Hessisches Ministerium für Umwelt, Energie,
Landwirtschaft und Verbraucherschutz

HESSEN

Waldzustandsbericht 2012

NW-FVA
Nordwestdeutsche
Forstliche Versuchsanstalt

Vorwort

Liebe Leserin, lieber Leser,

die Witterung entsprach in diesem Jahr wieder einmal nicht dem Verlauf eines „Durchschnittsjahres". Im ausgehenden Winter machte über mehrere Tage andauernder extrem harter Frost ohne Schnee in vielen Teilen unseres Landes der landwirtschaftlichen Herbstsaat des vergangenen Jahres den Garaus. Das folgende Frühjahr war zu warm und zu trocken. Erst ab Mai gab es wieder ausreichende, in den Monaten Juni und Juli deutlich überdurchschnittliche Niederschläge. Der „richtige Sommer" begann erst ab Ende Juli.
Und unsere Wälder? Sie konnten sich in diesem Jahr etwas erholen. Der vorliegende Waldzustandsbericht bestätigt dies. Die Ergebnisse knüpfen wieder an den positiven Trend der Jahre 2008-2010 an. Die mittlere Kronenverlichtung aller Baumarten und Altersstufen ist erfreulicherweise um 3 %-Punkte auf 23 % zurückgegangen.
Die jährliche Waldzustandserhebung spiegelt zahlreiche Einflüsse, wie Witterungsverlauf, Insekten- und Pilzbefall, wider und gibt uns somit einen Überblick über den aktuellen Gesundheitszustand unserer Wälder. Dabei kommt Hessen als einem der waldreichsten Länder der Bundesrepublik eine besondere Verantwortung zum Erhalt seiner Wälder zu. Die seit nahezu 3 Jahrzehnten wiederkehrende jährliche Erfassung des Waldzustandes ermöglicht es, gravierende Veränderungen mit negativen Auswirkungen auf unsere Wälder und Umwelt rechtzeitig erkennen und entgegenwirken zu können.
Die wechselhafte Witterung in diesem Jahr, immer wieder mit niederschlagsreichen Abschnitten durchsetzt, und erst im Spätsommer eine kurze heiße Phase sagte den Wäldern in Hessen überwiegend zu. Hinzu kamen eine nur geringe Ozonbelastung und nachlassende Schadstoffeinträge. Auch die Fruchtbildung der Waldbäume war in diesem Jahr nicht üppig.
Dies zeigt insbesondere die Entwicklung bei der Buche, die mit rund 31 % Flächenanteil wichtigste Baumart in Hessens Wäldern ist. Die mittlere Kronenverlichtung der älteren Buche ist von 38 % (2011) auf 30 % zurückgegangen. Lag der Anteil fruktifizierender Buchen in der Altersstufe über 60 Jahre 2011 noch bei 97 %, so blieb in diesem Jahr die Buchenmast gänzlich aus. Besonders erfreulich ist zudem die Entwicklung bei den jüngeren Buchen und jüngeren Kiefern mit den günstigsten Werten seit über 25 Jahren.
Ungünstiger bleibt nach wie vor die Situation bei der älteren Eiche und hier insbesondere in der Rhein-Main-Ebene. Die Kronenverlichtung der älteren Eiche hat landesweit um 5 %-Punkte auf 30 % zugenommen. In der Rhein-Main-Ebene liegt der Wert bei 39 %. Die Kronenverlichtung der Eiche wird erheblich durch das unterschiedlich stark ausgeprägte Vorkommen von blattfressenden Schmetterlingsarten (z.B. Frostspanner, Eichenwickler und Schwammspinner) bestimmt. Im Vergleich zum Vorjahr (23 %) hat sich der Anteil erkennbarer Fraßschäden durch Schmetterlingsraupen wieder stark erhöht (2012: 47%).
Zur Stabilisierung der Situation des Waldes im Rhein-Main-Gebiet soll der im August dieses Jahres eingerichtete „Runde Tisch zur Verbesserung der Grundwassersituation im Hessischen Ried" beitragen. Im Rahmen des Runden Tisches sollen die Möglichkeiten zur Wiederaufspiegelung des Grundwasserstandes in geschädigten Waldbeständen unter Berücksichtigung der vielfältigen Interessen abgewogen und Lösungsansätze ausgearbeitet werden.
Neben den Ergebnissen der Waldzustandserhebung sind in dieser Broschüre weitere aktuelle Informationen zum Insekten- und Pilzbefall, zum Klima und zur Witterung, zur Nährstoffversorgung unserer Wälder und zum Bodenzustand aufbereitet. Die Ergebnisse der Bodenzustandserhebung belegen beispielsweise, dass sich die Bodenschutzkalkung als wirksame Maßnahme zum Schutz des Waldbodens und zur Stabilisierung der Waldernährung bewährt hat. So ist durch die Kalkung unter anderem eine Erhöhung der Basensättigung (Calcium, Magnesium, Natrium usw.) in den obersten Bodenschichten festzustellen.
Was können wir für unsere Wälder tun?
Selbstverständlich müssen auch wir weiterhin mit extremen Witterungsereignissen rechnen. Damit diese nicht in Verbindung mit zusätzlichen Umweltbelastungen unseren Wäldern zu schaffen machen, gilt es vorzubeugen. Wir dürfen nicht nachlassen in unseren Bemühungen, die für unsere Wälder, aber auch für uns selbst schädlichen Stoffe in der Atmosphäre zu reduzieren. Die von der Hessischen Landesregierung eingeleitete Energiewende gilt es in diesem Zusammenhang und natürlich auch im Hinblick auf den Klimawandel konsequent umzusetzen. Der Verbrauch fossiler Energieträger muss deutlich zurückgefahren werden. Insgesamt ist Energiesparen angesagt. Die Energie, die wir nicht brauchen, ist die für uns und unsere Umwelt am besten geeignete.
Jeder von uns kann diese Bemühungen durch eigenes umwelt- und energiebewusstes Verhalten unterstützen. Machen Sie mit!

Mit freundlichen Grüßen
Ihre

Lucia Puttrich

Hessische Ministerin für Umwelt, Energie
Landwirtschaft und Verbraucherschutz

Wiesbaden, im November 2012

Hauptergebnisse

Der Kronenzustand des hessischen Waldes hat sich in 2012 mit einer mittleren Kronenverlichtung von 23 % im Vergleich zum Vorjahr um 3 %-Punkte verbessert.

Stark beeinflusst ist dieses Gesamtergebnis durch die erhebliche Verbesserung des Kronenzustandes der älteren Buche, aber auch Fichte und Kiefer zeigen sich leicht verbessert.
Die Verlichtung bei den älteren Bäumen hat sich von 31 % (2011) auf 28 % verringert, bei den jüngeren Bäumen hat sie von 12 % (2011) auf 9 % abgenommen.

Für die Gesamtentwicklung (alle Baumarten, alle Alter) seit 1984 zeigt sich 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 21 und 26 % festzustellen.

Die Baumarten im Einzelnen

Bei der älteren Buche zeigt sich im Vergleich zum Vorjahr eine erhebliche Verbesserung des Belaubungszustandes. Die mittlere Kronenverlichtung hat sich von 38 % im Jahr 2011 auf aktuell 30 % verringert. Diese Entwicklung steht auch im Zusammenhang mit der Fruchtbildung der Buche. Im Gegensatz zum letzten Jahr, in dem über 90 % der Buchen fruktifizierten, blieb eine Fruchtbildung in 2012 gänzlich aus.

Die Kronenverlichtung der älteren Eiche hat sich dagegen erhöht (2011: 25 %; 2012: 30 %). Maßgeblich dafür dürften erhöhte Schäden durch die Eichenfraßgesellschaft in 2012 gewesen sein.

Die Kronenverlichtung der älteren Fichte zeigt im Vergleich zum Vorjahr eine leichte Verbesserung (2011: 31 %; 2012: 28 %). Auch der Kronenzustand der älteren Kiefer verbesserte sich geringfügig (2011: 26 %; 2012: 24 %).

Absterberate

Die diesjährige Absterberate (alle Bäume, alle Alter) ist auf 0,4 % angestiegen. Sie liegt damit aber weiterhin auf einem insgesamt niedrigen Niveau. Im Beobachtungszeitraum (1984-2012) zeigen sich erhöhte Absterberaten jeweils nach Sturmwürfen, wie es das Beispiel für die Jahre 1990 bis 1995 belegt sowie nach Trockenjahren, wie es 2003 und die nachfolgenden beiden Jahre zeigen. Die durchschnittliche Absterberate liegt für den gesamten Beobachtungszeitraum bei nur 0,3 %.

Rhein-Main-Ebene

Die nach wie vor ungünstige Situation des Waldzustandes in der Rhein-Main-Ebene zeigt sich insbesondere am Beispiel der Eiche: Bei nahezu gleichem Ausgangsniveau zu Beginn der Zeitreihe hat sich die Kronenverlichtung der älteren Eiche in dieser Region von 15 % (1984) auf 39 % (2012) erhöht, im Land Hessen dagegen von 13 % auf 30 %.
Die Mehrzahl der Standorte in der Rhein-Main-Ebene mit tiefer liegendem Grundwasserflurabstand bzw. ohne Grundwasseranschluss (zusammen mehr als 60 % der Waldfläche) reagiert auf Klimaänderungen besonders empfindlich. Der Geländewasserhaushalt wird sich hier bis Ende des Jahrhunderts verschlechtern und der Trockenstress wird sich für die Bestände daher erhöhen.

Foto: H. Heinemann

Hauptergebnisse

Witterung

Die langjährigen Messreihen belegen eine deutliche Zunahme warmer Jahre seit Ende der 1980er Jahre. Ab 1988 wurde der langjährige Temperaturdurchschnittswert fast jedes Jahr sowohl in der Vegetationszeit (Mai-September) als auch in der Nichtvegetationszeit (Oktober-April) überschritten. Bei den gemessenen Niederschlagswerten in der Vegetationszeit wird im Zeitraum 1984-2012 keine klare Tendenz deutlich.
Die Waldbestände in Hessen sind mit einem Niederschlagsdefizit aus dem Winter 2011/2012 in ein trockenes, warmes und sonnenscheinreiches Frühjahr gestartet. Das Niederschlagsdefizit wurde erst durch überdurchschnittliche Niederschläge im Juni und Juli teilweise ausgeglichen.

Insekten und Pilze

Witterungsextreme in Kombination mit wiederholtem, starkem Insektenfraß können lokal starke Schäden an der Eiche auslösen. Auf vielfältige Weise wird dadurch die Wasserversorgung der Bäume beeinträchtigt. Zudem führen starker Blattfraß und nachfolgender Befall durch Mehltau dazu, dass betroffene Eichen nur wenige Wochen im Jahr eine intakte Belaubung aufweisen, mit der Folge stark verminderter Einlagerung von Reservestoffen und dem Rückgang funktionsfähiger Feinwurzeln.

Stoffeinträge

Durch Maßnahmen zur Luftreinhaltung wie Rauchgasentschwefelung bei Großfeuerungsanlagen und durch die Einführung von schwefelarmen Kraftstoffen ging der Sulfateintrag in die Wälder im Beobachtungszeitraum kontinuierlich zurück.
Der Rückgang der Stickoxid-Emissionen spiegelt sich erfreulicherweise auf allen Untersuchungsflächen in einem deutlich abnehmenden Nitrateintrag wider. Beim Ammoniumeintrag zeigt sich hingegen nach wie vor kein einheitlicher Trend. Während er im Hessischen Ried sowohl im Freiland als auch unter Waldbeständen von Buche, Eiche und Kiefer wesentlich abgenommen hat, nimmt er auf anderen Untersuchungsflächen tendenziell zu. 2011 betrug der Gesamtsäureeintrag im Mittel der 7 Buchenflächen 0,8 $kmol_c$ pro Hektar und 1,8 $kmol_c$ pro Hektar unter der Fichtenfläche in Königstein. Insbesondere unter Fichte übersteigt der Säureeintrag das nachhaltige Puffervermögen der meisten silikatarmen Waldstandorte.

Nährstoffbeeinflussung durch Vollbaumnutzung

Die NW-FVA unterstützt die Betriebe mit Nutzungsempfehlungen zur Intensität der Holznutzung mit dem Ziel der Wahrung der Nährstoffnachhaltigkeit der Waldböden. In einer Bewertung ist der Bedarf an Nährstoffen den jeweiligen Vorräten gegenüber zu stellen. Für Calcium und Kalium übersteigen bei der üblichen Nutzung stärkeren Holzes (Derbholz) auf einzelnen Flächen die Entzüge die nachschaffende Kraft der Verwitterung und der atmosphärischen Stoffeinträge. Sind die entsprechenden Nährstoffvorräte im Boden vergleichsweise hoch, bleibt dies unproblematisch.
Nur auf besser nährstoffversorgten Standorten kann eine Ernte der gesamten oberirdischen Baumbiomasse (Vollbaumnutzung) erfolgen. Mit der Vollbaumnutzung wird dem Wald im Vergleich zur konventionellen Derbholznutzung zusätzliche Biomasse entnommen. Dabei zeigen sich deutliche Unterschiede zwischen den Baumarten.

Bodenzustandserhebung

Die Ergebnisse der Bodenzustandserhebung (BZE II) zeigen, dass für gekalkte Standorte die Ziele der Bodenschutzkalkung (Schutz des Waldbodens vor weiterer Versauerung, Verhinderung einer in die Tiefe fortschreitenden Versauerung und die Verbesserung des Bodenzustandes) erreicht wurden. Auf ungekalkten ärmeren Standorten, vor allem bei der Substratgruppe Buntsandstein, verschlechterten sich die bodenchemischen Verhältnisse hingegen weiter, hier sollten Kalkungsmaßnahmen erste Priorität haben. Reiche, gut nährstoffversorgte Waldstandorte auf Basalt oder Muschelkalk veränderten sich hinsichtlich der durchschnittlichen Basensättigung kaum, dies gilt auch für arme Sande. Auf Lösslehm-, Tonschiefer- oder Grauwackestandorten sind zur Verbesserung des chemischen Zustandes im Oberboden Kalkungen sinnvoll, aber aufgrund der hohen Nährstoffreserven im Unterboden weniger dringend.

Foto: J. Evers

Forstliches Umweltmonitoring

Johannes Eichhorn, Uwe Paar und Inge Dammann

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 auch die gesellschaftlichen Erwartungen einem Wandel der Zeit unterliegen. 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 gesteuert werden, wenn sie in ihrem Zustand und in ihrer Veränderung zahlenmäßig darstellbar sind.

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

Wartung von Bodenfeuchtemessgeräten *Foto: H. Heinemann*

Das Forstliche Umweltmonitoring 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. In der Folgezeit hat sich das Forstliche Umweltmonitoring als inhaltlich flexibel und breit 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 (Level I seit 1984, Level II seit 1994) und die Orientierung an den dort definierten Standards ist ein hinsichtlich inhaltlicher Tiefe, räumlicher Repräsentanz, Langfristigkeit, Datenqualität und internationaler Vergleichbarkeit weltweit beispielhaftes Monitoringprogramm entstanden. Grundsätzlich werden im Forstlichen Umweltmonitoring waldflächenrepräsentative Übersichtserhebungen auf Rasterebene (Level I), die Intensive Dauerbeobachtung ausgewählter Waldökosysteme (BDF, Level II) sowie Forschungs- und Experimentalflächen unterschieden.

Das Konzept umfasst folgende Kategorien:

- Level I (Übersichtserhebungen)
- Bodendauerbeobachtungsflächen (BDF)
- Waldökosystemstudie Hessen (WÖSSH)
- Level II Standard
- Level II Core
- Forschungs- und 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 Erhebungen zu Kronen- und Baumzustand, abiotischen und biotischen Faktoren jährlich durchgeführt. Bei den Bodenzustandserhebungen werden zusätzlich Baumwachstum, Nadel-/Blattchemie, Bodenvegetation und der morphologische, physikalische und chemische Bodenzustand untersucht.
Das Monitoring auf Level II-Flächen (Standard) umfasst folgende Erhebungen:

- Kronen- und Baumzustand, abiotische und biotische Faktoren, Baumwachstum, Nadel-/Blattchemie, Bodenvegetation, Deposition sowie 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 werden hier folgende Untersuchungen zusätzlich durchgeführt:

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

Anhand von Übersichtserhebungen können frühzeitig Entwicklungen und Störungen aufgezeigt und Gegenmaßnahmen eingeleitet werden. Als erfolgreiches Beispiel ist hier die Bodenschutzkalkung zu nennen, die den Waldboden wesentlich vor

Forstliches Umweltmonitoring

anthropogenen Säureeinträgen schützt und zum Nährstoffhaushalt der Wälder positiv beiträgt. Das Intensive Monitoring ermöglicht einen viel genaueren Blick auf die Abläufe im Ökosystem und trägt wesentlich zum Verständnis der Entwicklungen bei. Im Falle von umweltpolitischen Maßnahmen ermöglicht das Monitoring insgesamt eine wirksame Kontrolle der Erfolge.

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; sowie zum Themenbereich Baumvitalität: Manual Part IV; Eichhorn et al. 2010) und der BZE-Arbeitsanleitung sowie dem Handbuch Forstliche Analytik 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 und Intensives Monitoring im Zuständigkeitsbereich der NW-FVA (Hessen, Niedersachsen, Sachsen-Anhalt und Schleswig-Holstein) zeigen die Karten unten.

Waldzustandserhebung – Methodik und Durchführung

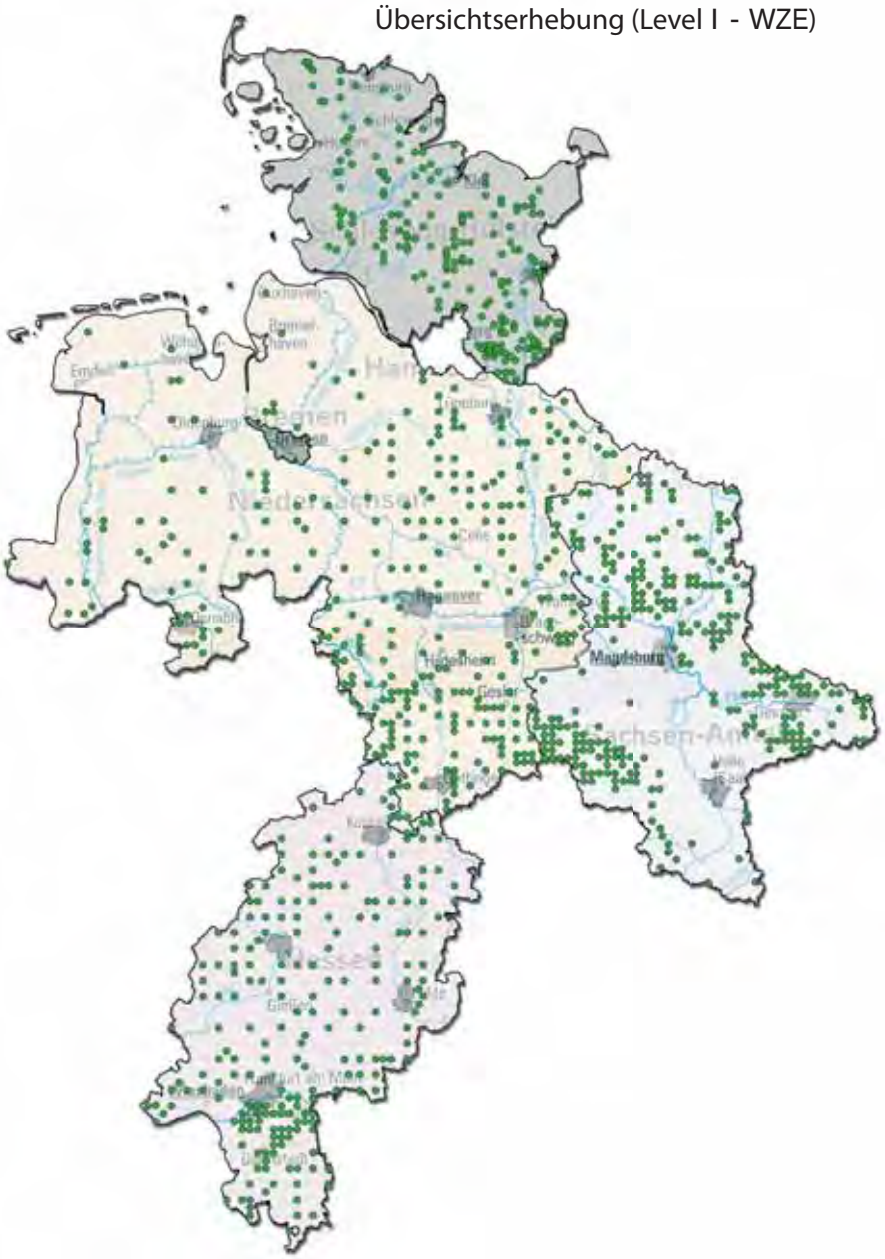
Die Waldzustandserhebung ist Teil des Forstlichen Umweltmonitorings der Nordwestdeutschen Forstlichen Versuchsanstalt. Sie liefert als Übersichtserhebung Informationen zur Vitalität der Waldbäume unter dem Einfluss sich ändernder Umweltbedingungen.

