



# Waldzustandsbericht 2012



# Vorwort



Liebe Leserin, lieber Leser,

ich freue mich, Ihnen den Waldzustandsbericht für Schleswig-Holstein 2012 vorstellen zu können. Nach unserem Beitritt zur Nordwestdeutschen Forstlichen Versuchsanstalt im Jahre 2010 liegen hier nun zum zweiten Mal die von den Göttinger Wissenschaftlern erhobenen Daten zum Gesundheitszustand der schleswig-holsteinischen Wälder vor.

Die mittlere Kronenverlichtung der Waldbäume in Schleswig-Holstein hat sich im Jahr 2012 gegenüber dem Vorjahr um 4 Prozentpunkte verbessert. Bei der Buche, Fichte, Kiefer und bei den anderen Nadelbäumen sind die Verlichtungswerte zurückgegangen, bei der Eiche und den anderen Laubbäumen gab es hingegen kaum Veränderungen.

Angesichts dieser Ergebnisse ist jedoch zu bedenken: Der Waldzustand wird von vielen Faktoren beeinflusst: Wasserangebot und Temperaturen in der Vegetationszeit, Belastung von Boden und Luft mit Schadstoffen und – last but not least – den Folgen des Klimawandels, der sich unmittelbar im Gesundheitszustand unserer Waldbäume widerspiegelt. Jährliche Schwankungen sind in diesem Zusammenhang durchaus von Bedeutung. Entscheidend ist jedoch die Langfristigkeit des Forstlichen Umweltmonitorings. Hier können wir bereits auf längere Zeitreihen zurückblicken, in denen sich kurzfristige Ereignisse und längerfristige Trends widerspiegeln.

Forstliche Wissenschaft und forstliche Praxis müssen sich gemeinsam den hieraus resultierenden Herausforderungen stellen. Holz ist ein zukunftsfähiger, nachhaltiger und klimaneutraler Rohstoff. Lassen Sie uns gemeinsam dazu beitragen, den Wald gesund und stabil für die Zukunft zu machen!

A handwritten signature in black ink that reads "Robert Habeck". The signature is written in a cursive, slightly stylized font.

Dr. Robert Habeck

Minister für Energiewende, Landwirtschaft, Umwelt  
und ländliche Räume des Landes Schleswig-Holstein

# Hauptergebnisse

## Waldzustandserhebung

Die mittlere Kronenverlichtung der Waldbäume in Schleswig-Holstein hat sich mit 16 % im Jahr 2012 gegenüber dem Vorjahr (2011: 20 %) verbessert. Bei der Buche, Fichte, Kiefer und bei den anderen Nadelbäumen sind die Verlichtungswerte zurückgegangen, bei der Eiche und den anderen Laubbäumen gab es kaum Veränderungen zum Vorjahr. Damit liegt das Kronenverlichtungsniveau 2012 insgesamt deutlich unter den Werten des Jahres 2004, im dem der höchste Wert im Beobachtungszeitraum (24 %) erreicht wurde.

Die Ergebnisse der Waldzustandserhebung zeigen einen deutlichen Alterstrend: Die mittlere Kronenverlichtung der über 60-jährigen Waldbestände liegt mit 22 % mehr als doppelt so hoch wie die der jüngeren Waldbestände (8 %).

Bei den Laubbaumarten Buche und Eiche haben sich die Kronenverlichtungswerte im Beobachtungszeitraum deutlich erhöht. Die Entwicklung der Kronenverlichtung der Buche ist durch starke Schwankungen gekennzeichnet, in diesem Jahr ist eine gegenüber dem Vorjahr deutliche Verbesserung der Kronenverlichtungswerte der älteren Buche um 10 %-Punkte auf 23 % festzustellen. Diese Entwicklung ist mit beeinflusst durch die Fruchtbildung. Im Vorjahr wurde die intensivste Fruchtbildung seit 1996 festgestellt, 2012 dagegen wurden mittlere und starke Fruchtbildung nur an 3 % der älteren Buchen beobachtet.

Der Verlauf der mittleren Kronenverlichtung der älteren Eiche (2012: 26 %) wird beeinflusst durch die Populationsdynamik der Eichenfraßgesellschaft. Fraßschäden haben auch in diesem Jahr zu Belaubungsdefiziten der Eiche beigetragen.

Bei der älteren Fichte wird seit Beginn der Zeitreihe der Waldzustandserhebung ein anhaltend hoher Verlichtungsgrad festgestellt. Der niedrigste Wert wurde 1992 ermittelt (24 %), der höchste im Jahr 2006 (37 %). Mit einer mittleren Kronenverlichtung von 26 % wird in diesem Jahr ein vergleichsweise niedriger Wert erreicht.

Die ältere Kiefer zeigt im Beobachtungszeitraum ebenfalls Schwankungen, 2004 waren die Verlichtungswerte am höchsten (27 %). Zurzeit sind die Verlichtungswerte niedriger (2012: 14 %). Im Jahr 2012 liegt die mittlere Kronenverlichtung der anderen Laub- und Nadelbäume (alle Alter) bei 13 % bzw. 10 %.

Der Anteil starker Schäden für alle Baumarten und Alter (1,6 %) und die Absterberate (0,2 %) liegen auf einem insgesamt niedrigen Niveau.

## Witterung und Klima

Die Waldbestände in Schleswig-Holstein sind mit einem leichten 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 ausgeglichen. Auf die Kronenentwicklung der Waldbäume in Schleswig-Holstein hat sich dieser Witterungsverlauf positiv ausgewirkt.

Seit Ende der 1980er Jahre zeigt sich in Schleswig-Holstein die Tendenz zu durchschnittlichen Temperaturen oberhalb des langjährigen Mittels. Bei den Niederschlägen sind erhebliche Schwankungen vor allem in den Sommermonaten für die Zeitreihe 1984-2012 typisch, Trends in den durchschnittlichen Niederschlägen zeichnen sich nicht ab.



Foto: H. Heinemann

# Hauptergebnisse

## Waldschutz

Witterungsextreme in Kombination mit wiederholtem, starkem Blattfraß können lokal starke Schäden an Eichen 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. Das Eschentriebsterben ist inzwischen in Schleswig-Holstein weit verbreitet.

## Stoffeintrag

Messungen zum Stoffeintrag in Waldökosysteme werden in Schleswig-Holstein auf einer Buchenfläche durchgeführt. Dabei sind die Einträge von Schwefel und Stickstoff für die Waldökosysteme von besonderer ökologischer Bedeutung, da sie maßgeblich zur Bodenversauerung und Nährstoffauswaschung beitragen. Durch erfolgreiche Luftreinhaltemaßnahmen sind die Schwefeleinträge in die Wälder deutlich zurückgegangen. Im Buchenwald Bornhöved verringerte sich der jährliche Schwefeleintrag von 22 kg pro Hektar (Mittel der Jahre 1989-1993) auf 10 kg (Mittel der Jahre 2006-2010). Bei den Stickstoffeinträgen zeigt sich keine Tendenz, im Mittel der Beobachtungsjahre liegt der jährliche Eintrag bei 22 kg pro Hektar.

## Kohlenstoffvorräte im Waldboden

Die Kohlenstoffvorräte im Waldboden wurden anhand des Stichprobenrasters der Bodenzustandserhebung (BZE II) quantifiziert. Im Mittel sind in Schleswig-Holstein (ohne Moorstandorte) im Auflagehumus ca 35 t und im Mineralboden bis 90 cm Bodentiefe ca 130 t Kohlenstoff pro Hektar gespeichert. Die Spannen der gespeicherten Kohlenstoffvorräte sind enorm und Ausdruck der standörtlichen Vielfalt in Waldböden. Laub- und Nadelwald unterscheiden sich nicht hinsichtlich der gespeicherten Kohlenstoffvorräte im Mineralboden, im Auflagehumus sind die Kohlenstoffvorräte unter Nadelwald fast doppelt so hoch wie unter Laubwald.

## Zur Nachhaltigkeit der Vollbaumnutzung

Die NW-FVA unterstützt die Betriebe mit Empfehlungen zur Intensität der Holznutzung mit dem Ziel der Wahrung der Nährstoffnachhaltigkeit der Wälder. Aus der Sicht des Klimaschutzes und des Ersatzes von fossilen Brennstoffen ist es sinnvoll, aus Baumbiomasse Energie zu gewinnen, aus der Sicht des Forstbetriebes kommt es darauf an, die Nutzung der Biomasse nur so weit zu intensivieren, wie es der Nährstoffhaushalt des Waldes zulässt, denn es wird zusätzlich zum Derby- oder Stammholz schwächer dimensionierte, nährstoffreiche Biomasse geerntet und somit der Nährstoffexport aus dem Wald deutlich erhöht.

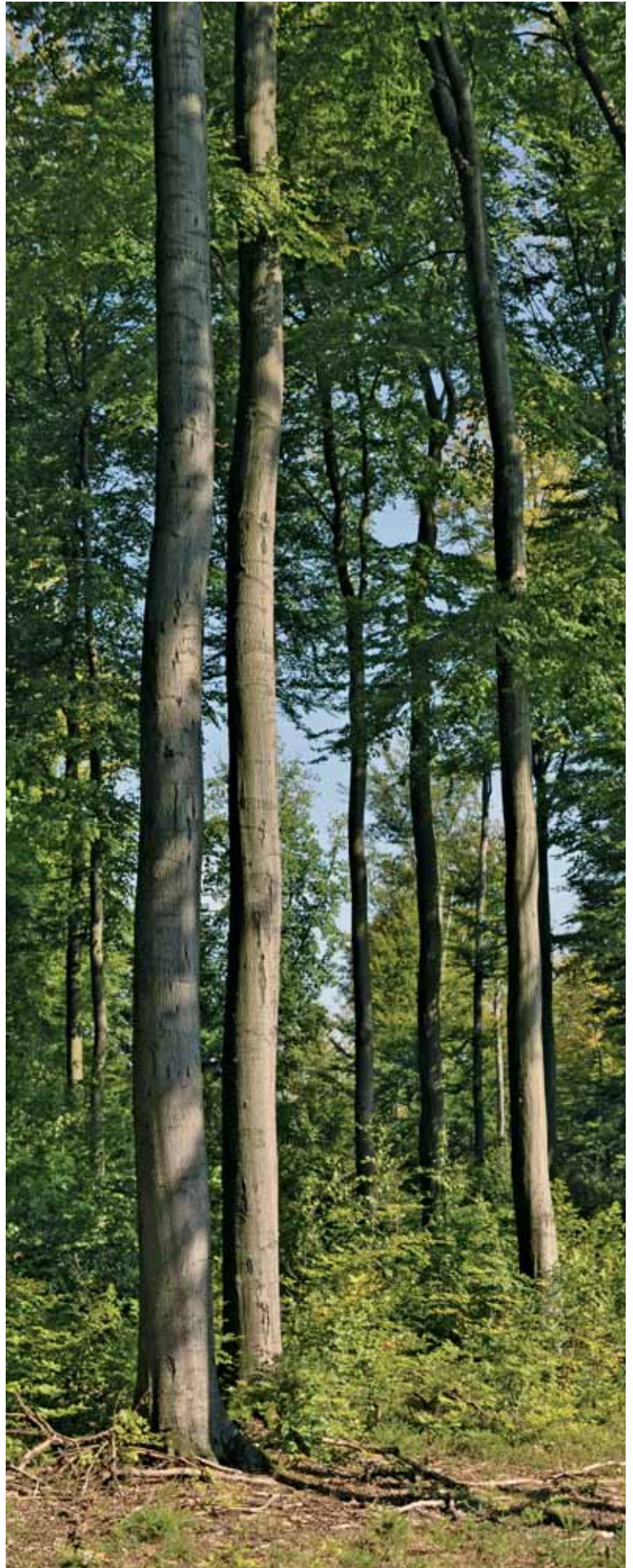


Foto: J. Evers

# 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 gesellschaftliche Veränderungen widerspiegeln. Während noch vor wenigen Jahrzehnten der Kohlenstoffspeicherung in Waldböden keine besondere Bedeutung zugemessen wurde, erlangt heute der Kohlenstoffvorrat in Waldböden und seine Veränderung ein zunehmendes wissenschaftliches, politisches und wirtschaftliches Interesse. Waldfunktionen als Ausdruck der gesellschaftlichen Erwartungen können nur dann nachhaltig entwickelt, gesichert und 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. Die Forstliche Umweltkontrolle leistet Beiträge zur Daseinsvorsorge, arbeitet die Informationen bedarfsgerecht auf, erfüllt Berichtspflichten, gibt für die Forstpraxis Entscheidungshilfen und berät die Politik auf fachlicher Grundlage.

Das Forstliche Umweltmonitoring geht ursprünglich von den Fragestellungen der Genfer Luftreinhaltkonvention (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.

Das ICP Forests (International Co-operative Programme on Assessment and Monitoring of Air Pollution Effects on Forests) ist ein Monitoringprogramm zum Waldzustand in Europa. Zurzeit sind 41 Staaten beteiligt. Durch die Einbindung des Forstlichen Umweltmonitorings in Deutschland in das Europäische Waldmonitoring unter ICP Forests (Level I seit 1984, Level II seit 1994) und die Orientierung an den dort definierten Standards



Wartung von Bodenfeuchtemessgeräten

Foto: H. Heinemann

(ICP Forests 2010) ist ein hinsichtlich inhaltlicher Tiefe, räumlicher Repräsentanz, Langfristigkeit, Datenqualität und internationaler Vergleichbarkeit weltweit beispielhaftes Monitoringprogramm entstanden.

Grundsätzlich werden im Forstlichen Umweltmonitoring waldfächenrepräsentative Übersichtserhebungen auf Rasterebene (Level I), die Intensive Dauerbeobachtung ausgewählter Waldökosysteme (Bodendauerbeobachtungsflächen, Level II) sowie Forschungs- und Experimentalfächen unterschieden.

Das Konzept umfasst folgende Kategorien:

- Level I (Übersichtserhebungen)
- Bodendauerbeobachtungsflächen (BDF)
- Waldökosystemstudie Hessen (WÖSSH)
- Level II Standard
- Level II Core
- Forschungs- und Experimentalfächen; dazu zählen: Forsthydrologische Forschungsgebiete, Flächen zur Bodenschutzkalkung und zur Nährstoffergänzung sowie zur wasser- und stoffhaushaltsbezogenen Bewertung von Nutzungsalternativen.

An den Level I-Punkten werden folgende Erhebungen durchgeführt:

- Kronen- und Baumzustand, abiotische und biotische Faktoren.
- Auf den BZE-Punkten werden zusätzlich Baumwachstum, Nadel-/Blattchemie, Bodenvegetation und der morphologische, physikalische und chemische Bodenzustand untersucht.



Waldzustandserhebung

Foto: H. Heinemann

# Forstliches Umweltmonitoring

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

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

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

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

Anhand von Übersichtserhebungen können frühzeitig Entwicklungen und Störungen aufgezeigt und Gegenmaßnahmen eingeleitet werden. Als erfolgreiches Beispiel ist hier die Bodenschutzkalkung zu nennen, die den Waldboden wesentlich vor anthropogenen Säureinträgen schützt und zum Nährstoffhaushalt der Wälder positiv beiträgt. Das Intensive Moni-

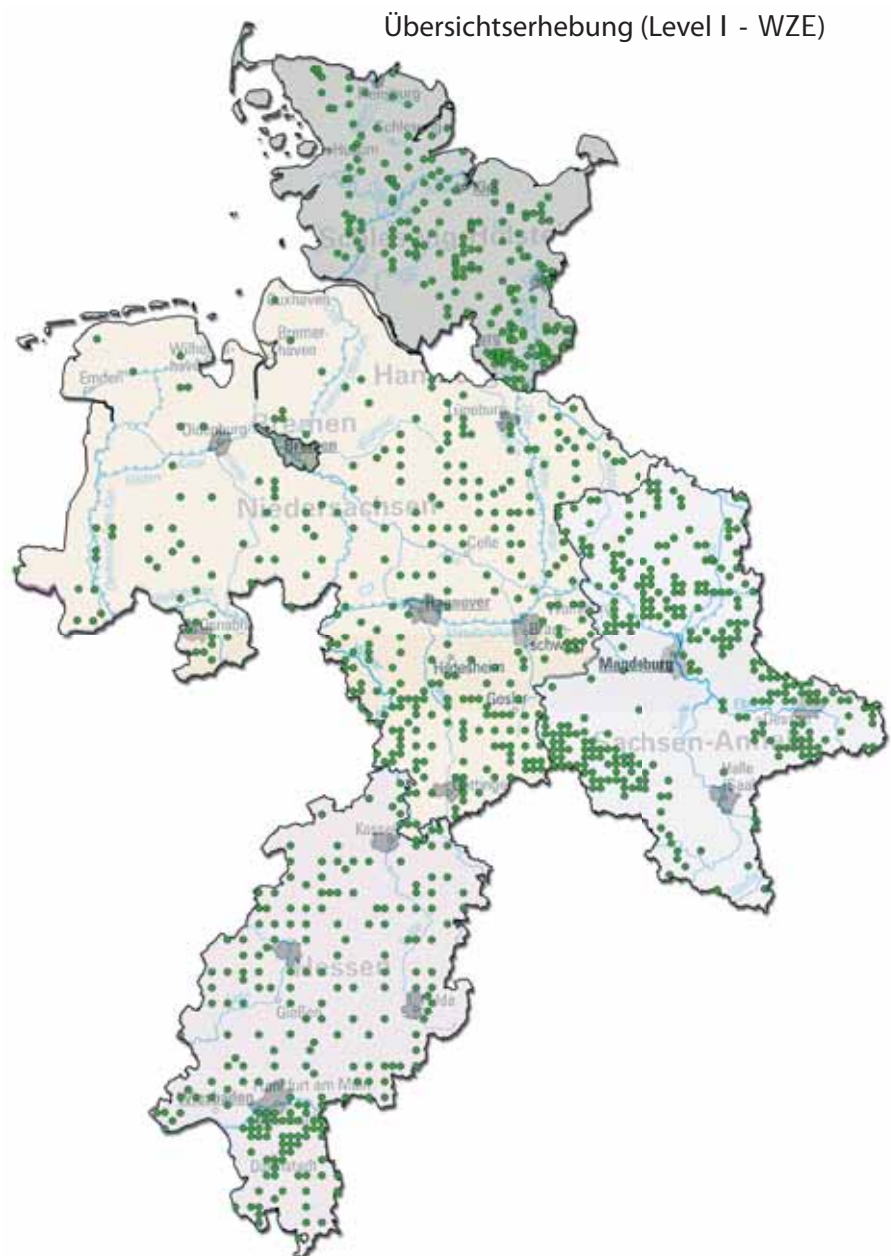
toring ermöglicht einen viel genaueren Blick auf die Abläufe im Ökosystem und trägt wesentlich zum Verständnis der Entwicklungen bei. Im Falle von umweltpolitischen Maßnahmen ermöglicht das Monitoring insgesamt eine wirksame Kontrolle der Erfolge.

