

Waldzustandsbericht 2016



Vorwort



Liebe Leserin, lieber Leser,

ich freue mich, Ihnen den Waldzustandsbericht für Schleswig-Holstein 2016 vorstellen zu können. Nach unserem Beitritt zur Nordwestdeutschen Forstlichen Versuchsanstalt im Jahre 2011 liegen hier nun zum sechsten Mal die von den Göttinger Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern erhobenen Daten zum Gesundheitszustand der schleswig-holsteinischen Wälder vor.

Ziel der Landesregierung ist es, den Wald in seiner Vielfalt zu erhalten, ihn robuster gegen klimatische Veränderungen zu entwickeln und durch abgestimmte forstliche Maßnahmen naturnah und nachhaltig zu bewirtschaften.

Das Forstliche Umweltmonitoring stellt verlässliche Informationen zum Zustand unserer Wälder und des Waldbodens sowie zur Stärke, Art und Auswirkung von Witterungs- und Umwelteinflüssen zusammen. Die Ergebnisse der aktuellen Waldzustandserfassung zeigen einen deutlichen Alterstrend zwischen den über 60jährigen und den unter 60jährigen Waldbeständen. Während die mittlere Kronenverlichtung bei den unter 60jährigen bei 8 % liegt, liegen die Werte bei den über 60jährigen mit 21 % doppelt so hoch.

Die Ansprüche und Herausforderungen an unseren multifunktionalen Wald werden sich in Zukunft nicht verringern. Anhand von komplexen Waldschäden wie dem Eschentriebsterben zeigt sich, wie wichtig mischbaumartenreiche, mehrschichtige und klimastabile Wälder sind. Eine bunte Baumartenpalette klima- und standortangepasster Arten kann im Zusammenspiel mit waldbaulichen Konzepten ein Weg sein, klimastabile Waldbestände zu erschaffen.

Die Landesregierung unterstützt deshalb unter anderem den privaten und kommunalen Waldbesitz in Schleswig-Holstein intensiv durch forstfachliche Beratung und Fördermaßnahmen.

A handwritten signature in black ink that reads "Robert Habeck".

Dr. Robert Habeck

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



Inhaltsverzeichnis

	Seite
Vorwort	2
Inhaltsverzeichnis	3
Hauptergebnisse Inge Dammann und Uwe Paar	4
Forstliches Umweltmonitoring Johannes Eichhorn, Uwe Paar, Jan Evers, Andreas Schulze, Jörg Weymar, Henning Meesenburg, Michael Spielmann und Inge Dammann	6
WZE-Ergebnisse für alle Baumarten Inge Dammann und Uwe Paar	9
Buche	11
Eiche	12
Fichte	13
Kiefer	14
Andere Laub- und Nadelbäume	15
Witterung und Klima Johannes Suttmöller	16
Bodenwasserhaushalt und Trockenstress Paul Schmidt-Walter, Bernd Ahrends und Henning Meesenburg	20
Insekten und Pilze Ulrich Bressemer, Michael Habermann, Rainer Hurling, Andreas Rommerskirchen, Gitta Langer und Pavel Plašil	23
Stoffeinträge Birte Scheler	24
Schwermetallbelastung der Wälder Nils König, Heike Fortmann, Uwe Klinck, Birte Scheler und Markus Wagner	26
Literaturverzeichnis	31
Impressum	32

Hauptergebnisse

Waldzustandserhebung

Die Ergebnisse der Waldzustandserhebung in Schleswig-Holstein insgesamt (alle Baumarten, alle Alter) zeigen seit fünf Jahren eine konstante mittlere Kronenverlichtung von 16 %. Das Kronenverlichtungsniveau liegt seit 2012 insgesamt deutlich unter dem Wert des Jahres 2004, in dem der höchste Wert im Beobachtungszeitraum (24 %) erreicht wurde. Auch für die einzelnen Baumartengruppen waren 2016 keine nennenswerten Änderungen gegenüber dem Vorjahr festzustellen. Die Witterungsbedingungen 2016 waren für das Wachstum und die Laubentwicklung der Waldbäume günstig und Schäden durch Insekten und Pilze sind (mit Ausnahme des Eschentriebsterbens) im WZE-Stichprobenkollektiv nur im geringen Umfang aufgetreten. Auch der Anteil starker Schäden blieb stabil, die Absterberate war 2016 unterdurchschnittlich.

Die Baumartenverteilung in der WZE-Stichprobe in Schleswig-Holstein ergibt für die Buche einen Flächenanteil von 25 %, die Fichte ist mit 17 %, die Eiche mit 14 % und die Kiefer mit 6 % an der WZE-Stichprobe vertreten. Die anderen Laub- und Nadelbäume nehmen zusammen einen Anteil von 38 % ein.

Die Ergebnisse der Waldzustandserhebung zeigen einen deutlichen Alterstrend: Die mittlere Kronenverlichtung der über 60jährigen Waldbestände liegt mit 21 % mehr als doppelt so hoch wie die der jüngeren Waldbestände (8 %).

Bei den Laubbaumarten Buche und Eiche haben sich die Kronenverlichtungswerte im Erhebungszeitraum deutlich erhöht. Die Entwicklung der Kronenverlichtung der älteren Buche ist durch starke Schwankungen gekennzeichnet, in diesem Jahr beträgt die mittlere Kronenverlichtung 24 %, Höchstwerte der Kronenverlichtung wurden 2000 und 2004 (38 %) ermittelt. Diese Entwicklung ist mit beeinflusst durch die Fruchtbildung der Buche.

Der Verlauf der mittleren Kronenverlichtung der älteren Eiche (2016: 23 %) wird durch die Populationsdynamik der Eichenfraßgesellschaft mitbestimmt.

Bei der älteren Fichte wird seit Beginn der Zeitreihe der Waldzustandserhebung ein anhaltend hoher Verlichtungsgrad festgestellt. Der höchste Wert wurde 2006 ermittelt (37 %). Mit einer mittleren Kronenverlichtung von 22 % wird in diesem Jahr der niedrigste Wert in der Zeitreihe erreicht.

Die ältere Kiefer zeigt im Beobachtungszeitraum ebenfalls Schwankungen, 2004 war die mittlere Kronenverlichtung am höchsten (27 %). Zurzeit sind die Verlichtungswerte niedriger (2016: 18 %).

Im Jahr 2016 liegt die mittlere Kronenverlichtung der anderen Laub- und Nadelbäume (alle Alter) bei 15 % bzw. 8 %.

Witterung und Klima

Das Vegetationsjahr 2015/2016 (Oktober-September) ist mit einer Mitteltemperatur von 10,3 °C ebenso wie 2014 und 2007 eines der wärmsten Jahre seit Messbeginn. In 8 Monaten war es mehr als 1,0 °C wärmer als die langjährigen Monatsmittelwerte.

Die Niederschlagssumme lag um 10 % über dem langjährigen Mittelwert, allerdings war es in 7 von 12 Monaten im Vegetationsjahr 2015/2016 zu trocken. Das Niederschlagsdefizit dieser 7 Monate wurde durch die Niederschlags Spitzen im November 2015 und Februar und Juni 2016 ausgeglichen.

In der Nordwesthälfte Schleswig-Holsteins fiel überdurchschnittlich viel Niederschlag, im Südosten des Landes war die Niederschlagssumme geringer. Die Temperaturen lagen landesweit – mit nur geringen regionalen Unterschieden – um 2,0 °C über dem Mittel der Referenzperiode.



Foto: H. Heinemann

Hauptergebnisse

Bodenwasserhaushalt und Trockenstress

Mit dem Klimawandel ändert sich die Wasserverfügbarkeit für die Waldbestände. Anhand von Wasserhaushalts-simulationen auf dem BZE-Netz lässt sich zeigen, wie sich verschiedene Parameter des Bodenwasserhaushalts und zum Trockenstress an den Waldstandorten ausprägen. Für Schleswig-Holstein ergibt sich aus den verwendeten Indikatoren ein geringeres Trockenstressrisiko als in den anderen Partnerländern der NW-FVA. Darüber hinaus ist im Gegensatz zu Niedersachsen, Hessen und Sachsen-Anhalt für Schleswig-Holstein im Untersuchungszeitraum keine Abnahme der Bodenwasserspeicherfüllung in der Vegetationszeit festzustellen. Im Rahmen einer klimasensitiven Forstwirtschaft unterstützen Informationen zur Dynamik der Wasserverfügbarkeit die Planung und Bewirtschaftung der Wälder.

Insekten und Pilze

Der Witterungsverlauf 2015/2016 hat die Entstehung und Entwicklung von Schäden durch Pilze begünstigt. Hierzu gehören Hallimasch und die Tannen-Rindennekrose. Darüber hinaus ist das Eschentriebsterben auf großer Fläche präsent.

Bei der Eiche sind Schäden durch die Eichenfraßgesellschaft in diesem Jahr landesweit nur in geringer Intensität aufgetreten.