Aufnahmeumfang

Die Waldzustandserhebung erfolgt auf mathematisch-statistischer Grundlage. Auf einem systematisch über Hessen verteilten Rasternetz werden seit 1984 an jedem Erhebungspunkt Stichprobenbäume begutachtet. Im Zeitraum 1984 bis 1997 gehörten bis zu 697 systematisch angeordnete Stichprobenpunkte zur Waldzustandserhebung. Die Rasterweite des landesweiten Stichprobennetzes beträgt seit 1998 8 km x 8 km mit 139 Stichprobenpunkten, von denen im Jahr 2012 129 Erhebungspunkte mit 3096 Stichprobenbäumen in die Inventur einbezogen

Foto: H. Heinemann

Übersichtserhebung (Level I - WZE)



Forstliches Umweltmonitoring

werden konnten. Für die Rhein-Main-Ebene werden Erhebungen im Raster 4 km x 4 km mit 49 Stichprobenpunkten (1176 Bäume) durchgeführt. Dieser Aufnahmeumfang ermöglicht repräsentative Aussagen zum Waldzustand auf Landesebene und für das Wuchsgebiet Rhein-Main-Ebene sowie Zeitreihen für die Baumarten Buche, Eiche, Fichte und Kiefer. Im Jahr 2012 wurden die Daten der Waldzustandserhebung in Hessen in das Datenbanksystem ECO der NW-FVA integriert. Außerdem wurde die Anzahl der Stichprobenbäume am WZE-Punkt von 32 auf 24 reduziert, um eine Vereinheitlichung mit den Daten der übrigen Partnerländer zu erreichen. Alle in diesem Bericht verwendeten Abbildungen beruhen auf der Neuberechnung der Zeitreihen der Waldzustandserhebung seit 1984 anhand der konsistent vorliegenden Datenreihen. Dadurch kann es zu geringfügigen Ergebnisabweichungen gegenüber bisherigen Veröffentlichungen kommen.

Die häufigste Baumart in den hessischen Wäldern ist die Buche. In der Stichprobe der Waldzustandserhebung 2012 ist sie mit 36 % vertreten. Die Fichte nimmt einen Anteil von 20 % ein, die Kiefer von 19 % und die Eiche von 10 %. Andere Laub- und Nadelbaumarten nehmen 15 % der Stichprobe ein.

Teams der Waldzustandserhebung bei der jährlichen Schulung
Foto: H. Heinemann

Intensives Monitoring

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 Probebäumen wie der Vergilbungsgrad der Nadeln und Blätter, die aktuelle Fruchtbildung sowie Insekten- und Pilzbefall erfasst.

Mittlere Kronenverlichtung

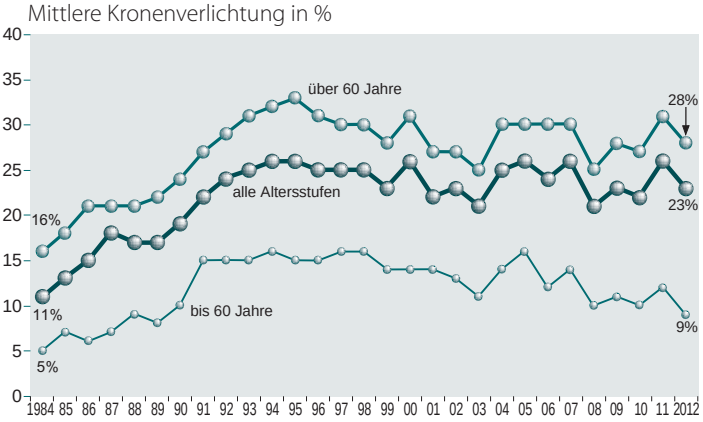
Die mittlere Kronenverlichtung ist der arithmetische Mittelwert der in 5 %-Stufen erhobenen Kronenverlichtung der Einzelbäume.

Alle Baumarten

Mittlere Kronenverlichtung

Der Kronenzustand des hessischen Waldes hat sich in 2012 mit einer mittleren Kronenverlichtung von 23 % im Vergleich zum Vorjahr um 3 %-Punkte verbessert.
Der Wert bei den älteren (über 60jährigen) Bäumen hat sich von 31 % (2011) auf 28 % verringert. Die Kronenverlichtung der jüngeren Bäume ist von 12 % (2011) auf 9 % zurückgegangen. Die Kronenverlichtung der Baumarten Buche, Fichte und Eiche liegt bei den älteren Bäumen mit einem Wert von etwa 30 % deutlich über dem Wert der Kiefer mit 24 %. Bei den jüngeren (bis 60jährigen) Bäumen zeigt im Vergleich besonders die Eiche hohe Blattverlustwerte.

Mittlere Kronenverlichtung in %



Anteil starker Schäden

Insgesamt liegt der Anteil starker Schäden (Kronenverlichtung über 60 %) über alle Baumarten und alle Alter mit durchschnittlich 3,5 % auf einem eher geringen Niveau. Der Anteil starker Schäden hat sich bei den älteren Bäumen von 5 % (2011) auf 4 % verringert. Bei den jüngeren Bäumen liegt der Anteil starker Schäden wie im Vorjahr bei nur 1 %. Die Zeitreihe zeichnet die beiden wesentlichen Ereignisse in der landesweiten Waldentwicklung der letzten 20 Jahre, die Stürme Wibke 1990 und den extremen Sommer 2003 klar nach. In beiden Fällen ist die Dauer der Nachwirkung der Ereignisse bemerkenswert.

Anteil starker Schäden, alle Baumarten, alle Alter in %

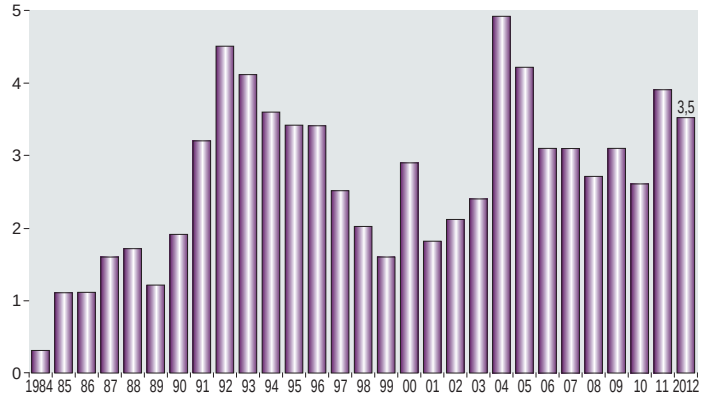


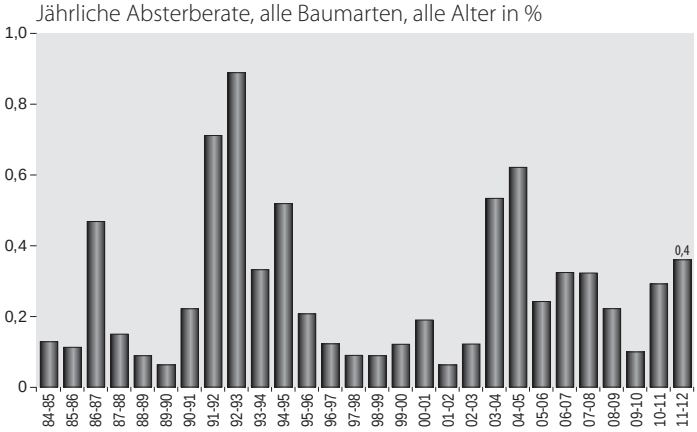
Foto: J. Evers

Alle Baumarten

Absterberate

Die Absterberate (alle Bäume, alle Alter) liegt 2011/2012 mit 0,4 % trotz Anstieg gegenüber dem Vorjahr auf einem geringen Niveau. Auch im langjährigen Mittel der Jahre 1984–2012 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.

Jährliche Absterberate, alle Baumarten, alle Alter in %



Vergilbungen

Vergilbungen der Nadeln und Blätter sind häufig ein Indiz für Magnesiummangel in der Nährstoffversorgung der Waldbäume. Mit Ausnahme des Jahres 1985 liegt der Anteil von Bäumen mit Vergilbungen der Blätter und Nadeln durchgehend auf einem eher geringen Niveau. Seit Mitte der 1990er Jahre gehen die Vergilbungserscheinungen nochmals deutlich zurück. Seit dieser Zeit wird dieses Merkmal nur noch vereinzelt festgestellt. Geringere Säureeinträge wie auch Bodenschutzkalkungen (u. a. Magnesiumzufuhr) auf großen Teilen der Waldfläche haben in Verbindung mit waldbaulichen Maßnahmen dazu beigetragen, das Auftreten dieser Mangelerscheinung zu reduzieren.

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

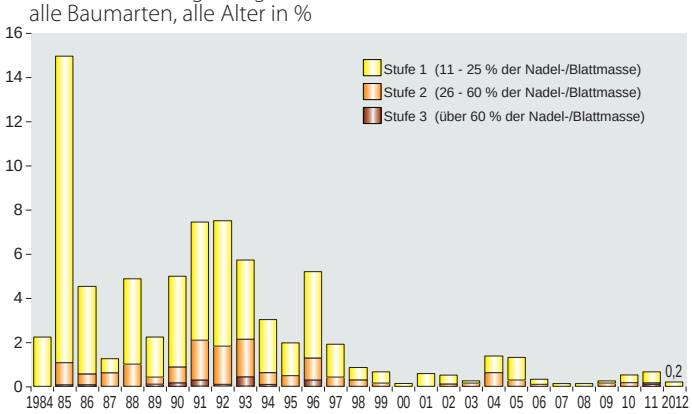


Foto: J. Evers

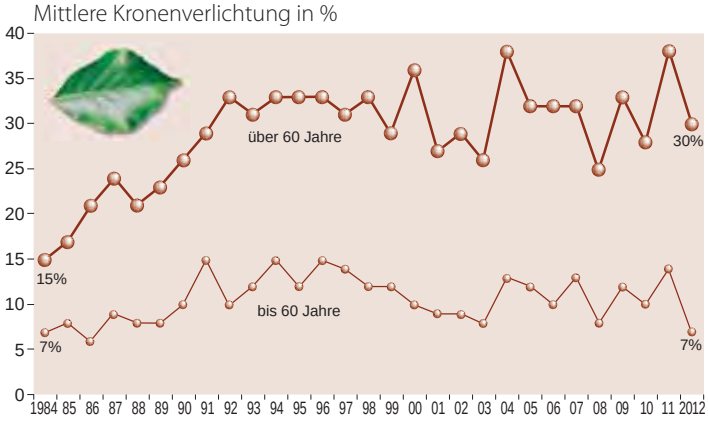
Buche

Ältere Buche

Bei der älteren Buche zeigt sich im Vergleich zum Vorjahr eine erhebliche Verbesserung des Kronenzustandes. Einhergehend mit dem Ausbleiben einer starken Fruchtbildung in 2012 (Anteil fruktifizierender Buchen im Alter über 60 Jahre: 0,1 %) – 2011 fruktifizierten über 90 % der älteren Buchen – hat sich die mittlere Kronenverlichtung von 38 % (2011) auf 30 % verringert.

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 Fruktifikationsereignisse Ursache für eine zunehmende Variabilität.

Mittlere Kronenverlichtung in %



Jüngere Buche

Bei der jüngeren Buche hat sich die mittlere Kronenverlichtung von 14 % (2011) auf 7 % verringert. Dies ist der niedrigste Wert seit 1986.

Absterberate

Die Buche weist im Vergleich der Hauptbaumarten seit 1984 die geringste Absterberate auf. Im Mittel liegt die Absterberate der Buche unter 0,1 %.

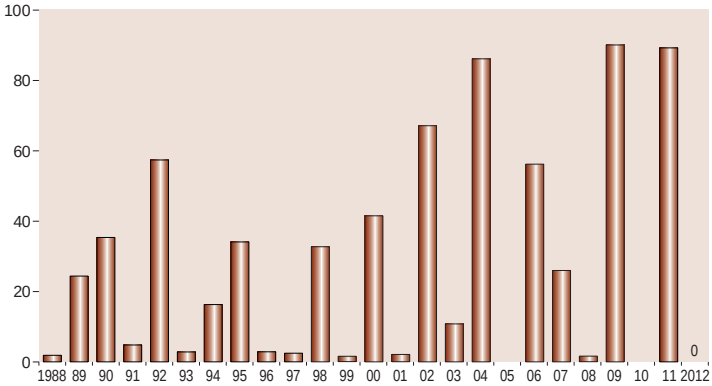
Foto: J. Evers

Foto: H. Heinemann

Fruchtbildung

Die Ergebnisse zur Fruchtbildung im Rahmen der Waldzustandserhebung zeigen für die Buche eine Tendenz in kurzen Abständen und vielfach intensiv zu fruktifizieren. Dies steht im Zusammenhang mit einer Häufung warmer Jahre sowie einer erhöhten Stickstoffversorgung der Bäume. Nach Jahren starker Fruktifikation folgt in charakteristischer Weise in der Regel ein Jahr geringer Fruchtbildung. Geht man davon aus, dass eine starke Mast erreicht wird, wenn ein Drittel der älteren Buchen mittel oder stark fruktifizieren, ergibt sich rechnerisch für den Beobachtungszeitraum 1988-2012 alle 2,8 Jahre eine starke Mast.

Relativer Anteil mittel und stark fruktifizierender älterer Buchen in %



Eiche

Ältere Eiche

Die Kronenverlichtung der älteren Eiche hat sich seit dem letzten Jahr um 5 %-Punkte erhöht (2011: 25 %; 2012: 30 %). Dabei wird der Verlauf der Kronenverlichung der Eiche stark durch das unterschiedlich ausgeprägte Vorkommen der Eichenfraßgesellschaft bestimmt.

Jüngere Eiche

Der Blattverlust der jüngeren Eiche liegt mit 21 % nahezu auf dem hohen Niveau des Vorjahres (22 %).

Starke Schäden

Der Anteil starker Eichenschäden (alle Alter) hat sich von 3 % (2011) auf 5 % erhöht.

Absterberate

Trotz lokal feststellbarer Absterbeprozesse liegt die Absterberate der Eiche auf dem repräsentativen Landesraster auch in 2012 bei einem niedrigen Wert von 0,3 %.

Foto: T. Friedhoff

Mittlere Kronenverlichtung in %

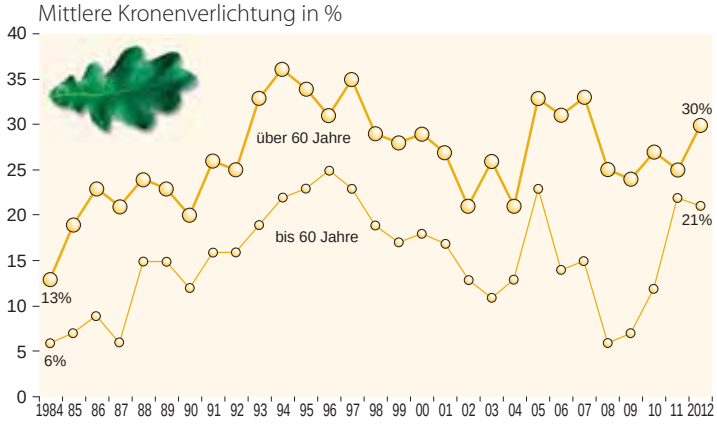


Foto: NW-FVA

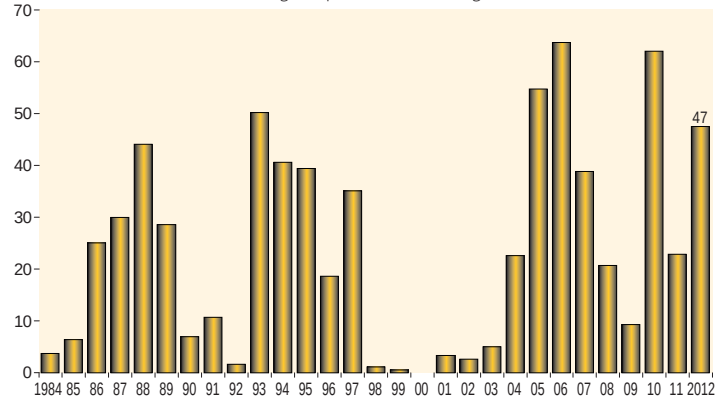
Fraßschäden

Nach den starken Fraßschäden durch blattfressende Schmetterlingsraupen in der 2. Hälfte der 1980er Jahre und Mitte der 1990er Jahre zeigte sich seit 2004 eine erneute Periode einer ausgeprägten Gradation der so genannten Eichenfraßgesellschaft.

Im Vergleich zum Vorjahr (23 %) hat sich der Anteil der erkennbaren Fraßschäden durch blattfressende Schmetterlingsraupen wieder erhöht (2012: 47 %). Das Ausbleiben von mehrjährigen Erholungsphasen wirkt sich insgesamt negativ auf den Belaubungszustand der Eichen aus.

Die jährliche Dauerbeobachtung der Wälder unterstützt zeitnah die Erkenntnisse über Schadinsekten und Pilze für den Wald des Landes Hessen.

Anteil erkennbarer Fraßschäden an älteren Eichen
(blattfressende Schmetterlingsraupen = Eichenfraßgesellschaften) in %



Fichte

Ältere Fichte

Bei der älteren Fichte hat sich die mittlere Kronenverlichtung von 31 % (2011) auf 28 % verringert.

Jüngere Fichte

Auch bei der jüngeren Fichte hat sich die mittlere Kronenverlichtung von 10 % (2011) auf 9 % (2012) geringfügig verringert.

Starke Schäden

Bei der Fichte war der Anteil starker Schäden nach dem Trockenjahr 2003 von 1 % auf bis zu 4 % in 2005 angestiegen. In 2012 zeigen dagegen nur 1 % der Fichten starke Schäden.

Absterberate

Die Absterberate der Fichte liegt im Mittel der Jahre 1984-2012 bei 0,4 %. Im Anschluss an die Sturmwürfe Anfang der 1990er Jahre und 2007 sowie nach dem Trockenjahr 2003 wurden für einige Jahre erhöhte Absterberaten ermittelt. In 2012 liegt die Absterberate bei 0,7 %.

Foto: J. Evers

Mittlere Kronenverlichtung in %

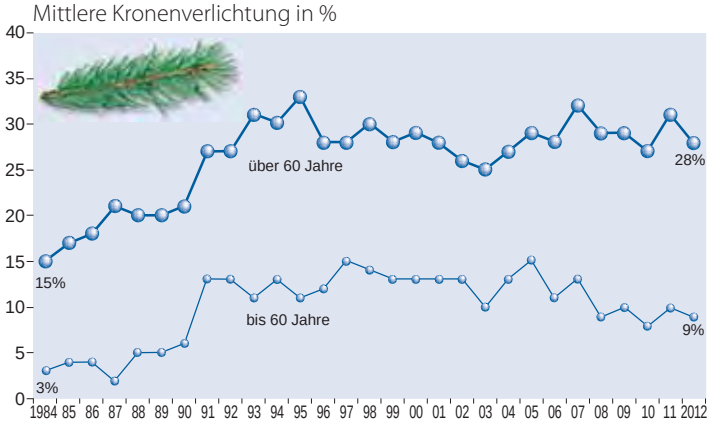
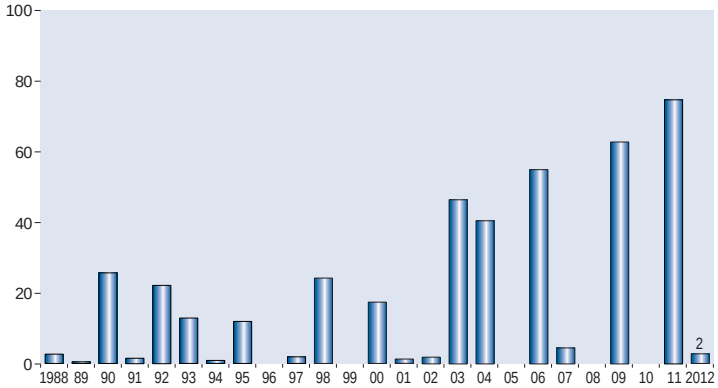


Foto: T. Friedhoff

Fruchtbildung

Die Fruchtbildung der Fichte zeigt Parallelen zum Fruchtbildungsrhythmus der Buche. Die Zeitreihe der Fichte belegt, dass die Intensität der Fruchtbildung im Beobachtungszeitraum seit Ende der 80er Jahre bis 2012 deutlich zugenommen hat. Während im Zeitraum 1988 bis 2002 keine starken Masten (mehr als ein Drittel der älteren Fichten weist mittlere und starke Fruchtbildung auf) auftraten, war dies von 2003 bis 2012 fünfmal der Fall. Rechnerisch ergibt sich für den Zeitraum 1988 bis 2012 alle 5 Jahre eine starke Mast, für den Zeitraum ab 2003 alle 2 Jahre.