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 zur forstlichen 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 das Intensive Monitoring für die Länder Hessen, Niedersachsen, Bremen, Sachsen-Anhalt und Schleswig-Holstein zeigen die Karten unten.



Foto: T. Friedhoff



# Forstliches Umweltmonitoring

## Waldzustandserhebung – Methodik und Durchführung

Die Waldzustandserhebung ist Teil des Forstlichen Umweltmonitorings in Schleswig-Holstein. 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 Schleswig-Holstein verteilten Rasternetz werden seit 1984 an jedem Erhebungspunkt 24 Stichprobenbäume begutachtet. In einseharen Beständen sind Kreuztrakte mit markierten Stichprobenbäumen angelegt. In dichten, nicht einseharen Beständen werden in Quadrattrakten Stichprobenbäume ausgewählt. Die Rasterweite des landesweiten Stichprobennetzes beträgt 2x2 km, 2x4 km, 4x2 km und 4x4 km. Derzeit gehören 198 Erhebungspunkte zum Stichprobenkollektiv. Alle Stichprobenbäume wurden mit gleicher Gewichtung bei der

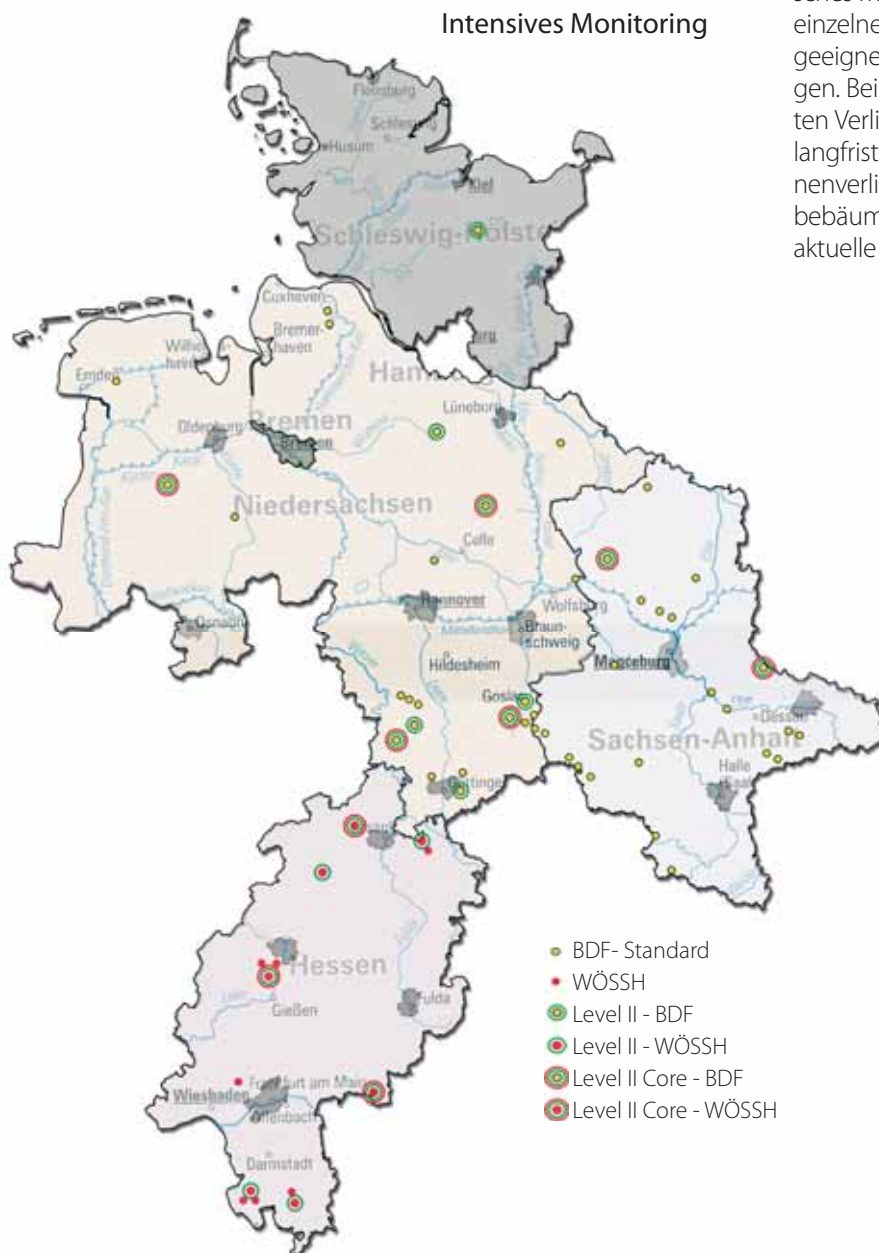
Berechnung der Ergebnisse berücksichtigt. Dieser Aufnahmeumfang ermöglicht repräsentative Aussagen zum Waldzustand auf Landesebene sowie Zeitreihen für die Baumarten Buche, Eiche, Fichte und Kiefer. Die Baumartenverteilung der WZE-Stichprobe ergibt für die Buche einen Anteil von 26 %, die Eiche ist mit 14 %, die Fichte mit 17 % und die Kiefer mit 8 % vertreten. Die anderen Laub- und Nadelbäume sind mit einem Anteil von zusammen 35 % vertreten.

## 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 Probenbäumen 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.



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

# Alle Baumarten

## Mittlere Kronenverlichtung

Die Waldzustandserhebung 2012 weist als Gesamtergebnis für die Waldbäume in Schleswig-Holstein (alle Baumarten, alle Alter) eine mittlere Kronenverlichtung von 16 % aus. Nachdem in den ersten drei Erhebungsjahren relativ geringe Verlichtungswerte (11 %) ermittelt wurden, stiegen in den Folgejahren die Verlichtungswerte an, am höchsten waren sie 2004 (24 %). Im Jahr 2012 verbesserten sich die Kronenverlichtungswerte gegenüber dem Vorjahr bei Buche, Fichte, Kiefer und bei den anderen Nadelbäumen, bei Eiche und den anderen Laubbäumen gibt es kaum Veränderungen.

Einen bedeutsamen Einfluss auf das Gesamtergebnis hat die Altersstruktur der Waldbestände, denn in den jüngeren bis 60jährigen Beständen sind Schadsymptome sehr viel weniger verbreitet als in den älteren über 60jährigen Waldbeständen. Die Ergebnisse der Waldzustandserhebung zeigen einen deutlichen Alterstrend: Die mittlere Kronenverlichtung der über 60jährigen Waldbestände liegt mit 22 % mehr als doppelt so hoch wie die der jüngeren Waldbestände (8 %). In Schleswig-Holstein entfallen etwa 40 % der Stichprobenbäume der Waldzustandserhebung auf die jüngere Altersstufe.

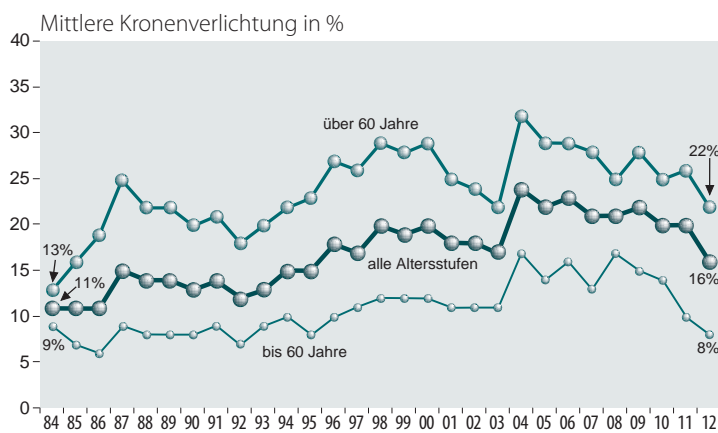


Foto: M. Schmidt

## Anteil starker Schäden

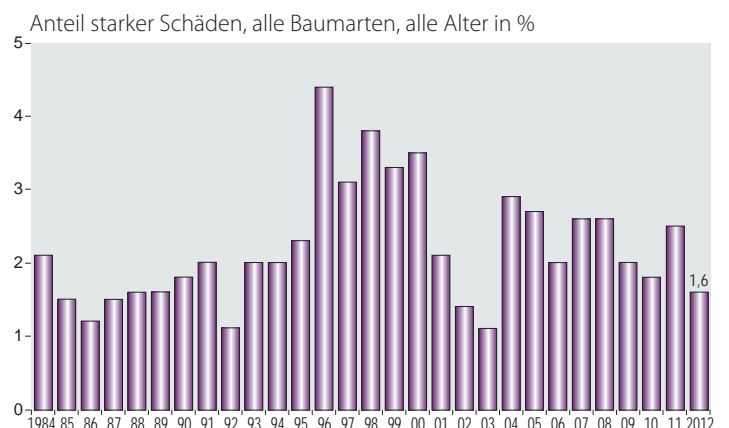
Für den Erhebungszeitraum liegt der durchschnittliche Anteil an starken Schäden (Kronenverlichtungen über 60 %) bei 2,2 %. Im Jahr 2012 werden 1,6 % der Waldfläche als stark geschädigt eingestuft. Am niedrigsten war der Anteil stark verlichteter Bäume in den Jahren 1992 und 2003 (1,1 %), am höchsten im Jahr 1996 mit 4,4 %.

In den jüngeren Beständen sind in diesem Jahr 1,4 % stark geschädigt, dies entspricht dem Mittel der Zeitreihe. In den älteren Beständen wurden im Durchschnitt 3 % der Waldfläche als stark geschädigt klassifiziert, der Wert für das Jahr 2012 beträgt 1,8 %.

Für die ältere Fichte, Buche und Eiche wurden im Beobachtungszeitraum zeitweise hohe Anteile an starken Schäden (bei der Buche bis 16 % im Jahr 1996) registriert, für die ältere Kiefer sind durchgehend niedrige Werte (bis 2 %) ermittelt worden.



Foto: J. Evers



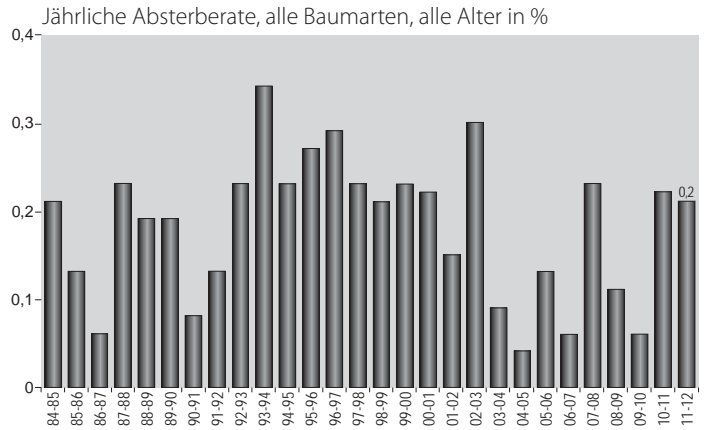


# Alle Baumarten

## Absterberate

Im Mittel der Beobachtungsjahre 1984-2012 ergibt sich mit 0,2 % eine sehr geringe Absterberate. Diese Absterberate (alle Baumarten, alle Alter) wurde auch 2011/2012 festgestellt. Bei der diesjährigen Waldzustandserhebung sind die Absterberaten von den anderen Laubbäumen (0,6 %) gegenüber dem langjährigen Durchschnitt leicht erhöht.

Die jährliche Absterberate ist ein wichtiger Indikator für Vitalitätsrisiken des Waldes, dies gilt besonders vor dem Hintergrund prognostizierter Klimaänderungen.



## Vergilbungen

Vergilbungen der Nadeln und Blättern sind im Beobachtungszeitraum insgesamt wenig aufgetreten. Der Anteil an Bäumen mit Vergilbungen über 10 % der Nadel- bzw. Blattmasse liegt zwischen 0,4 % und 6 %. Ein zeitlicher Trend zeichnet sich nicht ab.

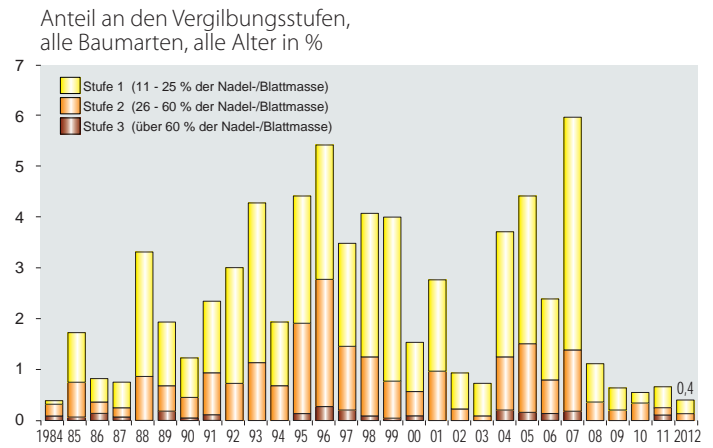


Foto: J. Evers

# Buche

## Ältere Buche

Die Kronenverlichtung der älteren Buche ist im Vergleich zum Vorjahr (33 %) deutlich zurückgegangen (23 %). In den ersten beiden Erhebungsjahren war die Belaubungsdichte der Buchen vergleichsweise günstig, in den Folgejahren stiegen die Kronenverlichtungswerte sprunghaft an. Seit 1987 liegen die Verlichtungswerte der älteren Buche relativ hoch und erhebliche Schwankungen von Jahr zu Jahr sind typisch für die Zeitreihe. Eine Ursache für die zunehmende Variabilität der Verlichtungswerte ist die Intensität der Fruchtbildung. 2011 wurde die intensivste Fruchtbildung seit 1996 festgestellt, 2012 ist dagegen nur an 3 % der älteren Buchen mittlere und starke Fruchtbildung beobachtet worden.

## Jüngere Buche

Bei der Buche sind die Unterschiede in der Belaubungsdichte zwischen jüngeren und älteren Beständen besonders stark ausgeprägt. Die jüngeren Buchen weisen ein geringes Kronenverlichtungsniveau auf. Die Folgen des Trockenjahres 2003 mit erhöhten Kronenverlichtungen von 2004 bis 2007 sind inzwischen abgeklungen. Im Jahr 2012 beträgt die mittlere Kronenverlichtung 4 %. Da die Blühreife der Buche erst in einem Alter von 40 bis 60 Jahren einsetzt, wird die Kronenentwicklung der jüngeren Buchen kaum durch die Fruchtbildung beeinflusst.

## Starke Schäden

Wie beim Verlauf der mittleren Kronenverlichtung der Buche, treten auch beim Anteil starker Schäden bei der älteren Buche im Beobachtungszeitraum erhebliche Schwankungen (zwischen 0,3 % und 16,4 %) auf. Der Anteil starker Schäden liegt bei der älteren Buche in diesem Jahr mit 1 % unter dem Durchschnittswert (4,4 %). Bei den jüngeren Buchen wurden in den letzten Jahren keine starken Schäden registriert.