Foto: M. Spielmann

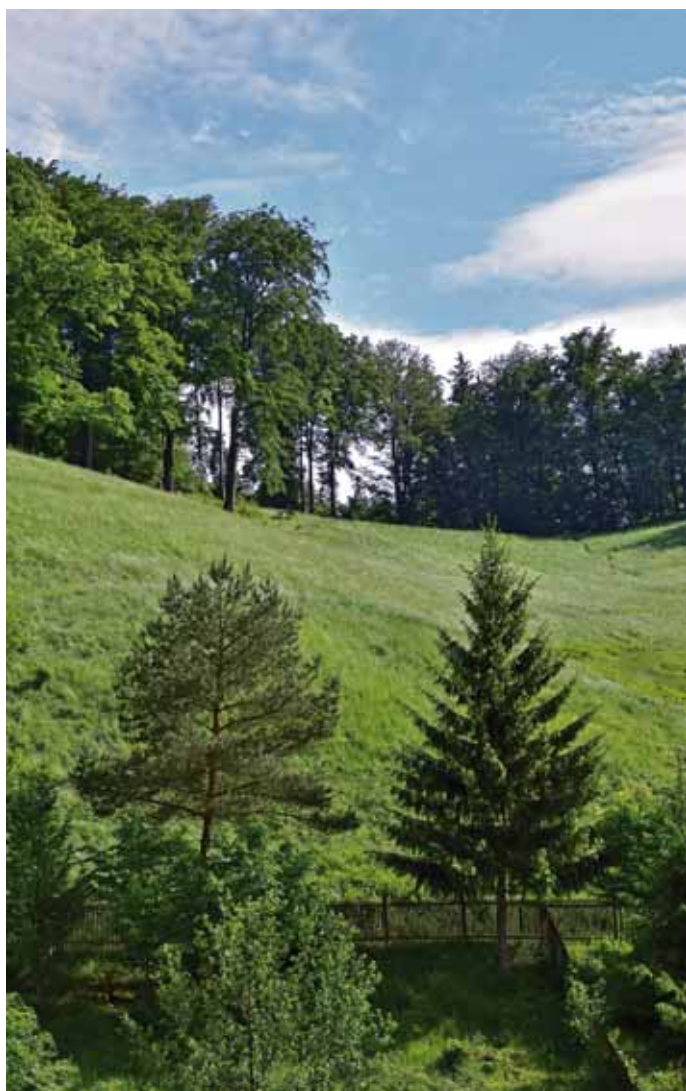


Foto: M. Spielmann

Stoffeinträge

Die Messergebnisse des Intensiven Monitorings bestätigen die Wirksamkeit der ergriffenen Luftreinhaltemaßnahmen zur Reduktion von Schwefelemissionen. Die ehemals sehr hohen Schwefeleinträge in die Wälder haben deutlich abgenommen. Im Vergleich zu 2014 ist 2015 der Schwefeleintrag in Bornhöved allerdings infolge deutlich höherer Niederschläge angestiegen und betrug pro Hektar 7,8 kg. Der Stickstoffeintrag geht im Erhebungszeitraum zurück, übersteigt aber mit 18,8 kg je Hektar im Jahr 2015 weiterhin den Bedarf der Wälder für ihr Wachstum und trägt u. a. zur Bodenversauerung bei. Mit einem Anteil von rund 40 % am Gesamtsäureeintrag ist Ammonium der bedeutendste Säurebildner im Waldboden.

Schwermetallbelastung der Wälder

Im Intensiven Monitoring werden seit über 30 Jahren auch Untersuchungen zur Schwermetallbelastung durchgeführt. Zu den – aufgrund ihrer toxischen Wirkung – wichtigsten Schwermetallen gehören Blei und Cadmium. Beide werden fast ausschließlich durch Stäube in die Wälder eingetragen, sind also anthropogenen Ursprungs. Das Schwermetallmonitoring belegt, dass veränderte Produktionstechniken und gesetzliche Vorgaben seit den 1980er Jahren eine drastische Verringerung der Blei- und Cadmumeinträge in die Wälder bewirkt haben.

Während Blei überwiegend in den Humushorizonten und im oberen Mineralboden gespeichert wird, ist Cadmium sehr mobil, wird mit dem Sickerwasser über alle Bodentiefen verlagert und auf einigen der untersuchten Flächen in die Zone unterhalb des Wurzelraums ausgewaschen.

Forstliches Umweltmonitoring

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

Aufgaben

Die natürliche zeitliche Veränderung der Waldbestände, Managementmaßnahmen und vor allem biotische und abiotische Einflüsse der Umwelt führen zu Veränderungen in Waldökosystemen. Hinzu kommt, dass die Ansprüche der Gesellschaft an den Wald weit gefächert sind und gesellschaftliche Veränderungen widerspiegeln. Während noch vor wenigen Jahrzehnten der Kohlenstoffspeicherung in Waldböden keine besondere Bedeutung zugemessen wurde, erlangt heute der Kohlenstoffvorrat in Waldböden und seine Veränderung ein zunehmendes wissenschaftliches, politisches und wirtschaftliches Interesse. Waldfunktionen als Ausdruck der gesellschaftlichen Erwartungen können nur dann nachhaltig entwickelt und gesichert 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 Entscheidungshilfen für die Forstpraxis und berät die Politik auf fachlicher Grundlage.

Konzept

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

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

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

An den Level I-Punkten werden folgende Erhebungen durchgeführt:

- Kronen- und Baumzustand, abiotische und biotische Faktoren (auf allen Stichprobenpunkten der Waldzustandserhebung (WZE) und der Bodenzustandserhebung (BZE)).
- Auf den BZE-Punkten werden zusätzlich Baumwachstum, Nadel-/Blatternahrung, Bodenvegetation und der

morphologische, physikalische und chemische Bodenzustand untersucht. Auf dem BZE-Netz erfolgt zusätzlich in einer fünften Traktecke eine Erhebung von Daten entsprechend dem Verfahren der Bundeswaldinventur.

Auf Bodendauerbeobachtungsflächen (BDF) werden langfristig standorts-, belastungs- und nutzungsspezifische Einflüsse auf Waldböden erfasst. BDF dienen als Eichstelle und der Vorsorge für rechtzeitige Maßnahmen zum Schutz von Böden in ihrer Substanz und ihren Funktionen. Das BDF-Programm umfasst für forstlich genutzte Flächen folgende Erhebungen (Höper und Meeseburg 2012):

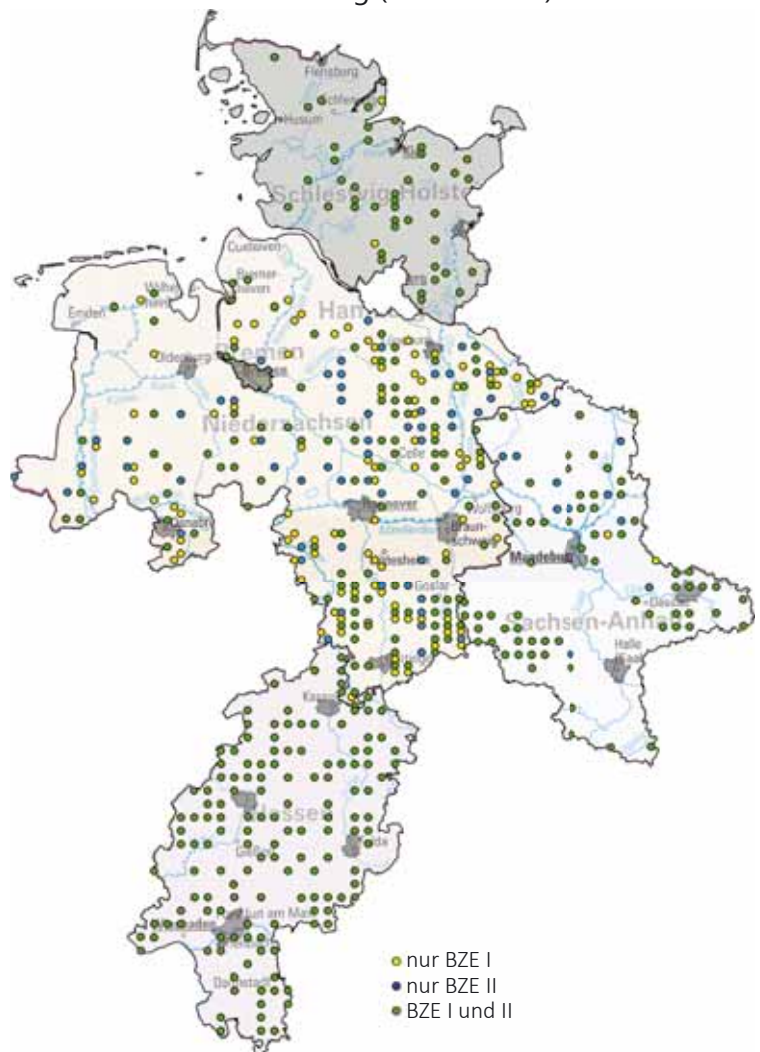
- Chemischer und physikalischer Bodenzustand, Nadel-/Blatternahrung, Baumwachstum, Bodenvegetation, Kronen- und Baumzustand, abiotische und biotische Faktoren.

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

- Deposition, Bodenlösung, Streufall, Meteorologie und Bodenhydrologie.

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

Übersichtserhebung (Level I - BZE)



Forstliches Umweltmonitoring

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

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

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

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

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

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

sind danach verbindlich vorgeschrieben. Sie bestätigen die Qualität und die Nutzbarkeit der Ergebnisse.

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



Intensiv-Monitoringfläche Bornhöved

Foto: O. Schwerdtfeger

Intensives Monitoring



Experimentalflächen



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. Für den Zeitraum 1984-2012 beträgt die Rasterweite des landesweiten Stichprobennetzes 2 km x 2 km, 2 km x 4 km, 4 km x 2 km und 4 km x 4 km mit 148 bis 200 Erhebungspunkten. Alle Stichprobenbäume wurden mit gleicher Gewichtung bei der Berechnung der Ergebnisse berücksichtigt.

Im Vorfeld der Erhebung 2013 wurde ein landesweit einheitliches Erhebungsraster (4 km x 2 km) mit jetzt 129 Stichprobenpunkten eingerichtet. 2016 konnten 124 Erhebungspunkte in die Inventur einbezogen werden. Dieser Aufnahmeumfang ermöglicht repräsentative Aussagen zum Waldzustand auf Landesebene sowie Zeitreihen für die Baumarten Buche, Eiche, Fichte und Kiefer.

Für den Parameter mittlere Kronenverlichtung zeigt die Tabelle die 95 %-Konfidenzintervalle (Vertrauensbereiche) für die Baumarten und Altersgruppen der WZE-Stichprobe 2016. Je weiter der Vertrauensbereich, desto unschärfer sind die Aussagen. Die Weite des Vertrauensbereiches wird im Wesentlichen beeinflusst durch die Anzahl der Stichprobenpunkte in der jeweiligen Auswerteeinheit und die Streuung der Kronenverlichtungswerte. Für relativ homogene Auswerteeinheiten (z. B. Eiche bis 60 Jahre) mit relativ gering streuenden Kronenverlichtungen sind enge Konfidenzintervalle auch bei einer geringen Stichprobenanzahl sehr viel leichter zu erzielen als

95 %-Konfidenzintervalle für die Kronenverlichtung der Baumartengruppen und Altersstufen der Waldzustandserhebung 2016 in Schleswig-Holstein. Das 95 %-Konfidenzintervall (= Vertrauensbereich) gibt den Bereich an, in dem der wahre Mittelwert mit einer Wahrscheinlichkeit von 95 % liegt.

