodenpflanzen als Indikatoren für bestimmte pH-Bereiche dienen. Um diese Indikatoreigenschaften vieler Waldpflanzen optimal nutzen zu können, muss die Spannweite der pH-Werte bekannt sein, bei denen die Arten im Wald auftreten. Mit dem im Rahmen der Bodenzustandserhebung II erhobenen Vegetationsdatensatz liegt eine einzigartige Datengrundlage vor, aus der für die un-



Der Waldmeister tritt im Austausch-, Silikat- und Karbonat-Pufferbereich auf.
Foto: M. Schmidt

tersuchten Bundesländer das Vorkommen vieler häufiger Waldbodenpflanzen in bestimmten Pufferbereichen (pH gemessen in H₂O für 0-5 cm Bodentiefe) statistisch fundiert abgeleitet werden kann.

Nur wenige Gefäßpflanzen- oder Moosarten sind dabei in ihrem Vorkommen auf nur einen Pufferbereich beschränkt, doch lässt sich für die meisten Arten erkennen, in welchen Pufferbereichen ihr Auftreten sehr wahrscheinlich, eher selten oder nahezu ausgeschlossen ist. Um die Indikatoreigenschaften der Waldpflanzenarten beispielsweise im Rahmen eines Kartierverfahrens für eine sichere Ansprache des Pufferbereichs zu nutzen, ist eine möglichst große Zahl von Indikatorarten notwendig. Zusätzlich kann auch das Fehlen anderer Arten(-gruppen) Hinweise zur Bestimmung des Pufferbereichs geben. Das auf Seite 30 abgebildete Trennschemata kann hierbei Anwendung finden. Die einzelnen Kästen decken einen oder mehrere Pufferbereiche ab, in denen die in ihnen aufgeführten Pflanzenarten nach den Ergebnissen der BZE II den Schwerpunkt ihres Vorkommens haben. Erkennbar ist hier, dass die schärfste floristische Grenze zwischen dem Aluminium- und dem Austausch-Pufferbereich verläuft. Dies entspricht etwa der bodenökologischen Grenze zwischen den natürlichen Waldgesellschaften Hainsimsen-Buchenwald (Eisen- oder Aluminium-Pufferbereich) und Waldmeister-Buchenwald (Austauscher-Pufferbereich). Auf Böden mit höheren pH-Werten schließt sich ökologisch der Waldgersten-Buchenwald an, dessen kennzeichnende Arten ihren Schwerpunkt im Silikat- und/oder Karbonat-Pufferbereich haben. Die Bestimmung der Pufferbereiche über die aufgeführten Zeigerarten ist ein wichtiges Hilfsmittel zur Ansprache der Trophie (Nährstoffverfügbarkeit) von Waldstandorten.



Das Scharbockskraut kennzeichnet den Austausch-, Silikat- und Karbonat-Pufferbereich.
Foto: M. Schmidt

Wasserqualität von Waldbächen hessischer Mittelgebirge

Birte Scheler, Egbert Schönfelder und Johannes Suttmöller

1982 wurde von der Hessischen Landesregierung das Untersuchungsprogramm "Waldbelastung durch Immissionen" (Wdl) (heute: Waldökosystemstudie Hessen) eingesetzt. Im Rahmen dieses Programms wurden in den Gebieten der Hauptmessstationen Königstein (Taunus), Grebenau (Vogelsberg und östl. angrenzende Sandsteingebiete), Witzenhausen (Nordosthessisches Bergland), Biebergemünd (Spessart), Frankenberg (nördliches hessisches Schiefergebirge) und Fürth (kristalliner und südwestlicher Buntsandstein-Odenwald) neben dem Freiland- und Bestandesniederschlag sowie dem Bodensickerwasser seit 1987 insgesamt 35 Quellbäche mit bewaldeten Einzugsgebieten im 14-tägigen Rhythmus chemisch analysiert.