## Absterberate

Obwohl die Anteile starker Schäden bei der älteren Buche in einzelnen Jahren bis auf 16 % angestiegen waren, führte dies nicht zu einer Steigerung der Absterberate. Im Vergleich zu den anderen Hauptbaumarten weist die Buche die niedrigste Absterberate auf. Im Mittel der Jahre 1984-2012 liegt die Absterberate der Buche bei 0,05 %. Im Jahr 2012 ist eine Buche im Stichprobenkollektiv abgestorben.



Foto: J. Evers

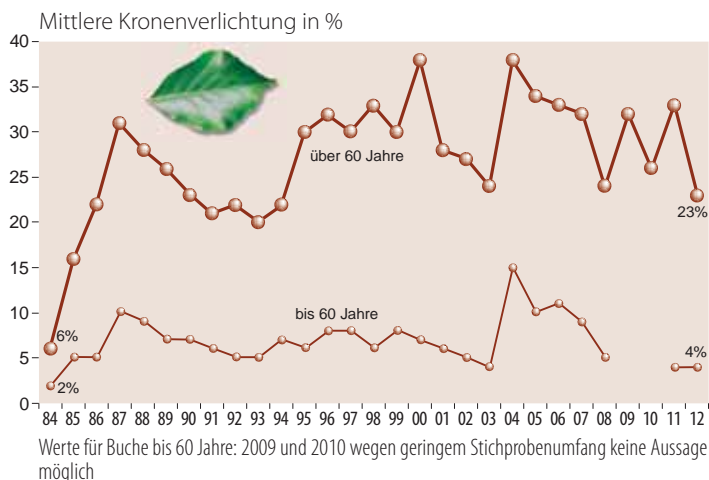
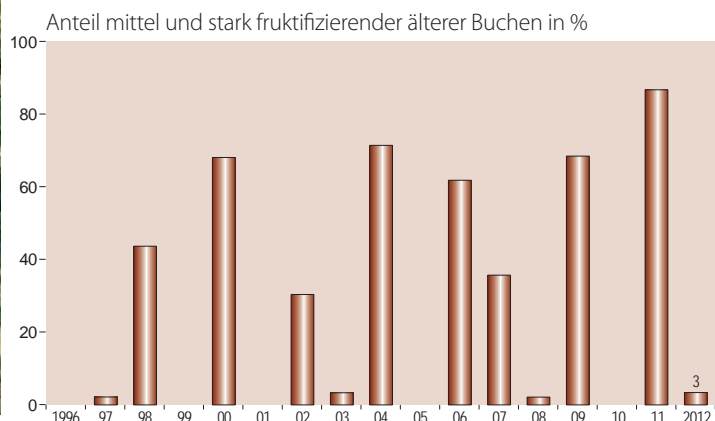


Foto: H. Heinemann

## Fruchtbildung

Die Ergebnisse zur Fruchtbildung im Rahmen der Waldzustandserhebung zeigen für die Buche die Tendenz, in kurzen Abständen und vielfach intensiv zu fruktifizieren. Dies steht im Zusammenhang mit einer Häufung warmer Jahre sowie einer erhöhten Stickstoffversorgung der Bäume. Geht man davon aus, dass eine starke Mast erreicht wird, wenn ein Drittel der älteren Buchen mittel oder stark fruktifiziert, ergibt sich rechnerisch für den Zeitraum 1996-2012 alle 2,4 Jahre eine starke Mast. Literaturrecherchen hingegen ergaben für den Zeitraum 1839-1987 Abstände zwischen zwei starken Masten für 20-Jahresintervalle zwischen 3,3 und 7,1 Jahre.



# Eiche

## Ältere Eiche

Die Zeitreihe der mittleren Kronenverlichtung der älteren Eiche weist zu Beginn relativ günstige Verlichtungswerte aus, es folgt ein rascher Anstieg der Verlichtung mit besonders hohen Kronenverlichtungswerten in den Jahren 1999 sowie 2004 und 2005. Seitdem sind die Werte leicht zurückgegangen. In den Jahren 2008 bis 2011 wird ein konstanter Kronenverlichtungswert (25 %) ermittelt, 2012 gibt es einen leichten Anstieg auf 26 %.

Die Entwicklung des Kronenzustandes der Eiche wird stark durch Insekten- und Pilzbefall beeinflusst. Die periodische Vermehrung von Insekten der so genannten Eichenfraßgesellschaft trägt maßgeblich zu den Schwankungen der Belaubungsdichte der Eiche bei. Im Jahr 2012 zeigen 12 % der älteren Eichen mittlere und starke Fraßschäden.

## Jüngere Eiche

Die Kronenentwicklung der Eichen in der Altersstufe bis 60 Jahre zeigt einen sehr viel günstigeren Verlauf als die Entwicklung der älteren Eichen. Von 1984 bis 2003 wurden Verlichtungswerte zwischen 2 % und 8 % ermittelt, seit 2004 liegen die Verlichtungswerte höher (8 % bis 12 %), im Jahr 2012 beträgt die mittlere Kronenverlichtung 7 %.



Foto: T. Friedhoff

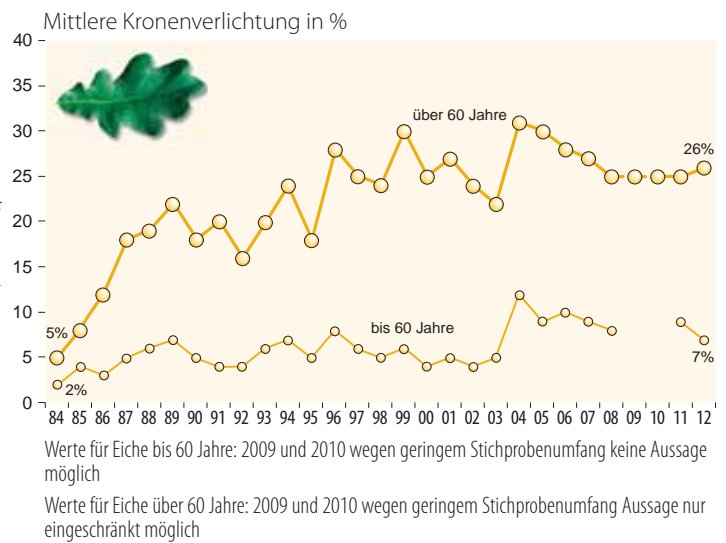


Foto: NW-FVA

## Starke Schäden

Der Mittelwert der Zeitreihe liegt für die älteren Eichen bei 1,9 %. Eine Phase mit erhöhten Anteilen starker Schäden (bis 6 %) wird für die älteren Eichen im Zeitraum 1996 bis 1999 in Verbindung mit intensivem Insektenfraß verzeichnet. Anschließend sind die starken Schäden wieder zurückgegangen, 2012 liegt der Anteil bei 1,7 %. Bei den jüngeren Eichen sind in den letzten Jahren keine starken Schäden aufgetreten.

## Absterberate

Die Absterberate der Eiche liegt im Mittel der Jahre 1984-2012 bei 0,1 %. Überdurchschnittliche Absterberaten wurden vor allem im Anschluss an starken Insektenfraß ermittelt, am höchsten war die Absterberate 1997 (0,5 %). Im Jahr 2012 zeigen sich noch keine Auswirkungen der Fraßschäden, es ist keine Eiche aus dem Kollektiv der Waldzustandserhebung abgestorben.

# Fichte

## Ältere Fichte

Im gesamten Beobachtungszeitraum werden für die ältere Fichte anhaltend hohe Kronenverlichtungswerte zwischen 24 % (1992) und 37 % (2006) festgestellt. Im Jahr 2012 ist ein deutlicher Rückgang der mittleren Kronenverlichtung auf 26 % zu verzeichnen, nur im Jahr 1992 lagen die Verlichtungswerte mit 24 % niedriger.

## Jüngere Fichte

Für die Fichte ist ein deutlicher Alterstrend festzustellen. Die jüngeren Fichten liegen mit einer mittleren Kronenverlichtung von 10 % weit unter den Werten der älteren Fichten. Der höchste Wert in der Zeitreihe wurde 2008 ermittelt (18 %).

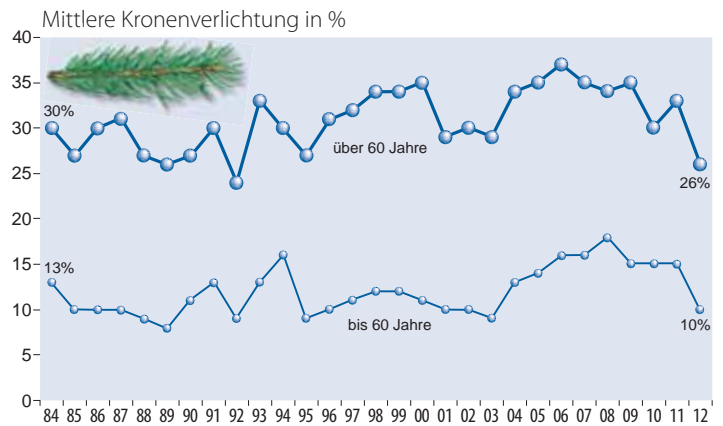


Foto: J. Evers



Foto: T. Friedhoff

## Starke Schäden

Für die Fichte (alle Alter) ergibt sich im Mittel aller Erhebungsjahre ein durchschnittlicher Anteil an starken Schäden von 2,6 %. Im Vergleich zu den anderen Baumarten ist dies ein durchschnittlicher Wert (Mittelwert 1984-2012 für alle Baumarten: 2,2 %). Die Werte schwanken im Erhebungszeitraum ohne zeitlichen Trend zwischen 0,6 % und 4,7 %.

## Absterberate

Die Absterberate der Fichte liegt im Mittel der Jahre 1984-2012 bei 0,2 %. Dies entspricht dem Mittelwert der Zeitreihe (alle Baumarten, alle Alter). Im Jahr 1994 wurde für die Fichte die höchsten Absterberate (1 %) ermittelt. Im Jahr 2012 ist die Absterberate mit 0,1 % sehr niedrig.



Foto: J. Evers

# Kiefer

## Ältere Kiefer

Die Kiefer ist 2012 unter den Hauptbaumarten die Baumart mit den niedrigsten Kronenverlichtungswerten. Die mittlere Kronenverlichtung der älteren Kiefer beträgt in diesem Jahr 14 %. Seit 1998 werden erhöhte Werte festgestellt, der Höchstwert in der Zeitreihe mit 27 % wurde 2004 ermittelt.

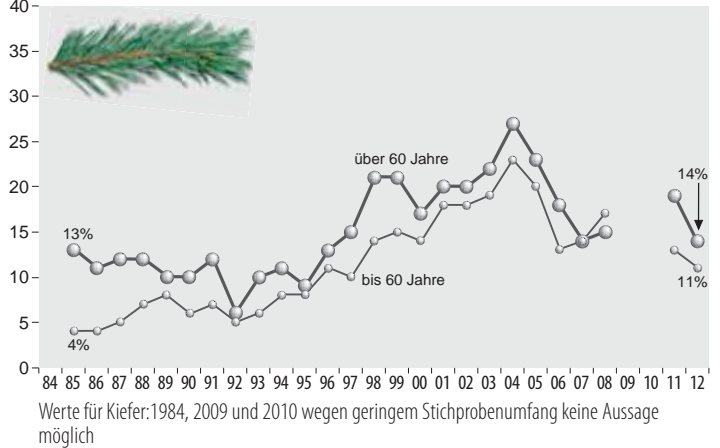
## Jüngere Kiefer

Im Gegensatz zu Buche, Fichte und Eiche sind bei der Kiefer die Unterschiede im Kronenverlichtungsgrad zwischen den Altersgruppen sehr viel weniger ausgeprägt. Die Entwicklung jüngerer und älterer Kiefern verläuft weitgehend parallel. Die mittlere Kronenverlichtung der jüngeren Kiefer beträgt in diesem Jahr 11 %.

## Starke Schäden

Der Anteil starker Schäden liegt bei der Kiefer (alle Alter) im langjährigen Mittel der Erhebungsjahre bei 0,7 %. In 2012 wird dieser Mittelwert unterschritten (0,5 %). Im Vergleich der Baumarten zeigt die Kiefer auffallend geringe Anteile an starken Schäden. Im Erhebungszeitraum treten nur geringe Schwankungen auf.

Mittlere Kronenverlichtung in %



## Absterberate

Die Absterberate der Kiefer schwankt im Erhebungszeitraum zwischen 0 und 0,7 %. Im Jahr 2012 beträgt die Absterberate 0,2 % und erreicht damit das Mittel der Zeitreihe.



Foto: NW-FVA

# Andere Laub- und Nadelbäume

Die Waldzustandserhebung ist als landesweite flächendeckende Stichprobeninventur konzipiert, sie gibt daher einen Überblick über alle Baumarten. Neben den Hauptbaumarten Kiefer, Fichte, Buche und Eiche kommt in den Wäldern Schleswig-Holsteins eine Vielzahl weiterer Baumarten vor. Jede Baumart für sich genommen ist in der Stichprobe der Waldzustandserhebung allerdings zahlenmäßig so gering vertreten, dass allenfalls Trendaussagen zur Kronenentwicklung möglich sind. Bei der Darstellung der Ergebnisse der Waldzustandserhebung werden sie daher in den Gruppen andere Laubbäume und andere Nadelbäume zusammengefasst. In der Baumartenverteilung der Waldzustandserhebung beträgt der Anteil der anderen Laubbäume 20 %, die anderen Nadelbäume nehmen 15 % des Stichprobenkollektivs ein.

Zu den anderen Laubbäumen gehören u. a. Ahorn, Linde und Hainbuche. Am stärksten vertreten ist die Birke, gefolgt von der Esche und der Erle. Die Kronenverlichtungswerte sind ausgehend von einem geringen Niveau 1984 (alle Alter: 5 %) im Laufe der Jahre angestiegen, der Höchstwert wurde 2004 (alle Alter: 23 %) erreicht. Anschließend waren die Verlichtungswerte wieder rückläufig. Im Jahr 2012 beträgt die mittlere Kronenverlichtung (alle Alter) 13 %.

Die Gruppe der anderen Nadelbäume setzt sich vorwiegend aus Lärche und Sitkafichte zusammen. Auch hier war ein Anstieg der Kronenverlichtung im Erhebungszeitraum zu beobachten. Der Höchstwert der mittleren Kronenverlichtung lag 2008 bei 24 %. In den letzten drei Jahren ist eine erhebliche Verbesserung eingetreten. Die mittlere Kronenverlichtung (alle Alter) liegt in diesem Jahr bei 10 %.



Foto: T. Ullrich

## Starke Schäden

Der Anteil starker Schäden liegt die Gruppe der anderen Laubbäume im Erhebungszeitraum zwischen 0,8 % und 4,5 %. In diesem Jahr ist der Anteil mit 4,5 % überdurchschnittlich hoch. Für die anderen Nadelbäume sind seit 1984 Werte zwischen 0,3 % und 7,2 % aufgetreten, im Mittel beträgt der Anteil 1,6 %. 2012 liegt hier der Anteil starker Schäden bei 1 %.

## Absterberate

Die Absterberate der anderen Laubbäume liegt im Beobachtungszeitraum im Mittel bei 0,4 %, also doppelt so hoch wie der Mittelwert für alle Baumarten. Im Jahr 2012 ist die Absterberate mit 0,6 % erneut überdurchschnittlich hoch. Bei den anderen Nadelbäumen wird 2012 der Mittelwert der Zeitreihe (0,1 %) in diesem Jahr nicht überschritten.



Foto: H. Heinemann



Foto: H. Heinemann

# Witterung und Klima

Inge Dammann und Olaf Schwerdtfeger

Der Witterungsverlauf für Schleswig-Holstein wird anhand von Daten des Deutschen Wetterdienstes (DWD) beschrieben. Die Höhe der Niederschläge und ihre Verteilung über das Jahr sowie die Temperaturdynamik sind wichtige Einflussgrößen auf die Vitalitätsentwicklung der Waldbäume. Dabei spielen sowohl der langjährige Witterungsverlauf als auch die Werte des vergangenen Jahres eine Rolle. Dargestellt werden jeweils die Abweichungen vom Mittel der Jahre 1961-1990 für ausgewählte Klimastationen des Deutschen Wetterdienstes in Schleswig-Holstein.

## Temperatur und Niederschlag im langjährigen Verlauf

Die Messdaten für den Zeitraum 1984 bis 2012 zeigen seit 1988 eine gegenüber der Referenzperiode (1961-1990) erhöhte Temperatur. In der Vegetationszeit (Mai bis September) wurde seit 1988 in 22 von 25 Jahren der Durchschnittswert überschritten, in der Nichtvegetationszeit (Oktober bis April) war dies in 20 von 25 Jahren der Fall. Mit Abweichungen vom langjährigen Mittel zwischen +1,6 °C und +2,3 °C waren die Vegetationsperioden 1992, 2002, 2003 und 2006 und die Nichtvegetationszeit 2006/2007 (+3,3 °C) die wärmsten.