Baumarten- gruppe	Altersgruppe	Anzahl Bäume	Anzahl Plots	Raster	95%-Konfidenz- intervall (+-)
Buche	alle Alter	733	67	4x2 km	4,2
	bis 60 Jahre	186	21	4x2 km	1,7
	über 60 Jahre	547	49	4x2 km	4,0
Eiche	alle Alter	427	61	4x2 km	4,3
	bis 60 Jahre	125	21	4x2 km	1,0
	über 60 Jahre	302	47	4x2 km	3,9
Fichte	alle Alter	510	54	4x2 km	3,1
	bis 60 Jahre	188	19	4x2 km	4,7
	über 60 Jahre	322	36	4x2 km	3,3
Kiefer	alle Alter	172	22	4x2 km	4,3
	bis 60 Jahre	26	5	4x2 km	9,2
	über 60 Jahre	146	17	4x2 km	4,9
andere Laub- bäume	alle Alter	725	76	4x2 km	3,5
	bis 60 Jahre	449	39	4x2 km	3,2
	über 60 Jahre	276	44	4x2 km	6,9
andere Nadelbäume	alle Alter	409	46	4x2 km	2,0
	bis 60 Jahre	187	20	4x2 km	2,4
	über 60 Jahre	222	27	4x2 km	6,9
alle Baumarten	alle Alter	2976	124	4x2 km	1,9
	bis 60 Jahre	1161	57	4x2 km	1,9
	über 60 Jahre	1815	86	4x2 km	2,2



Ein erfahrenes WZE-Team in Schleswig-Holstein: R. Bubel und D. Pohlmann
Foto: M. Spielmann

für heterogene Auswerteeinheiten (z. B. Eiche, alle Altersstufen), die sowohl in der Altersstruktur als auch in den Kronenverlichtungswerten ein breites Spektrum umfassen. Mit dem 4 km x 2 km-Raster werden - mit Abstrichen bei der Kiefer (bis 60 Jahre) sowie den andern Laub- und Nadelbäumen (über 60 Jahre) - für die Baumartengruppen belastbare Ergebnisse für die Kronenverlichtungswerte erzielt.

Aufnahmeparameter

Bei der Waldzustandserhebung erfolgt eine visuelle Beurteilung des Kronenzustandes der Waldbäume, denn Bäume reagieren auf Umwelteinflüsse u. a. mit Änderungen in der Belaubungsdichte und der Verzweigungsstruktur. Wichtigstes Merkmal ist die Kronenverlichtung der Waldbäume, deren Grad in 5 %-Stufen für jeden Stichprobenbaum erfasst wird. Die Kronenverlichtung wird unabhängig von den Ursachen bewertet, lediglich mechanische Schäden (z. B. das Abbrechen von Kronenteilen durch Wind) gehen nicht in die Berechnung der Ergebnisse der Waldzustandserhebung ein.

Die Kronenverlichtung ist ein unspezifisches Merkmal, aus dem nicht unmittelbar auf die Wirkung von einzelnen Stressfaktoren geschlossen werden kann. Sie ist daher geeignet, allgemeine Belastungsfaktoren der Wälder aufzuzeigen. Bei der Bewertung der Ergebnisse stehen nicht die absoluten Verlichtungswerte im Vordergrund, sondern die mittel- und langfristigen Trends der Kronenentwicklung. Zusätzlich zur Kronenverlichtung werden weitere sichtbare Merkmale an den Probestämmen wie der Vergilbungsgrad der Nadeln und Blätter, die aktuelle Fruchtbildung sowie Insekten- und Pilzbefall erfasst.

Mittlere Kronenverlichtung

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

Starke Schäden

Unter den starken Schäden werden Bäume mit Kronenverlichtungen über 60 % sowie Bäume mittlerer Verlichtung (30-60 %), die zusätzlich Vergilbungen über 25 % aufweisen, zusammengefasst.

WZE-Ergebnisse für alle Baumarten

Inge Dammann und Uwe Paar

Mittlere Kronenverlichtung

Die Waldzustandserhebung 2016 weist mit einer mittleren Kronenverlichtung für die Waldbäume in Schleswig-Holstein (alle Baumarten, alle Alter) von 16 % keine Veränderung gegenüber dem Vorjahr auf.

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 %). Die Zunahme der Kronenverlichtung im Jahr 2004 ist bei allen Baumartengruppen aufgetreten. Buche, Eiche, Kiefer und die anderen Laubbäume hatten im Anschluss an das Extremjahr 2003 die höchsten Verlichtungswerte in der Zeitreihe. Inzwischen sind die Verlichtungswerte für alle Baumartengruppen wieder zurückgegangen, am wenigsten jedoch bei der Eiche.

Einen bedeutsamen Einfluss auf das Gesamtergebnis hat die Altersstruktur der Waldbestände, denn in den jüngeren bis

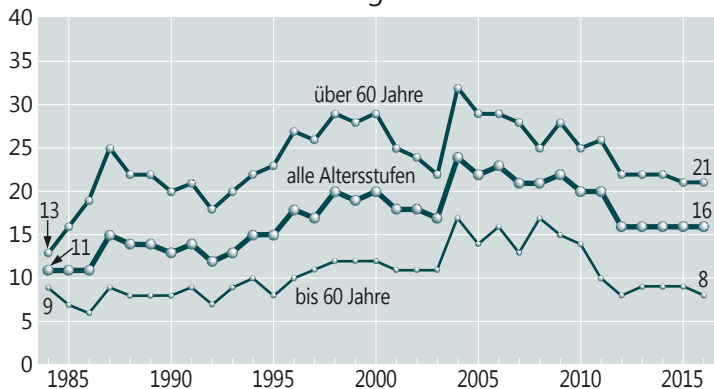
60jährigen Beständen sind Schadsymptome sehr viel weniger verbreitet als in den älteren über 60jährigen Waldbeständen. Die mittlere Kronenverlichtung der über 60jährigen Waldbestände liegt mit 21 % mehr als doppelt so hoch wie die der jüngeren Waldbestände (8 %).

Anteil starker Schäden

Für den Erhebungszeitraum liegt der durchschnittliche Anteil an starken Schäden bei 2,2 %. Im Jahr 2016 wurden 2,1 % der Waldfläche als stark geschädigt eingestuft. Die Spanne reicht von 0,7 % (andere Nadelbäume) bis 5,3 % (andere Laubbäume). Am niedrigsten war der Anteil stark verlichteter Bäume in den Jahren 1992 und 2003 (1,1 %), am höchsten im Jahr 1996 mit 4,4 %.

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

Mittlere Kronenverlichtung in %



Anteil starker Schäden, alle Baumarten, alle Alter in %

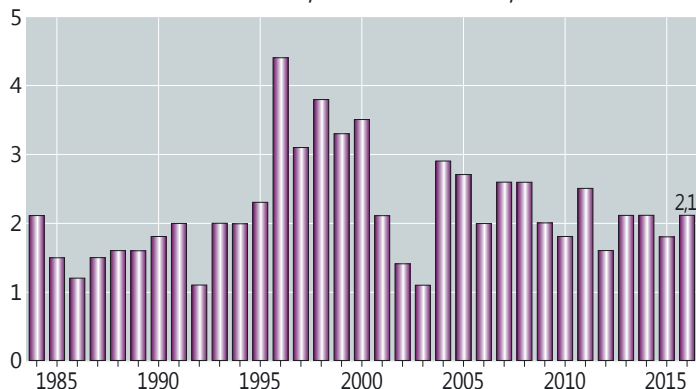


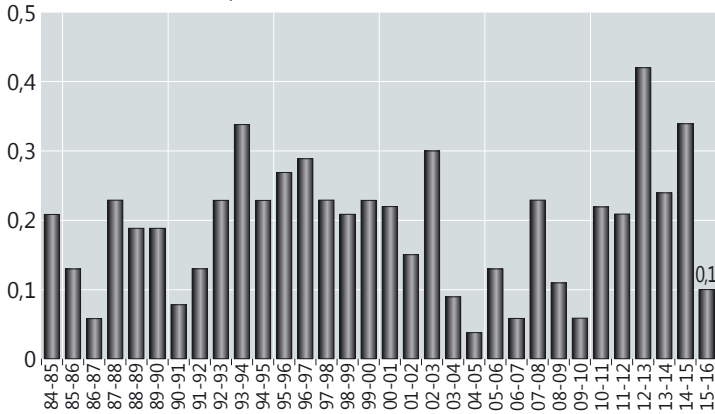
Foto: M. Spielmann

WZE-Ergebnisse für alle Baumarten

Absterberate

Im Mittel der Beobachtungsjahre 1984–2016 ergibt sich mit 0,2 % eine sehr geringe Absterberate. Dieser Durchschnittswert (alle Baumarten, alle Alter) wurde 2016 unterschritten (0,1 %). Bei der diesjährigen Waldzustandserhebung sind abgestorbene Stichprobenbäume ausschließlich in der Gruppe der anderen Laubbäume vorgekommen.

Jährliche Absterberate, alle Baumarten, alle Alter in %



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 0,3 % und 6 %. Ein zeitlicher Trend zeichnet sich nicht ab, seit 2008 sind aber durchgehend niedrige Vergilbungswerte ermittelt worden.

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

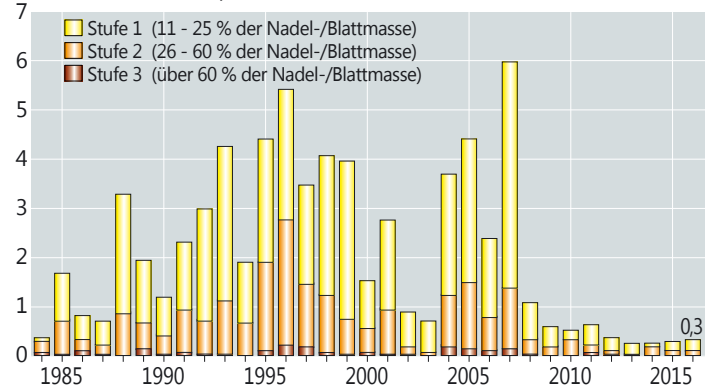


Foto: J. Weymar

Buche

Ältere Buche

Die mittlere Kronenverlichtung der älteren Buche beträgt in diesem Jahr 24 %. 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, 87 % der älteren Buche wiesen mittlere und starke Fruchtbildung auf. Auch 2016 war ein Mastjahr, das Ausmaß der Fruktifikation (42 % mittel und stark) war aber sehr viel geringer als 2011. Buchen, die 2016 nicht oder nur gering fruktifizierten, sind in diesem Jahr besser belaubt als im Vorjahr, Buchen mit intensiver Fruchtbildung dagegen sind schlechter belaubt, so dass sich die Verlichtungswerte insgesamt gegenüber dem Vorjahr nicht nennenswert änderten.