Die chemische Gewässerqualität der Waldbäche wird im Wesentlichen durch das Ausgangsgestein mit seiner spezifischen Versauerungsempfindlichkeit, die Höhe der Säuredeposition mit dem Niederschlag, die Lage der Versauerungsfront in den oberen Bodenschichten sowie durch die Mobilisation von im Boden gespeicherter Säuren bestimmt. Ob forstliche Bewirtschaftungsmaßnahmen wie Kalkung, Baumartenzusammensetzung oder Hauptnutzung unmittelbare Auswirkungen auf die Gewässerqualität haben, soll im Rahmen weiterführender Auswertungen geklärt werden.

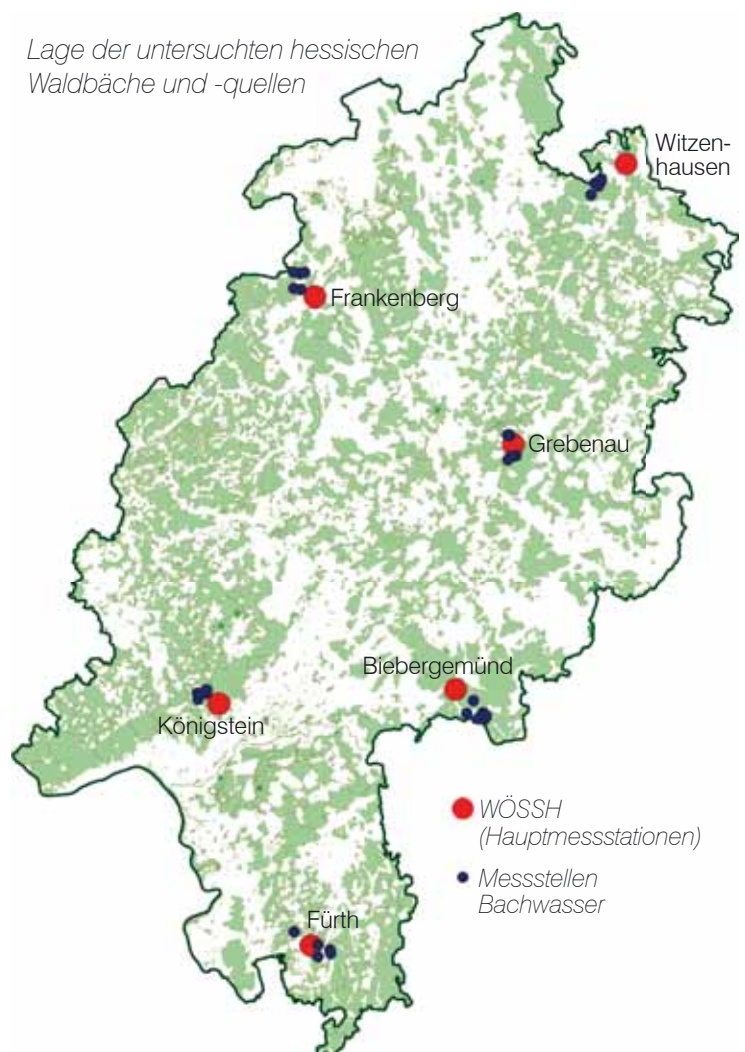


Foto: J. Evers

Der Bachabfluss setzt sich aus den Komponenten Oberflächenabfluss, Zwischenabfluss (aus den oberflächennahen, i. d. R. stärker versauerten Bodenhorizonten) und dem vom Grundwasser gespeisten Basisabfluss zusammen. In Abhängigkeit von der Wassersättigung des Bodens, der Witterung sowie dem Relief variiert der Anteil der verschiedenen Abflusskomponenten am Bachabfluss ständig. Da sich insbesondere durch die Lage der Versauerungsfront die einzelnen Abflusskomponenten in den Gebieten chemisch mehr oder weniger deutlich unterscheiden, unterliegt die Konzentration der Inhaltsstoffe der untersuchten Quellbäche ebenfalls teilweise erheblichen Schwankungen im Jahresverlauf. Diese Saisonalität konnte durch die langjährigen Untersuchungen aufgezeigt werden. Mit Hilfe eines mathematischen Modells wurde die zeitliche Entwicklung nachgezeichnet und Trends berechnet. Das verwendete Modell zeichnet den langfristigen Trend unter Berücksichtigung von veränderlichen jahreszeitlichen Schwankungen und der Abhängigkeit zeitlich aufeinanderfolgender Messungen nach.