Bei den im Zeitraum 1984-2012 gemessenen Niederschlagswerten bestehen zwischen den einzelnen Jahren zum Teil starke Schwankungen. Besonders niederschlagsreich waren die Vegetationsperioden 2001 (148 %), 2002 (144 %), 2007 (146 %) und 2011 (140 %), besonders trocken war die Nichtvegetationsperiode 1995/1996 (33 %). Insgesamt halten sich in den 29 Beobachtungsjahren die Jahre mit überdurchschnittlichen Niederschlägen und die Jahre mit unterdurchschnittlichen Niederschlägen in der Vegetationszeit die Waage. In der Nichtvegetationszeit sind Niederschlagsdefizite häufiger aufgetreten als überdurchschnittlich hohe Niederschläge.

Das Witterungsgeschehen der letzten Jahre ist durch starke kleinräumige Variationen gekennzeichnet. Vor allem im Sommer kommt es durch lokale Gewitter und heftige Regenschauer zu Unterschieden in der Wasserversorgung der Waldbestände.

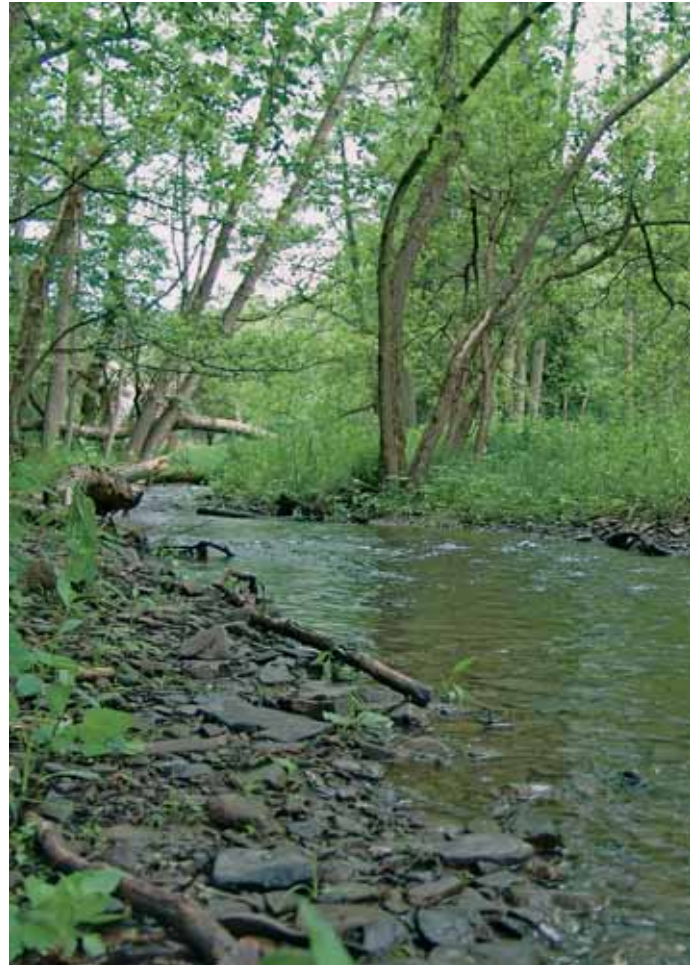
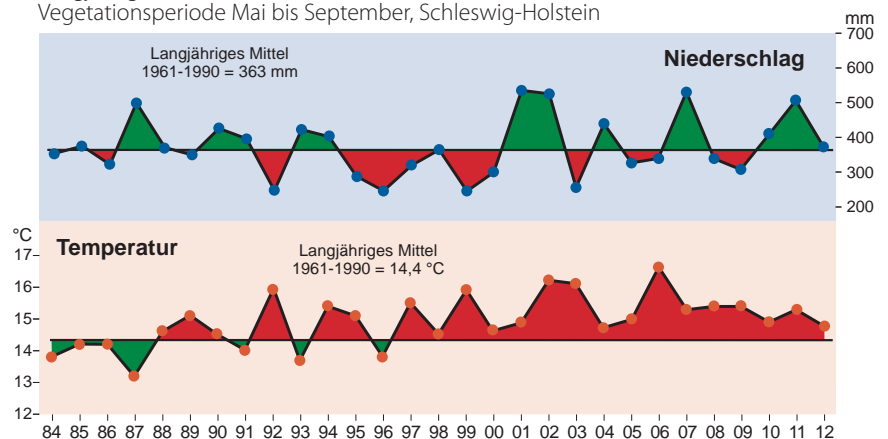


Foto: M. Schmidt

Langjährige Klimawerte (1984 - 2012)  
Vegetationsperiode Mai bis September, Schleswig-Holstein



Langjährige Klimawerte (1984 - 2012)  
Nichtvegetationsperiode Oktober bis April, Schleswig-Holstein

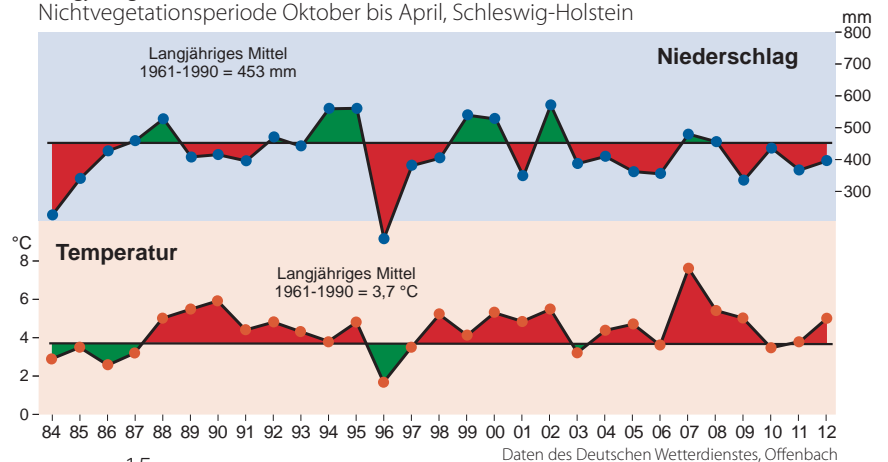


Foto: T. Ullrich

# Witterung und Klima

## Witterungsverlauf von Oktober 2011 bis September 2012

Die Temperaturen in der Nichtvegetationszeit 2011/2012 waren überdurchschnittlich (+1,3°C). Nur im Februar 2012 wurde das langjährige Mittel unterschritten (-1,1°C). Die übrigen Monate waren überdurchschnittlich warm, besonders im Dezember (+2,8°C) und im März (+3,5°C).

Die Niederschlagsmenge in der Nichtvegetationszeit erreichte insgesamt 84 % des langjährigen Mittelwertes der Jahre 1961-1990. Im November (14 %) und im März (19 %) waren die Niederschlagsmengen besonders gering. Über den Referenzwerten lagen die Monate Dezember (187 %) und Januar (152 %). Im Sommer 2012 (Mai bis September) entsprachen die Niederschläge dem langjährigen Mittel. Im Mai, August und September waren die Niederschläge unterdurchschnittlich, im Juni und Juli wurden die langjährigen Mittelwerte überschritten. Allerdings waren die Niederschläge nicht gleichmäßig über Schleswig-Holstein verteilt, zum Beispiel wurden im Juli in Lübeck-Blankensee 93 % der durchschnittlichen Niederschläge erreicht, während an der Station Schleswig 184 % gemessen wurden.

In der Vegetationszeit war es um 0,5°C wärmer als in der Referenzperiode. Nur im Juni war es kälter (-0,9°C) als im langjährigen Mittel.

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 drittrockenste März seit 1901. Die Frühlingsmonate 2012 wurden vom Deutschen Wetterdienst als die 7. wärmsten und 6. trockensten seit Beginn des 20. Jahrhunderts eingestuft. Die Waldbestände in Schleswig-Holstein sind mit einem leichten Niederschlagsdefizit aus

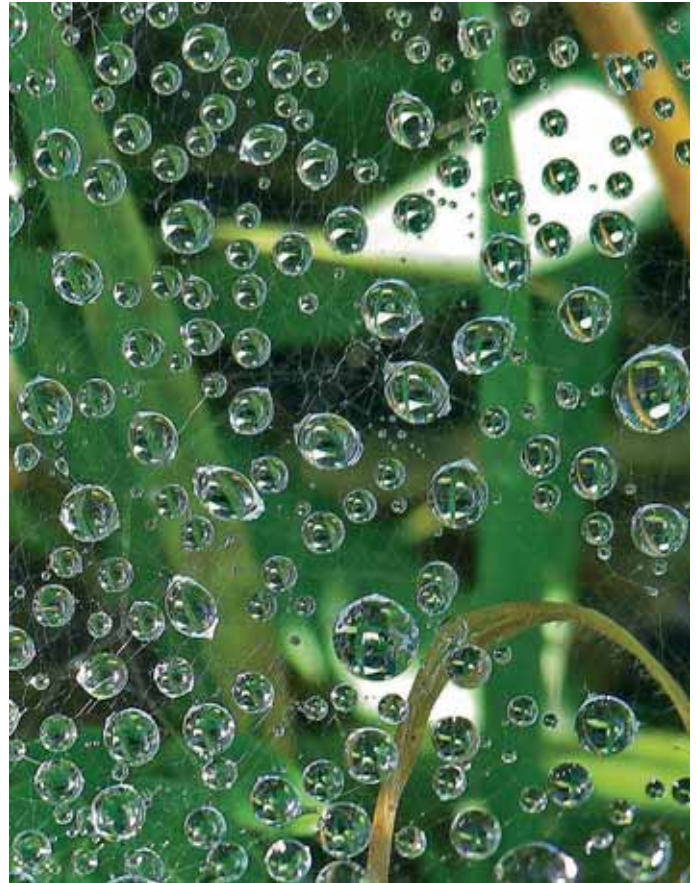
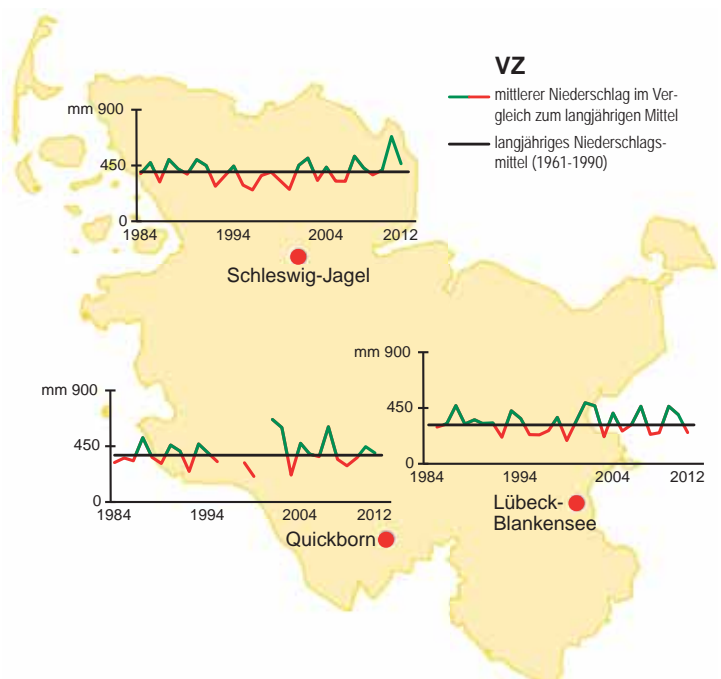
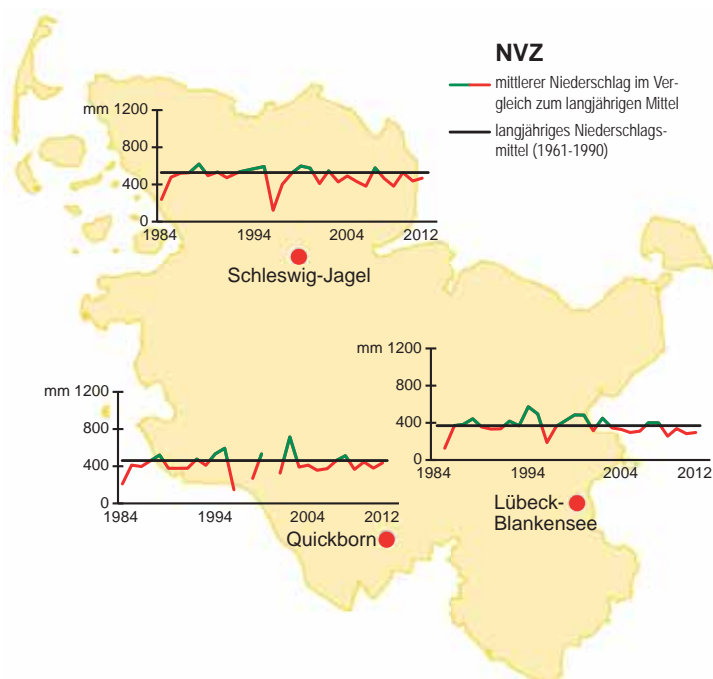


Foto: T. Ullrich

dem Winter 2011/2012 in ein trockenes, warmes und sonnenreiches Frühjahr gestartet. Das Niederschlagsdefizit wurde erst durch überdurchschnittliche Niederschläge im Juni und Juli ausgeglichen. Auf die Kronenentwicklung der Waldbäume in Schleswig-Holstein hat sich dieser Witterungsverlauf positiv ausgewirkt.

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



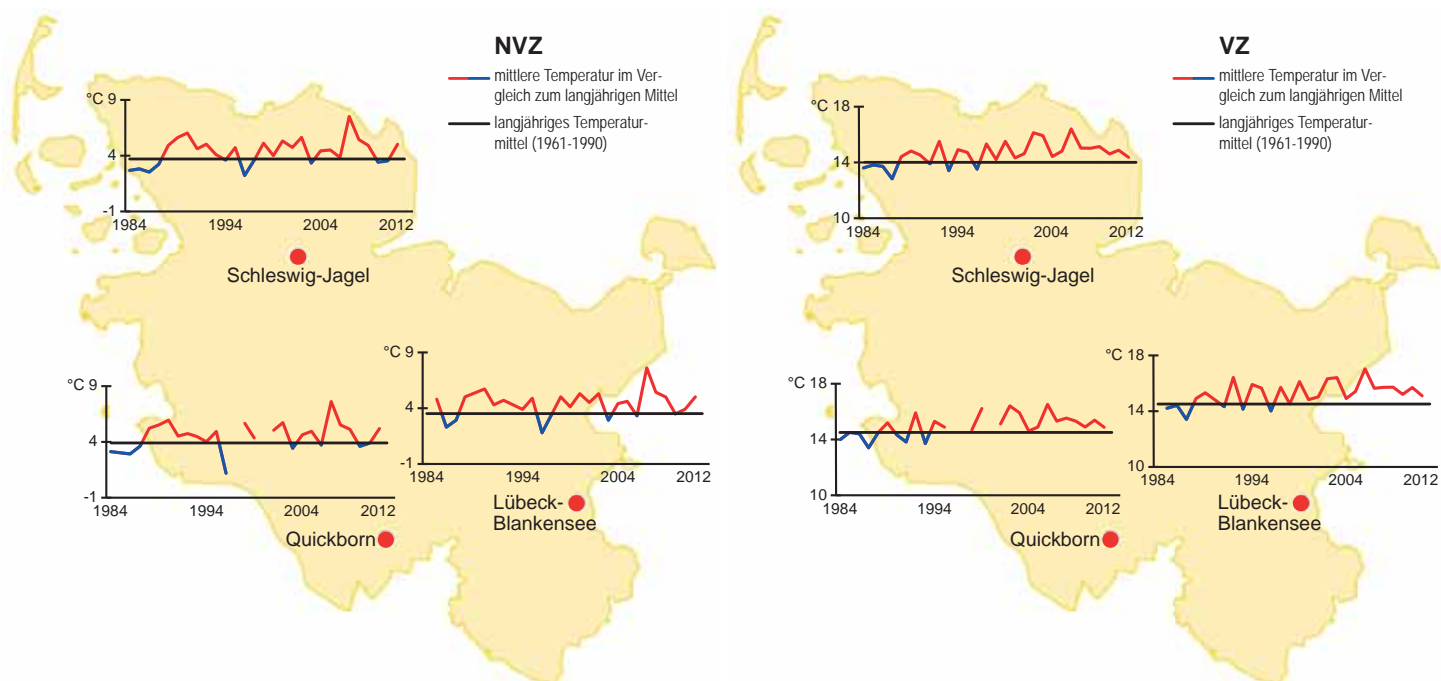


# Witterung und Klima



Foto: H. Heinemann

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



# Insekten und Pilze

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

## Eichenschäden

Seit vielen Jahren werden bei den Alteichen örtlich hohe durchschnittliche Blattverluste und gravierende Vitalitätseinbußen beobachtet. Den Bäumen fehlen Erholungsphasen ohne Witterungsextreme, Insektenfraß oder pilzliche Schaderreger. Bei den Erklärungsansätzen zum Eichensterben 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.



Mehltaubefall an Eiche

Foto: U. Bressemer



Eschentriebsterben

Foto: U. Bressemer

## Eschentriebsterben

Die Erkrankung, ausgelöst durch *Hymenoscyphus pseudoalbidus* mit der Nebenfruchtform *Chalara fraxinea*, hat sich im gesamten Zuständigkeitsgebiet der NW-FVA fest etabliert. 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 können. Neben anderen Rindenpilzen ist auch *H. pseudoalbidus* in der Lage, in den Stammfuß einzudringen und Verfärbungen und Nekrosen hervorzurufen.