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. Im Jahr 2016 beträgt die mittlere Kronenverlichtung 3 %. 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. 2016 blieb der Anteil stark geschädigter älterer Buchen mit 1,5 % gering.

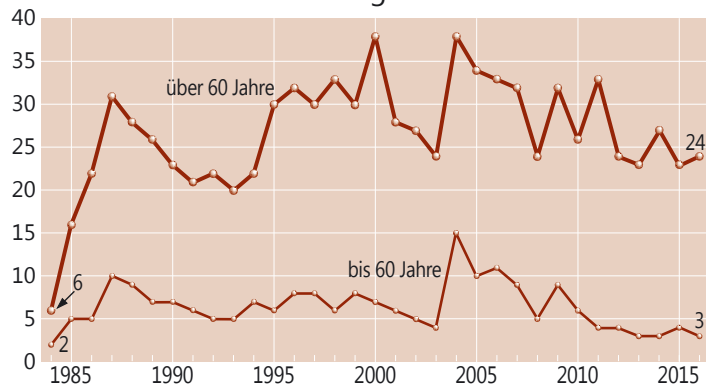
Absterberate

Obwohl die Anteile starker Schäden bei der älteren Buche in einzelnen Jahren angestiegen waren, führte dies nicht zu einer Steigerung der Absterberate. Im Vergleich zu den an-

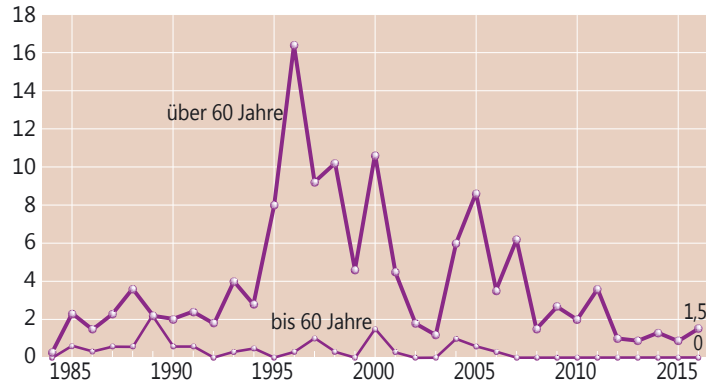


Foto: J. Evers

Mittlere Kronenverlichtung in %



Anteil starker Schäden in %

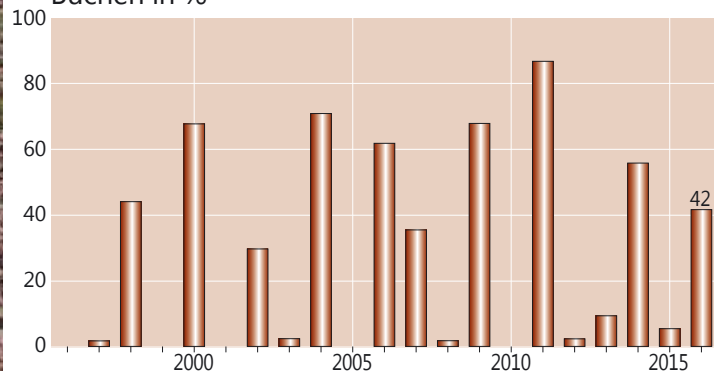


deren Hauptbaumarten weist die Buche die niedrigste Absterberate auf. Im Mittel der Jahre 1984-2016 liegt die Absterberate der Buche bei 0,04 %. In den letzten vier Jahren ist keine Buche im Stichprobenkollektiv der Waldzustandserhebung abgestorben.

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 1996-2016 alle 2,3 Jahre eine starke Mast. Literaturrecherchen (Paar et al. 2011) hingegen ergaben für den Zeitraum 1839-1987 Abstände zwischen zwei starken Masten für 20-Jahresintervalle zwischen 3,3 und 7,1 Jahren.

Anteil mittel und stark fruktifizierender älterer Buchen in %



Eiche

Ältere Eiche

Die Zeitreihe der mittleren Kronenverlichtung der älteren Eichen 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 nur leicht zurückgegangen. Ab 2008 wird ein relativ konstanter Kronenverlichtungswert (2016: 23 %) ermittelt.

Die Entwicklung des Kronenzustandes der Eiche wird stark durch Insekten- und Pilzbefall beeinflusst. Die periodische Vermehrung von Insekten der sogenannten Eichenfraßgesellschaft trägt maßgeblich zu den Schwankungen der Belaubungsdichte der Eiche bei. Im Jahr 2016 wurden keine mittleren oder starken Schäden durch Insektenfraß beobachtet.

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, ab 2004 lag die mittlere Kronenverlichtung höher (8 % bis 12 %), seit 2012 werden wieder niedrigere Verlichtungswerte festgestellt (2016: 3 %).

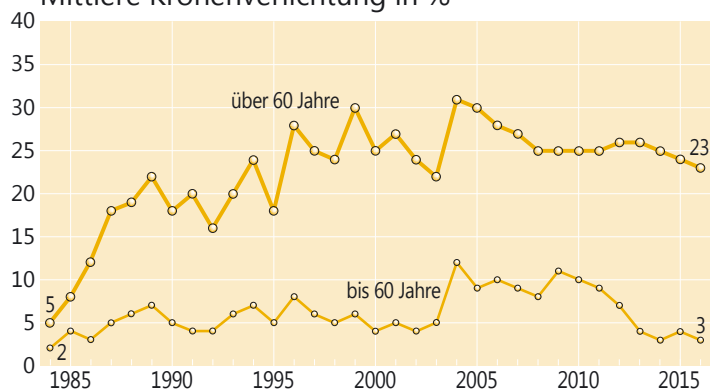
Starke Schäden

Der Mittelwert der starken Schäden in 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, 2016 liegt der Anteil bei 2,3 %. Bei den jüngeren Eichen sind in den letzten Jahren keine starken Schäden aufgetreten.



Foto: J. Weymar

Mittlere Kronenverlichtung in %



Anteil starker Schäden in %

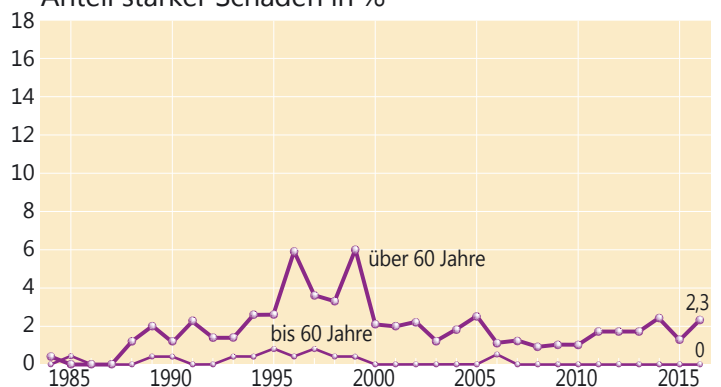


Foto: J. Evers

Absterberate

Die Absterberate der Eiche liegt im Mittel der Jahre 1984-2016 bei 0,1 %. Überdurchschnittliche Absterberaten wurden vor allem im Anschluss an starken Insektenfraß ermittelt, am höchsten war die Absterberate 1997 (0,5 %) und 2013 (0,4 %). 2016 ist keine Eiche im WZE-Stichprobenkollektiv abgestorben.

Fruchtbildung

Die Fruchtbildung der Eiche ist zum Zeitpunkt der Waldzustandserhebung im Juli und August nur schwer einzuschätzen, weil die Eicheln dann noch sehr klein sind. Für die Partnerländer der NW-FVA wurde daher für WZE-Punkte mit mindestens 17 Eichen im Alter über 60 Jahre im 8 km x 8 km-Raster eine zusätzliche Erfassung in der zweiten Septemberwoche durchgeführt. Die Eichen dieser Referenzstichprobe, bestehend aus 13 WZE-Punkten, haben 2016 zu 17 % mittel und stark fruktifiziert.

Fichte

Ältere Fichte

Im gesamten Beobachtungszeitraum werden für die ältere Fichte anhaltend hohe Kronenverlichtungswerte bis zu 37 % (2006) festgestellt. Seit 2012 ist ein deutlicher Rückgang der mittleren Kronenverlichtung auf jetzt 22 % zu verzeichnen. Dies ist der niedrigste Wert für die ältere Fichte in der Zeitreihe der Waldzustandserhebung.

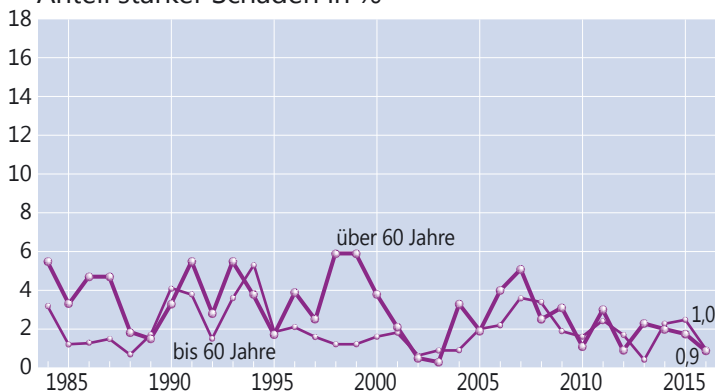
Jüngere Fichte

Für die Fichte ist ein deutlicher Alterstrend festzustellen, in den letzten beiden Jahren nähern sich die Verlichtungswerte beider Altersgruppen allerdings an. Für die jüngeren Fichten beträgt die mittlere Kronenverlichtung aktuell 12 %. Der höchste Wert in der Zeitreihe wurde 2008 ermittelt (18 %).

Starke Schäden

In der Mehrzahl der Erhebungsjahre bestehen bei den starken Schäden kaum Unterschiede zwischen jüngeren und älteren Fichten. Insgesamt (alle Alter) ergibt sich im Mittel aller Erhebungsjahre ein durchschnittlicher Anteil an starken Schäden von 2,4 %. Die Werte schwanken im Erhebungszeitraum ohne zeitlichen Trend zwischen 0,6 % und 4,7 %.