Relativer Anteil mittel und stark fruktifizierender älterer Fichten in %



Kiefer

Ältere Kiefer

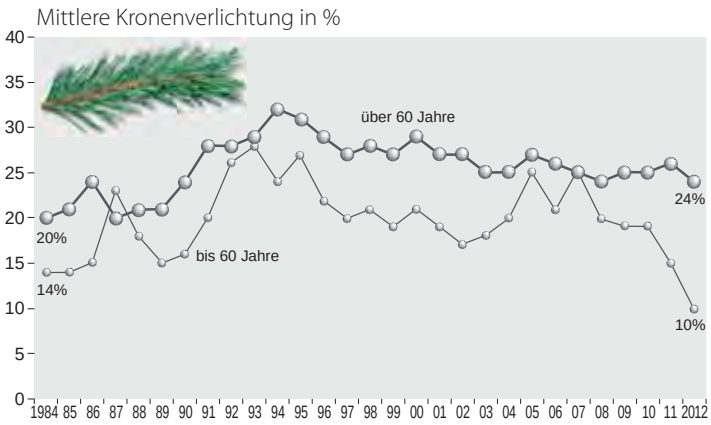
Die mittlere Kronenverlichtung der älteren Kiefer hat sich von 26 % (2011) auf 24 % geringfügig verbessert. Insgesamt zeigt die ältere Kiefer – im Vergleich zu den anderen Hauptbaumarten – während des Beobachtungszeitraums den geringsten Anstieg der Kronenverlichtung.

Jüngere Kiefer

Die mittlere Kronenverlichtung der jüngeren Kiefer hat sich von 15 % (2011) auf 10 % deutlich verbessert. Aktuell wird damit der bislang niedrigste Wert der Zeitreihe seit 1984 festgestellt.

Starke Schäden

Der Anteil starker Schäden liegt bei der Kiefer im langjährigen Mittel bei 3 %. Nach dem Trockenjahr 2003 hatte sich der Anteil von 3 % (2003) in der Folgezeit bis 2007 auf 5 % erhöht. In diesem Jahr beträgt der Anteil deutlicher Schäden 4 %.



Absterberate

Die Absterberate der Kiefer schwankt im Erhebungszeitraum zwischen 0 und 2 %. In 2012 liegt sie bei 0,9 %.

Foto: NW-FVA

Wald in der Rhein-Main-Ebene

Die Befunde der Waldzustandserhebungen belegen für die Rhein-Main-Ebene im Vergleich zu Gesamthessen einen grundsätzlich ungünstigeren Vitalitätszustand.

Eichen zählen zu den charakteristischen Bäumen dieser Region, die an die dortigen Klimabedingungen grundsätzlich gut angepasst sind. Die Ergebnisse verdeutlichen jedoch gerade für die Eiche, dass diese Baumart besonders belastet ist.

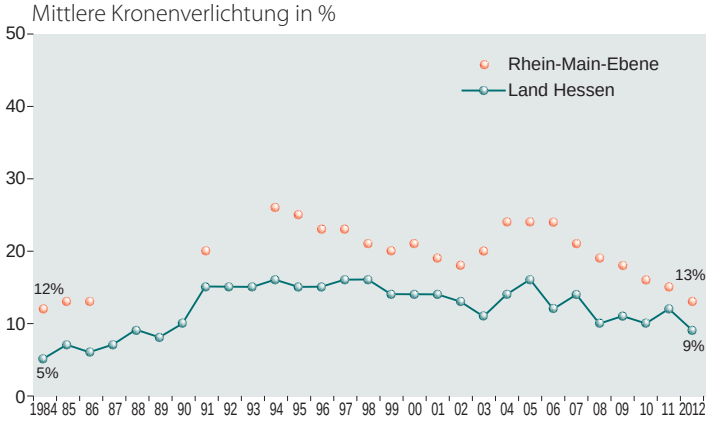
Bei nahezu gleichem Ausgangsniveau zu Beginn der Zeitreihe hat sich die Kronenverlichtung der älteren Eiche in der Region von 15 % (1984) auf 39 % (2012) erhöht, im Land Hessen dagegen von 13 % auf 30 %.

Für die Eiche, wie auch für andere Baumarten in der Rhein-Main- Ebene, zeichnet sich während der letzten Jahre allerdings ein leichter Trend der Besserung des Kronenzustandes ab.
Während um 2005 besonders hohe Anteile an älterer Eiche mit starken Kronenverlichtungen (Blattverluste von mehr als 60 %) festzustellen waren (2004: 19 %; 2005: 24 %, 2006: 19 %, 2007: 23 %, 2008: 18 %), reduzierte sich dieser Wert 2012 auf 11 %. Ein nach wie vor hoher Wert, denn für Gesamthessen liegt der Durchschnitt für den Beobachtungszeitraum bei nur 3 %.

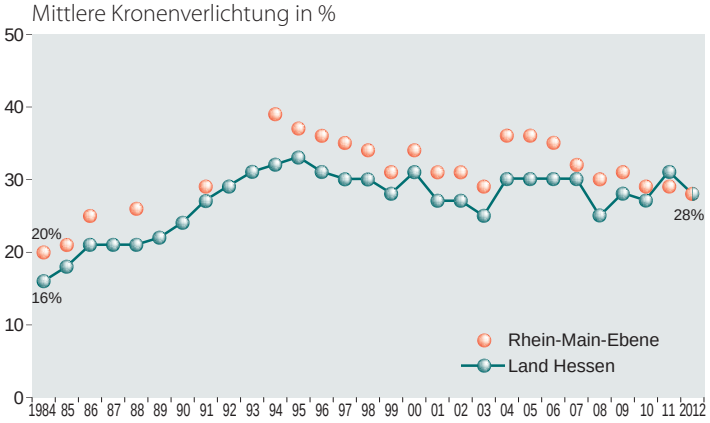
Bereits im Rahmen der ersten Aufnahme zum Mistelbefall an der Kiefer im Jahr 2002 wurde für ca. ein Drittel der Kiefern in der Rhein-Main-Ebene Mistelbefall festgestellt. Seitdem erhöhte sich der Anteil von Kiefern mit Mistelbefall auf 37 %. Zwar ist die Mistel als natürlicher Begleiter von Wäldern anzusehen, ihr gehäuftes Vorkommen kann jedoch als Hinweis auf ökologische Ungleichgewichte interpretiert werden.

Mistelbefall *Foto: T. Ullrich*

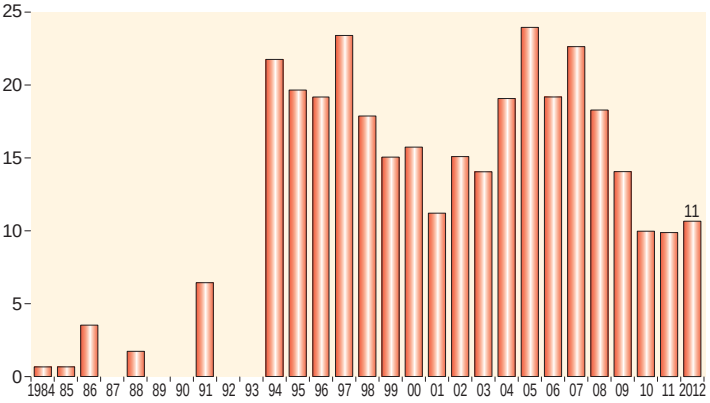
Alle Baumarten, bis 60 Jahre
Mittlere Kronenverlichtung in %



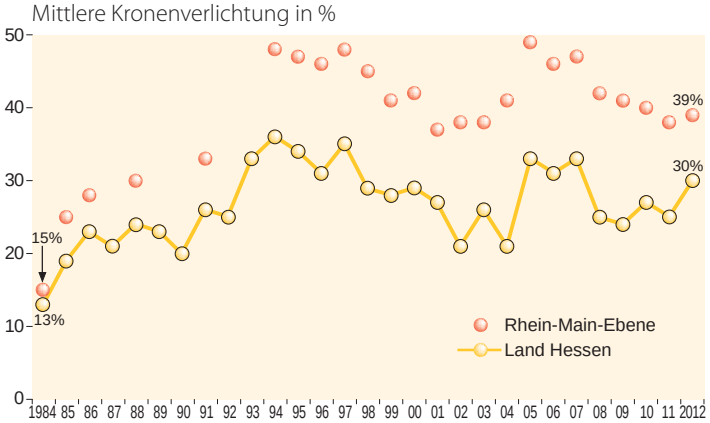
Alle Baumarten, über 60 Jahre
Mittlere Kronenverlichtung in %



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



Eiche, über 60 Jahre
Mittlere Kronenverlichtung in %



Witterung und Klima

Uwe Paar und Olaf Schwerdtfeger

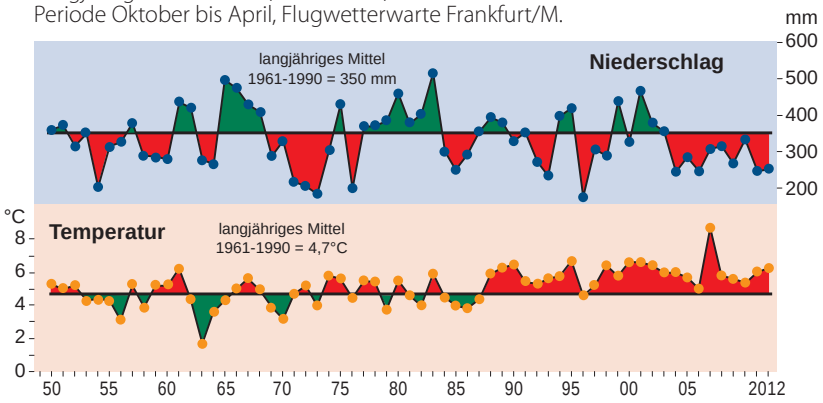
Der Witterungsverlauf für Hessen wird anhand von Daten des Deutschen Wetterdienstes (DWD) beschrieben. Grundlage bilden zum einen die Messergebnisse der Flugwetterwarte Frankfurt, für die hessenweit seit 1949 die längsten Temperatur- und Niederschlags-Datenreihen vorliegen, und zum anderen die seit 1984 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.

Temperatur und Niederschlag im langjährigen Verlauf

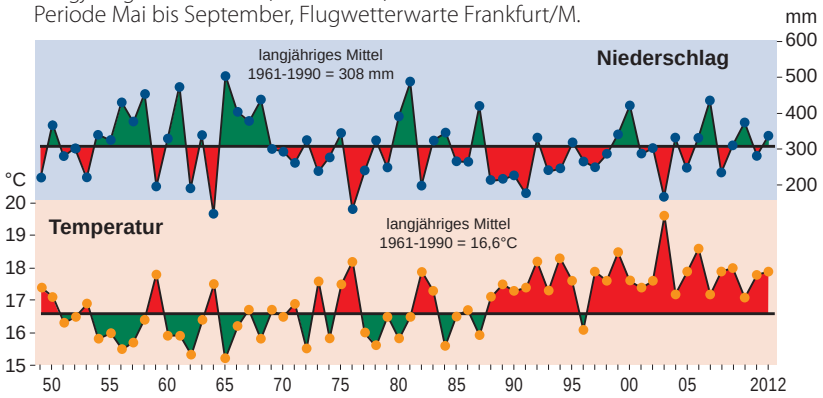
Ein Blick auf die langjährigen Messreihen der Flugwetterwarte Frankfurt wie auch auf die Mittelwerte der Buchenmischwaldzone zeigt eine deutliche Zunahme warmer Jahre seit Ende der 1980er Jahre. Ab 1988 wurde der langjährige Temperaturdurchschnittswert fast jedes Jahr sowohl in der Vegetationszeit (Mai-September) als auch in der Nichtvegetationszeit (Oktober-April) überschritten. Eine Ausnahme bildet das Jahr 1996 mit in der Vegetationszeit wie in der Nichtvegetationszeit hessenweit leicht unterdurchschnittlichen Temperaturen. Bei den im Zeitraum 1984-2012 gemessenen Niederschlagswerten in der Vegetationszeit wird keine klare Tendenz deutlich. Zwischen den einzelnen Jahren bestehen z. T. starke Schwankungen.

Foto: M. Schmidt

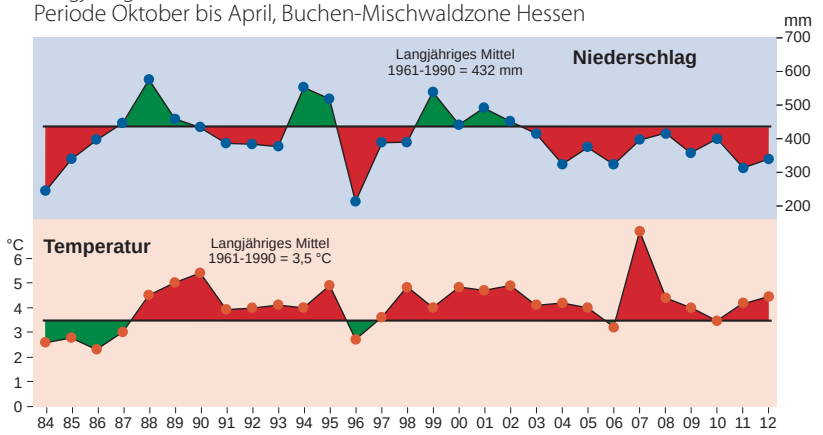
Langjährige Klimawerte (1949 - 2012)
Periode Oktober bis April, Flugwetterwarte Frankfurt/M.



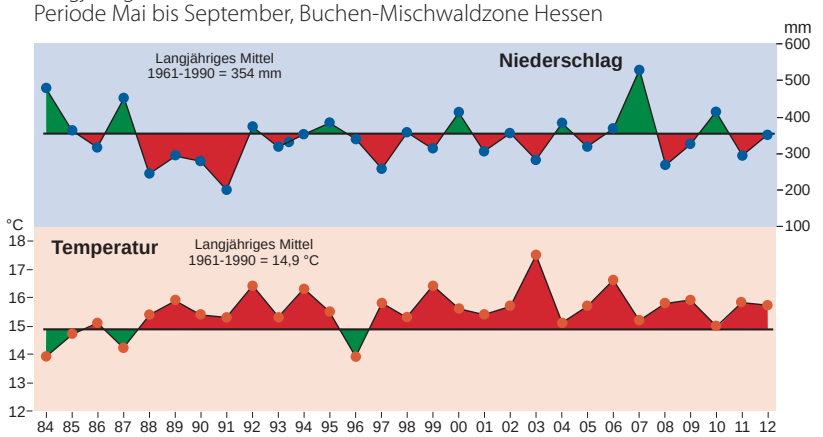
Langjährige Klimawerte (1949 - 2012)
Periode Mai bis September, Flugwetterwarte Frankfurt/M.



Langjährige Klimawerte (1984 - 2012)
Periode Oktober bis April, Buchen-Mischwaldzone Hessen



Langjährige Klimawerte (1984 - 2012)
Periode Mai bis September, Buchen-Mischwaldzone Hessen



Daten des Deutschen Wetterdienstes, Offenbach

Witterung und Klima

Witterungsverlauf von Oktober 2011 bis September 2012

Die Temperaturen in der Nichtvegetationszeit 2011/2012 waren überdurchschnittlich. Zwar war der Monat Februar 2012 im Durchschnitt über 3° C kälter als im langjährigen Mittel, die übrigen Monate waren jedoch deutlich zu warm. Die Niederschlagsmengen in der Nichtvegetationszeit 2011/2012 erreichten insgesamt nur 73 % des langjährigen Mittels der Jahre 1961 bis 1990. Besonders ausgeprägt waren die Defizite in den Monaten November, Februar und März. Lediglich Dezember und Januar zeigten überdurchschnittliche Niederschläge.

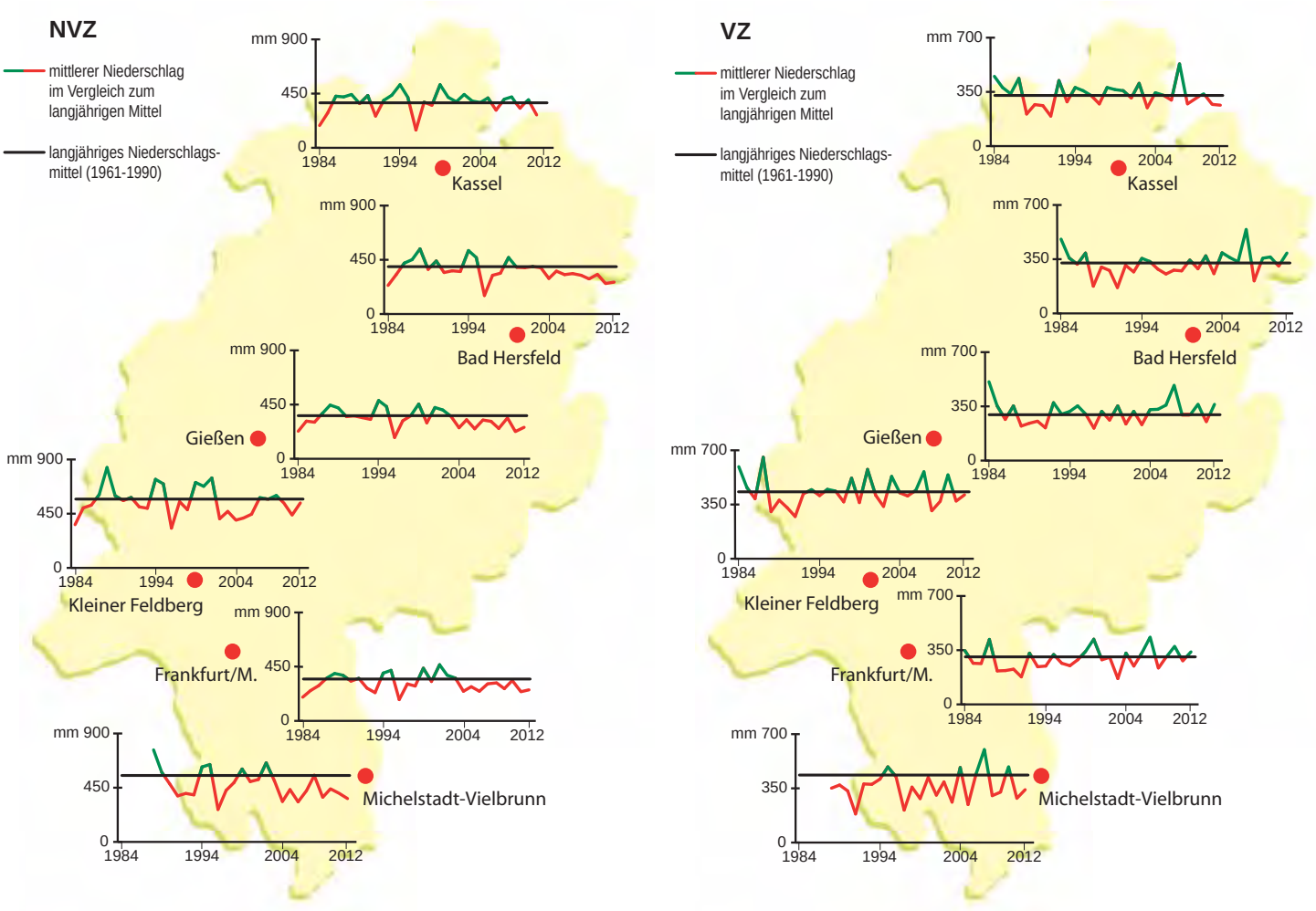
Die Vegetationszeit 2012 war um 0,7° C wärmer als im Durchschnitt; es wurden insgesamt durchschnittliche Niederschläge gemessen, wobei hohe Niederschlagsmengen in den Monaten Juni (125 %) und Juli (144 %) fielen.

Wie schon in den vorangegangenen Jahren waren auch in der Periode Oktober 2011 bis September 2012 einige Extreme im Witterungsverlauf zu beobachten: Der November 2011 war deutschlandweit der trockenste November seit 1901. Der März 2012 war sowohl der drittmildeste (+3,4° C über dem langjährigen Mittel in Deutschland) als auch der dritttrockenste März seit 1901. Die Frühlingsmonate 2012 wurden vom Deutschen Wetterdienst als die 7. wärmsten und 6. trockensten seit Beginn des 20. Jahrhunderts eingestuft.