## Wurzelpathogene Pilze

Schäden durch Wurzelschwamm wurden in mittelalten Kiefern- und Fichtenbeständen und auch in Vorrantbauten, z. B. an Douglasie und Roteiche verstärkt in Niedersachsen beobachtet. Verursacht durch starken Hallimaschbefall (z. B. an Rotfichte in den Hochlagen des Harzes, an Sitkafichte in küstennahen Regionen und im Zusammenhang mit Eichensterben und Eschentriebsterben) traten Absterbeerscheinungen auf.



Geschädigte Eichen auf der Level II-Fläche Ehrhorn

Foto: U. Bressemer

# Stoffeinträge

Claus-Georg Schimming\*

\*Universität Kiel

Da Wälder gegenüber anderen Formen der Landoberfläche wegen Rauigkeit und höheren Widerstandes des Kronenraumes für den Luftstrom eine stärkere Senke für Einträge gasförmiger und partikulärer Luftverunreinigungen bilden, sind vor allem die bewaldeten Flächenanteile möglichen Wirkungen der atmosphärischen Deposition verstärkt ausgesetzt. Risiken für die Entwicklung von Waldökosystemen bestehen in erster Linie durch erhöhte Einträge an Stickstoff- und Schwefelverbindungen. Stickstoff kann Ökosysteme eutrophieren und im Wald Bäume zu verstärktem Wachstum anregen. Die atmosphärisch deponierten Stickstoffmengen stehen dann jedoch häufig nicht mehr in einem gesunden, ausgewogenen Verhältnis mit der Verfügbarkeit mineralischer Nährstoffe in den Böden. Die Nährstoffversorgung verschlechtert sich. Ein Teil der deponierten und dann nicht mehr nutzbaren Stickstoffmengen wird entweder ausgewaschen oder in Böden angereichert. Die nicht nutzbaren und ausgewaschenen Stickstoffmengen können zusammen mit den deponierten Schwefelmengen die weitere Versauerung der Böden verstärken. Es folgt eine verstärkte Lösung und Auswaschung mineralischer, basischer Nährstoffe und damit Verluste an Säureneutralisationskapazität, allgemein also an Nachhaltigkeitspotential der Waldentwicklung.

In einem Buchenwald am Belauer See werden unter anderem die depositionsbedingten Einflüsse auf einer Intensiv-Monitoringsfläche des europaweiten Netzwerkes (ICP-Forests, Level



Messungen zum Stoffeintrag und zur Luftqualität auf der Freifläche der Level II Core-Fläche Bornhöved  
Foto: H. Meesenburg

II-Programm) zur Unterstützung und Erfolgskontrolle der Internationalen Luftreinhaltepolitik von der Universität Kiel seit 1989 verfolgt.

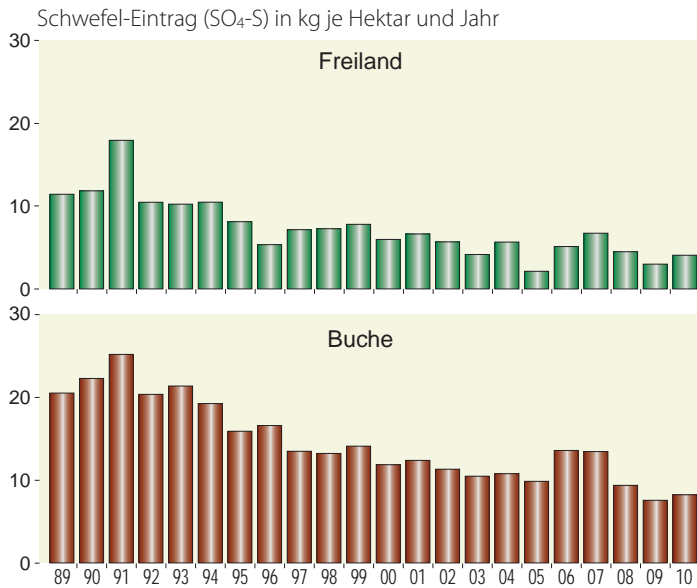
Erfolg der Luftreinhaltung, insbesondere der Emissionsbegrenzung von Großfeuerungsanlagen, zeigt zunächst den dem allgemeinen Trend in Deutschland folgende starke Rückgang der Schwefeleinträge in das Buchenwaldökosystem von jährlich über 20 kg pro Hektar bis 1994 auf heute unter 10 kg pro



Stoffeintragungsmessungen auf der Level II Core-Fläche Bornhöved

Foto: H. Meesenburg

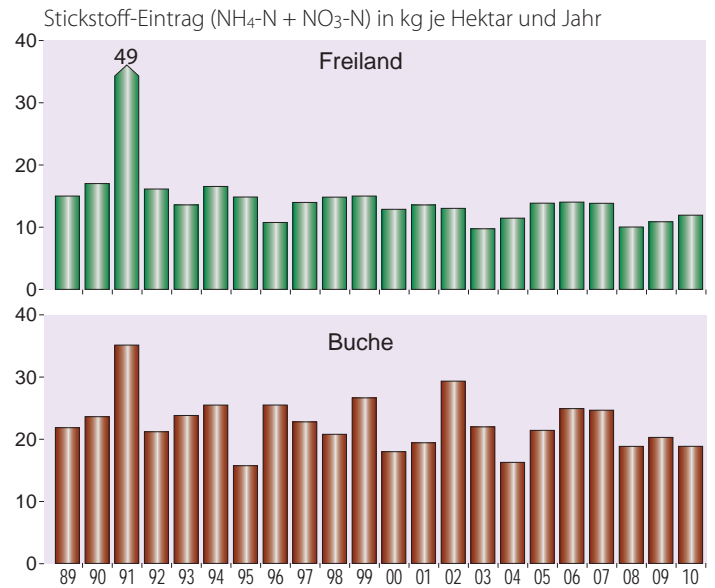
# Stoffeinträge



Hektar. Diesem Trend folgt auch die potentielle Gesamtsäurebelastung des Buchenbestandes von jährlich über 2,5 kmol<sub>c</sub> pro Hektar zu Beginn der Beobachtungsperiode, bis heute auf 1,5 kmol<sub>c</sub> pro Hektar. Trotz der gesunkenen Werte fällt der Buchenbestand immer noch in die Klasse „deutlich belastete Standorte“, deren Untergrenze bei 1,0 kmol<sub>c</sub> pro Hektar im Jahr



Foto: J. Evers



Am Standort Bornhöved zeigt sich 1991, dass bei der landestypisch engen Gemengelage landwirtschaftlich genutzter und kleiner forstlicher Flächen Gülleanwendungen lokal zu erhöhten Stickstoffeinträgen führen können.

liegt. Maßgeblichen Anteil daran haben die hohen Einträge der beiden Stickstoffverbindungen Ammonium- und Nitratstickstoff, die nicht in dem Maße wie bei Schwefel reduziert werden konnten. Während Nitratstickstoff und Schwefel bei der Nutzung fossiler Brennstoffe in die Atmosphäre gelangen, wird Ammoniumstickstoff diffus aus der Landwirtschaft emittiert. Neben dem atmosphärischen Ferntransport sind für den Standort besonders zu Beginn des Beobachtungszeitraumes lokale Einflüsse durch die Gülleausbringung und Düngung auf direkt angrenzenden Flächen wahrscheinlich. Dies zeigen hohe Stickstoffeinträge im Freiland im Jahr 1991.

Die unterhalb des Wurzelraumes in 150 cm Bodentiefe gemessenen Nährstoffausträge folgen allgemein wie bei Natrium der Grundwasserneubildung, zeigen aber im Vergleich der Flüsse der essentiellen Elemente Kalium, Magnesium und Calcium auch deutliche Einflüsse der Ökosystementwicklung. Näheren Aufschluss liefert der weitere Vergleich von Elementausträgen und den Bilanzen (Deponierte Stoffmengen – Austrag aus dem Wurzelraum). Deren Größenordnung liegt für Kalium, bei vergleichsweise geringer Auswaschung in der Größenordnung des Holzzuwachses, während sich für Magnesium ein latenter Mangel abzeichnet, der durch atmosphärische Einträge wenig kompensiert wird. Die Kreisläufe der beiden Elemente innerhalb des Ökosystems erscheinen weitaus geschlossener als bei Calcium, dessen Auswaschung den höchsten Verlust an Entwicklungspotential trägt. Im Mineralbestand sind Calciumverbindungen entscheidende Träger der Säureneutralisationskapazität. Entgegen einer möglichen Verringerung mineralischer Nährstoffe wird Stickstoff in großer Menge längerfristig im Zuwachs des Waldes und im Boden angereichert. Der aus der atmosphärischen Deposition erhöhte Stickstoffvorrat im Boden kann mineralisiert und von mineralischen Elementen begleitet ausgewaschen werden.

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

# Kohlenstoffvorräte im Waldboden

## Kohlenstoffvorräte im Waldboden von Schleswig-Holstein – Ergebnisse der zweiten Bodenzustandserhebung im Wald (BZE II)

Jan Evers und Cihan T. Aydin\*

\*Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume des Landes Schleswig-Holstein

Die langfristige Speicherung von Kohlenstoff und die damit verbundene Verminderung von CO<sub>2</sub> in der Atmosphäre sind in der Klimapolitik hochaktuell. Die Böden stellen den größten terrestrischen Kohlenstoffspeicher dar und sind damit von besonderer Bedeutung. Dies trifft auch auf die Waldböden zu. Im Wald wird das klimarelevante CO<sub>2</sub> über die Photosynthese der Bäume und Bodenvegetation in organischer Substanz als Biomasse gebunden. Über die Veratmung der Biomasse gelangt CO<sub>2</sub> wieder zurück in die Atmosphäre. Aufbau und Abbau von Biomasse halten sich in natürlichen Waldökosystemen langfristig in etwa die Waage. Über die Blattstreu, das Wurzelwachstum und die Tätigkeit der Bodenlebewesen gelangt jedoch organische Substanz in den Mineralboden, die je nach Milieu häufig verzögert veratmet und zersetzt wird und sich in organischen Verbindungen im Boden anreichert. Diese organischen Verbindungen sind teilweise sehr stabil und erhöhen langfristig den Kohlenstoffvorrat im Boden. Da diese Prozesse über mehrere 1000 Jahre ablaufen, können die Kohlenstoffvorräte in Waldböden sehr hoch sein. Die Auf- und Abbauraten von organischen Verbindungen im Mineralboden

unterliegen starken Schwankungen und sind abhängig von der Vegetation, der geografischen Lage, dem Gelände, den Umweltbedingungen, Art und Intensität der Nutzung, dem chemischem und physikalischem Milieu im Boden und dem Ausgangssubstrat. Die größten Kohlenstoffspeicher stellen Moore dar, hier ist Wasser der entscheidende Faktor; geringe Kohlenstoffvorräte finden sich in jungen Böden, wie z. B. Dünen, hier sind die fehlende Vegetation, das Ausgangssubstrat und die Lage entscheidend.

Im Folgenden wird der Frage nachgegangen, wie viel Kohlenstoff in den Waldböden Schleswig-Holsteins gespeichert ist und ob es diesbezüglich regionale, baumartenbezogene und bodencharakteristische Unterschiede gibt. Dabei wird in der Auswertung zwischen dem Auflagehumus und dem Mineralboden unterschieden. Der Auflagehumus besteht überwiegend nur aus organischer Substanz, der Mineralboden dagegen aus mineralischen Bodenbestandteilen mit eingelagerter Biomasse oder organischen Verbindungen. Datengrundlage für diese Auswertung sind die Datensätze der BZE II in Schleswig-Holstein. Diese Auswertung ist Teil der „Kohlenstoffstudie Forst und Holz Schleswig-Holstein“ (Wördehoff et al. 2012, siehe [www.NW-FVA.de](http://www.NW-FVA.de) Publikationen). In dieser Studie wurden die Mengen an Kohlenstoff hergeleitet, die heute und zukünftig in schleswig-holsteinischen Wäldern und in aus schleswig-holsteinischem Holz hergestellten Produkten gespeichert werden.

Die zweite Bodenzustandserhebung im Wald (BZE II) wurde in Schleswig-Holstein in den Jahren 2006/2007 an 41 BZE-Punkten durchgeführt, die in einem systematischen Raster über die Landesfläche angeordnet sind. Die Beprobung, Datenhaltung und -bearbeitung der BZE II erfolgte durch den Landesinventurleiter der BZE in Schleswig-Holstein in der Landesforstverwaltung und seit dem 01.01.2009 im Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume des Landes Schleswig-Holstein, Abt. Geologie und Boden, Dez. Boden (LLUR) in Flintbek. Die chemischen und physikalischen Analysen wurden im Landeslabor Schleswig-Holstein in Neumünster durchgeführt. An jedem Punkt der BZE II wurden Auflagehumus und Mineralboden beschrieben und beprobt. Für die Berechnung der Kohlenstoffvorräte ist zunächst die analytische Bestimmung der Kohlenstoffkonzentration im Mineralboden und im Auflagehumus erforderlich. Neben der Kohlenstoffkonzentration ist für die Bestimmung der Kohlenstoffvorräte die Kenntnis der Trockenrohichte des Mineralbodens, der Steingehalt im Mineralboden und das volumengerecht beprobte Trockengewicht des Auflagehumus erforderlich. Der Kohlenstoffvorrat des Auflagehumus ergibt sich als Produkt der Kohlenstoffkonzentration und des Trockengewichtes; der Kohlenstoffvorrat des Mineralbodens wird berechnet als das Produkt der Konzentration, der Schichtmächtigkeit, der Trockenrohichte und des Feinbodenanteils.

Die Kohlenstoffvorräte der Waldböden Schleswig-Holsteins sind das Ergebnis einer langfristigen Entwicklung. Das heutige Landschaftsbild in Schleswig-Holstein ist im Quartär geformt worden. Geologisch ältere Formationen fehlen bis auf wenige Ausnahmen. So prägten die Eisvorstöße im Pleistozän und holozäne Ablagerungsprozesse die Waldböden. Diese unterscheiden sich vorwiegend durch das Ausgangsmaterial ihrer Bo-



Foto: J. Evers

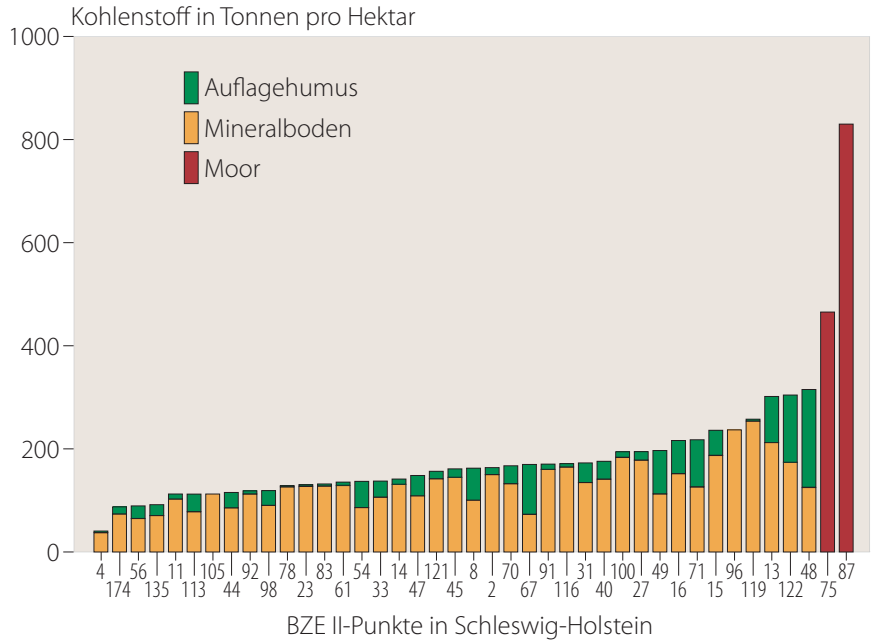
# Kohlenstoffvorräte im Waldboden

denbildung, aber auch durch die klimatischen Verhältnisse, welche ebenfalls die Bodenentwicklung beeinflussen.

Großräumig ist Schleswig-Holstein in die drei Wuchsgebiete Schleswig-Holstein Nordwest, Schleswig-Holstein Ost / Nordwest-Mecklenburg und Schleswig-Holstein Südwest unterteilt. Betrachtet man die Abfolge der Naturräume von West nach Ost, so befinden sich im Westen an der Nordseeküste die weitgehend waldfreien Marschen, gefolgt von der welligen „Hohen Geest“ der Altmoräne, die in Richtung Osten in die Vorgeest der Sanderflächen übergeht. Im Osten liegt die welligkuppige Jungmoräne mit geologisch relativ jungen Böden. Als Ausgangsgesteine der Böden Schleswig-Holsteins sind die Lockergesteine prägend. Die Bodenarten der Ausgangsgesteine reichen von Schluff über Sand bis zu Lehmen und Tonen unterschiedlicher Verwitterungsgrade mit relativ geringen Steingehalten. Im Jungpleistozän sind die reicheren Geschiebemergel in geringen Bodentiefen anzutreffen.