Für eine erste Charakterisierung der Quellbäche wurde für alle Parameter der Median des Zeitraums 1988/89-2001 berechnet. Dieser Zeitraum wurde gewählt, weil für ihn vollständige Messreihen für 31 Quellbäche vorliegen. Ab dem Hydrologischen Jahr 2002 wurden 13 Bäche, 2006/2007 weitere 15 Bäche aus Kostengründen nicht mehr beprobt. Ende 2012 wurde die Bachwasserbeprobung in den Gebieten der ehemaligen Hauptmessstationen vollständig eingestellt.

Lage der untersuchten hessischen Waldbäche und -quellen



Wasserqualität von Waldbächen hessischer Mittelgebirge

Güteklassifikation für Nährstoffe und Salze; Auszug aus der Tabelle der LAWA, Überwachungswert: 90-Perzentil-Wert

Stoff	Einheit	Stoffbezogene chemische Gewässergütequalifikation						
		I	I-II	II	II-III	III	III-IV	IV
Nitrat-N	mg/l	≤ 1	≤ 1,5	≤ 2,5	≤ 5	≤ 10	≤ 20	> 20
Ammonium-N	mg/l	≤ 0,04	≤ 0,1	≤ 0,3	≤ 0,6	≤ 1,2	≤ 2,4	> 2,4
Sulfat	mg/l	≤ 25	≤ 50	≤ 100	≤ 200	≤ 400	≤ 800	> 800
Chlorid	mg/l	≤ 25	≤ 50	≤ 100	≤ 200	≤ 400	≤ 800	> 800

Anzahl der Quellbäche bewaldeter Einzugsgebiete hessischer Mittelgebirge in den Güteklassen für Nährstoffe und Salze nach LAWA

Stoff	1989					Letztes Beobachtungsjahr (2001, 2005, 2006 oder 2012)				
	I	I-II	II	II-III	III	I	I-II	II	II-III	III
Nitrat-N		13	8	10		4	10	10	7	
Ammonium-N		1	7	22	1	21	4	6		
Sulfat	10	15	6			19	9	3		
Chlorid	30	1				28	3			



Foto: J. Evers

Bachtypen

30 der 31 Bäche weisen elektrische Leitfähigkeiten zwischen 43 und 281 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Mikro-Siemens pro cm, 5- bzw. 95-Perzentil-Wert) auf und gehören damit zu den ionenarmen Silikat-Bergbächen. Besonders ionenarm mit einem 95-Perzentil-Wert kleiner als 150 $\mu\text{S}/\text{cm}$ sind die Bäche mit den Ausgangsgesteinen unterer Buntsandstein (Spessart) und mittlerer Buntsandstein (Witzenhausen, Fürth). Drei von fünf Bächen in Königstein mit den Substraten Tonschiefer bzw. Glimmersandstein sind ebenfalls sehr ionenarm. Diese Bäche sind durch geringe bis sehr geringe Gehalte an Calcium- und Magnesiumionen gekennzeichnet und haben dadurch nur eine geringe Pufferfähigkeit gegenüber Säuren. Die Gesamthärte bei den untersuchten Bächen lag bei 25 Bächen zwischen 0 und 4 °dH (Grad deutscher Härte; nach HÖLL (1986) gilt Wasser bis 4 °dH als sehr weich, bis 8 °dH als weich und über 30 °dH als sehr hart) bzw. bei 6 Bächen zwischen 4 und 8 °dH. Aufgrund der geringen Härtegrade kann davon ausgegangen werden, dass die pH-Werte aufgrund der im Wasser gelösten freien Kohlensäure auch ohne anthropogene Belastung im leicht sauren Bereich liegen würden.