Foto: T. Ullrich

Die Waldbestände in Hessen sind mit einem Niederschlagsdefizit aus dem Winter 2011/2012 in ein trockenes, warmes und sonnenscheinreiches Frühjahr gestartet. Das Niederschlagsdefizit wurde erst durch überdurchschnittliche Niederschläge im Juni und Juli teilweise ausgeglichen.

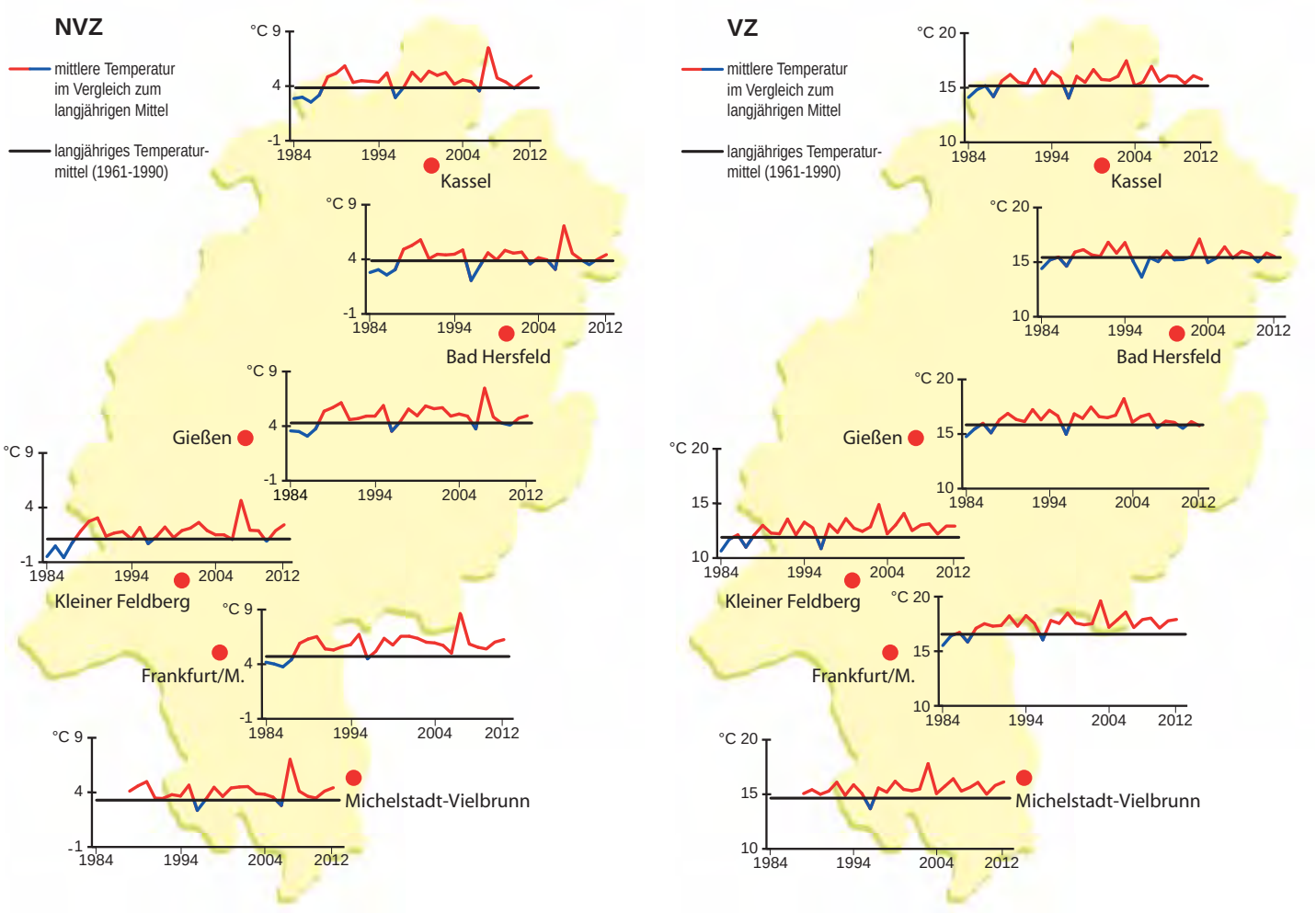
Niederschlagsentwicklung in der Nichtvegetationszeit (NVZ) und in der Vegetationszeit (VZ)



Witterung und Klima

Foto: H. Heinemann

Temperaturentwicklung in der Nichtvegetationszeit (NVZ) und in der Vegetationszeit (VZ)



Daten des Deutschen Wetterdienstes, Offenbach

Trockenstress

Wuchsverhalten der Buche infolge von Witterungsextremen

Markus Wagner, Johannes Sutmöller, Johannes Eichhorn

In Folge des Klimawandels wird neben einem ganzjährigen Temperaturanstieg eine Verlagerung der Niederschläge vom Sommer in den Winter angenommen, wodurch mit einer Ausdehnung und Häufung von Trockenperioden während der Sommermonate zu rechnen ist. Dies wird durch die Messdaten der letzten Jahre bestätigt. Trotz der nahezu idealen Wuchsbedingungen muss daher auch für die Buche in Hessen mit einer Erhöhung des Trockenstressrisikos gerechnet werden. Trockenstress führt zu Schädigungen der Pflanzenstruktur und beeinflusst pflanzliche Prozesse, was eine Erhöhung der Sterblichkeitsrate sowie eine Abnahme der Vitalität und des Wachstums zur Folge haben kann. Letzteres gilt es insbesondere vor dem Hintergrund eines zunehmenden Nutzungsbedarfs der Buche, z. B. für regenerative Energien, zu beachten. Um Ursache und Wirkung von Trockenstress bei Buchen genauer zu verstehen und das zukünftige Risikopotential besser abschätzen zu können, fördert das Hessische Landesamt für Umwelt und Geologie von 2009 bis 2014 ein entsprechendes Projekt im Rahmen von INKLIM A. Ein Fallbeispiel aus dem nordhessischen Zierenberg zeigt die nachfolgenden Ergebnisse:

Die Wasserversorgung der Bäume wird wesentlich durch drei Faktoren gesteuert. Die Wasserzufuhr erfolgt über das Bodenwasser, welches wiederum aus dem Niederschlag gespeist wird. Die Abgabe von Wasser resultiert vor allem über den Verdunstungsprozess der Bäume (Transpiration). Als Maß für die Wasserversorgung lassen sich daraus neben der Niederschlagsmenge der relative Gehalt pflanzenverfügbaren Bodenwassers und die relative Verdunstung ableiten.

Als Reaktion auf eine unzureichende Wasserversorgung kommt es häufig zu einem Einbruch des Wachstums der Bäume. Solche Zusammenhänge lassen sich besonders gut an Extremjahren mit sehr trockenen und warmen Bedingungen während der Vegetationsperiode erkennen - wie 1976 und 2003. Die Vegetationsperiode 1976 zählt zu den drei trockensten sowie den drei wärmsten während der Klimanormalperiode 1961 bis 1990. Die Vegetationsperiode 2003 weist die höchste Temperatursumme und die zweitniedrigste Niederschlagssumme zwischen 1990 und 2009 auf. In beiden Jahren führte dies zu einer starken Austrocknung des Bodens mit einem durchschnittlichen relativen pflanzenverfügbaren Bodenwassergehalt von unter 50 % während der Vegetationszeit. Bei den Buchen waren die geringsten Zuwächse der vergangenen 50 Jahre die Folge. Traten diese 1976 erwartungsgemäß im selben Jahr auf, zeigten sich bezüglich des Trockenjahrs 2003 erst im Folgejahr 2004 massive Zuwachsrückgänge (siehe Abb. S. 19). Die Gründe für ein Ausbleiben des Zuwachseinbruchs 2003 zeigen sich bei einer genaueren Betrachtung der Vegetationsperiode. Bis Ende Juli ergeben sich im Vergleich zu 2004 deutlich höhere Zuwächse.

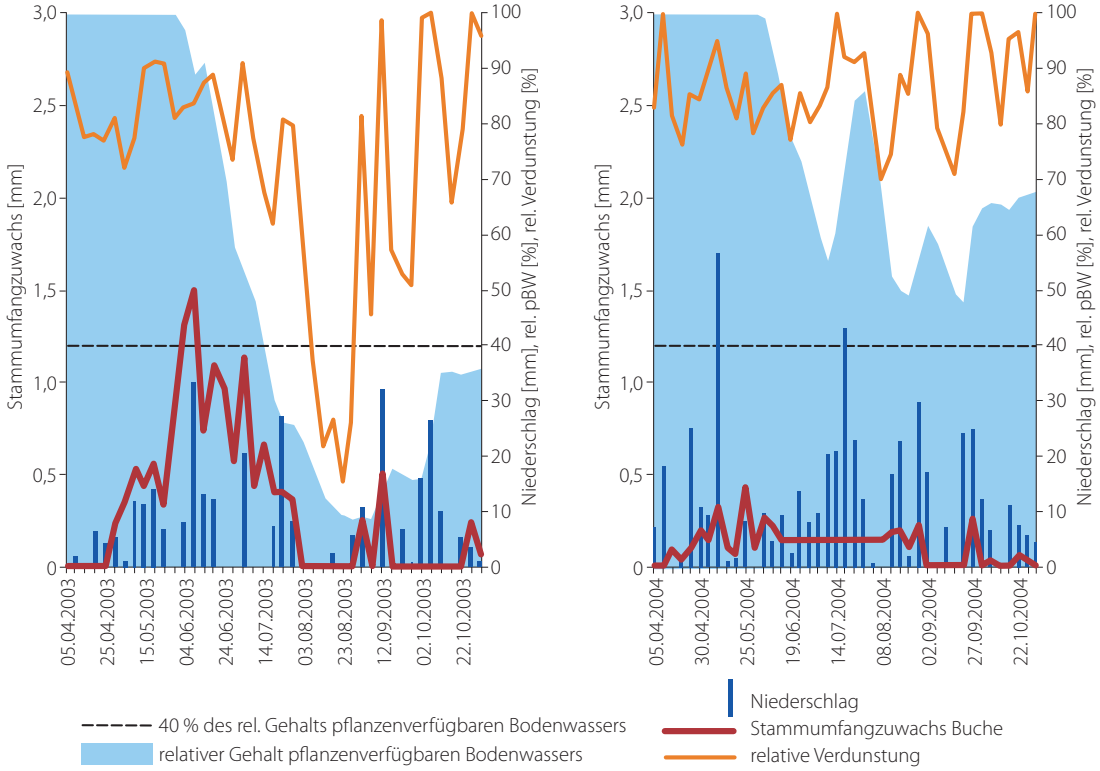
Foto: T. Ullrich

Trockenstress

Ein Wachstumseinbruch ist erstmals um den 20. Juli 2003 deutlich zu erkennen, obwohl von Mitte Juni bis Mitte Juli nur wenig Niederschlag zu verzeichnen ist. Erst nachdem der relative pflanzenverfügbare Bodenwassergehalt unter einen Wert von etwa 40 % fällt, treten Wachstumsunterbrechungen auf. Wachstum erfolgt von da an nur noch vorübergehend und in direkter Verbindung mit Niederschlagsereignissen. Die relative Verdunstung fällt genau in solchen Phasen der Wachstumsunterbrechung auf unter 60 % und eignet sich daher ebenfalls gut als Indikator für Wassermangel.

Das Stammumfangwachstum bei Buchen erfolgt üblicherweise zu einem großen Teil in der ersten Hälfte der Vegetationsperiode bis Ende Juli. Bis zu diesem Zeitpunkt ist die Wasserverfügbarkeit jedoch ausreichend und der Zuwachs kann dadurch 2003 ein normales Niveau erreichen. Dagegen wird aufgrund einer deutlich geringeren Zuwachsleistung in der ersten Hälfte der Vegetationsperiode 2004 in diesem Jahr nur etwa ein Drittel des Stammumfangzuwachses des Vorjahres erreicht, obwohl der relative pflanzenverfügbare Bodenwassergehalt und die relative Verdunstung zu keinem Zeitpunkt ein kritisches Niveau unterschreiten. Das Jahr 2004 ist als so genanntes Mastjahr durch die Bildung außergewöhnlich vieler Früchte gekennzeichnet, was zu einer Verringerung der Holzproduktion der Buchen führte.

Foto: H. Heinemann



Niederschlag, relativer Gehalt pflanzenverfügbaren Bodenwassers (Anteil des aktuellen am maximalen pflanzenverfügbaren Bodenwasser, rel. pBW) bis 1 m Bodentiefe und relative Verdunstung (Anteil der aktuellen an der potentiellen Verdunstung, rel. Verdunstung) als Kriterien der Wasserversorgung sowie der Stammumfangzuwachs von Buchen für die Intensivmonitoringfläche Zierenberg 2003 und 2004 (jeweils April bis Oktober, Auflösung 5-tägig).

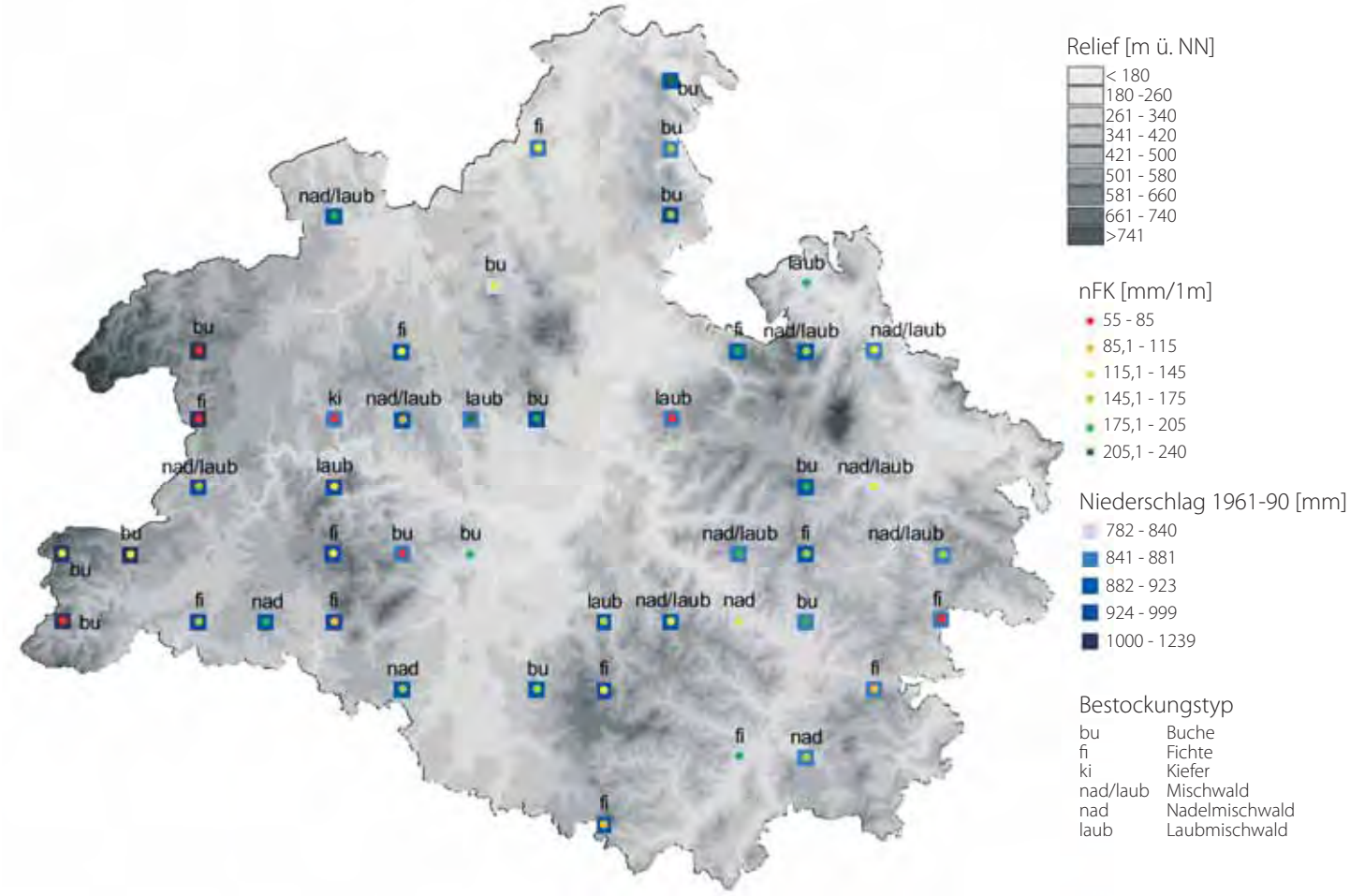
Klimawandel in Nordhessen

Analyse der Wirkungen und Ableitung von Anpassungsstrategien für die Forstwirtschaft am Beispiel der Wälder im Einzugsgebiet der Fulda (AnFor) (KLIMZUG)

Caroline Fiebiger

Das Projekt ist eines von 27 Teilprojekten des Verbundvorhabens „Klimawandel zukunftsfähig gestalten (KLIMZUG)/Klimawandel in Nordhessen". Ziel des Teilprojektes der NW-FVA (AnFor) ist die Erarbeitung waldbaulicher Entscheidungshilfen unter sich wandelnden Klimabedingungen.
Dazu werden mit dem Wasserhaushaltsmodell WaSiM/ETH Änderungen des Wasserhaushalts ausgewählter Waldbestände (Raster der BZE II) ermittelt. Eine ausführliche Beschreibung des Projektes ist unter www.klimzug-nordhessen.de zu finden.
Die Ergebnisse der Wasserhaushaltsmodellierung zeigen, dass die betrachteten Waldstandorte im landesweiten Vergleich gut wasserversorgt sind. Selbst am trockensten Standort fallen im Mittel 780 mm Niederschlag im Jahr. Trotzdem trat bereits unter bisherigen Klimabedingungen (Klimanormalperiode 1961-1990) auf den Standorten in Nordhessen Trockenstress auf.
Als Indikator für Trockenstress wird im Folgenden der Gehalt an pflanzenverfügbarem Bodenwasser verwendet. Sinkt diese Größe unter 40 %, ist vor allem bei den Baumarten Buche und Fichte mit trockenstressbedingten Reaktionen wie z. B. reduziertem Wachstum zu rechnen. Die Häufigkeit des Auftretens von Trockenstress ist nicht von einzelnen Standortsmerkmalen

Foto: J. Evers



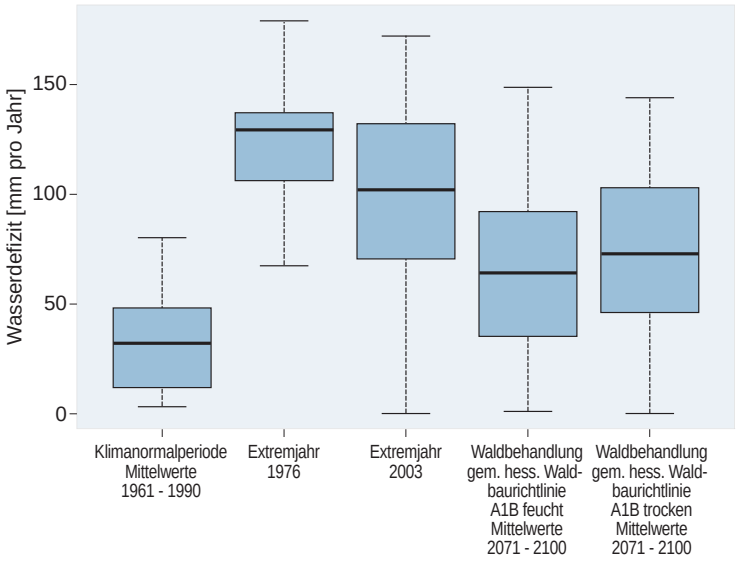
BZE-Punkte im Untersuchungsgebiet Nordhessen mit Angaben zu mittleren Jahresniederschlägen (1961-1990), pflanzenverfügbarem Bodenwasserspeicher (nFK, bezogen auf 1 m Tiefe) sowie Bestockungstyp.

abhängig, sondern von einer Kombination aus dem (substratbedingten) Bodenwasserspeichervermögen (nFK), der Niederschlagsmenge und Temperatur, der Baumart, dem Alter und dem Bestockungsgrad des Bestandes.
Als Defizit wird die Wassermenge bezeichnet, die fehlt, um im Vegetationsverlauf den Bodenwassergehalt nicht unter 40 % der pflanzenverfügbaren Menge sinken zu lassen. Für die Standortsvergleichbarkeit wird nur der oberste Meter der Böden betrachtet. Ein weiterer Index ist die Anzahl an Tagen pro Jahr, an denen ein Defizit auftritt.
Das höchste Defizit im modellierten Zeitraum trat im Jahr 1976 auf. Dieser Wert liegt auf allen Flächen deutlich über dem langjährigen Mittel. Auch im Extremjahr 2003 traten überdurchschnittlich hohe Wasserdefizite auf. Im Folgejahr, teilweise auch noch 2005, waren besonders bei Buchen und Fichten reduzierte Zuwächse und Blattmassen festzustellen. Die Trockenperiode 1976 war jedoch sowohl in ihrer Intensität als auch in ihrer Dauer extremer als die 2003 (siehe Abb. rechts) und führte an allen betrachteten Standorten zu hohen Wasserdefiziten. Vielerorts führte der Trockenstress zu nachhaltigen Schäden an Bäumen bis hin zum Absterben.
Ein wesentlicher Schwerpunkt des Projektes KLIMZUG ist die Betrachtung von Zukunftsszenarien und damit die Abschätzung künftiger Trockenstressrisiken. Für die Modellierung wurden folgende Annahmen getroffen:

- Das Klima entwickelt sich gemäß dem regionalen Klimamodell WettReg 2006, mittleres Szenario A1B trocken bzw. feucht (Grundlage: ECHAM 04). Demnach würde es bis zum Jahr 2100 in Nordhessen zu einer Temperaturerhöhung von ca. 2,5 °C kommen. Die Niederschläge wären in der Jahressumme etwas höher (~ 70 mm pro Jahr bei A1B feucht) bzw. etwas niedriger (~ 60 mm pro Jahr bei A1B trocken) als die der Klimanormalperiode 1961-1990, würden aber vermehrt in den Wintermonaten fallen, so dass die Vegetationszeiten trockener würden. Ein umfassender Bericht zum Regionalisierungsverfahren WETTREG-2006 ist auf den Internetseiten des UBA zu finden.
- Die Waldbestände werden gemäß der Hessischen Waldbaurichtlinie bewirtschaftet.