Bis zum Beginn einer geregelten Forstwirtschaft diente der Wald der unregelmäßigen Bedarfsdeckung verschiedenster Ansprüche und wurde unterschiedlich stark genutzt, gestört und umgewandelt. Die natürliche Bewaldung hielt dem Besiedlungsdruck nicht lange stand, es kam gebietsweise zu Heideformationen, Bodenverwehungen ließen Binnendünen entstehen. Die vielen ursprünglichen Laubwälder wurden nach größeren Eingriffen, Übernutzungen und Reperationshieben vor bzw. nach dem zweiten Weltkrieg überwiegend in reine Nadelwälder aus Kiefern, Fichten, Sitkafichten, Lärchen und

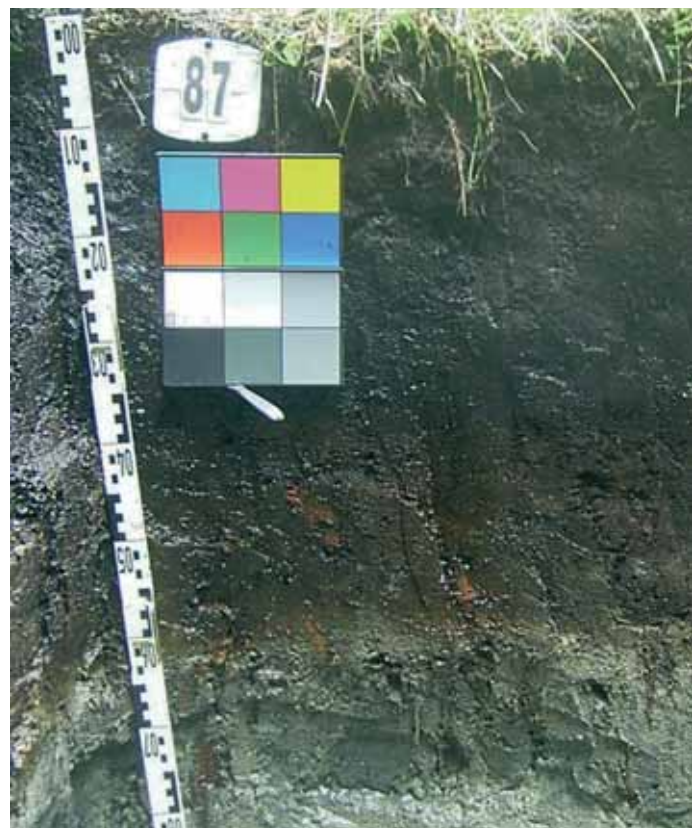
Douglasien umgewandelt. Neben den Nadelbaumarten wurde auch die Amerikanische Roteiche vielfach verwendet. Für die langfristige Bodenentwicklung hatte dies entsprechende Folgen. Inzwischen erfolgte vielerorts der Umbau dieser unterschiedlichsten Ersatzwaldgesellschaften in standortsangepasste Mischwälder. Der Wald bedeckt heute mit gut 160.000 ha 10,3 % der Landesfläche. Die Waldflächen in Schleswig-Holstein sind mit Ausnahme des Sachsenwaldes, des Segeberger Forstes und der Waldflächen im Naturpark Lauenburgische Seen



Kohlenstoffvorräte [t C pro Hektar] der BZE II-Stichprobenpunkte in Schleswig-Holstein getrennt nach Auflagehumus (grün), Mineralboden (ocker) und Moor (rotbraun)



Ein Kalkgley mit einem C-Vorrat von 40 t C pro Hektar bis 90 cm Tiefe  
Foto: C. T. Aydin



Ein Niedermoor mit einem C-Vorrat von über 800 t C pro Hektar bis 90 cm Tiefe  
Foto: C. T. Aydin

# Kohlenstoffvorräte im Waldboden



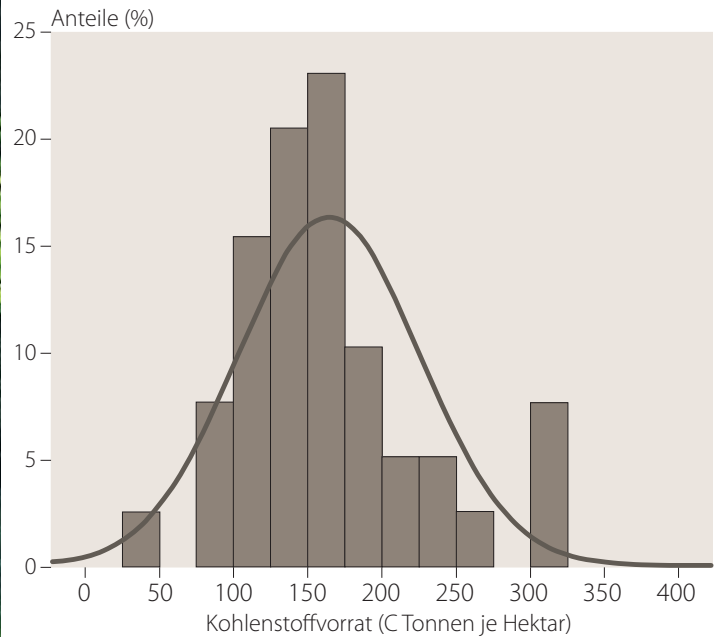
Foto: J. Evers

stark parzelliert und über die Landesfläche verteilt. Von den 41 BZE II-Profilen befinden sich 21 Profile im Wuchsgebiet Schleswig-Holstein Ost, 13 Profile im Wuchsgebiet Schleswig-Holstein Südwest und 7 Profile im Wuchsgebiet Schleswig-Holstein Nordwest. Die Standorte bilden ungefähr die Verteilung der Waldfläche dieser Naturräume ab. Insgesamt sind 21 Profile dem Laubwald, 18 Profile dem Nadelwald und 2 Profile Niedermoor-Sonderstandorten zuzuordnen. An dieser Stelle werden nur die Ergebnisse zum Zeitpunkt der BZE II 2007 beschrieben. Die Veränderungen zur BZE I sind zurzeit noch in Bearbeitung und nicht abschließend ausgewertet. In der Abbildung auf Seite 22 sind alle BZE II-Profile mit ihren Kohlenstoffvorräten nach Auflagehumus (grün) und Mineralboden bis 90 cm Bodentiefe (ocker) sowie Moorstandorten (rotbraun) dargestellt.

Die Spanne der gespeicherten Kohlenstoffvorräte in den Waldböden Schleswig-Holsteins spiegelt das Standortsspektrum der Waldstandorte wider. Sie reicht von einem Kalkgley bei Güster am Elbe-Lübeck-Kanal mit geringen Kohlenstoffvorräten (40 t C pro Hektar bis 90 cm Bodentiefe) bis zu einem mit Rotfichte bestockten Erdniedermoor am Rottensee bei

Mittlere C-Vorräte und C-Vorratsspannen im Boden (Minimal- u. Maximalwerte) [Tonnen pro Hektar] unter Laub- und Nadelwald sowie Mooren und insgesamt in Schleswig-Holstein

Waldart	mittlerer C-Vorrat Auflagehumus [Tonnen pro Hektar]	C-Vorratsspanne	mittlerer C-Vorrat Mineralboden [Tonnen pro Hektar]	C-Vorratsspanne	C-Vorrat gesamt [Tonnen pro Hektar]	Anzahl Bodenprofile
Laubwald	26,3	1-96	129,7	73-236	155	21
Nadelwald	45,4	3-190	129,2	37-253	175	18
Laub- und Nadelwald Gesamt	35,1	1-190	129,5	37-253	165	39
Moore			647,5	463-829	647,5	2
Gesamt	33,5	1-190	155	37-829	188	41



Verteilung der durchschnittlichen Kohlenstoffvorräte der BZE II Profile in Schleswig-Holstein (N=39, ohne Moorprofile)

Görnitz mit einem Vorrat von über 800 t C je Hektar bis 90 cm Bodentiefe (siehe Fotos S. 22).

Der Auflagehumus kann an bestimmten Standorten beträchtliche Mengen Kohlenstoff speichern, überwiegend ist jedoch der Mineralboden der wesentliche Speicher. Auffällig sind neben den beiden Moorstandorten zwei Profile mit einem Kohlenstoffvorrat in der Auflage von über 100 t pro Hektar; hierbei handelt es sich um Rohhumusauflagen über Gley-Podsolen mit mächtigen Humuslagen von über 15 cm, die in dieser Ausprägung selten sind und auf verminderte Streuumsetzung hinweisen.

Im Mittel sind nach den Ergebnissen der BZE II in den Waldböden Schleswig-Holsteins 188 t C je Hektar bis in 90 cm Bodentiefe gespeichert. In diesen Wert sind die beiden Moorstandorte einbezogen, die im Mittel die vierfache Menge an Kohlenstoff speichern wie die übrigen Waldstandorte (siehe Tabelle). Bei den übrigen Waldstandorten sind im Auflagehumus ca. 35 t C je Hektar und im Mineralboden bis 90 cm ca. 130 t C je Hektar gespeichert. Damit sind rund 70 % des Kohlenstoffs im Mineralboden und 30 % im Auflagehumus gebunden. Die Spannen der gespeicherten Kohlenstoffvorräte sind enorm und Ausdruck der standörtlichen Vielfalt von Waldböden.

Trotz der enormen Spannen der Kohlenstoffvorräte in den Waldböden Schleswig-Holsteins und der relativ geringen Stichprobenzahl zeigt die prozentuale Verteilung der BZE II-Punkte bezogen auf die Kohlenstoffvorräte doch einen relativ sicheren Mittelwert an. Mit 61 t je Hektar liegt die Standardabweichung in einer akzeptablen Größenordnung (ohne Moorstandorte). Es ist daher nicht davon auszugehen, dass sich bei einer höheren Stichprobenzahl der Mittelwert insgesamt deutlich ändert.

# Kohlenstoffvorräte im Waldboden

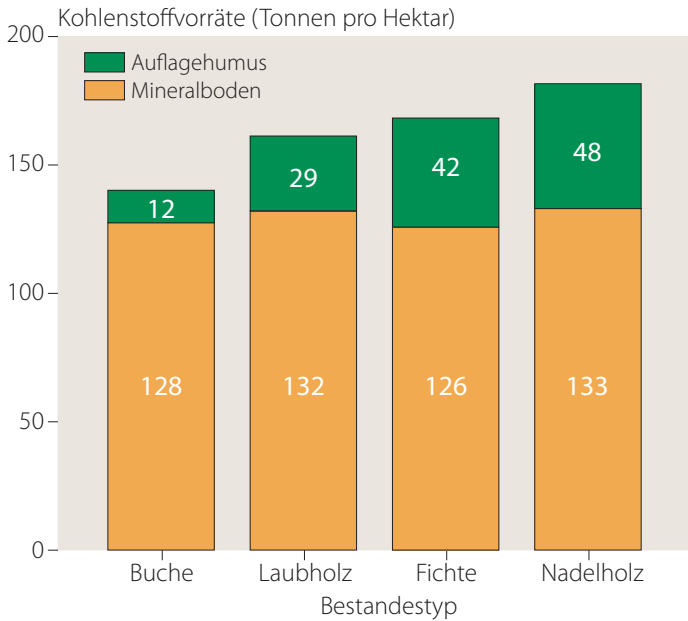
Die mittleren Kohlenstoffvorräte in den Mineralböden unterscheiden sich zwischen Laub- und Nadelwald in Schleswig-Holstein nicht. In beiden Kollektiven beträgt der durchschnittliche Vorrat bis in 90 cm Bodentiefe rund 130 t C je Hektar. Deutliche Unterschiede gibt es jedoch bei den Humusaufgaben, die in den Nadelwäldern wesentlich mächtiger sind und mit durchschnittlich rund 45 t C je Hektar höhere C-Vorräte aufweisen als die Laubwälder mit rund 26 t C je Hektar. Damit befindet sich in den Laubwäldern Schleswig-Holsteins ungefähr 80 % und in Nadelwäldern 65 % des Bodenkohlenstoffs im Mineralboden, 20 % und 35 % entsprechend im Auflagehumus.

Bei einer weiteren Unterteilung der Laub- und Nadelwälder in typische Bestandestypen zeigt sich, dass in Buchenbeständen (über 70 % Buche) nur knapp 10 %, in Laubholzbeständen 22 %, in Fichtenbeständen schon 33 % und in Nadelholzbeständen 36 % des Kohlenstoffs im Auflagehumus gespeichert sind. Bei dem Kohlenstoff im Mineralboden zeigen sich nur graduelle Unterschiede. Zu dieser Verteilung führt vor allem die schlechtere Zersetzung von Nadelstreu im Zusammenhang mit den ärmeren Standorten unter Nadelwald (siehe Abbildung).



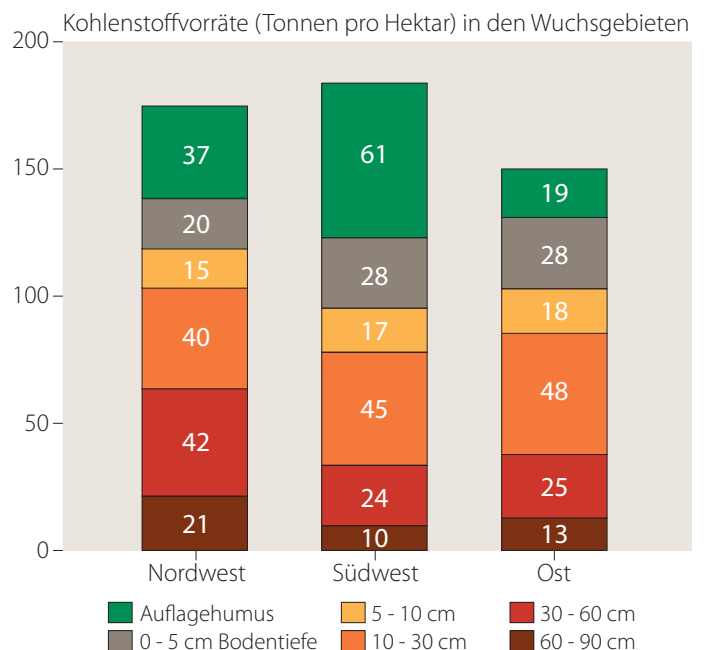
Foto: J. Evers

Kohlenstoffvorräte im Mineralboden in Höhe von 124 t C pro Hektar liegen im Wuchsgebiet Südwest vor. Die mittleren Kohlenstoffvorräte des Bodentiefebereichs von 30-90 cm sind im Wuchsgebiet Nordwest mit 63 t C pro Hektar wesentlich höher als in den Wuchsgebieten Südwest (34 t C pro Hektar) und Ost (38 t C pro Hektar).