Bei allen untersuchten Bächen des Buntsandsteins (18 von 31 Quellbächen) ist Sulfat (SO_4) das dominierende Anion (Abb. S. 35 unten), sein Anteil an der Anionensumme beträgt in diesen Wässern bis zu 78 %, bei vier Bächen im Taunus mit den Ausgangssubstraten Tonschiefer und Glimmersandstein dominiert Chlorid (Cl) mit einem Anteil an der Anionensumme zwischen 34 und 59 %, fünf Bäche mit dem Ausgangssubstrat Tonschiefer/Grauwacke in Frankenberg sowie ein Bach aus einem Diorit dominierten Einzugsgebiet (Odenwald) sind durch hohe Alkalinität (Alk) (46 bis 65 % der Anionensumme) gekennzeichnet.

Calcium (Ca) und Magnesium (Mg) sind in fast allen untersuchten Quellbachwässern die wichtigsten Kationen mit Anteilen zwischen 33 und 61 % für Calcium bzw. 20 und 33 % für Magnesium. In sieben Bächen zeigen nennenswerte bis hohe Anteile von Aluminium (4 bis 28 %) und freien Protonen (1,4 bis 5,4 %) an der Kationensumme die weit fortgeschrittene Versauerung dieser Gewässer.

In allen Quellbächen des unteren Buntsandsteins (Spessart) liegt der Kaliumanteil (K) an der Kationensumme mit 11 bis 12 % deutlich über denen der Bäche anderer Ausgangssubstrate.

Chemische Gewässergüteklassifikation

Von der Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) wurde für Wasserinhaltsstoffe ein 7-stufiges Klassifikationsschema mit vier Haupt- und drei Unterklassen zur Bewertung der chemischen Gewässergüte entwickelt. Die Stoffkonzentrationen der Güteklasse I sind von den geogenen Hintergrundwerten abgeleitet und charakterisieren einen Zustand ohne anthropogene Belastung. Die Stoffkonzentrationen der Stufe II sind die einzuhaltenden Zielvorgabenwerte und werden als mäßige Belastung interpretiert, von einer deutlichen Belastung wird bei Konzentrationen bis zum zweifachen Wert der Zielvorgabe gesprochen. Als Überwachungswert wird der 90-Perzentil-Wert herangezogen. Von den in der LAWA-Gewässergüteklassifikation genannten 11 Nährstoffen, Salzen und Summenkenngrößen wurden in den hessischen Bachwässern lediglich die Stoffe Nitrat-N, Ammonium-N, Sulfat und Chlorid analysiert (Tabellen oben).

Im Vergleich des Jahres 1989 mit dem jeweils letzten Jahr der Beobachtung konnten hinsichtlich der Nitratkonzentration 12 Quellbäche einer besseren Güteklasse zugeordnet werden,

Wasserqualität von Waldbächen hessischer Mittelgebirge

fünf Bäche verschlechterten sich um eine oder zwei Güteklassestufen, 14 Bäche blieben in der gleichen Güteklasse. Hinsichtlich der Ammonium-Konzentration verbesserte sich der Zustand von 29 Quellbächen um bis zu drei Stufen, einer verschlechterte sich um eine Stufe, einer blieb in der gleichen Stufe. Bei der Sulfat-Konzentration erreichten 13 Bäche eine bessere Stufe, zwei Quellbäche wurden eine Stufe schlechter und 16 blieben in der gleichen Güteklasse.

Die Gesamtbeurteilung eines Baches richtet sich nach der jeweils schlechtesten für einen Inhaltsstoff vergebenen Güteklasse. 1989 fielen drei Bäche in die Kategorie mäßige Belastung (Stufe II), 27 Bäche in die Kategorie deutliche Belastung (Stufe II-III) sowie ein Bach in die Kategorie erhöhte Belastung (Stufe III). Die Gesamteinstufung erfolgte bei allen Bächen aufgrund der Konzentrationen der beiden untersuchten Stickstoffparameter und zwar in den meisten Fällen wegen der Ammoniumkonzentration.