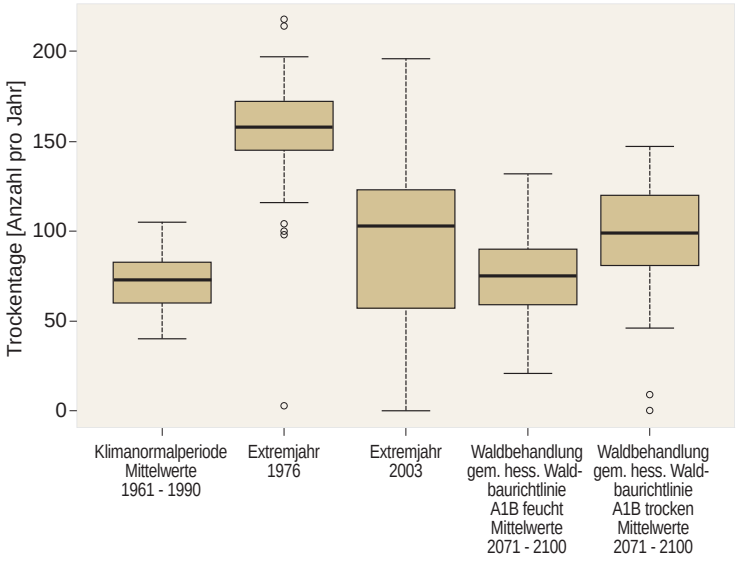
Foto: J. Evers

Wasserdefizit auf BZE-Punkten in Nordhessen



Entwicklung des Wasserdefizits an nordhessischen BZE-Punkten unter Annahme des WettReg-Szenarios A1B, Varianten trocken und feucht (Mittel der Jahre 2071-2100) und einer Waldbehandlung gemäß hessischer Waldbaurichtlinie (Hess. Wbrl.) im Vergleich zur Klimanormalperiode (1961-1990) und den Extremjahren 1976 und 2003.

Anzahl Trockentage auf BZE-Punkten in Nordhessen



Entwicklung der Anzahl von Trockentagen an nordhessischen BZE-Punkten unter Annahme des WettReg-Szenarios A1B, Varianten trocken und feucht (Mittel der Jahre 2071-2100) und einer Waldbehandlung gemäß hessischer Waldbaurichtlinie (Hess. Wbrl.) im Vergleich zur Klimanormalperiode (1961-1990) und den Extremjahren 1976 und 2003.

Unter diesen Annahmen ergibt die Modellierung, dass das Trockenstressrisiko für 2071 bis 2100 bei beiden Klimaszenarien deutlich ansteigt, was mit den höheren Temperaturen und damit einer höheren Verdunstung zu erklären ist. Durch die geringeren Niederschläge bei Szenario A1B trocken werden hier etwas höhere Wasserdefizite und mehr Trockentage berechnet als bei Szenario A1B feucht. Im Vergleich zum Mittel der Klimanormalperiode weicht 1976 als Extremjahr deutlich ab. Vieles spricht dafür, dass mit höheren mittleren Wasserdefiziten auch extremere Situationen auftreten, als wir sie in den letzten Jahren kennen lernten. Durch die bestehenden Unsicherheiten sind die Zukunftsszenarien allerdings nur begrenzt geeignet, genaue Wahrscheinlichkeiten zu künftigen Extremjahren abzubilden.

Insekten und Pilze

Michael Habermann, Rainer Hurling, Horst Hooge, Gerhard Elsner, Ulrich Bressem und Gitta Langer

Komplexe Schäden und Absterbeerscheinungen an Eiche: „Erkrankungsschub“ 2011

Seit vielen Jahren werden bei älteren Eichenbeständen örtlich hohe durchschnittliche Blattverluste und gravierende Vitalitätseinbußen beobachtet. Den Bäumen fehlen Erholungsphasen ohne Witterungsextreme, Insektenfraß oder pilzliche Schaderreger.

Bei den Erklärungsansätzen gilt nach wie vor: Witterungsextreme in Kombination mit wiederholtem, starkem Fraß können die Schäden auslösen. Auf vielfältige Weise wird dadurch die Wasserversorgung des Baumes beeinträchtigt. Zudem führen starker Blattfraß und nachfolgender Befall durch Mehltau dazu, dass betroffene Eichen nur wenige Wochen im Jahr eine intakte Belaubung aufweisen, mit der Folge stark verminderter Einlagerung von Reservestoffen und dem Rückgang funktionsfähiger Feinwurzeln.

Entsprechend ungünstige Faktorenkombinationen lagen in jüngster Vergangenheit gebietsweise mehrfach vor:

2010: starke Winterfröste 2009/2010, Spätfröste im April/Mai, trockenes und warmes Frühjahr (April), Sommer erst zu warm und zu trocken (Juli).

2011: starke Winterfröste 2010/2011, Frühjahr extrem trocken, warm und sonnenscheinreich, starke Spätfröste im Mai, im Sommer immer noch Niederschlagsdefizite und zu warm (außer im Juli), November zu trocken.

2012: starke Spätwinterfröste Ende Januar / Anfang Februar 2012.

Mehltaubefall an Eiche *Foto: U. Bressem*

Hinzu kamen wiederholte, starke Fraßereignisse in den vergangenen Jahren und verstärkter Mehltaubefall 2010 und 2012. Mit fortschreitender Vitalitätsschwäche haben Eichenprachtkäfer und Hallimasch als Sekundärschädlinge günstige Befallsbedingungen.

Ab dem (Spät-) Sommer 2011 wurden örtlich besonders schlechte Vitalitätszustände und lokal auch bereits auffällige Absterbeerscheinungen in Eichen-Althölzern beobachtet. Teilweise waren – von der klassischen Eichenkomplexerkrankung etwas abweichende – schnellere Schadensabläufe zu verzeichnen. Betroffene Bäume hatten zwar meist noch relativ viel

Geschädigte Eichen auf der Level II-Fläche Ehrhorn *Foto: U. Bressem*

Insekten und Pilze

Blattfraß durch Waldmaikäfer *Foto: R. Hurling*

Feinreisig, oftmals aber sehr wenig oder gar kein Laub mehr. Hallimaschbefall und Spechtabschläge (Spechte suchen nach Prachtkäferlarven) traten bei eindeutig abgängigen Bäumen örtlich auffällig in Erscheinung.

Diese Beobachtungen waren Anlass, im Herbst 2011 stärker geschädigte Alteichen auf einer Beobachtungsfläche in Niedersachsen kurzfristig zu untersuchen und im Jahr 2012 deren weitere Entwicklung zu verfolgen. Folgende Ergebnisse sind hier beispielhaft festzuhalten:

Es hat etwa ab dem Spätsommer / Herbst 2011 und bis in das Frühjahr 2012 hinein einen „Erkrankungsschub" gegeben, bei dem zahlreiche Alteichen kurzfristig abgestorben sind.

Die im Zuge dieses Erkrankungsschubes abgestorbenen Eichen hatten bei den Kronenzustandserhebungen im August der zwei bis drei Vorjahre bereits deutlich ansteigende, auffällige Kronenverlichtungen.

Der in den Vorjahren stattgefundene starke Blattfraß der Eichenfraßgesellschaft (Mai/Juni) war – neben den bereits genannten Witterungsextremen der Vorjahre und dem Mehltaubefall 2010 – wahrscheinlich der entscheidende schadensauslösende Faktor.

Die prädisponierende Situation für den Prachtkäferbefall ist wahrscheinlich bereits 2010 eingetreten.

Hallimasch ist nicht der schadensauslösende, sondern ein schadensverstärkender Faktor. Hallimaschbefall wurde vermehrt im Zuge des Absterbens bzw. nach dem Absterben der Bäume an den Wurzelanläufen festgestellt. Anzunehmen ist, dass der Hallimasch spätestens im Laufe des Jahres 2011 die Wurzeln befallen und geschädigt hat und somit – neben dem ggf. etwas früher erfolgten Prachtkäferbefall – den entscheidenden letzten Faktor des Absterbeprozesses darstellt.

Die meisten der abgestorbenen Bäume hatten im Juli 2012 im unteren Stammbereich und an den Wurzelanläufen teilweise massiven Befall durch Holz entwertende Insekten. Teilweise wurden auch höher am Stamm Holzentwerter sowie Bockkäfer festgestellt.

In Teilbereichen sind die (überlebenden) Eichen in ihrer Vitalität derzeit so stark eingeschränkt, dass jede zusätzliche Belastung in der Folgezeit (Eichenmehltau, Witterungsextreme, erneute Fraßereignisse) zu weiteren gravierenden Absterbeerscheinungen führen kann. Auffällig und besorgniserregend ist vor diesem Hintergrund gebietsweise der starke Mehltaubefall (*Microsphaera alphitoides*) an den Regenerationstrieben nach starkem Fraß 2012.

Maikäfer

Von etwa Ende April bis Anfang Juni 2012 konnte im Bereich des Forstamtes Hanau-Wolfgang der alle vier Jahre wiederkehrende Flug und Blattfraß des Waldmaikäfers (*Melolontha hippocastani*) beobachtet werden. Aufgrund der starken Flug- und Fraßaktivitäten muss davon ausgegangen werden, dass die Maikäfer im Raum Hanau wiederum auf großer Fläche Waldboden besiedelt und sich wahrscheinlich weiter ausgebreitet haben. Die Besiedlungsdichten der aktuellen Maikäfergeneration können erst durch systematische Grabungen in zwei bzw. drei Jahren verlässlich festgestellt werden.

Eschentriebsterben

Die Erkrankung, ausgelöst durch das Falsche Weiße Stengelbecherchen (*Hymenoscyphus pseudoalbidus*) mit der Nebenfruchtform *Chalara fraxinea*, hat sich im gesamten Zuständigkeitsgebiet der NW-FVA ausgebreitet. Es ist bisher – auch deutschlandweit – keine Abschwächung des Krankheitsgeschehens zu verzeichnen. Auf vielen Flächen wird hingegen eine Verstärkung bzw. Ausweitung der Schäden beobachtet. In Altbeständen führt das Eschentriebsterben bei hohem Infektionsdruck zum Zurücksterben der Krone und zur Bildung von Stammfußnekrosen und Befall mit nachfolgenden Schaderregern wie z. B. Hallimasch oder Eschenbastkäfern, die zur Stammentwertung und letztlich zum Absterben der Bäume führen. Neben anderen Rindenpilzen ist auch *H. pseudoalbidus* in der Lage, in den Stammfuß einzudringen und Verfärbungen und Nekrosen hervorzurufen.

Eschentriebsterben *Foto: U. Bressem*

Kieferntriebsterben

Diplodia-Triebsterben, ausgelöst durch *Sphaeropsis sapinea*, zeigte im ersten Halbjahr 2012 ein verstärktes Auftreten in Kiefernbeständen sowie in Douglasien- und Lärchen-Jungwüchsen. Die Schäden traten mit und ohne vorangegangene Hagelschäden auf. Der Erreger wurde auch in Kiefernwurzeln festgestellt.

Stoffeinträge

Birte Scheler

Auf Grund des Filtereffektes der Kronen für gas- und partikelförmige Luftverunreinigungen sind Wälder stärker als alle anderen Landnutzungsformen durch anthropogen verursachte Stoffeinträge von Sulfatschwefel und Stickstoff belastet. Im Rahmen des Forstlichen Umweltmonitorings werden in Hessen seit 1984 die Stoffeinträge in Waldbestände erfasst, um damit verbundene Risiken für Wälder, Waldböden und angrenzende Ökosysteme zu untersuchen. Das hessische Messnetz des Intensiven Monitorings wurde in den letzten Jahren neu ausgerichtet, um einerseits Kosten zu sparen, anderseits neue Fragestellungen z. B. zum Auftreten und den Auswirkungen von Trockenstress besser beantworten zu können.
Derzeit werden die Stoffeinträge in drei Fichten-, sieben Buchen-, einem Eichen- und einem Kiefernbestand erfasst. Die Berechnung eines Hessenmittels für Fichte ist wegen der geringen Anzahl Fichtenbestände nicht mehr sinnvoll. Die Entwicklung des Stoffeintrags für diese Baumart wird deshalb in den Abbildungen exemplarisch an Hand eines 106jährigen Fichtenbestandes in Königstein dargestellt.

Durch Maßnahmen zur Luftreinhaltung wie Rauchgasentschwefelung bei Großfeuerungsanlagen oder die Einführung von schwefelarmen Kraftstoffen ging der Sulfateintrag in die Wälder drastisch zurück. Der jährliche Rückgang seit Mitte der 1980er Jahre betrug je nach Gebiet im Freiland zwischen 0,13 und 0,48 kg pro Hektar, unter Fichte zwischen 1,2 und 2,2 kg pro Hektar und unter Buche zwischen 0,5 und 0,75 kg pro Hektar.
2011 betrug der Schwefeleintrag in Königstein 7,1 kg pro Hektar, im Mittel der Buchenbestände 3,6 kg pro Hektar und 2,5 kg pro Hektar im Freiland.

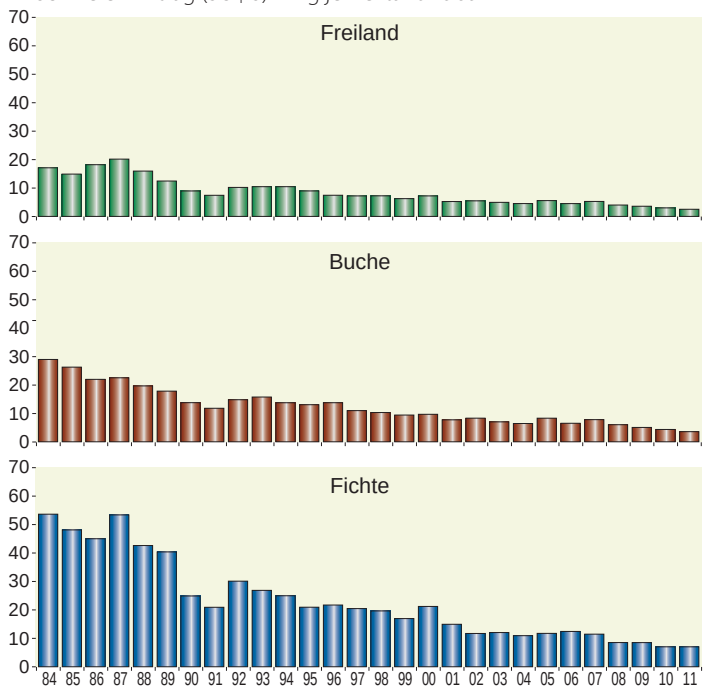
Durch anthropogen bedingte erhöhte Stickoxid- und Ammoniakkonzentrationen in der Luft wird den Wäldern sowohl in gasförmiger, partikulärer als auch in gelöster Form mit dem Niederschlag seit Jahrzehnten mehr Stickstoff zugeführt, als sie für ihr Wachstum nachhaltig benötigen. Es kommt zu einer Stickstoffanreicherung im Boden mit zunächst schleichenden, langfristig jedoch gravierenden Konsequenzen für den Wald

Stammablaufmessanlage *Foto: H. Heinemann*

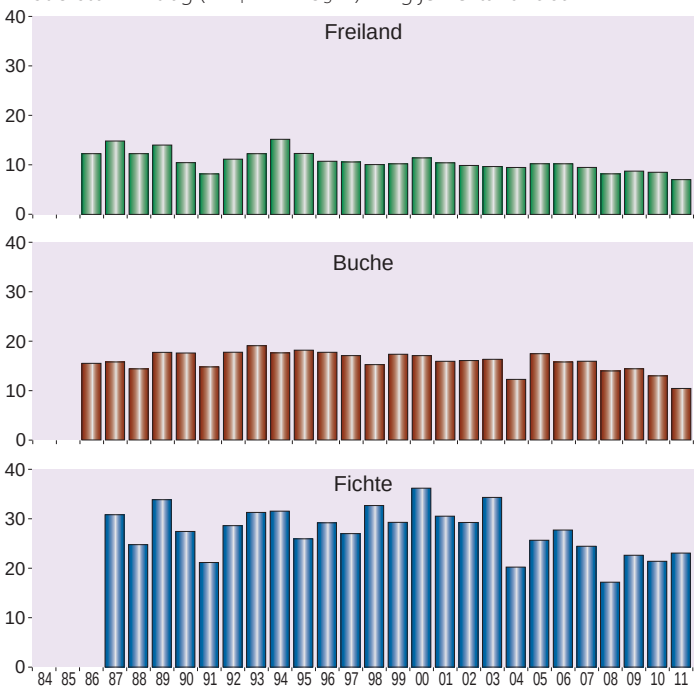
sowie für angrenzende Ökosysteme wie Fließ- und Grundgewässer. Folgen zu hoher Stickstoffeinträge sind beispielsweise eine Verschiebung des Artengefüges der Wälder, Nährstoffungleichgewichte in den Pflanzen sowie ein erhöhter Nitrataustrag mit dem Sickerwasser.

Erfreulicherweise spiegelt sich der Rückgang der Stickoxid-Emissionen auf allen Untersuchungsflächen in einem deutlich abnehmenden Nitrateintrag wider. Beim Ammoniumeintrag zeigt sich hingegen nach wie vor kein einheitlicher Trend. Während er im Hessischen Ried sowohl im Freiland als auch mit der Kronentraufe unter Buche, Eiche und Kiefer signifikant abgenommen hat, nimmt er in Witzenhausen (Fiche) sowie in Zierenberg und im Spessart (Buche) tendenziell zu.
2011 betrug der Nitratstickstoffeintrag im Hessenmittel im Freiland 3,4 kg pro Hektar, mit dem Bestandesniederschlag unter

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



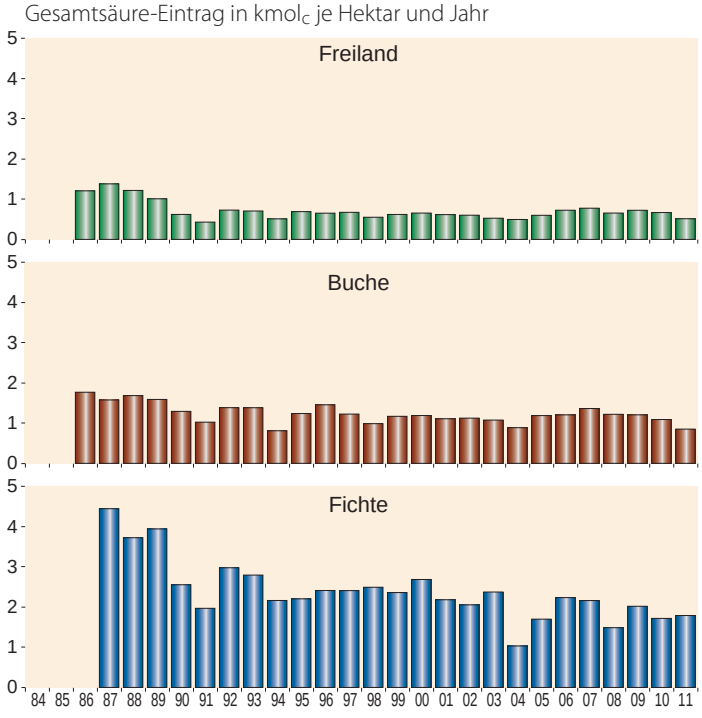
Stickstoff-Eintrag (NH_4-N + NO_3-N) in kg je Hektar und Jahr



Stoffeinträge

Stoffeintragsmessungen in einem Buchenbestand *Foto: H. Heinemann*

Gesamtsäure-Eintrag in $kmol_c$ je Hektar und Jahr



Buche 4,5 kg pro Hektar und unter Fichte (Königstein) 12,2 kg pro Hektar. Der Ammoniumeintrag belief sich auf 3,5 kg pro Hektar im Freiland, 5,9 kg pro Hektar unter Buche und 10,8 kg pro Hektar unter Fichte (Königstein). Im Vergleich zum jeweiligen langjährigen Flächenmittel wurden 2011 zwischen 2,8 und 8,5 kg pro Hektar weniger anorganischer Stickstoff in die Wälder eingetragen.