C-Vorräte [t C pro Hektar] ausgewählter Bestandestypen nach Auflagehumus (grün) und Mineralboden (ocker) (Buche: N = 9, Laubholz mit Nadelholzanteilen bis 30 %: N = 8, Fichte: N = 4, Nadelholz mit Laubholzanteilen bis 30 %: N = 12)

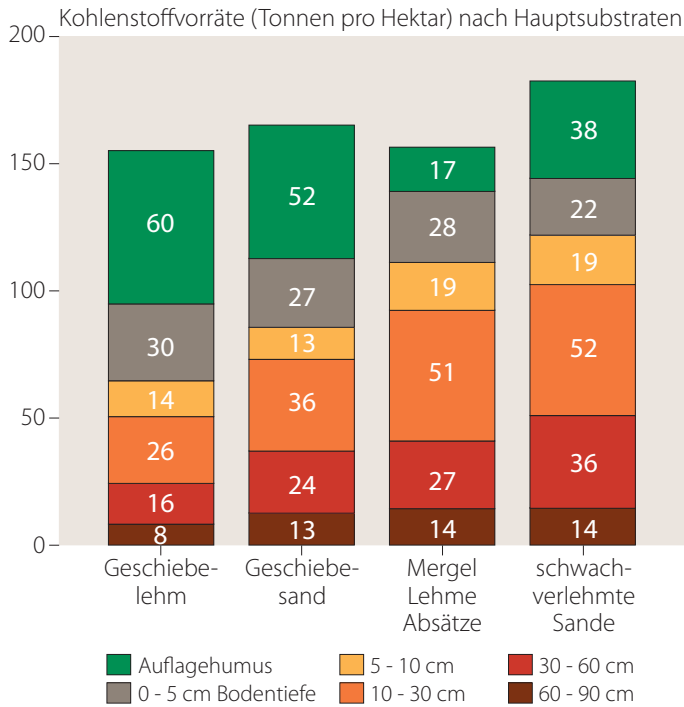
Die höchsten Kohlenstoffvorräte finden sich im Wuchsgebiet Südwest, gefolgt vom Wuchsgebiet Nordwest. Das Wuchsgebiet Ost weist die geringsten Kohlenstoffvorräte auf. Die Unterschiede liegen besonders in der gespeicherten Kohlenstoffmenge im Auflagehumus begründet. Hier werden die regionalen Unterschiede mit den überwiegend geringmächtigen Auflagen im Wuchsgebiet Ost mit den reicheren Laubholzstandorten gegenüber den mächtigeren Auflagen der schwächeren Nadelholzstandorte im Westen deutlich. Auffallend sind die hohen mittleren Kohlenstoffvorräte in den Auflagen der BZE-Standorte im Wuchsgebiet Südwest (siehe Abbildung rechts). Die Vorräte im Mineralboden sind in den Wuchsgebieten relativ ähnlich. Die höchsten Vorräte weist das Wuchsgebiet Nordwest mit 138 t C pro Hektar auf, es folgt das Wuchsgebiet Ost mit 132 t C pro Hektar. Die geringsten



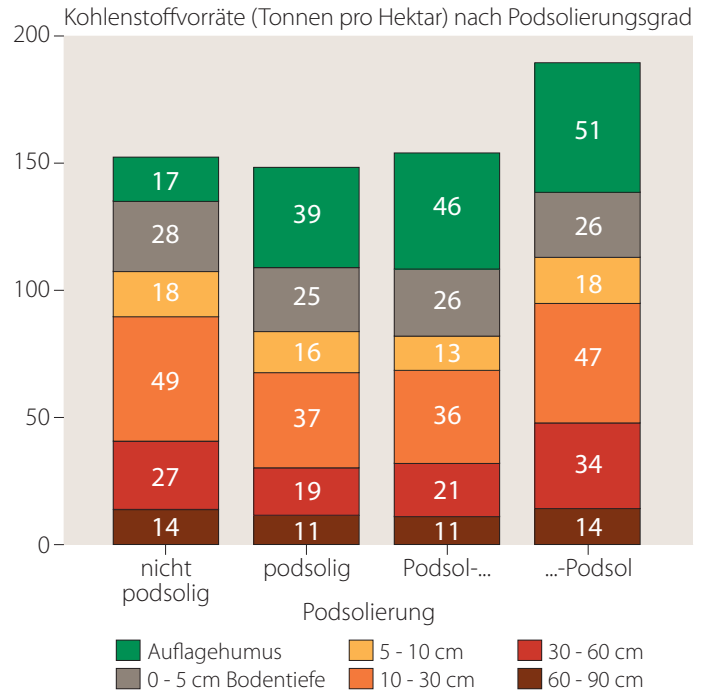
C-Vorräte [t C pro Hektar] in den Wuchsgebieten Schleswig-Holsteins differenziert nach Auflagehumus und Tiefenstufen des Mineralbodens bis 90 cm



# Kohlenstoffvorräte im Waldboden



C-Vorräte [t C pro Hektar] nach Hauptsubstraten der Waldböden Schleswig-Holsteins differenziert nach Auflagehumus und Tiefenstufen des Mineralbodens bis 90 cm

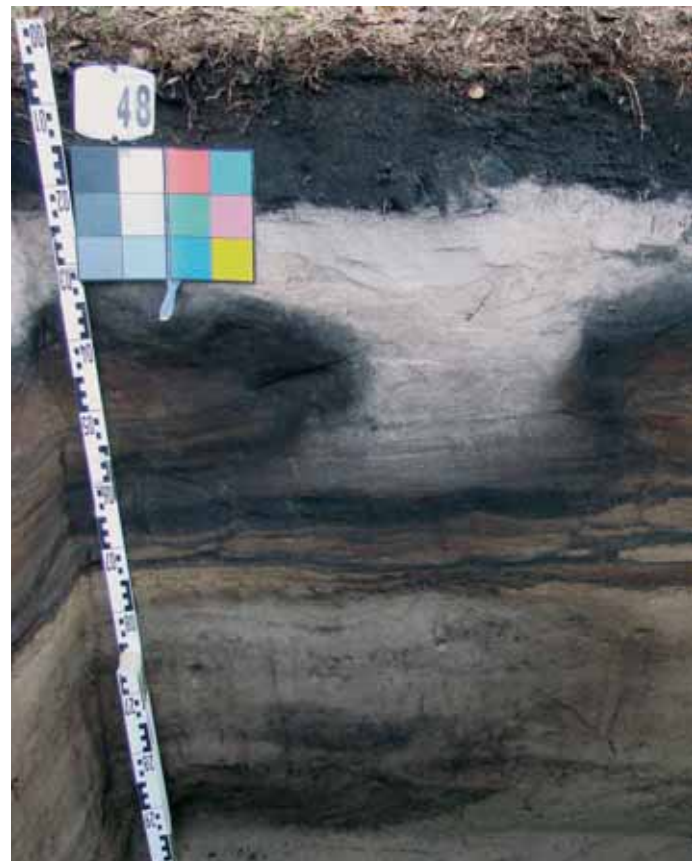


C-Vorräte [t C pro Hektar] nach Podsolierungsgrad der Waldböden Schleswig-Holsteins, differenziert nach Auflagehumus und Tiefenstufen des Mineralbodens bis 90 cm

Eine Differenzierung im Mineralboden ergibt sich hinsichtlich der Substrate: die geringsten Kohlenstoffvorräte finden sich in den Geschiebelehmen und Geschiebesanden mit rund 100 t C je Hektar bis 90 cm Mineralboden. Die besseren Mergel- und Lehmlandorte sowie Beckenabsätze und die schwach verlehmt Sande mit rund 140 t C je Hektar weisen deutlich höhere Kohlenstoffvorräte im Mineralboden auf (siehe Abbildung oben links).

Dies kann auf den besseren, vor allem auf den Mergel-Standorten mit höherer Bioturbation und besserer Streuzersetzung und auf den schwach verlehmt Sanden mit langfristigen Podsolierungsprozessen erklärt werden. Letztere sind typisch für die armen Sandstandorte des Altpleistozäns im Westen Schleswig-Holsteins. Werden die Kohlenstoffvorräte im Auflagehumus und Mineralboden gegen den Podsolierungsgrad aufgetragen, so zeigen sich die höchsten Kohlenstoffvorräte in den Podsolen mit insgesamt 190 t C je Hektar (siehe Abbildung oben rechts). Die Kohlenstoffvorräte in den nicht podsolierten oder podsoligen Böden sowie den Übergangstypen zum Podsol sind dagegen mit rund 150 t C je Hektar sehr ähnlich und deutlich geringer. Wird jedoch nur der Mineralboden betrachtet, sind die Kohlenstoffvorräte in den nicht podsolierten Böden und den Podsolen mit rund 140 t C je Hektar fast identisch und die Kohlenstoffvorräte in den podsoligen Böden und Übergangsformen zum Podsol mit rund 110 t C je Hektar deutlich geringer und auch fast gleich. Der Podsolierungsprozess wird durch gehemmten mikrobiellen Abbau der Streu in saurem Milieu gefördert. Dabei werden gelöste organische Stoffe aus niedermolekularen Verbindungen, wenig zersetzte Pflanzenstreu aus der Humusaufgabe sowie Ausscheidungen von Wurzeln in Verbindung mit metallorganischen Komplexen verlagert und in tieferen Bodenschichten ausgefällt. Ein kühlfeuchtes Klima verstärkt die Podsolierung ebenso wie die schlechter zersetzbare Nadelstreu oder Streu unter Heidevegetation. Dies zeigt

sich an den Ergebnissen recht deutlich. Zum einen nehmen die Kohlenstoffvorräte in den Auflagen mit zunehmendem Podsolierungsgrad und zunehmendem Nadelholzanteil zu, zum anderen zeigen die Substrate mit abnehmendem Verlehungsgrad zunehmende Kohlenstoffvorräte im Mineralboden. In den Podsolen sind deutlich höhere Kohlenstoffvorräte in tieferen Bodenschichten gespeichert.



Gley-Podsol aus Schmelzwassersanden bei Brokenlande Foto: C. T. Aydin

# Kohlenstoffvorräte im Waldboden

In den Waldböden Schleswig-Holsteins bestehen große Unterschiede in den jeweils gespeicherten Kohlenstoffvorräten. Dies steht unmittelbar im Zusammenhang mit den unterschiedlichen Ausgangssubstraten sowie den Zusammensetzungen und Mächtigkeiten der jeweiligen Bodenschichten. Weitere Faktoren sind das Klima, die Wasser- und Nährstoffversorgung, die Artenzusammensetzung der Bodenfauna, die Bodentextur und die Topographie. Entscheidende anthropogene Faktoren sind die aktuelle Bestockung, die waldbauliche Behandlung sowie die historische und aktuelle Landnutzung. Im Mittel werden in den Waldböden Schleswig-Holsteins 165 t C je Hektar im Gesamtboden (Auflage und Mineralboden bis 90 cm) gespeichert. Werden die beiden Niedermoorstandorte mit einbezogen, erhöht sich der mittlere Kohlenstoffvorrat für die Waldböden auf knapp 190 t C je Hektar. Damit sind die Kohlenstoffvorräte in den Waldböden Schleswig-Holsteins sehr hoch. In Niedersachsen werden für das standörtlich vergleichbare Tiefland 103 t C je Hektar berechnet, für Sachsen-Anhalt ergeben sich für das Tiefland mit rund 110 t C je Hektar ähnliche Größenordnungen. Auch in Mecklenburg-Vorpommern liegt der Median des Gesamtbodens für die BZE II bei 103 t C je Hektar. Im Hinblick auf die hohen Kohlenstoffvorräte von Mooren und anmoorigen Böden ist deren Erhalt besonders wichtig und ein wesentlicher Bestandteil einer nachhaltigen, multifunktionalen Forstwirtschaft. Zudem leisten diese Standorte auch einen wichtigen Beitrag zum Erhalt der biologischen Vielfalt.



Foto: T. Ullrich

Laub- und Nadelwald unterscheiden sich im Mittel nicht hinsichtlich der gespeicherten Kohlenstoffvorräte im Mineralboden. In beiden Kollektiven liegt der mittlere C-Vorrat bei rund 130 t C je Hektar. Die Kohlenstoffvorräte im Auflagehumus sind jedoch mit 45 t C je Hektar unter Nadelwald fast doppelt so hoch wie unter Laubwald (26 t C je Hektar). Damit sind auch



Gley-Podsol aus Schmelzwassersanden mit Flugsandüberlagerung bei Lohe-Föhrden, Grundwasser abgesenkt

Foto: C. T. Aydin

# Kohlenstoffvorräte im Waldboden

in den Humusaufgaben in Schleswig-Holsteins Wäldern höhere Kohlenstoffmengen gespeichert als in Niedersachsen, Sachsen-Anhalt und Mecklenburg-Vorpommern. Die im Auflagehumus gespeicherten Kohlenstoffmengen steigen kontinuierlich mit zunehmendem Nadelholzanteil an der Bestockung. Dies unterstreicht den Einfluss des Bestandes hinsichtlich der C-Speicherung. Die geringen Kohlenstoffvorräte in der Auflage von Laubholzbeständen sind mit den besseren Standorts- und Zersetzungsbedingungen sowie der leichteren Blattstreuersetzung zu erklären.

Doch auch die Böden selbst haben über ihre Zusammensetzung, Dynamik und Geologie Einfluss auf die Kohlenstoffspeicherung. Der überwiegende Teil der Waldstandorte stockt auf den geologisch jüngeren Standorten des Jungpleistozäns im Wuchsgebiet Ost. Die jungpleistozänen Ablagerungen der Grund- und Endmoräne bestehen häufig aus tonreichen Geschiebemergeln oder Geschiebesanden und sind in der Nährstoffausstattung relativ gut. Entsprechend überwiegen in dieser Region die Laubwälder, vor allem die Buche. Obwohl diese Standorte geologisch gesehen als jung gelten, sind sie mit rund 150 t C je Hektar im Mineralboden und Auflage insgesamt reich an Kohlenstoff. Dieses Ergebnis ist zunächst über-

raschend, kann jedoch mit hohen Raten der Bioturbation und damit Verlagerung von Kohlenstoff in tiefere Bodenschichten durch v. a. Regenwürmer, leicht abbaubarer (Laubholz-)Streu und hohem standörtlichem Wuchspotenzial in Verbindung stehen. Neben den Streufallraten erhöht sicherlich auch der Feinwurzelumsatz die Kohlenstoffmenge im Mineralboden. Zudem wird in diesen leistungsstarken Wäldern des Jungpleistozäns eine Streunutzung seltener durchgeführt worden sein als im Altpleistozän, wo die Auflagen mächtiger waren. Auffallend ist, dass die überwiegend guten Mergel- und Lehmstandorte sowie die tonigen Beckenabsätze des vorwiegend Jungpleistozäns ebenso hohe Kohlenstoffvorräte im Mineralboden aufweisen wie die geologisch viel älteren Standorte des Altpleistozäns im Westen Schleswig-Holsteins mit den schwach verlehmtten Sanden. Die Verteilung auf die Bodentiefen ist jedoch unterschiedlich: Bei den Standorten des Altpleistozäns sind deutlich höhere mittlere Kohlenstoffmengen in tieferen Bodenschichten (unter 30 cm) gespeichert als in den vergleichbaren Schichten der Standorte des Jungpleistozäns. Dafür sind im Jungpleistozän die gespeicherten Kohlenstoffmengen in den oberen 30 cm höher. Auch dies lässt auf den Einfluss der stärkeren Podsolierung im Altpleistozän und

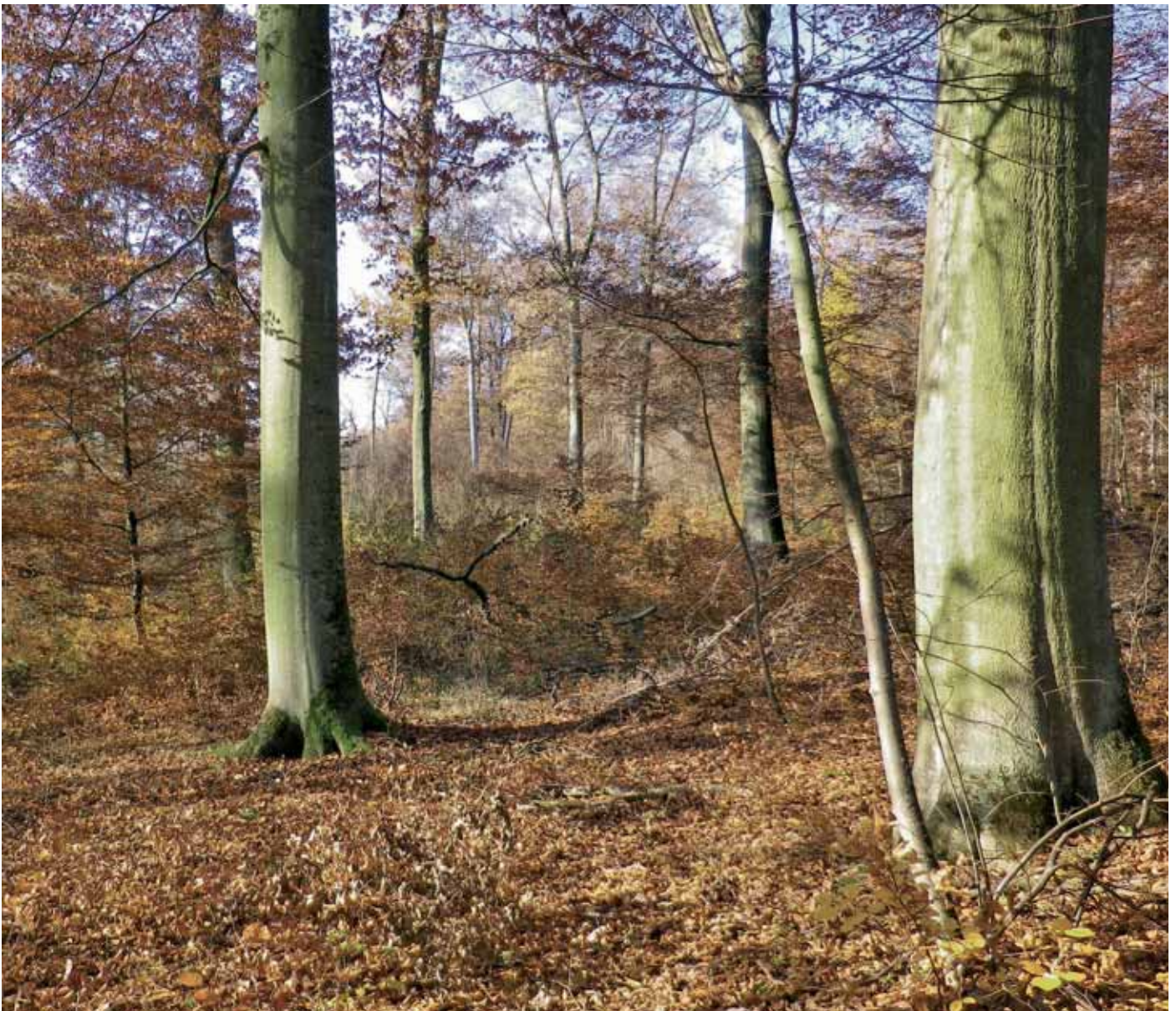


Foto: T. Ullrich

# Kohlenstoffvorräte im Waldboden

eine stärkere Kohlenstoffspeicherung durch Bioturbation im Jungpleistozän schließen. Die schwach verlehmtten Sande speichern aufgrund einer mehr oder weniger starken Podsolierung ebenfalls rund 150 t C je Hektar im Mineralboden und sind mit den reicheren Standorten vergleichbar, haben aber viel höhere Kohlenstoffvorräte im Auflagehumus und speichern mit insgesamt 180 t C je Hektar den meisten Kohlenstoff für mineralische Böden der Hauptsubstrate. Bei den Waldstandorten im Westen Schleswig-Holsteins ist davon auszugehen, dass eine viel intensivere Streu- und Plaggennutzung sowie Holznutzung für den Betrieb von Glashütten erfolgte als im Osten des Landes, sodass die Kohlenstoffvorräte im Mineralboden ohne diese Nutzung dort wahrscheinlich noch höher wären. Auch kann gerade im Wuchsgebiet Nordwest eine stärkere Verhagerung durch den ständigen Windeinfluss zu geringeren Auflagenvorräten geführt haben. Die höheren Kohlenstoffvorräte in den Auflagen im Wuchsgebiet Südwest können mit insgesamt höheren Nadelholzanteilen und geringerer Verhagerung aufgrund windgeschützterer Lage erklärt werden.