Anteil starker Schäden in %



Mittlere Kronenverlichtung in %

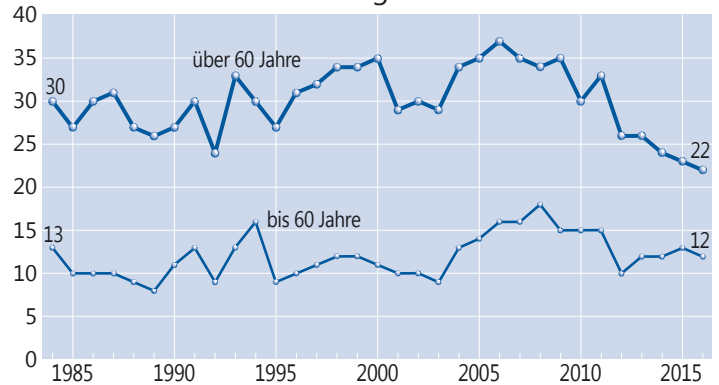


Foto: J. Evers

Absterberate

Die Absterberate der Fichte liegt im Mittel der Jahre 1984-2016 bei 0,2 %. Im Jahr 1994 wurde für die Fichte die höchste Absterberate (1 %) ermittelt. Im Jahr 2016 ist keine Fichte im landesweiten WZE-Raster abgestorben.



Foto: J. Weymar

Kiefer

Ältere Kiefer

Die ältere Kiefer weist seit 1986 durchgehend niedrigere Kronenverlichtungswerte auf als die älteren Buchen, Eichen und Fichten. Die mittlere Kronenverlichtung der älteren Kiefer beträgt in diesem Jahr 18 %. 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 9 %.

Mittlere Kronenverlichtung in %

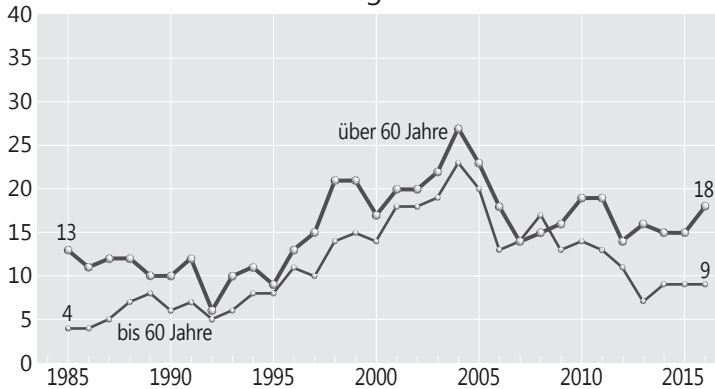


Foto: M. Spielmann



Foto: M. Spielmann

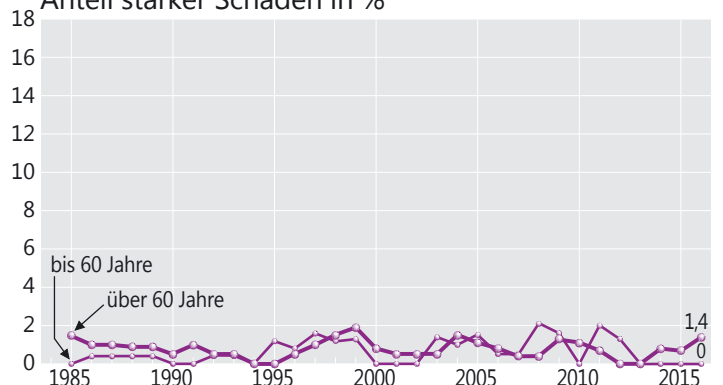
Starke Schäden

Der Anteil starker Schäden liegt bei der Kiefer (alle Alter) im langjährigen Mittel der Erhebungsjahre bei 0,7 %. Im Vergleich der Baumarten zeigt die Kiefer auffallend geringe Anteile an starken Schäden. Im Erhebungszeitraum treten kaum Schwankungen auf. Im Jahr 2016 wurden 1,4 % der älteren Kiefern als stark geschädigt eingestuft, bei den jüngeren Kiefern sind seit vier Jahren keine starken Schäden festgestellt worden.

Absterberate

Die Absterberate der Kiefer schwankt im Erhebungszeitraum zwischen 0 und 0,7 %, im Mittel der Zeitreihe beträgt sie 0,2 %. In diesem Jahr ist keine Kiefer im Stichprobenkollektiv der Waldzustandserhebung abgestorben.

Anteil starker Schäden in %



Andere Laub- und Nadelbäume

In Schleswig-Holstein werden bei der Waldzustandserhebung als landesweite flächendeckende Stichprobeninventur 28 Baumarten erfasst. Neben den Hauptbaumarten Kiefer, Fichte, Buche und Eiche kommt in den Wäldern Schleswig-Holsteins eine Vielzahl weiterer Baumarten vor, die insgesamt 38 % der Stichprobenbäume der Waldzustandserhebung ausmachen. 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 zurzeit 24 %, die anderen Nadelbäume machen 14 % des Stichprobenkollektivs aus.

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 2016 beträgt die mittlere Kronenverlichtung (alle Alter) 15 %. Die Verlichtungswerte der Esche heben sich hiervon deutlich ab, mitverursacht durch das Eschentriebsterben liegt die mittlere Kronenverlichtung der Esche bei 35 %.

Die Gruppe der anderen Nadelbäume setzt sich vorwiegend aus Lärche und Sitkafichte zusammen. Auch hier ist ein Anstieg der Kronenverlichtung im Erhebungszeitraum zu beobachten. Der Höchstwert der mittleren Kronenverlichtung (alle Alter) liegt 2008 bei 24 %. In den letzten Jahren ist eine erhebliche Verbesserung eingetreten. Die mittlere Kronenverlichtung (alle Alter) liegt in diesem Jahr bei 8 %.



Foto: M. Spielmann



Foto: J. Evers

Starke Schäden

Der Anteil starker Schäden liegt in der Gruppe der anderen Laubbäume im Erhebungszeitraum im Mittel bei 2,7 %. 2016 wird dieser Durchschnittswert überschritten (5,3 %). Auch bei den starken Schäden kommt die besondere Belastung der Esche durch das Eschentriebsterben zum Tragen, der Anteil starker Schäden beträgt 19 %. Für die anderen Nadelbäume sind seit 1984 Werte zwischen 0,3 % und 7,2 % aufgetreten, im Mittel beträgt der Anteil 1,5 %. 2016 liegt hier der Anteil starker Schäden bei 0,7 %.

Absterberate

Die Absterberate der anderen Laubbäume liegt 2016 bei 0,4 %. Dies entspricht dem Durchschnittswert im Beobachtungszeitraum. Bei den anderen Nadelbäumen ist 2016 kein Stichprobenbaum abgestorben.

Witterung und Klima

Johannes Suttmöller

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 sind jeweils die Niederschlagssummen und die Mitteltemperaturen sowie die Abweichungen vom Mittel der Klimanormalperiode 1961-1990. Grundlage für die Auswertung bilden die Messdaten des DWD (96 Klima- und 274 Niederschlagsstationen), die auf ein 200 m-Raster interpoliert wurden, so dass der Mittelwert über die gesamte Landesfläche von Schleswig-Holstein gebildet werden konnte.

Temperatur und Niederschlag im langjährigen Verlauf

Die langjährigen Messdaten für den Zeitraum von 1961-2016 zeigen seit 1988 eine gegenüber der Referenzperiode (1961-1990) erhöhte Temperatur. Im Vegetationsjahr 2016 (Oktober 2015 bis September 2016) hat sich die langjährige Mitteltemperatur von 8,3 °C (Mittelwert der Referenzperiode) auf nun 9,2 °C erhöht (Mittelwert 1987-2016). Um den gemessenen Temperaturanstieg zu verdeutlichen wurde das gleitende 30jährige Mittel berechnet, das für jedes Jahr den Mittelwert aus den voraus gegangenen 30 Jahren bildet (gepunktete Linie in der Abbildung unten). Dabei war das Vegetationsjahr 2016 mit 10,3 °C nach den Jahren 2007 und 2014 das drittwärmste Jahr seit Messbeginn in Schleswig-Holstein. Die Temperaturabweichung betrug im Flächenmittel +2 °C.

Wie bereits in den letzten Jahren zu beobachten war, weisen fast alle Monate positive Temperaturabweichungen auf. Nur der Oktober 2015 fiel etwas zu kühl aus. Der Dezember 2015 ging mit einer Temperaturanomalie von +5,8 °C sogar als wärmster Dezember seit Messbeginn in die Wetterhistorie ein. Auch der September 2016 wies mit einer Temperaturabweichung von +3,8 °C und einer Mitteltemperatur von 17,1 °C eher sommerlichen Charakter auf und war sogar wärmer als der August.

Mit 845 mm lag die Niederschlagssumme im Vegetationsjahr 2015/2016 knapp 10 % über dem langjährigen Mittelwert der Referenzperiode (1961-1990) von 782 mm. Die Niederschlagshöhe schwankt im Zeitraum 1961-2016 von Jahr zu Jahr mit Werten von weniger als 500 mm (1996) bis über 1000 mm (2007) sehr stark (Abbildung unten). Perioden mit

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

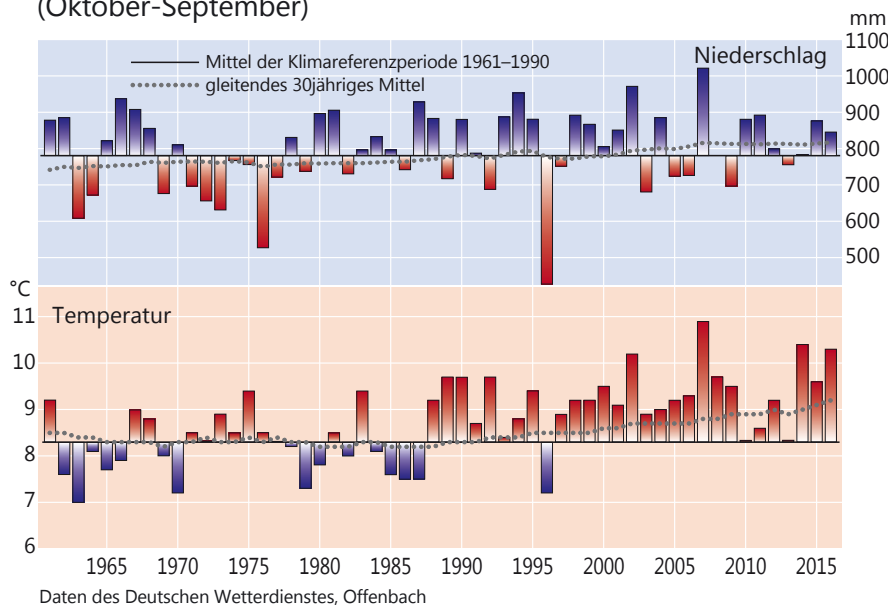


Foto: J. Evers

überdurchschnittlich hohen Niederschlägen wechseln mit trockenen Perioden ab, sodass keine einheitliche Tendenz festgestellt werden kann. Seit Beginn der 1980er Jahre wurde abgesehen von einigen Ausnahmen das Niederschlagssoll der Klimanormalperiode meist mehr oder weniger stark übertroffen. Dies zeigt das 30jährige gleitende Mittel mit seinem kontinuierlichen Anstieg von 760 mm im Jahr 1980 auf knapp 820 mm im Jahr 2016. In der Vegetationszeit (Mai-September) wurde die Mitteltemperatur von 14,5 °C mit 16,5 °C deutlich überschritten und auch die Temperaturen in der Nichtvegetationszeit (Oktober-April) lag mit 5,8 °C signifikant über dem Mittelwert der Referenzperiode (3,9 °C). Während die Niederschlagssumme in der Nichtvegetationsperiode mit 514 mm rund 20 % über dem langjährigen Mittelwert lag, wurde in der Vegetationsperiode mit 330 mm annähernd das Niederschlagssoll erreicht (Abbildungen Seite 17).