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

2011 betrug der Gesamtsäureeintrag im Mittel der sieben Buchenflächen 0,8 $kmol_C$ pro Hektar und 1,8 $kmol_C$ pro Hektar unter der Fichtenfläche in Königstein. Insbesondere unter Fichte übersteigt der Säureeintrag das Puffervermögen der meisten silikatarmen Waldstandorte.

$kmol_C$ (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.

Nährstoffbeeinflussung durch Vollbaumnutzung

Karl Josef Meiwes und Michael Mindrup

Mit der Vollbaumnutzung (Ernte der gesamten oberirdischen Baumbiomasse) wird dem Wald im Vergleich zur konventionellen Derbholznutzung zusätzliche Biomasse entnommen, die zur stofflichen und zur energetischen Nutzung verwendet wird. Dies ist aus Gründen des Klimaschutzes sinnvoll, da in den Holzprodukten der Kohlenstoff eine gewisse Zeitspanne gebunden bleibt und mit der energetischen Verwertung fossile Brennstoffe ersetzt werden.

Die bei der Vollbaumnutzung zusätzlich geernteten Baumteile wie Äste, Reisig und Nadeln/Blätter sind sehr nährstoffreich. Deshalb ist der Nährstoffexport im Vergleich zur normal geernteten Biomasse unverhältnismäßig hoch. Darüber hinaus steht weniger Kohlenstoff für die Humusbildung im Boden zur Verfügung. Die Biodiversität kann ebenso beeinflusst werden wie auch das Zuwachsverhalten der Bestände. Dies gilt insbesondere für Standorte mit schlechter Nährstoffausstattung wie auch für Bestände mit hohem Nährstoffbedarf.

Der Nährstoffentzug hängt von der Baumart und deren Wuchsleistung ab. Die Baumarten unterschieden sich untereinander hinsichtlich der Elementgehalte und der Dichte des Holzes. Im Allgemeinen sind in Laubbaumarten die Elementgehalte höher als in Nadelbaumarten. Ebenfalls sind die Dichten des Holzes von Baumarten wie der Buche oder Eiche höher als von Fichte, Kiefer oder Douglasie.

Häcksler bei der Hackschnitzelbereitung *Foto: H. Pflüger-Grone*

Das klassische Mangelelement Stickstoff bereitet wegen der gegenwärtig hohen Einträge aus der Atmosphäre bei der Vollbaumnutzung keine oder nur wenig Probleme. In noch höherem Maße gilt dies für Schwefel, der in den 1970er bis 1990er Jahren in großen Mengen in die Wälder eingetragen wurde und in den Böden immer noch im Überfluss vorhanden ist.
Ergebnisse aus dem Vollbaumprojekt der NW-FVA zeigen, dass der Kaliumentzug durch die Vollbaumutzung bei der Buche

Kronenmaterial für die energetische Verwertung *Foto: H. Pflüger-Grone*

Nährstoffbeeinflussung durch Vollbaumnutzung

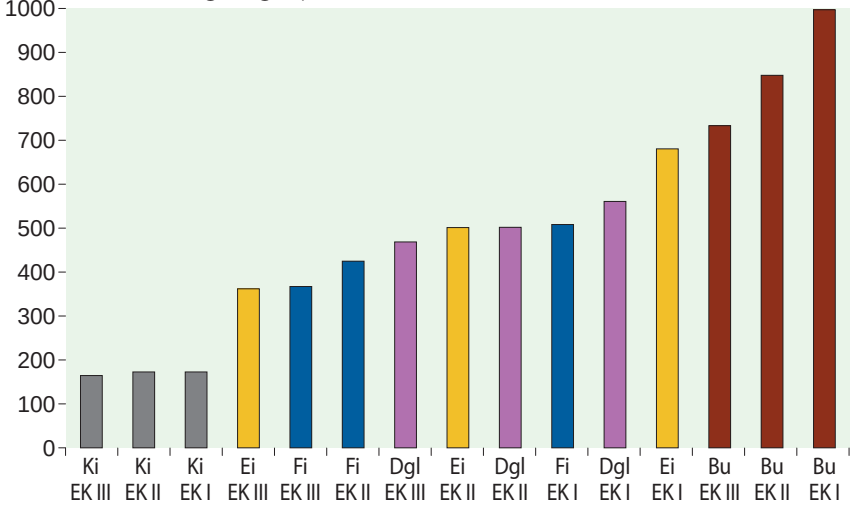
jedoch erheblich höher ist als bei den anderen Baumarten (Abb. rechts oben). Bei den Entzügen von Magnesium liegt die Buche im Vergleich der genannten Baumarten ebenfalls vorn, beim Calcium hat die Eiche den höchsten Bedarf.

Die Douglasie weist trotz ihres hohen Volumenzuwachses verhältnismäßig geringe Entzüge an den Nährstoffen Kalium, Calcium und Magnesium auf. Dagegen ist der Phosphorbedarf der Douglasie verhältnismäßig hoch (Abb. rechts unten). Dies ist insbesondere auf Standorten von Bedeutung, wo sie anstatt der Kiefer angebaut werden soll.

Die Kiefer weist die geringsten Nährelemententzüge auf. Dies liegt sowohl an ihrer geringen Wuchsleistung als auch an ihren geringen Elementgehalten. Aus den geringen Elementgehalten folgt, dass die Kiefer die Nährelemente sehr effizient nutzt. Im Vergleich zu den anderen genannten Baumarten bildet sie pro Kilogramm aufgenommenen Nährstoff die meiste Holzmasse.

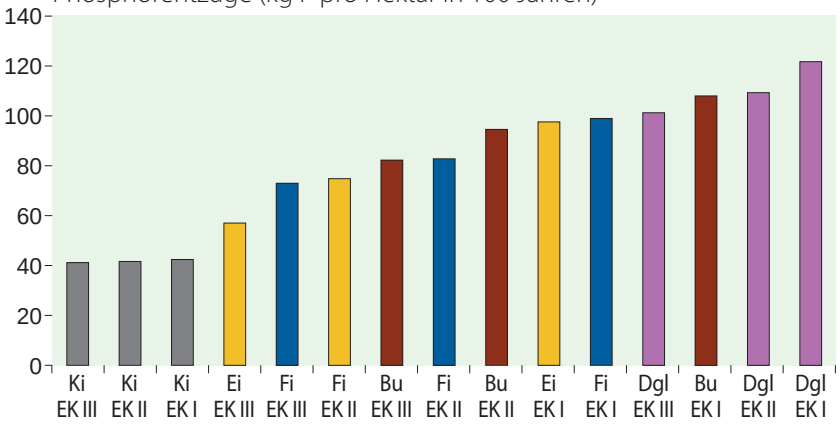
Eine Entscheidung zu Gunsten von Vollbaumnutzung im Rahmen einer nachhaltigen forstlichen Bewirtschaftung erfordert standortsbezogenes Wissen zu den Nährstoffbedingungen. Eine wesentliche Grundlage dazu stellen die Standortskartierung, die Bodenzustandserhebung II sowie Bilanzierungsergebnisse des Intensiven Monitorings dar. Darüber hinaus sind weitere Informationen erforderlich. Deshalb werden, um die Vollbaumnutzung in der Praxis wissenschaftlich zu begleiten, Versuche angelegt und betrieben, in denen die Wirkungen der intensivierten Biomassenutzung auf die verschiedenen Waldfunktionen untersucht werden.

Kaliumentzüge (kg K pro Hektar in 100 Jahren)



Kaliumentzüge bei Vollbaumnutzung von Buche (Bu ■), Eiche (Ei ■), Douglasie (Dgl ■), Fichte (Fi ■) und Kiefer (Ki ■) für unterschiedliche Ertragsklassen (EK I, II, III)

Phosphorentzüge (kg P pro Hektar in 100 Jahren)



Phosphorentzüge bei Vollbaumnutzung von Buche (Bu ■), Eiche (Ei ■), Douglasie (Dgl ■), Fichte (Fi ■) und Kiefer (Ki ■) für unterschiedliche Ertragsklassen (EK I, II, III)

Foto: J. Evers

Stoffbilanzen

Uwe Klinck, Bernd Ahrends, Birte Scheler, Johannes Sutmöller, Stefan Fleck, Markus Wagner, Karl Josef Meiwes, Henning Meesenburg

Stoffbilanzen sind eine Möglichkeit, die Intensität der Bewirtschaftung an den stofflichen Bedingungen der Bestände und Standorte auszurichten und so Nachhaltigkeitskriterien des Nährstoffhaushalts zu erfüllen. Für Hessen wurde dies für 5 Buchen- und 3 Fichtenstandorte (siehe Tabelle unten) mit unterschiedlicher Nährstoffausstattung exemplarisch untersucht.

In Stoffbilanzen werden Einträge den Austägen an Stoffen gegenüber gestellt. Zu den Einträgen zählen die atmogene Deposition und die Silikatverwitterung des Bodens. Wesentliche Austragspfade sind die Stoffe, die mit dem Sickerwasser den Boden verlassen sowie der Nährstoffexport durch Waldnutzung. Datengrundlage sind Erhebungen des Intensiven Waldmonitorings, die durch Modellrechnungen verknüpft werden. Die Stoffbilanzen werden für die Nährstoffe Calcium, Magnesium und Stickstoff für die unterschiedlichen Nutzungsintensitäten konventionelle Nutzung von Derbholz inkl. Derbrinde sowie Nutzung der gesamten oberirdischen Biomasse (= Vollbaumnutzung) erstellt. Für die ebenfalls wichtigen Nährstoffe Kalium und Phosphor reicht die Datengrundlage aktuell noch nicht zu einer abschließenden Bewertung aus.

Anthropogene Säureeinträge haben über mehrere Jahrzehnte nicht nur zu einer Versauerung der Waldböden, sondern auch zu einer Auswaschung von Nährstoffen wie Calcium oder Magnesium geführt. Während die Säurebelastung früher vor allem durch Schwefelverbindungen gegeben war, sind es heute Stickstoffverbindungen, die zu einer weiteren Bodenversauerung beitragen. Jedoch führt auch heute noch die Mobilisierung von im Boden zwischengespeichertem Schwefel zu einem verstärkten Nährstoffaustrag. Aktuell übersteigt die Säurewirkung die nachschaffende Kraft vieler Waldböden durch Verwitterung, insbesondere auf armen Standorten. Die Nutzung der Bäume mit den in ihnen gespeicherten Nährstoffen erhöht den Nährstoffexport.

Kurzbeschreibung der untersuchten Waldstandorte

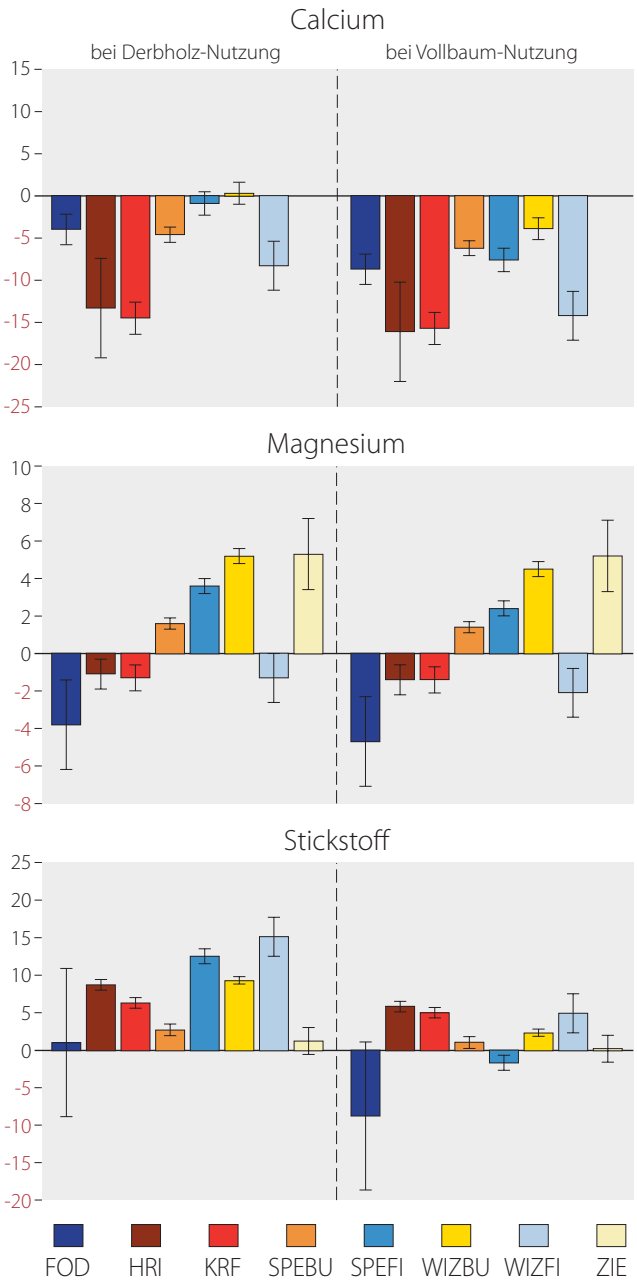
ID	Standort	L II-Nr.	Art	a	EKl	Substrat	Bilanzierung
FOD	Fürth	610	Fichte	113	1.2	Buntsandstein	10 Jahre (2001-2010)
HRI	Hessisches Ried		Buche	112	2.7	verlehmter Sand (Rheinweiß)	4 Jahre (2007-2010)
KRF	Krofdorf	609	Buche	149	0.2	Lößlehm	10 Jahre (2001-2010)
SPEBU	Spessart	604	Buche	143	1.2	Buntsandstein	10 Jahre (2001-2010)
SPEFI	Spessart		Fichte	118	1.4	Buntsandstein	10 Jahre (2001-2010)
WIZBU	Witzenhausen	612	Buche	158	2.1	Buntsandstein	10 Jahre (2001-2010)
WIZFI	Witzenhausen		Fichte	84	1.4	Buntsandstein	*6 Jahre (2001-2006)
ZIE	Zierenberg	606	Buche	167	1.7	Basalt/Muschelkalk	10 Jahre (2001-2010)

a = Alter des Bestandes 2012, EKl = Ertragsklasse des Bestandes in letzter Aufnahme, *Bestand wurde durch den Orkan „Kyrill“ zerstört

Stoffeintragsmessungen in einem Fichtenbestand *Foto: H. Heinemann*

Stoffbilanzen

Für Calcium und teilweise für Magnesium ergeben sich für nicht gekalkte Flächen – auch aufgrund säurebedingter Nährstoffverluste - bei Derbholznutzung häufig negative Bilanzen, die bei angenommener Vollbaumnutzung noch ungünstiger ausfallen würden.
Die Bodenschutzkalkung hat die Aufgabe, der Versauerung der Waldböden entgegenzuwirken. Ihre Wirkung beschränkt sich nicht nur auf eine Anhebung des Säuregrades selbst, sondern umfasst auch einen Ausgleich depositionsbedingter Nährstoffverluste von Calcium oder Magnesium. Das Konzept der Bodenschutzkalkung wurde in Hessen bereits in den 1980er Jahren als Maßnahme gegen Säureeinträge etabliert. Es wurde ein Katalog zu kalkender Flächen erstellt. Gleichzeitig wurden von der Kalkung auszusparende Flächen definiert und Handlungsanweisungen für eine Kalkung mit möglichst geringen Nebenwirkungen erarbeitet. Bis heute wurde in Hessen eine Waldfläche von rund 430 000 Hektar gekalkt.



Nährstoffbilanzen (kg pro Hektar/Jahr) ± Standardfehler bei unterschiedlichen Nutzungsintensitäten. Aufgrund des Substrates (Basalt/Muschelkalk) werden für die Fläche Zierenberg (ZIE) ausgeglichene Calcium-Bilanzen bei allen Nutzungsintensitäten unterstellt.

Bodenhydrologische Messungen *Foto: H. Heinemann*

Die Einträge von Stickstoff wiederum verkehren die früher charakteristische Mangelsituation von Stickstoff in das Gegenteil. Hohe Stickstoffeinträge fördern das Baumwachstum und verändern die Lebensgemeinschaften im Wald. Positive Stickstoffbilanzen für die hessischen Waldstandorte belegen, dass die Waldböden schrittweise mit Stickstoff gesättigt werden. Sobald die Waldböden und die Waldbestände überschüssigen Stickstoff nicht mehr speichern können, steigt das Risiko für Stickstoffverluste, mit denen Verluste anderer Nährstoffe einhergehen. Schließlich kann es zu Grundwasserbelastungen durch Nitrat und einer Abgabe von klimawirksamen, gasförmigen Stickstoffverbindungen an die Atmosphäre kommen.

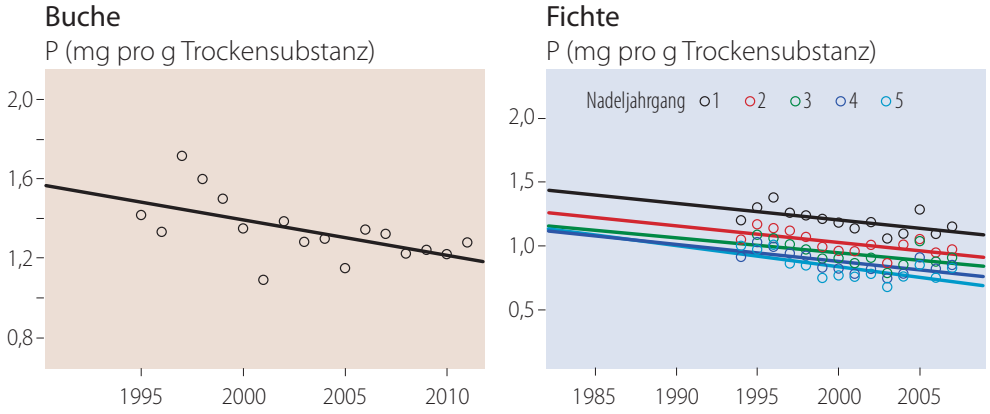
Die Untersuchung der Stoffbilanzen ausgewählter hessischer Buchen- und Fichtenwälder zeigt ein je nach Standort, Nährstoff und Nutzungsintensität zu differenzierendes Bild. Eine Intensivierung der Nutzung sollte nur auf solchen Standorten erfolgen, wo durch gute Boden- und Nährstoffausstattung auch mittel- bis langfristig nachhaltige Nährstoffkreisläufe gesichert sind. Zusammen mit weiteren Indikatoren des Stoffhaushaltes (Blatt-/Nadelgehalte, Bodennährstoffvorräte) ermöglicht die Bewertung der Stoffbilanzen eine verbesserte Ableitung von standortsspezifischen Empfehlungen darüber, wie eine nachhaltige Intensität der Waldnutzung gestaltet werden kann und in welchem Umfang die Fortführung der Bodenschutzkalkung als Kompensationsmaßnahme erforderlich ist.

Phosphor

Ulrike Talkner

In allen Organismen ist Phosphor ein Baustein lebensnotwendiger Zellbestandteile, wie z. B. der Zellmembranen oder der Erbsubstanz. Ferner spielt Phosphor eine entscheidende Rolle im Energiehaushalt der Zellen und kommt in funktionalen Gruppen von Enzymen und Coenzymen vor. Pflanzlicher Phosphormangel führt zu Wachstumshemmung.

Es wird vermutet, dass die seit mehreren Jahrzehnten andauernde, erhöhte atmosphärische Stickstoffdeposition und die Versauerung der Waldböden die Phosphorernährung der Wälder negativ beeinflussen, indem die Phosphorverfügbarkeit verschlechtert wird. Ferner sind durch eine verbesserte Stickstoffernährung Nährstoffungleichgewichte zu erwarten, die auch Phosphor betreffen. Baumarten mit schlechterem Phosphorernährungszustand, zu denen auch die Buche gehört, könnten empfindlich auf die erhöhte Stickstoffdeposition reagieren und eine Phosphorlimitierung des Wachstums ausbilden. Allerdings sind die Beziehungen zwischen dem Phosphorhaushalt der Böden und der Phosphorernährung der Bäume unzureichend untersucht.