Die Geschiebelehme speichern im Mineralboden mit durchschnittlich 94 t C je Hektar am wenigsten Kohlenstoff, die Geschiebesande mit 113 t C je Hektar schon deutlich mehr. Es folgen die reicheren Standorte der Mergel, Lehme und tonigen Beckenabsätze sowie die schwach verlehmtten Sande mit rund 140 t C je Hektar. Die geringeren C-Vorräte der Geschiebesande und -lehme können mit einem geringeren Podsolierungsgrad erklärt werden. Da aber die Geschiebelehme und -sande sehr mächtige Humuslagen aufweisen, liegen die C-Speicher der Geschiebesande, -lehme und reicheren Standorte insgesamt mit rund 150 t C je Hektar dicht beieinander.

Die Kohlenstoffvorräte in den Waldböden Schleswig-Holsteins zeigen, dass neben der Bestockung (Laub- und Nadelholz), die sich insbesondere auf den Auflagehumus auswirkt, auch das Substrat, die Geologie und die ablaufenden Prozesse Podsolierung und Bioturbation sowie die Region Einfluss auf die gespeicherten C-Mengen haben können. Daneben ist immer auch die jeweilige Waldhistorie und Bestandesbehandlung bedeutend. Aus der BZE II ergibt sich damit ein weit gefächertes Bild der unterschiedlichsten Kohlenstoffvorräte in den Waldböden Schleswig-Holsteins, welches mit zunehmender Fokussierung auf den Einzelstandort zu einer nicht vermeidbaren Unschärfe führt.

Als Fazit ist festzustellen, dass der Waldboden ein wichtiger Kohlenstoffspeicher ist, welcher mindestens ebenso viel, im Fall der im Rahmen der BZE II analysierten Böden sogar mehr Kohlenstoff speichert als die oberirdische lebende Baumbiomasse. Im Mittel werden über alle Waldbestände und -böden werden knapp 300 t C je Hektar gespeichert (vgl. Kohlenstoffstudie von Schleswig-Holstein), davon entfallen 55 % auf den Waldboden. Bezieht man die Moore mit ein, so erhöht sich die mittlere gespeicherte Kohlenstoffmenge auf 320 t C je Hektar und der auf den Waldboden entfallende Anteil auf knapp 60 %. Bei forstwirtschaftlichen Maßnahmen sollten daher nur bodenschonende Verfahren zum Einsatz kommen, die diesen wichtigen Kohlenstoffspeicher nicht gefährden. Die teilweise sehr hohen Kohlenstoffvorräte in der Auflage können einen möglicherweise labilen C-Pool darstellen, der bei wenig humuspflegerischer Waldbewirtschaftung mineralisiert und damit dem Waldökosystem verloren gehen kann. Der im Mineralboden gespeicherte Kohlenstoff ist dagegen langfristiger festgelegt.



Foto: J. Evers

# Zur Nachhaltigkeit der 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 zusätzlich 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.

Stoffbilanzen von Waldbeständen (Nährstoffeintrag durch Verwitterung plus luftbürtigen Eintrag, Nährstoffexport durch Holznutzung und Sickerwasseraustrag) geben in Kombination mit den Nährstoffvorräten im Boden Auskunft darüber, wie groß der Nährstoffentzug mit der Holzernte sein darf oder wie hoch der Kompensationsbedarf durch beispielsweise Kalkung oder Holzascherückführung sein muss, damit die Nutzung nachhaltig ist und die Wälder langfristig produktiv bleiben.

Der Nährstoffentzug hängt von der Baumart und deren Wachstumsleistung ab. Die Baumarten unterscheiden sich untereinander hinsichtlich der Elementgehalte und Dichte des Holzes. Im Allgemeinen sind in den Laubbäumen die Elementgehalte höher als in Nadelbäumen. 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

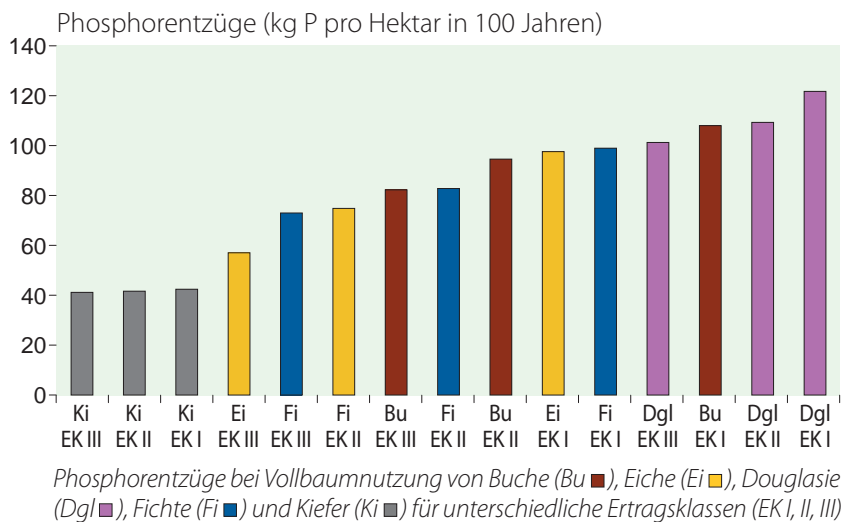
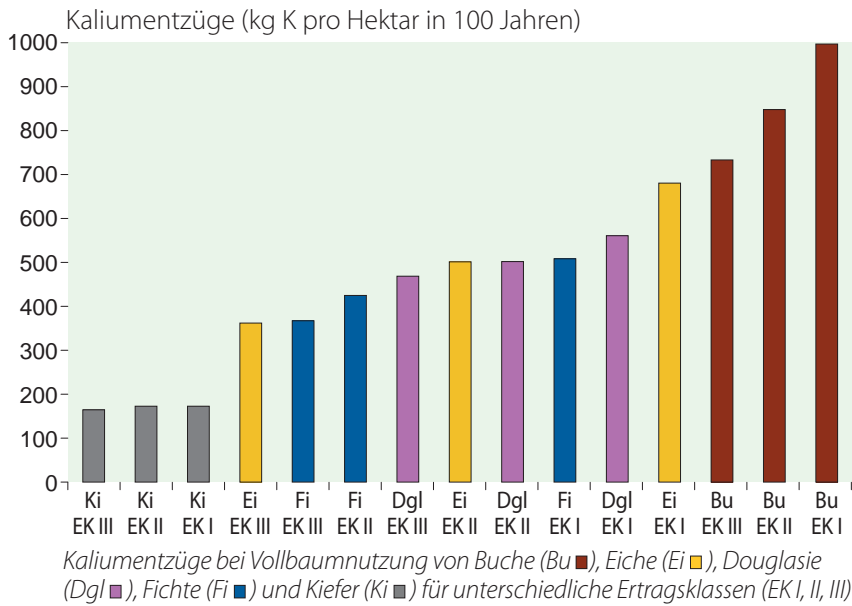
Das klassische Mangellement Stickstoff bereitet wegen der gegenwärtig hohen Einträge aus der Atmosphäre bei der Vollbaumnutzung keine oder nur wenig Probleme. In noch höherem Maße gilt dies für Schwefel, der in den 1970–1990er Jahren in großen Mengen in die Wälder eingetragen wurde und in den Böden immer noch im Überfluss vorhanden ist.



Kronenmaterial für die energetische Verwertung

Foto: H. Pflüger-Grone

# Zur Nachhaltigkeit der Vollbaumnutzung



Ergebnisse aus dem Vollbaumprojekt der NW-FVA zeigen, dass der Kaliumentzug bei der Buche erheblich höher ist als bei den anderen Baumarten (siehe Abb. 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 (siehe Abb. 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.

Im Allgemeinen sollte man mit dem Einstieg in die Vollbaumnutzung vorsichtig umgehen, damit die Standorte nicht überbeansprucht werden. Hinweise auf die Standortsverträglichkeit geben Nährstoffbilanzen, wie sie z. B. im Forstlichen Umweltmonitoring erstellt werden, und die Forstliche Standortkartierung. Demnach ist in Nordwestdeutschland auf Standorten mit basenarmem Silikatgestein als Ausgangsmaterial der Bodenbildung auch schon bei der Derbholtznutzung mit negativen Bilanzen für Calcium und Magnesium zu rechnen. Bezüglich dieser beiden Nährstoffe gibt es die Möglichkeit der Kompensation mit der Waldkalkung, wie sie seit längerem schon durchgeführt wird. Auf manchen Standorten sind auch die Kaliumbilanzen schon bei normaler Nutzung negativ. Hier sollte daher die Vollbaumnutzung sehr vorsichtig erfolgen und die Nutzung durch waldernährungskundliche Untersuchungen begleitet werden, auch weil beim Kalium Kompensationsmaßnahmen weniger praktikabel sind und dieser Nährstoff insbesondere in sandigen Böden bald mit dem Sickerwasser abgetragen wird. Phosphor ist in den Böden in größeren Mengen vorhanden, allerdings ist er nicht zur Gänze pflanzenverfügbar. Gegenwärtig wird von der Deutschen Forschungsgemeinschaft mit einem größeren Förderprogramm begonnen, die Verfügbarkeit von Phosphor in Waldböden zu untersuchen. Auch auf besseren Standorten sollte man mit der Vollbaumnutzung den Bogen nicht überspannen, denn auch hier wird eine ausreichende Menge Kohlenstoff für die Humusbildung im Boden benötigt.

Die Informationen, die für eine zuverlässige Steuerung der Vollbaumnutzung erforderlich sind, gehen über das hinaus, was die Standortkartierung und das Forstliche Umweltmonitoring liefern kann. Deshalb werden, um die Vollbaumnutzung in der Praxis wissenschaftlich zu begleiten, Versuche angelegt und betrieben, in denen die Wirkungen der intensivierten Biomassennutzung auf die verschiedenen Waldfunktionen untersucht werden.



Foto: J. Evers

# Phosphor

Ulrike Talkner

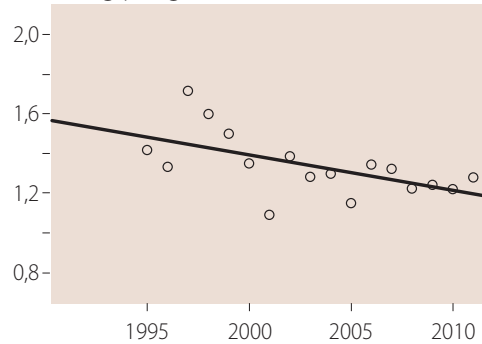
In allen Organismen ist Phosphor ein Baustein lebensnotwendiger Zellbestandteile, wie z. B. der Zellmembranen oder der Erbsubstanz. Ferner spielt Phosphor eine entscheidende Rolle im Energiehaushalt der Zellen und kommt in funktionalen Gruppen von Enzymen und Coenzymen vor. Pflanzlicher Phosphormangel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

Es wird vermutet, dass die seit mehreren Jahrzehnten andauernde, erhöhte atmosphärische Stickstoffdeposition und die Versauerung der Waldböden die Phosphornahrung 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 Phosphornährstoffzustand, 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 Phosphornahrung der Bäume unzureichend untersucht.

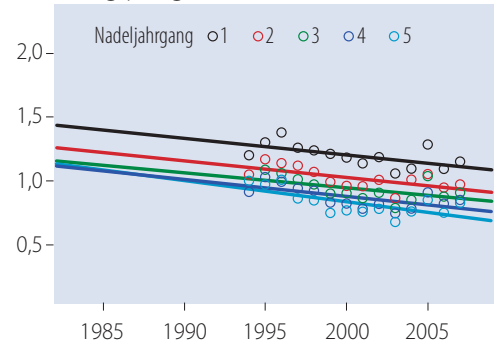
Global betrachtet ist es langfristig nicht sinnvoll, Wälder mit Phosphor zu düngen, da mineralisches Phosphat eine endliche Ressource ist und dringender für die Nahrungsmittelproduktion benötigt wird. In 50 bis 100 Jahren werden die globalen Vorräte an mineralischem Phosphat aufgebraucht sein. Deshalb ist eine nachhaltige Bewirtschaftung der Wälder auch im Hinblick auf das Nährelement Phosphor von besonderer Bedeutung.

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 hinweist: 71 % der untersuchten Buchenflächen und 43 % der

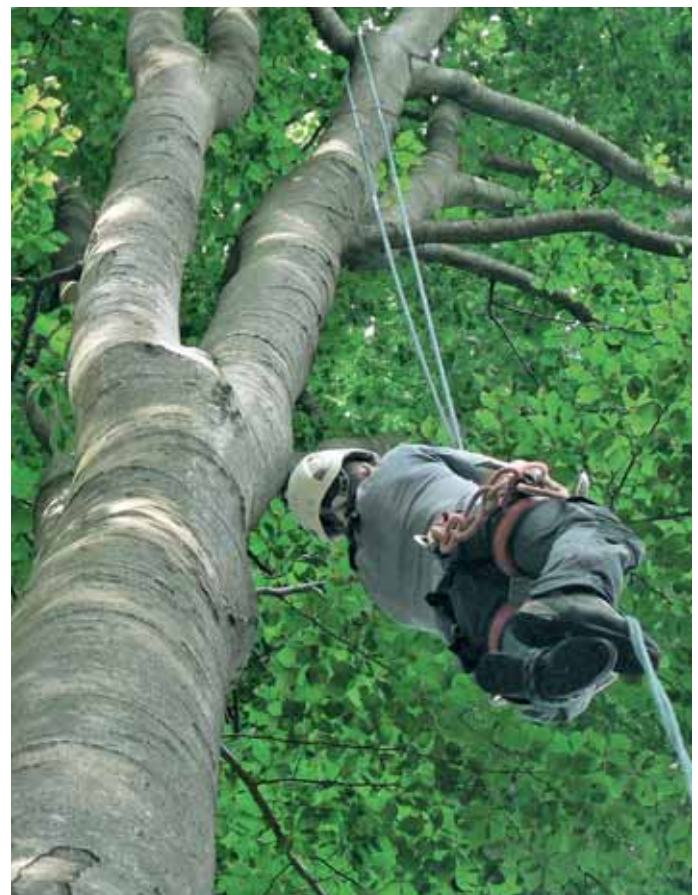
**Buche**  
P (mg pro g Trockensubstanz)



**Fichte**  
P (mg pro g Trockensubstanz)



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



Blattprobenahme

Foto: W. Klotz



Foto: T. Ullrich

untersuchten Fichtenflächen hatten geringe bis sehr geringe Phosphorgehalte (bewertet nach der Forstlichen Standortskartierung 2003).

Um die Auswirkungen der vielerorts schlechter werdenden Phosphornahrung auf die Vitalität und das Wachstum der Waldbestände in Nordwestdeutschland abschätzen und das Risiko einer Intensivierung der Biomassennutzung hinsichtlich der Phosphornahrung 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 Phosphornahrung von Buchenbeständen und dem Phosphorhaushalt der Böden untersucht.



## Impressum:

Ansprechpartner

Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt

Abteilung Umweltkontrolle

Sachgebiet Wald- und Bodenzustand

Grätzelstraße 2, 37079 Göttingen

Tel.: 0551/69401-0

Fax: 0551/69401-160

Zentrale@nw-fva.de

www.nw-fva.de

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

**Titelfoto:** Evers, J.

**Graphik und Layout:** Paar, E.

**Herstellung:** Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt

**Druck:**

Printec Offset Kassel

Der Waldzustandsbericht 2012 ist abrufbar unter [www.nw-fva.de](http://www.nw-fva.de) und [www.schleswig-holstein.de/UmweltLandwirtschaft](http://www.schleswig-holstein.de/UmweltLandwirtschaft)

Hauptverantwortliche für die Waldzustands-  
erhebung 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 Schleswig-Holsteinischen 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.