Ein Trend zu feuchteren Wintern und trockeneren Sommern, wie es die aktuellen Klimaszenarien projizieren, ist bisher nicht zu beobachten. In den letzten 15 Jahren wurden überdurchschnittliche Niederschläge häufiger in der Vegetationszeit als in der Nichtvegetationszeit gemessen. Der erwartete Temperaturanstieg spiegelt sich in den Messreihen dagegen gut wider (siehe 30jähriges Mittel in der Abbildung links). Die beobachtete Erwärmung entspricht dabei eher dem ‚worst case‘-Szenario und würde einen Temperaturanstieg von rund 4 °C bis zum Jahr 2100 im Vergleich zur vorindustriellen Temperaturniveau (Mittelwert 1850-1900) zur Folge haben. Um die Erwärmung auf 1,5 °C bis 2,0 °C bis zum Jahr 2100 zu begrenzen, müssten die Treibhausgas-Emissionen kurzfristig und drastisch reduziert werden.

Witterung und Klima

Witterungsverlauf von Oktober 2015 bis September 2016

Im Vegetationsjahr 2015/2016 wurden in Schleswig-Holstein fast durchgehend positive Temperaturabweichungen gemessen. Dabei waren 8 Monate mehr als 1,0 °C wärmer als die langjährigen Monatsmittelwerte. Während das Vegetationsjahr noch mit einem unterkühlten Oktober startete, folgten ein warmer November und ein rekordwarmer Dezember. Trotz kurzer winterlicher Episoden lagen die Monatsmitteltemperaturen von Januar bis April rund +0,5 °C bis +1,0 °C über den langjährigen Mittelwerten. Der Februar 2016 war mit einer Abweichung von +2,6 °C sogar deutlich zu warm. Auch im weiteren Jahresverlauf lagen die Monatsmitteltemperaturen durchweg über den Werten der Referenzperiode 1961-1990, wobei von Mai bis August Abweichungen von knapp +1,0 °C bis +2,0 °C auftraten. Das Vegetationsjahr endete mit einer ungewöhnlichen Hitzeperiode im September, wobei an vielen Messstationen des DWD in Schleswig-Holstein neue Rekordwerte gemessen wurden.

Obwohl die Niederschlagssumme über dem langjährigen Mittelwert lag, waren 7 von 12 Monaten im Vegetationsjahr 2015/2016 zu trocken. Nur durch die überdurchschnittlich hohen Niederschläge im November 2015 und im Februar und Juni 2016, die jeweils 150 % bis über 200 % des langjährigen Niederschlagsolls betrug, konnte das Niederschlagsdefizit der übrigen Monate ausgeglichen werden. Nach einem nassen Juni setzte im Juli eine Trockenperiode ein, die nur von wenigen Niederschlagsereignissen unterbrochen wurde und bis zum Ende des Vegetationsjahres im September 2016 andauerte.

Die Temperaturabweichung in der Nichtvegetationszeit weist nur geringe regionale Unterschiede in Schleswig-Holstein auf. Während in den nord-

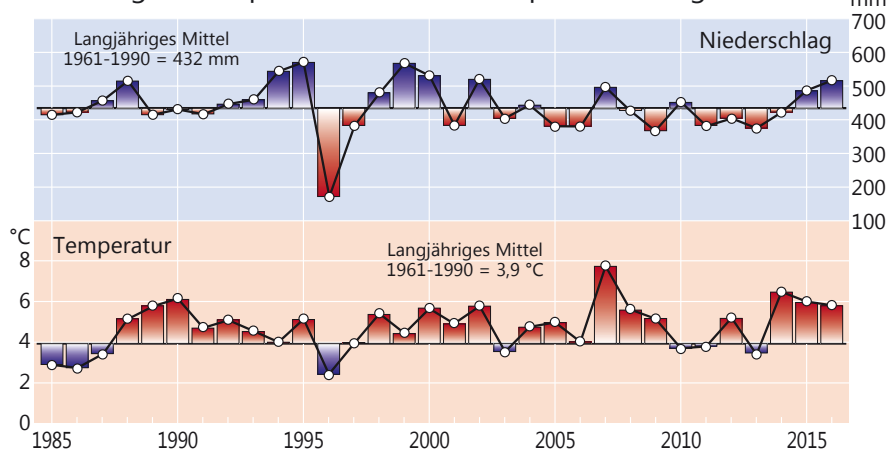
westlichen Landesteilen Abweichungen von über +2,0 °C gemessen wurden, nimmt nach Südosten die Temperaturanomalie auf unter +1,7 °C leicht ab. In der Vegetationszeit 2016 blieb bei ähnlichen positiven Temperaturabweichungen der Nordwest-Südost-Gradient erhalten.

Die Nichtvegetationszeit war in Schleswig-Holstein zu nass. Teilweise fielen in den Küstenbereichen von Nord- und Ostsee bis zu 30 % mehr als das Niederschlagsoll. Nur in einigen Regionen im Südwesten des Landes wurde der langjährige Mittelwert der Klimanormalperiode nur geringfügig übertroffen. In der Vegetationszeit setzte im Juli eine mehrwöchige Trockenperiode ein, die dazu führte, dass im Osten und Süden die mittlere Niederschlagssumme in der Vegetationszeit regional um bis zu 20 % unterschritten wurde. In den nordwestlichen Landesteilen wurde das Niederschlagsoll dagegen weitgehend erreicht bzw. an der Nordseeküste regional auch leicht übertroffen.

Das Vegetationsjahr 2015/2016 (Oktober-September) reiht sich nahtlos in die überdurchschnittlich warmen Jahre der letzten 25 Jahre ein. Es ist mit einer Mitteltemperatur von 10,3 °C ebenso wie 2014 und 2007 eines der wärmsten Jahre seit Messbeginn. Die Temperaturabweichung betrug +2,0 °C. Dabei gab es landesweit nur geringe Unterschiede bei den Temperaturabweichungen. Das Niederschlagsoll wurde im Landesmittel um rund 10 % überschritten, wobei infolge einer mehrwöchigen Trockenperiode von Juli bis September in den östlichen und südlichen Gebieten von Schleswig-Holstein nur geringe Abweichungen zum langjährigen Mittel der Jahresniederschlagssumme gemessen wurden.

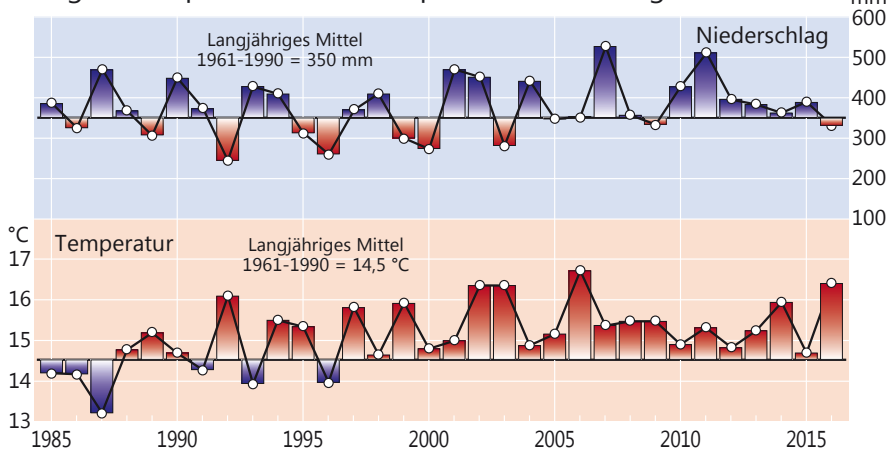
Langjährige Klimawerte (1985-2016)

Nichtvegetationsperiode Oktober bis April, Schleswig-Holstein



Langjährige Klimawerte (1985-2016)

Vegetationsperiode Mai bis September, Schleswig-Holstein



Daten des Deutschen Wetterdienstes, Offenbach



Foto: M. Spielmann

Witterung und Klima

Gemessene Temperaturen und deren Abweichungen zum langjährigen Mittel in der Nichtvegetationszeit (NVZ) 2015/2016 und in der Vegetationszeit (VZ) 2016