Zeitlicher Verlauf der Phosphorgehalte von Buchenblättern (links) und Fichtennadeln (rechts) auf zwei ausgewählten Flächen des Intensiven Monitorings der Nordwestdeutschen Forstlichen Versuchsanstalt.

Die Phosphorgehalte von Buchenblättern und Fichtennadeln nahmen auf den Flächen des Intensiven Monitorings seit den 1990er Jahren deutschlandweit signifikant ab. Sie erreichten teilweise ein Niveau, das auf einen Phosphormangel hindeutet: 71 % der untersuchten Buchenflächen und 43 % der untersuchten Fichtenflächen hatten geringe bis sehr geringe Phosphorgehalte (bewertet nach der Forstlichen Standortskartierung 2003).

Um die Auswirkungen der vielerorts schlechter werdenden Phosphorernährung auf die Vitalität und das Wachstum der Waldbestände abschätzen und das Risiko einer Intensivierung der Biomassenutzung hinsichtlich der Phosphorernährung bewerten zu können, wird in den kommenden Jahren der Phosphorhaushalt der Wälder ein Untersuchungsschwerpunkt an der Nordwestdeutschen Forstlichen Versuchsanstalt sein. Im Rahmen eines von der Deutschen Forschungsgemeinschaft geförderten Projekts wird momentan der Zusammenhang zwischen der Phosphorernährung von Buchenbeständen und dem Phosphorhaushalt der Böden untersucht.

Blattprobenahme *Foto: W. Klotz*

Foto: T. Ullrich

Bodenzustandserhebung

Bodenzustandserhebungen (BZE I und BZE II) – Wie hat sich der Bodenzustand in Hessens Waldböden verändert?

Jan Evers und Uwe Paar

Hessens Waldböden sind infolge der jahrzehntelangen Säureeinträge belastet. Filter- und Regulationsfunktionen der Böden sind gestört, erhebliche Säuremengen in den Böden gespeichert und Nährstoffe mit dem Sickerwasser ausgetragen. Durch die sauren Einträge wurde die bodenwühlende Fauna beeinträchtigt, was die Bildung von Humusauflagen und damit die Versauerung des Mineralbodens verstärkt hat. Andererseits hat die Belastung der Waldböden vor allem mit Schwefelsäure auf Grund der Luftreinhaltemaßnahmen deutlich nachgelassen. Viele Waldstandorte sind gekalkt worden, um die sauren Einträge zu kompensieren. Der Eintrag von säurewirksamem luftbürtigem Stickstoff ist jedoch immer noch hoch. An vielen Waldstandorten in Hessen ist die aktuelle Säurebelastung für den Waldboden immer noch höher, als durch die natürlichen ökosysteminternen Prozesse abgepuffert werden kann. Viele Waldböden sind tiefgründig versauert und an Calcium und Magnesium verarmt, die Magnesium- und Calciumversorgung dieser Waldbestände ist schlecht.

Bei beiden BZE Erhebungen in Hessen sind dieselben 139 repräsentativen Rasterpunkte des 8 km x 8 km Level I Netzes der Forstlichen Umweltkontrolle beprobt worden. Bei der zweiten Erhebung 2007 sind dieselben Parameter wie bei der ersten Erhebung 1992 erfasst worden. Um eine möglichst gute Vergleichbarkeit zu gewährleisten, sind auch dieselben Methoden bzw. vergleichbare Methoden verwendet worden.

Zentrales Anliegen der BZE ist es, den aktuellen Bodenzustand und die Veränderungen zur ersten Erhebung zu ermitteln, Ursachen für diese Veränderungen zu identifizieren und hinsichtlich ihrer ökologischen Relevanz zu bewerten. Zudem sollen die Wirkungen von Maßnahmen zum Schutz der Waldböden evaluiert sowie die Kenntnisse über den Zustand von Waldböden und den darin ablaufenden Prozessen vertieft werden. Dies trägt dazu bei, eine verbesserte Grundlage für eine nachhaltige Waldbewirtschaftung zu schaffen. Daran kann die weitere Planung und weitere Durchführung von notwendigen Maßnahmen zur Erhaltung und Verbesserung des Bodenzustandes sowie des Nährstoffangebotes im Waldboden anknüpfen.

Lößlehm über Buntsandstein *Foto: H. Kasel*

Ein Maß für die Güte des chemischen Zustandes und die Zusammensetzung der Bodenlösung im Mineralboden ist die Basensättigung. Aus ihr lassen sich die direkte Verfügbarkeit von Nährstoffen im Mineralboden und damit die Ernährungsbedingungen der Waldbäume ableiten. Die Basensättigung drückt aus, wie hoch der relative Anteil der Nährelemente Calcium, Magnesium, Kalium und Natrium im Vergleich zu der Gesamtsumme der Kationen mit zusätzlich Aluminium, Eisen, Mangan und Wasserstoff-Ionen ist, die an den negativ geladenen Tonmineralen und der organischer Substanz (Austauscher) gebunden sind. Im Zuge fortschreitender Bodenversauerung werden die an der Pufferung beteiligten „basischen" Kationen Calcium, Magnesium und Kalium vom Austauscher im Wesentlichen durch „saures" Aluminium verdrängt. Eine geringe Basensättigung im Mineralboden ist in erheblichem Maße eine Folge luftbürtiger, versauernd wirkender Stoffeinträge. Eine Basensättigung von weniger als 20 % gilt als gering. In diesem Milieu wird der Austauscher und die Bodenlösung durch das Kation Aluminium geprägt. Calcium, Magnesium und Kalium liegen in vergleichsweise geringen Anteilen vor. Für Baumwurzeln wird es schwierig, ausreichend Nährelemente mit den Wurzeln aufzunehmen. Aluminium wirkt in der Bodenlösung in höheren Konzentrationen zudem toxisch gegenüber Pflanzenwurzeln. Die Bodenlösung ist relativ sauer, Schwermetalle werden gelöst und die notwendigen Nährelemente Calcium, Magnesium und Kalium mit dem Sickerwasser ausgetragen. Sie gehen damit dem Ökosystem verloren. Allgemein wird dies als ein Zustand angesehen, in dem ein Waldboden wenig elastisch auf weitere Säureeinträge reagieren kann, er in seiner Produktivität eingeschränkt und im Hinblick auf Elemententzüge durch intensive Nutzung wie beispielsweise Vollbaumnutzung empfindlich ist. In diesen Fällen können Kompensationsmaßnahmen in Form von Waldkalkungen sinnvoll sein.

Die Waldböden in Hessen sind wenig einheitlich. Entsprechend unterschiedlich ist ihre Belastbarkeit hinsichtlich der Säureeinträge zu bewerten: Kalk-, Basalt- und Diabasstandorte sind z. B. aufgrund ihrer mineralischen Zusammensetzung in der Lage, hohe Säuremengen abzupuffern, arme Buntsandsteine sind in der Regel diesbezüglich viel empfindlicher. Um dieser Standortsvielfalt Rechnung zu tragen, wurden die 139 BZE-Punkte einheitlichen Substratgruppen zugeordnet, die hinsichtlich ihrer Standortsmerkmale und ihres Pufferpotenzials vergleichbare Einheiten bilden. Das zentrale Gliederungsmerkmal dieser Einteilung ist das jeweilige Ausgangssubstrat, welches wesentlich die chemischen Eigenschaften und damit Pufferkapazitäten gegenüber luftbürtigen Säureeinträgen bestimmt.
In den folgenden Grafiken wird die mittlere Basensättigung von BZE I und BZE II und ihre zeitliche Veränderung (1992 gegenüber 2008), gegliedert nach Kalkung und Substratgruppe dargestellt. In der linken Grafik sind jeweils die Tiefenstufen der

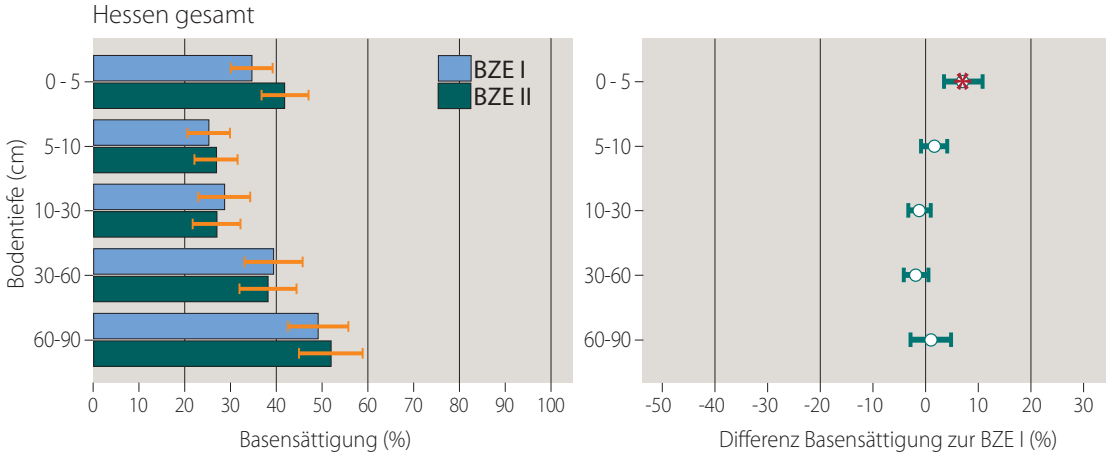
Bodenzustandserhebung

BZE als Y-Achse und die Basensättigung auf der X-Achse abgebildet. Die Mittelwerte der Basensättigung der jeweiligen Tiefenstufe sind für die BZE I hellblau und für die BZE II dunkelblau, in orange ist als Streuungsmaß das 95 % Konfidenzintervall für den Mittelwert als Balken angegeben. Das bedeutet, dass der wahre Mittelwert mit 95-prozentiger Wahrscheinlichkeit im Bereich des orangenen Balkens liegt. Weite Konfidenzintervalle kennzeichnen eine breite Variabilität dieses Parameters und/oder eine geringe Stichprobenzahl. In der rechten Grafik sind die mittleren Differenzen der jeweiligen Tiefenstufe (Basensättigung BZE II abzüglich Basensättigung BZE I identischer BZE-Punkte und Tiefenstufen) mit dem entsprechenden 95 % Konfidenzintervall dargestellt. Ein roter Stern bedeutet, dass der Mittelwert mit 95-prozentiger Wahrscheinlichkeit gegen Null (keine Veränderung) abgesichert und mit dieser Wahrscheinlichkeit nicht zufällig ist.

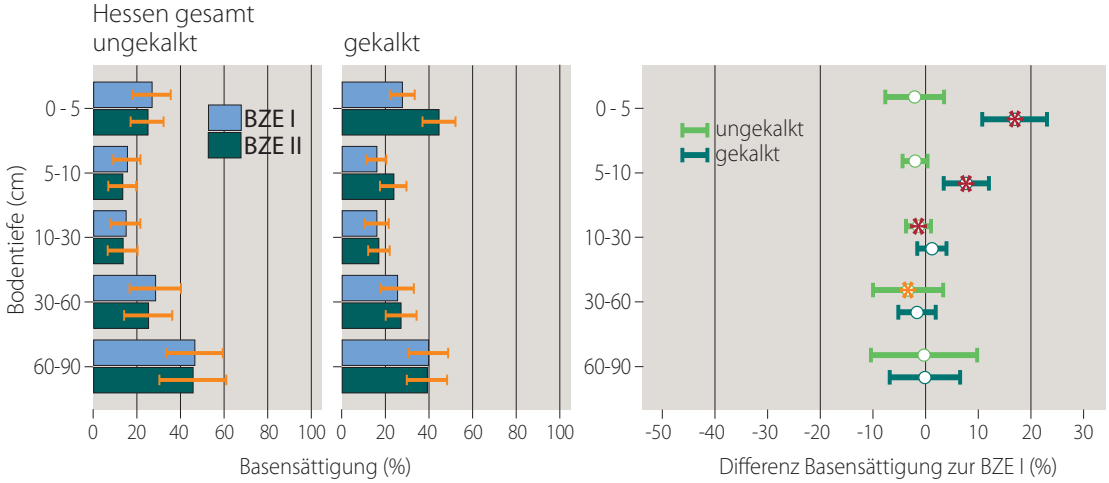
In Hessens Waldböden liegen die durchschnittlichen Werte der Basensättigung in den einzelnen Tiefenstufen mit Werten zwischen 20 und 50 % im mittleren Bereich. Viele Waldböden verfügen in tieferen Bodenschichten über ausreichende Nährstoffe und Pufferkapazität, was sich in den relativ hohen Werten der Basensättigung mit 50 % in der Bodenschicht zwischen 60 und 90 cm, aber auch mit 40 % zwischen 30 und 60 cm widerspiegelt. Die höheren Werte der Basensättigung der Tiefenstufe 0-5 cm im Vergleich zu den Tiefenstufen bis 30 cm Bodentiefe lassen sich durch die Einarbeitung organischer Substanz durch die Bodenwühler, Wurzelstreu und Einwaschung mit dem Sickerwasser in Waldböden erklären. Dies erhöht die Austauschkapazität und meist auch die Basensättigung. Das durchschnittliche Niveau der Basensättigung der BZE II liegt in 0-5 cm Bodentiefe bei rund 40 % im mittleren Bereich und ist im Vergleich zur BZE I um 7 %-Punkte signifikant höher. Dies lässt sich mit den durchgeführten Waldkalkungsmaßnahmen und dem Rückgang der lüftbürtigen Säureeinträge erklären. Mit zunehmender Bodentiefe sinkt die Basensättigung um über 10 % Punkte und steigt unter 30 cm Bodentiefe bis 60 cm wieder auf das Niveau der Tiefenstufe zwischen 0-5 cm an.

Die Waldkalkungen in Hessen wurden auf Standorten aus basenarmen Silikatgesteinen (Ausnahme Sande) und Lößlehmen durchgeführt, basenreiche Substrate wie Muschelkalk, Basalt und Diabas sowie Tone wurden nicht gekalkt. Um den Einfluss der Kalkung auf die Veränderung der Basensättigung prüfen zu können, sind in der folgenden Grafik nur die prinzipiell in der Kalkungsplanung vorgesehenen Substrate einbezogen worden. Dies sind v. a. Waldstandorte mit bestimmendem Buntsandstein, Lößlehm, Tonschiefer und Grauwacke. Gegenübergestellt sind die gekalkten und nicht gekalkten BZE-Punkte dieses Kollektivs.
Der Kalkungseinfluss auf die Basensättigung zeigt sich sehr deutlich: die gekalkten Standorte erreichen in der Tiefenstufe 0-5 cm eine um durchschnittlich 16 % Punkte, in 5-10 cm eine um 8 % Punkte höhere Basensättigung als die ungekalkten Standorte. Beide Ergebnisse sind signifikant. Unterhalb von 10 cm Bodentiefe bleibt die durchschnittliche Basensättigung bei den gekalkten Standorten im Mittel konstant. Bei den ungekalkten Standorten dagegen zeichnet sich im Trend eine abnehmende Basensättigung bis 60 cm Bodentiefe ab, die zwar gering, aber für 10-30 cm und 30-60 cm Bodentiefe signifikant ist. Damit zeigt sich insgesamt für die bisher ungekalkten, aber in die Kalkungsplanung einbezogenen Standorte eine zuneh-

Durchschnittliche Basensättigung nach BZE-Tiefenstufen für alle BZE-Punkte (n=139) in Hessen, links die durchschnittliche Basensättigung der BZE I und II, rechts die mittleren Differenzen (BZE II – BZE I), roter Stern: signifikant unter dem 5 %-Signifikanzniveau



Durchschnittliche Basensättigung nach BZE-Tiefenstufen für alle BZE-Punkte in Hessen, die für Kalkungsmaßnahmen grundsätzlich vorgesehen waren. Links die durchschnittliche Basensättigung der BZE I und II für alle ungekalkten (n=31) und gekalkten (n=61) BZE-Punkte, rechts die mittleren Differenzen (BZE II – BZE I), roter Stern: signifikant unter dem 5 %-Signifikanzniveau, orangener Stern: signifikant unter 10 %-Signifikanzniveau



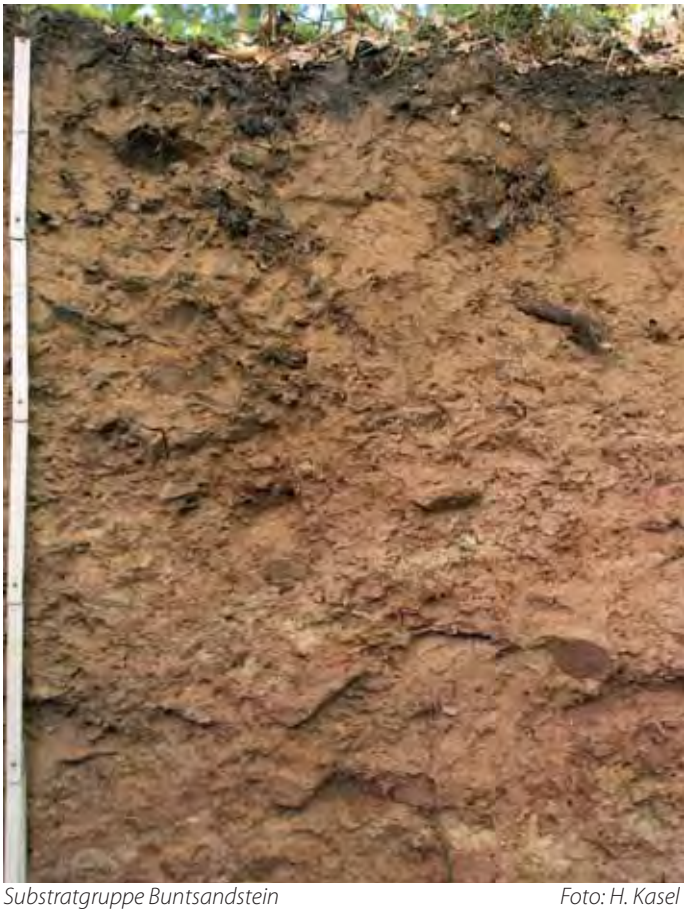
Bodenzustandserhebung

mende Tiefenversauerung. Dies ist insofern problematisch, da diese Standorte im intensiv durchwurzelten Mineralboden bis 30 cm Bodentiefe bereits kritische Werte für die Basensättigung um 15 % aufweisen. Bei den gekalkten Standorten ist die kritische Grenze von 20 % Basensättigung nur zwischen 10-30 cm Bodentiefe unterschritten (17 % Basensättigung). Dass sich bei den ungekalkten Standorten die Basensättigung in den oberen Tiefenstufen nicht deutlicher verschlechtert hat, kann mit dem Rückgang der Säureeinträge in Verbindung gebracht werden.

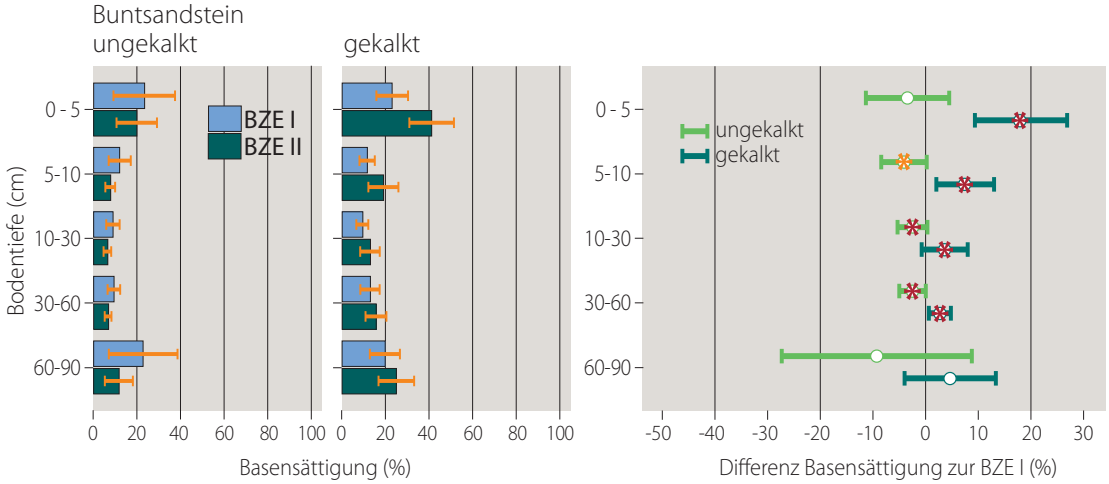
Die bisher dargestellten Mittelwerte sind Durchschnittswerte für alle Waldböden Hessens. Um von diesen allgemeinen Mittelwerten konkreter typische Waldstandorts-Einheiten in Hessen beschreiben zu können, sind die Auswertungen zur Basensättigung auf Ebene der wichtigsten Substratgruppen durchgeführt worden. Diese Einheiten bieten ein differenziertes Bild der standörtlichen Vielfalt der Waldböden in Hessen, lassen Belastungsmuster erkennen und sind Grundlage für die Beurteilung von möglichen Kompensationsmaßnahmen.