In dem jeweils letzten Jahr der Beobachtung sind nur noch sieben Bäche als deutlich (Stufe II-III), 12 Bäche als mäßig (Stufe II), 11 als sehr gering (Stufe I-II) und ein Bach als anthropogen unbelastet (Stufe I) einzustufen. In der Mehrzahl der Fälle war zu diesem Zeitpunkt aufgrund des starken Rückgangs der Ammoniumkonzentration die Güteklasse für Nitratstickstoff, in einzelnen Fällen auch die Güteklasse für Sulfat bzw. Ammonium entscheidend für die Gewässergüteklassifikation.

Insgesamt hat sich die chemische Gewässergüte bei 14 von 31 untersuchten Quellbächen um eine Gütestufe, bei neun Quellbächen um zwei Gütestufen und bei einem Bach um drei Gütestufen verbessert. Sechs von sieben Bächen, die in der gleichen Gütestufe geblieben sind, befinden sich aufgrund der Nitratkonzentration in der Stufe II-III.

Trinkwassergrenzwerte

Die Trinkwassergrenzwerte für Aluminium in Höhe von 0,2 mg pro Liter wurden bei sieben Bächen sowohl im Anfangsjahr als auch im letzten Jahr der Beobachtung zum Teil erheblich überschritten. Die Trinkwassergrenzwerte für Blei (10 µg pro Liter), Cadmium (3 µg pro Liter) und Kupfer (2 mg pro Liter) wurden an allen Bächen eingehalten.

Versauerungszustand

Im Folgenden werden Versauerungsstatus bzw. -gefährdung der untersuchten Bäche mit Hilfe der Indikatoren pH-Wert und Versauerungsquotient $(Ca+Mg)/(SO_4+NO_3)$ dargestellt.

Nach dem Kriterium "pH-Wert" war 1989 ein Bach permanent nicht sauer (Stufe 1), die pH-Werte von neun Bächen lagen im schwach sauren bis neutralen Bereich (Stufe 2) und waren damit zum Untersuchungszeitpunkt nicht

*Kriterien für den Versauerungsstatus bzw. das Gefährdungspotenzial schwach mineralisierter Wässer (verändert nach DVWK 1997),
Überwachungswert: 10-Perzentil-Wert*

Versauerungszustand/Gefährdungspotenzial	pH-Wert	$(Ca+Mg)/(SO_4+NO_3)$
1: permanent nicht sauer/ungefährdet	≥ 7	> 4
2: schwach sauer-neutral, z. Zt. nicht gefährdet/ zunehmende Gefährdung	7 bis 6	1,5- 4
3: schwach sauer/versauerungsempfindlich	6 bis 5	1 - 1,5
4: versauert	< 5	< 1



Foto: R. Steffens

Wasserqualität von Waldbächen hessischer Mittelgebirge

gefährdet, 11 Bäche fielen in die Stufe permanent schwach sauer (Stufe 3) und 10 Bäche waren ganzjährig stark versauert mit pH-Werten von oft unter 4,5 (Stufe 4). Im Vergleich mit dem Zustand 1989 hatte sich im jeweils letzten Jahr der Probenahme der Versauerungszustand bei drei Bächen von Stufe 3 (schwach sauer) auf Stufe 2 (schwach-sauer bis neutral) und bei zwei Bächen von Stufe 4 auf Stufe 3 verbessert.

Das Gefährdungspotenzial eines Bachs kann mit Hilfe des Versauerungsquotienten $(Ca+Mg)/(SO_4+NO_3)$ abgeschätzt werden. Danach kann infolge der geringen Basenausstattung der untersuchten silikatischen Quellbäche kein Bach als ungefährdet eingestuft werden, da selbst bei pH-Werten um 7 der Versauerungsquotient im Jahresverlauf häufig unter 4 liegt. Bei sechs Bächen herrscht das Hydrogencarbonat-Puffersystem vor (Stufe 2), es zeigt sich jedoch eine zunehmende Versauerungsgefährdung. 6 Bäche befinden sich im Übergangsbereich vom Hydrogencarbonat- in das Aluminium-Puffersystem (Stufe 3), 17 von 18 Bächen mit dem Ausgangssubstrat Buntsandstein sowie ein Bach mit dem Ausgangssubstrat Glimmersandstein sind ganzjährig stark versauert (Stufe 4). Das Gefährdungspotenzial von 2 Bächen im Gebiet Königstein (Ausgangssubstrat Tonschiefer) hatte sich im letzten Jahr der Beobachtung von Stufe 2 auf Stufe 3 verschlechtert, ein Bach im Gebiet Frankenberg (Ausgangssubstrat Tonschiefer/Grauwacke) hat sich von Stufe 3 auf Stufe 2, ein Bach im Buntsandstein (Witzenhausen) hat sich von Stufe 4 auf 3 erholt.