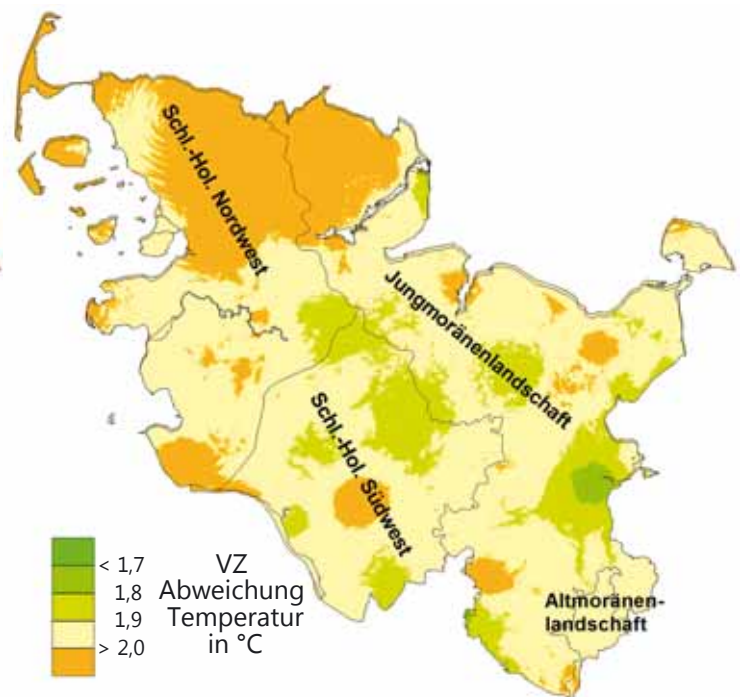
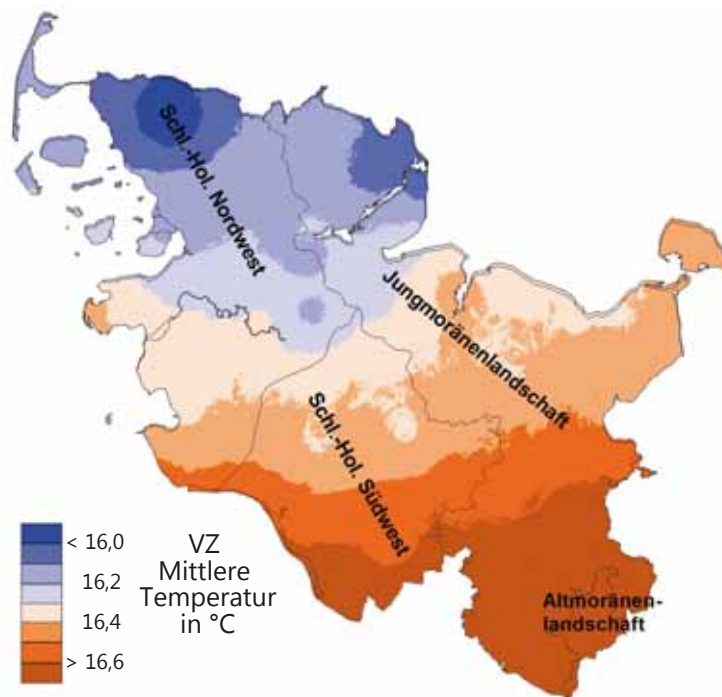
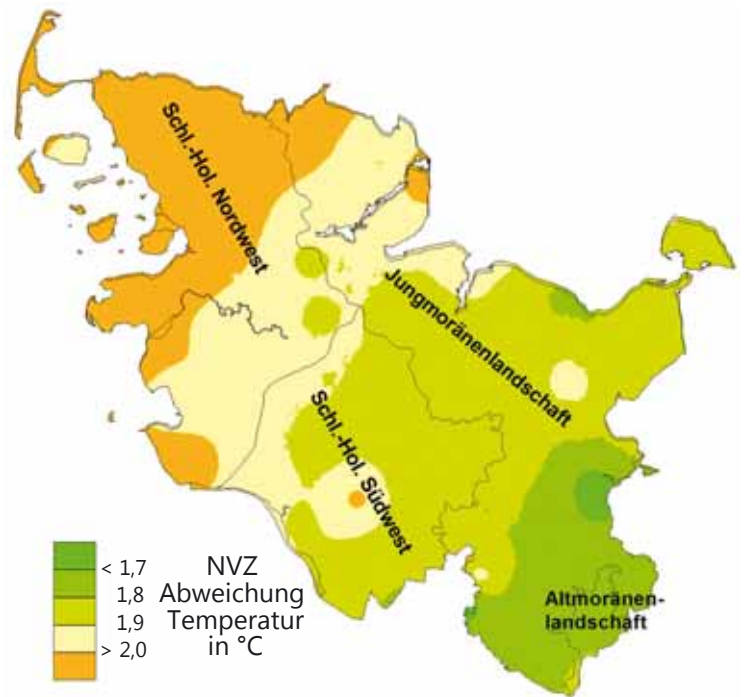
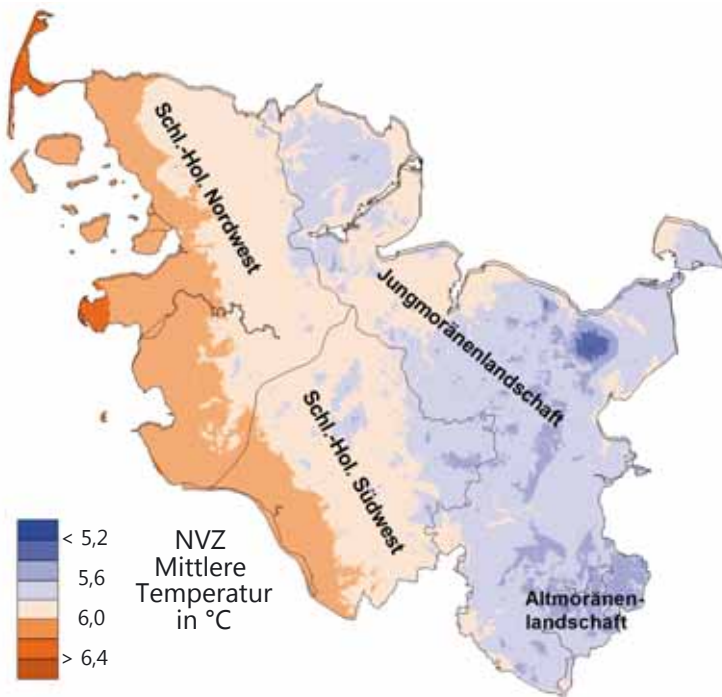
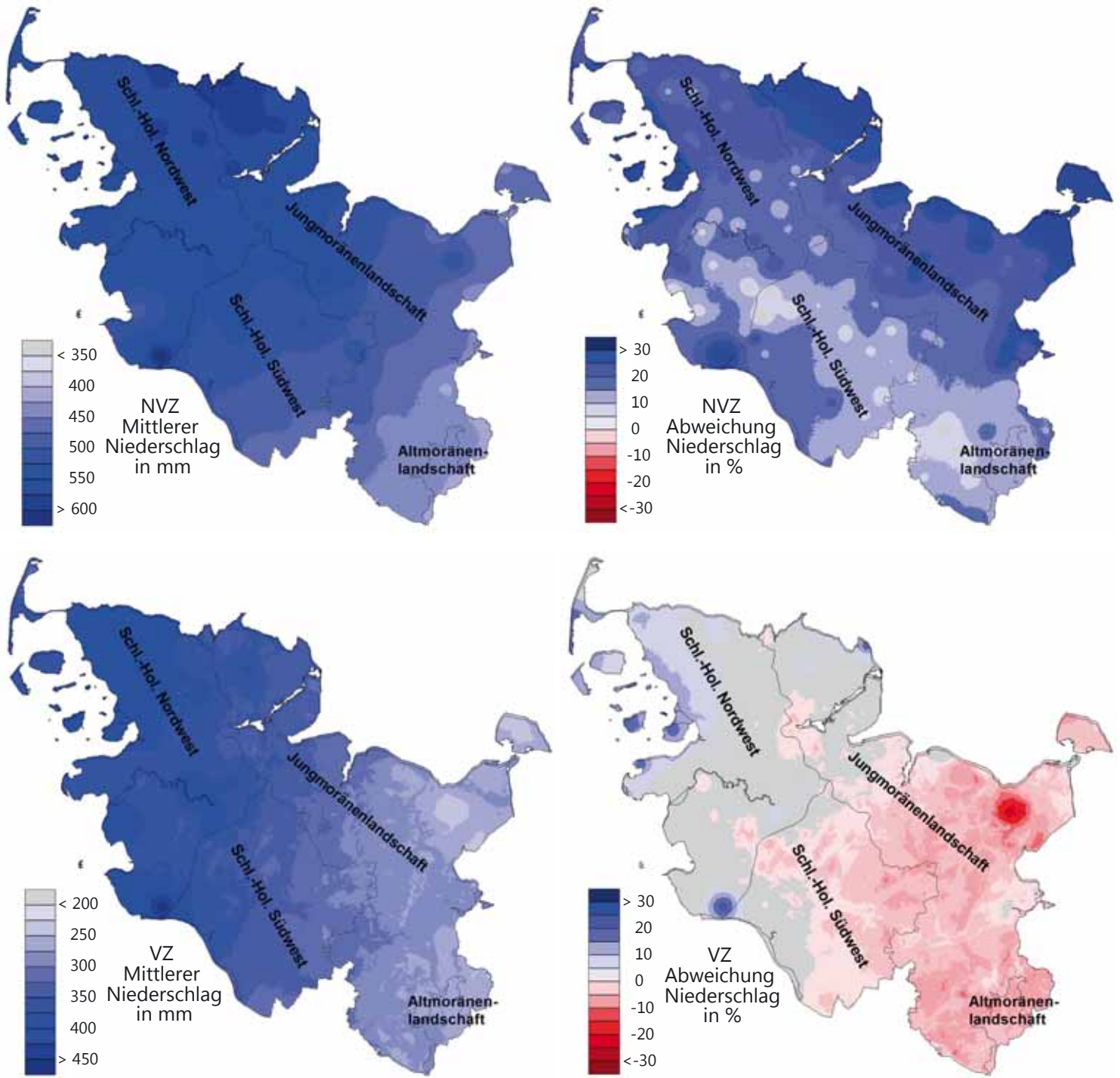


Foto: J. Evers

Witterung und Klima

Gemessene Niederschlagssummen und deren Abweichungen zum langjährigen Mittel in der Nichtvegetationszeit (NVZ) 2015/2016 und in der Vegetationszeit (VZ) 2016