Die bedeutendste Substratgruppe in Hessen ist der **Buntsandstein**. Diese Substratgruppe ist typisch für rund 40 % der hessischen Waldfläche. Sie wird von kalkfreien Buntsandsteinformationen geprägt. Vorherrschende Bodenarten sind Sande mit unterschiedlichem Verlehmungsgrad, als Bodentyp dominiert die Braunerde. Vor allem die ärmere Ausprägung dieser Substratgruppe ist besonders empfindlich gegenüber Säureeinträgen, aber auch die besser versorgten Standorte dieser Gruppe sind in oberen Bodenschichten gefährdet. Dies zeigt sich deutlich an den mittleren Werten der Basensättigung in der Abbildung unten.
Im ungekalkten Kollektiv fallen die besonders geringen durchschnittlichen Werte der Basensättigung auf. Sie liegen deutlich unterhalb des Mittels für Hessen und im Hauptwurzelraum auch unter der kritischen Grenze von 20 %. Teilweise werden auch Werte unter 10 % erreicht. Sie haben sich zudem seit der BZE I in allen Tiefenstufen deutlich verschlechtert, was für die Tiefen 5-10 cm, 10-30 cm und 30-60 cm signifikant ist. Die höhere Basensättigung in der obersten Tiefenstufe 0-5 cm ist eine Folge der Mineralisation aus dem Auflagehumus, der Tätigkeit der Bodenwühler und Ausdruck des Nährstoffkreislaufes. Im Kollektiv der gekalkten BZE-Punkte dieser Substratgruppe liegen die durchschnittlichen Basensättigungen zum Zeitpunkt der BZE I auf ähnlichem Niveau wie die Werte der ungekalkten BZE-Punkte. Die nun neu ermittelten Werte in der BZE II zeigen einen deutlichen Anstieg der durchschnittlichen Basensättigungen in allen Tiefenstufen nach der Kalkung, die bis in 60 cm Bodentiefe abgesichert sind. Bis 10 cm Bodentiefe liegt die durchschnittliche Basensättigung nach der Kalkung im unkritischen Bereich. Von 10-60 cm Bodentiefe herrschen durchschnittlich jedoch auch im gekalkten Kollektiv immer noch kritische Zustände vor.

Für die wichtigste Substratgruppe in Hessen zeigt sich damit sehr klar, dass die Folgen der Versauerung kritische Zustände verursachten und sich ohne Gegenmaßnahmen weiter bis in tiefe Bodenschichten verstärken. Die Waldkalkung wirkt in allen Bodenschichten diesem Prozess entgegen und verbessert im oberen Bodenbereich die Verhältnisse soweit, dass durchschnittlich unkritische Zustände erreicht werden. Den ungekalkten Waldstandorten der Substratgruppe Buntsandstein sollte bei der weiteren Kalkungsplanung höchste Priorität eingeräumt werden.



Substratgruppe Buntsandstein *Foto: H. Kasel*

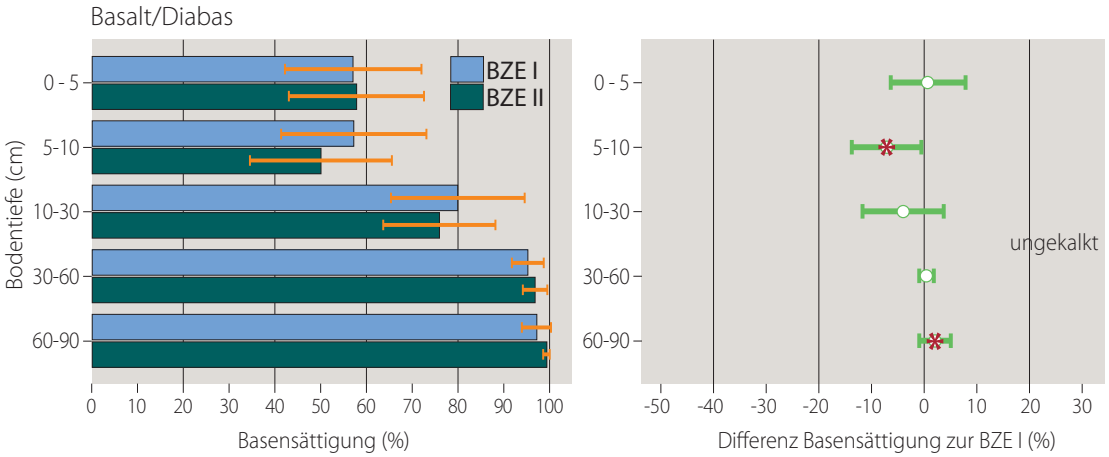


Durchschnittliche Basensättigung nach BZE-Tiefenstufen für alle BZE-Punkte in der Substratgruppe Buntsandstein in Hessen. Links die durchschnittliche Basensättigung der BZE I und II für alle ungekalkten (n=11) und gekalkten BZE-Punkte (n=28), rechts die entsprechenden mittleren Differenzen (BZE II – BZE I), roter Stern: signifikant unter dem 5 %-Signifikanzniveau, orangener Stern: signifikant unter 10 %-Signifikanzniveau

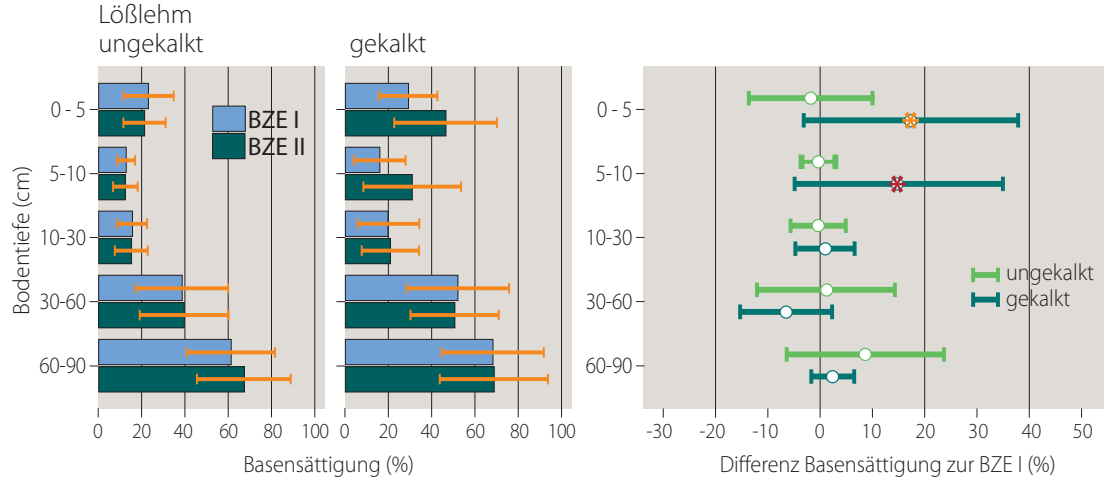
Bodenzustandserhebung

Ein weiterer typischer Waldstandort mit ungefähr 15 % Flächenrepräsentanz ist der Substratgruppe **Basalt/Diabas** zuzuordnen. Diese silikatreichen, überwiegend aus schluffigen Lehmen bestehenden Parabraun- und Braunerden sind neben den Kalken die reichsten Waldstandorte Hessens.
Entsprechend überdurchschnittlich hoch sind die mittleren Basensättigungen: mit durchschnittlich über 50 % Basensättigung in allen Tiefenstufen sind diese Waldstandorte besonders basenreich und damit gut mit Nährstoffen ausgestattet. Diese Standorte verfügen über eine hohe Pufferkapazität gegenüber Bodenversauerung. Konsequent sind diese Waldstandorte in Hessen aus der Kalkung ausgenommen. In 5-10 cm (signifikant) und 10-30 cm Bodentiefe hat sich die Basensättigung zwar im Vergleich zur BZE I verschlechtert, ist aber noch immer auf hohem Niveau und damit unkritisch. Die (signifikante) Verbesserung in 60-90 cm ist möglicherweise auf genauere Analysemethoden zurückzuführen, ökologisch ist sie nicht relevant.
Bei den **Kalkstandorten**, die auf 3 % der Waldfläche Hessens vorkommen, sind die Werte der Basensättigung noch höher. Hier liegen die Werte der Basensättigung in jeder Tiefenstufe bei nahezu 100 %, relevante Veränderungen zwischen den beiden BZE Erhebungen traten nicht auf (Ergebnisse nicht grafisch dargestellt).
Reine Lößlehmdecken prägen ca. 4 % der hessischen Waldfläche. Die Substratgruppe **Lößlehm** wurde in der BZE etwas weiter gefasst als in der Standortskartierung, auch vom Lößlehm bestimmte, mächtige Deckschichten über verschiedensten Ausgangssubstraten fallen in diese Gruppe. In der BZE II umfasst die Substratgruppe Lößlehm 14 % der BZE II Punkte. Lößlehme sind fruchtbare Standorte und meist ackerbaulich genutzt. Sie sind auch wertvolle Waldstandorte, vor allem, weil sie mittel bis gut nährstoffversorgt sind und über ein großes Wasserspeichervermögen verfügen. Lösslehme sind allerdings empfindlich gegenüber Säureeinträgen, weshalb sie in Kalkungsmaßnahmen einbezogen wurden.
Die Empfindlichkeit gegenüber Säureeinträgen bildet sich an der Verteilung der Basensättigung über die Tiefenstufen im Vergleich der BZE I und II deutlich ab. Im oberen Mineralboden bis 30 cm Bodentiefe erreichen auch ungekalkte Lößlehme im Mittel durch die Bodenversauerung Werte unter 20 % Basensättigung. Sie haben sich im Gegensatz zu den Waldstandorten auf Buntsandstein in den weiteren Tiefen jedoch nicht verschlechtert, was sicherlich neben dem allgemeinen Rückgang der Säureeinträge auch auf die besonderen hohen Vorratsreserven an basischen Kationen im unteren Mineralboden mit Werten zwischen 40-70 % Basensättigung zurückzuführen ist. Bei den ungekalkten Lößlehmstandorten hat es im oberen Mineralboden keine Verbesserung gegeben, dies wurde nur durch die Waldkalkungen bis in 10 cm Bodentiefe erreicht. Auch auf Lößlehmen war die Waldkalkung demnach eine sinnvolle kompensatorische Maßnahme.
Mit gut 10 % Flächenanteil ist in Hessen die Substratgruppe **Tonschiefer** noch relevant. Mit teilweise hohen Steinanteilen und verschiedensten mineralischen Zusammensetzungen deckt sie standörtlich weite Amplituden ab. In der Regel ist der anstehende Tonschiefer eher ärmer ausgeprägt und wurde somit in Hessen in die Kalkungsmaßnahmen einbezogen. Alle Tonschiefer-Standorte sind im BZE-Kollektiv gekalkt worden. Die weiten Konfidenzintervalle für die mittleren Basensättigungen in den Tiefenstufen (orange Linien) sind unter anderem Ausdruck für die große Heterogenität dieser Standorte. Generell sind auch die Tonschieferstandorte im Oberboden teilweise

Durchschnittliche Basensättigung nach BZE-Tiefenstufen für alle BZE-Punkte in der Substratgruppe Basalt/Diabas in Hessen. Links die durchschnittliche Basensättigung der BZE I und II (n=20), rechts die entsprechenden mittleren Differenzen (BZE II – BZE I), roter Stern: signifikant unter dem 5 %-Signifikanzniveau

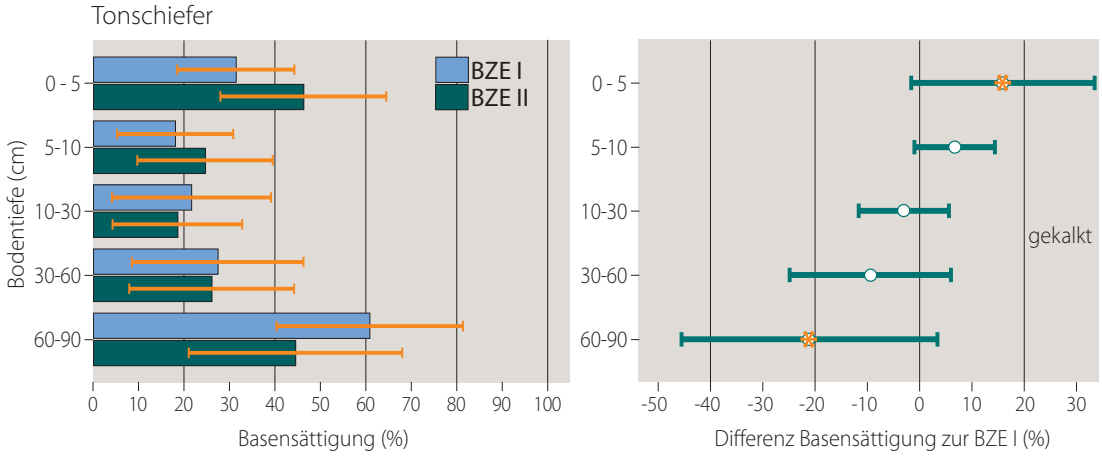


Durchschnittliche Basensättigung nach BZE-Tiefenstufen für alle BZE-Punkte in der Substratgruppe Lößlehm in Hessen. Links die durchschnittliche Basensättigung der BZE I und II für alle ungekalkten (n=12) und gekalkten BZE-Punkte (n=8), rechts die entsprechenden mittleren Differenzen (BZE II – BZE I), roter Stern: signifikant unter dem 5 %-Signifikanzniveau, orangener Stern: signifikant unter 10 %-Signifikanzniveau

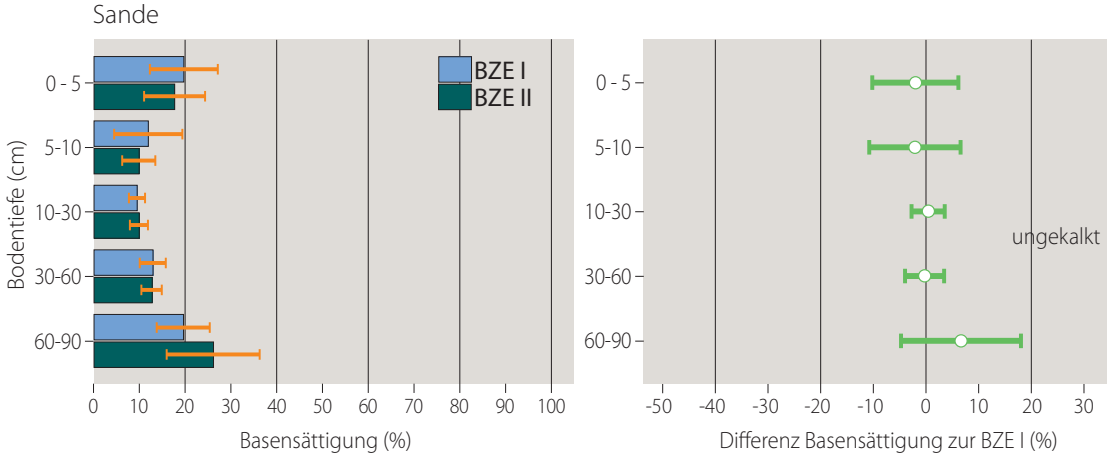


Bodenzustandserhebung

Durchschnittliche Basensättigung nach BZE-Tiefenstufen für alle BZE-Punkte in der Substratgruppe Tonschiefer in Hessen. Links die durchschnittliche Basensättigung der BZE I und II (n=14), rechts die entsprechenden mittleren Differenzen (BZE II – BZE I), orangener Stern: signifikant unter 10 %-Signifikanzniveau



Durchschnittliche Basensättigung nach BZE-Tiefenstufen für alle BZE-Punkte in der Substratgruppe Sande in Hessen. Links die durchschnittliche Basensättigung der BZE I und II (n=12), rechts die entsprechenden mittleren Differenzen (BZE II – BZE I)



unter 20 % Basensättigung und zeigen damit deutliche Spuren einer Versauerung. Im Oberboden bis 10 cm Bodentiefe hat sich der Zustand auffallend verbessert, unterhalb dieser Tiefe verringerten sich die Werte der durchschnittlichen Basensättigung jedoch. Dies kann im Oberboden auf die Wirkung der Kalkung, im Unterboden auf ein weiteres Fortschreiten einer Versauerung zurückgeführt werden.

Ähnliche Muster zeigen sich auch bei der Substratgruppe **Grauwacke**, die auf ca. 5 % der Waldfläche in Hessen vorkommt. Im Unterschied zum Tonschiefer ist die Grauwacke insgesamt ärmer und damit dem Buntsandstein ähnlich, hat aber im Unterschied zum Buntsandstein deutlich höhere Werte der Basensättigung im Unterboden zwischen 60-90 cm. Die Grauwackestandorte sind ebenfalls gekalkt worden und zeigen Verbesserungen der durchschnittlichen Basensättigungen zwischen der BZE I und BZE II, die sich aber aufgrund der geringen Stichprobenzahl nicht absichern lassen (Ergebnisse nicht grafisch dargestellt).

In der Substratgruppe **Sande** sind alle reinen und schwach verlehmten Sande zusammengefasst, die ca. 7 % der Waldstandorte in Hessen repräsentieren. Dies sind z. B. nährstoffarme Terrassen- und Flugsande im Rhein-Maingebiet. Die Sande sind bis in tiefe Bodenschichten gering mit Nährstoffen versorgt. Die durchschnittlichen Werte der Basensättigung liegen meist unter 20 % und sind mit der Substratgruppe Buntsandstein vergleichbar. Die Sande haben sich hinsichtlich der durchschnittlichen Basensättigung gegenüber der BZE I nicht wesentlich verändert.

Die genannten Substratgruppen umfassen über 90 % aller Waldböden in Hessen. Vereinzelt vorkommende Substrate wie z. B. Tonstein, Zechstein, Rotliegendes oder Rheinweiß kommen zwar im BZE-Kollektiv vor, sind aber aufgrund der geringen Stichprobenzahl und Heterogenität als Substratgruppe nicht sinnvoll auswertbar.

Die ersten Ergebnisse der BZE I zeigen, dass viele Waldstandorte aufgrund der luftbürtigen Säureeinträge kritische Zustände aufwiesen. Neben Luftreinhaltemaßnahmen sind zur Entlastung der Böden Waldkalkungen durchgeführt worden. Die BZE II zeigt, dass für die gekalkten Standorte die Ziele der Bodenschutzkalkung erreicht wurden: Schutz des Waldbodens vor weiterer Versauerung, Verhinderung einer in die Tiefe fortschreitenden Versauerung und die Verbesserung des chemischen und biologischen Bodenzustandes.

Auf ungekalkten ärmeren Standorten, vor allem bei der Substratgruppe Buntsandstein, haben sich die bodenchemischen Verhältnisse hingegen weiter verschlechtert, hier sollten Kalkungsmaßnahmen erste Priorität haben. Reiche, gut nährstoffversorgte Waldstandorte auf Basalt oder Muschelkalk haben sich hinsichtlich der durchschnittlichen Basensättigung kaum verändert, dies gilt auch für arme Sande. Auf mittel nährstoffversorgten Standorten wie Lößlehmen, Tonschiefer- oder Grauwackestandorten sind zur Verbesserung des chemischen Zustandes im Oberboden Kalkungen sinnvoll, aber aufgrund der hohen Nährstoffreserven im Unterboden weniger dringend. Die Ergebnisse der BZE decken sich mit denen der Untersuchungen zu den Stoffeinträgen und -bilanzen, die auf Standorten mit basenarmem Silikatgestein eine Säurebelastung ausweisen, die oberhalb der Säurepufferraten der Böden liegen. Insofern liefern die beiden Untersuchungsansätze ein in sich stimmiges Bild. Wenn auch in der Luftreinhaltepolitik und in der Waldbewirtschaftung große Erfolge zur Entlastung der Waldböden erzielt worden sind, sind doch weitere Maßnahmen erforderlich, um die Belastung der Waldökosysteme auf ein tolerierbares Maß zu verringern.

HESSEN

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

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

Titelfoto: Schmidt, M.

Graphik und Layout: Paar, E.

Herstellung: Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt

Druck:
Printec Offset Kassel

Der Waldzustandsbericht 2012 ist abrufbar unter
www.nw-fva.de und
www.hmuelv.hessen.de

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

Prof. Dr. Johannes Eichhorn
Abteilungsleiter
Umweltkontrolle

Dr. Uwe Paar
Sachgebietsleiter Wald- und Bodenzustand, Redaktion

Inge Dammann
Leiterin der Außenaufnahmen, Auswertung, Redaktion

Andreas Schulze
Datenbank

Jörg Weymar
Außenaufnahmen und Kontrollen

Jürgen Wendland
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 Wahlwerberinnen und Wahlwerbern, Wahlhelferinnen 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.