Foto: J. Evers

Fazit

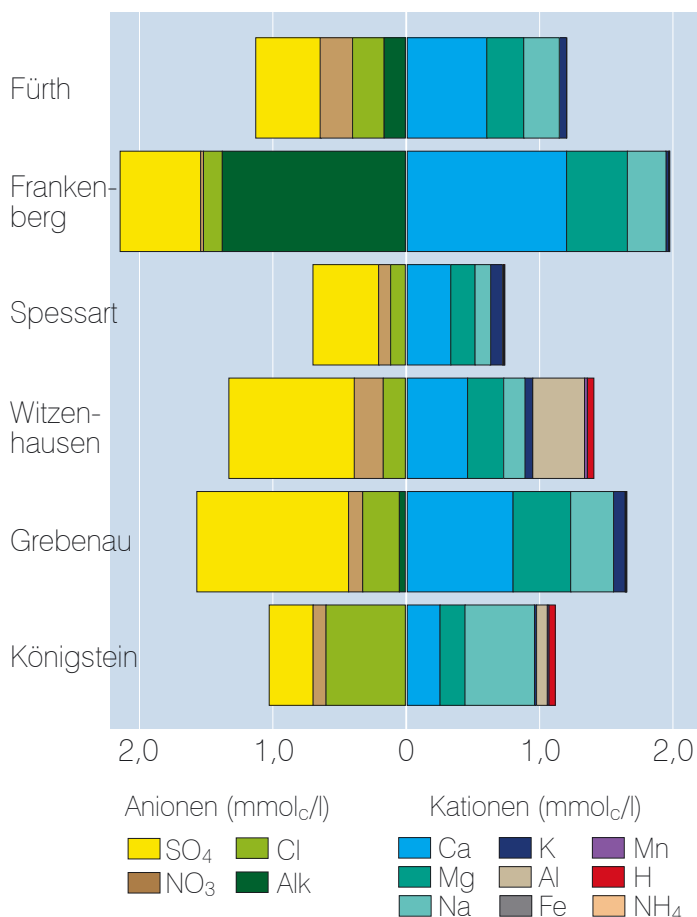
Bei der Bewertung der Entwicklung des Gewässerzustands anhand des ersten und jeweils letzten Beobachtungsjahrs handelt es sich insbesondere aufgrund der Zuordnung zu Gewässergüteklassenstufen und damit ggf. verbundenen Sprüngen um eine vereinfachte Betrachtungsweise, die die zeitliche Entwicklung nicht detailliert nachzeichnen kann, sondern den Fokus auf den aktuellen Zustand im Vergleich zum Beginn der Untersuchung legt. Die Ergebnisse von Zeitreihenanalysen bestätigen jedoch die beschriebenen Entwicklungen.

So konnte für 21 der 31 untersuchten Bäche durch Zeitreihenanalysen ein signifikanter Rückgang der Sulfatkonzentration belegt werden, der bei 13 Bächen auch zu einer Einstufung in eine bessere Sulfat-Gütestufe geführt hat. Acht Bäche wiesen keinen signifikanten Trend auf, bei zwei Bächen (Buntsandstein und Diorit) nahm die Sulfatkonzentration zu. Diese wurden auch einer schlechteren Gütestufe zugeordnet. Hauptursache für den beobachteten Rückgang der Sulfatkonzentration in Bachwässern sind vermutlich die seit Mitte der 1980er Jahre deutlich reduzierten Sulfateinträge mit dem Niederschlag.

Die Zeitreihenanalysen für Nitrat zeigen für 17 Bäche einen abnehmenden und für 12 Bäche einen zunehmenden Trend auf, zwei Bäche zeigen keinen signifikanten Trend. Hier spiegelt die Zuordnung zu den Gütestufen nach LAWA die Entwicklung nur teilweise wider, da acht der zwölf Bäche trotz einer Zunahme der Nitratkonzentration weiterhin in der gleichen Gütestufe sind. 12 von 17 Bächen mit einer signifikanten Abnahme erreichten eine bessere Nitrat-Gütestufe. Ob die Baumartenzusammensetzung und/oder das Alter der Bestände in den Einzugsgebieten, waldbauliche Maßnahmen wie Hauptnutzung, Kalkung oder Kalamitäten ursächlich mitverantwortlich sind für den teilweise beobachteten Anstieg der Nitratkonzentration, soll in weiterführenden Auswertungen untersucht werden.

Die Untersuchungen haben gezeigt, dass die Mehrzahl der beobachteten Waldbäche aufgrund ihrer geringen Pufferkapazität versauerungsempfindlich sind und daher der weiteren Reduzierung der Stoffeinträge, insbesondere der Stickstoffeinträge, eine zentrale Rolle für die Erhaltung bzw. Verbesserung der chemischen Qualität von Bächen bewaldeter Einzugsgebiete zukommt.

Hydrochemischer Charakter ausgewählter hessischer Waldbäche; Median der Jahre 1988/89-2001





Impressum:

Ansprechpartner

Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt

Abteilung Umweltkontrolle

Sachgebiet Wald- und Bodenzustand

Grätzelstraße 2, 37079 Göttingen

Tel.: 0551/69401-0

Fax: 0551/69401-160

Zentrale@nw-fva.de

www.nw-fva.de

HESSEN-FORST
Verpflichtung für Generationen

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

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

Titelfoto: Heinemann, H.

Graphik und Layout: Paar, E.

Herstellung: Nordwestdeutsche
Forstliche Versuchsanstalt

Druck: Printec Offset Kassel

Der Waldzustandsbericht 2014
ist abrufbar unter
www.nw-fva.de und
www.umwelt.hessen.de

Prof. Dr. Johannes Eichhorn
Abteilungsleiter
Umweltkontrolle



Dr. Uwe Paar
Sachgebietsleiter Wald- und
Bodenzustand, Redaktion



Inge Dammann
Leiterin der Außenaufnahmen,
Auswertung, Redaktion



Dr. Jan Evers
Bodenzustandserhebung



Andreas Schulze
Datenbank



Jörg Weymar
Außenaufnahmen und Kontrollen



Michael Spielmann
Außenaufnahmen und Kontrollen



Thomas Winter
Außenaufnahmen und Kontrollen



Dr. Bernd Westphal
Außenaufnahmen und Kontrollen



Diese Druckschrift wird im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit der Hessischen Landesregierung herausgegeben. Sie darf weder von Parteien noch von Wahlwerbenden und Wahlhelfern während eines Wahlkampfes zum Zwecke der Wahlwerbung verwendet werden. Dies gilt für Europa-, Bundestags-, Landtags- und Kommunalwahlen.

Missbräuchlich ist insbesondere die Verteilung auf Wahlveranstaltungen, an Informationsständen der Parteien sowie das Einlegen, Aufdrucken oder Aufkleben parteipolitischer Informationen oder Werbemittel. Untersagt ist gleichfalls die Weitergabe an Dritte zum Zwecke der Wahlwerbung. Auch ohne zeitlichen Bezug zu einer bevorstehenden Wahl darf die Druckschrift nicht in einer Weise verwendet werden, die als Parteinahme der Landesregierung zugunsten einzelner politischer Gruppen verstanden werden könnte. Die Beschränkungen gelten unabhängig davon, wann, auf welchem Weg und in welcher Anzahl diese Druckschrift dem Empfänger zugegangen ist. Den Parteien ist jedoch gestattet, die Druckschrift zur Unterrichtung ihrer eigenen Mitglieder zu verwenden.