Bodenwasserhaushalt und Trockenstress

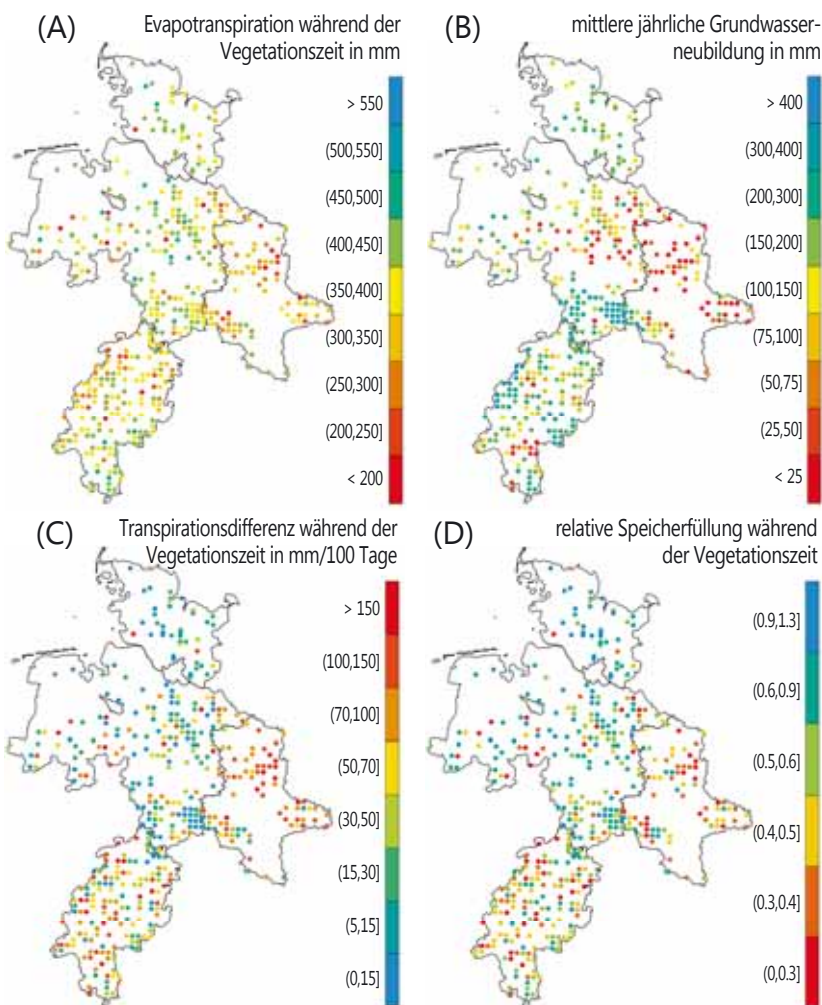
Paul Schmidt-Walter, Bernd Ahrends und Henning Meesenburg

Der Wasserhaushalt ist neben der Nährstoffversorgung die wichtigste lokale Standortskomponente. Durch den Klimawandel werden unsere Waldökosysteme in den nächsten Jahrzehnten aber klimatischen Bedingungen ausgesetzt sein, die sich in ihrer Intensität und Dynamik grundsätzlich von denen der Vergangenheit unterscheiden. Die möglichen Auswirkungen dieser veränderten Umweltbedingungen auf die Wälder und ihre Böden umfassen nicht nur reduzierte Grundwasserneubildungsmengen, sondern auch das Bodenwasserregime einschließlich der Verfügbarkeit des Bodenwassers für Baumwurzeln. Damit ergibt sich eine direkte Beziehung zur Produktionsfunktion (Zuwachs der Waldbäume). Diese Folgen betreffen nicht nur die Jahre mit auftretender Trockenheit, häufig ist z. B. ein vermindertes Wachstum in den Jahren nach der Dürre stärker ausgeprägt. Darüber hinaus wird von besonders starken Reaktionen beim Auftreten von trockenen Bodenverhältnissen in aufeinanderfolgenden Jahren ausgegangen. Da der Klimawandel die Standortbedingungen unserer Wälder auch heute schon merklich verändert hat, kann ein möglicher Einfluss von Temperatur- und Niederschlagsveränderungen anhand von hinreichend langen Klimazeitreihen aus der Vergangenheit untersucht werden. Hierfür werden im Projekt



Verschiedene Indikatoren zeigen in Schleswig-Holstein bisher ein vergleichsweise geringes Risikopotential für Trockenstress.

Foto: J. Evers



Medianwerte der realen Evapotranspiration während der Vegetationsperiode (A), der jährlichen Grundwasserneubildung (B), der Transpirationsdifferenz während der Vegetationsperiode (C) und der mittleren relativen pflanzenverfügbaren Bodenwasserspeicherfüllung während der Vegetationsperiode (D) für BZE II-Punkte im Zeitraum 1981-2010.

WP-KS-KW (Veränderte Produktivität und Kohlenstoffspeicherung der Wälder Deutschlands angesichts des Klimawandels) umfassende Wasserhaushaltssimulationen an Aufnahmepunkten der zweiten Bodenzustandserhebung (BZE II) durchgeführt. Das BZE II-Netz eignet sich für derartige Untersuchungen besonders, da es repräsentativ für die Waldflächen in Nordwestdeutschland ist und alle wesentlichen für die Wasserhaushaltssimulation notwendigen bodenphysikalischen Kenngrößen (Bodenart, Trockenrohichte, Skelettgehalt, Humusgehalt) und Bestandesparameter erhoben werden. Bei den hier vorgestellten Simulationen wurde für die jeweiligen Waldbestandstypen von konstanten Bestandeseigenschaften und -entwicklungen ausgegangen, um den Einfluss der Klimaentwicklung und regionale Unterschiede deutlicher herauszuarbeiten.

Gesamtverdunstungsmenge

Die Abbildung links (A) zeigt die räumliche Verteilung der Gesamtverdunstungsmenge (Evapotranspiration) während der Vegetationsperiode. Ein großer Teil der BZE-Punkte liegt im Bereich von 300-500 mm. Sehr hohe Verdunstungsraten (>450 mm) treten vereinzelt in Bereichen auf, die niederschlagsreich sind und gleichzeitig über hohe Temperaturen mit entsprechend langen Vegetationsperioden verfügen. Ein gehäuftes Auftreten von niedrigen Gesamtverdunstungsraten (<350 mm) findet sich im Regenschatten des Harzes, im Hessischen Schiefergebirge, in der Altmark sowie weiterhin auf Standorten mit hohen Skelettgehalten und/oder geringen effektiven Durchwurzelungstiefen.

Bodenwasserhaushalt und Trockenstress

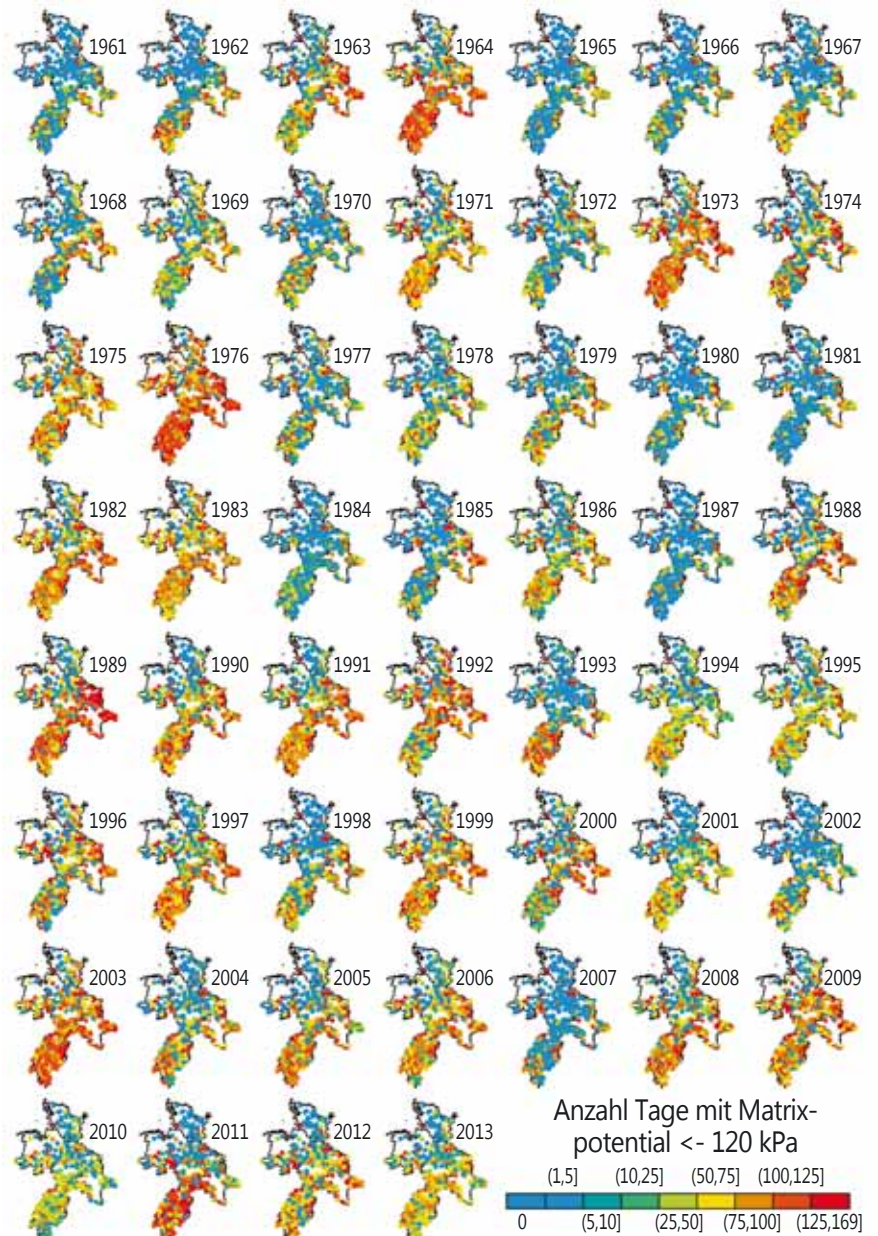
Grundwasserneubildung

Stärker ausgeprägte räumliche Muster zeigt die Grundwasserneubildung (Abbildung Seite 20 (B)), da sie primär vom Niederschlag bestimmt wird. Die Grundwasserneubildung hat als Ökosystemleistung unserer Wälder eine große Bedeutung, da im Vergleich mit anderen Landnutzungsformen die Qualität des unter Wald gebildeten Grundwassers als insgesamt hochwertig anzusehen ist. Folglich ist der Anteil bewaldeter Flächen in Trinkwassergewinnungsgebieten häufig überproportional hoch. Für den Großteil der BZE-Punkte liegt die jährliche Grundwasserneubildung bei 50-400 mm. Niedrige Werte (<100 mm) befinden sich vorwiegend in Sachsen-Anhalt, im Ostniedersächsischen Tiefland und vereinzelt in Hessen (Hessisches Ried und Großraum Frankfurt). Hohe Grundwasserneubildungsraten (>400 mm) konzentrieren sich auf den Harz und in Hessen auf den Westerwald und das Hessisch-Fränkische Bergland.

Transpirationsdifferenz und relative Bodenwasserspeicherfüllung

Zwei Indikatoren zur Beschreibung der Trockenstresssituation von Wäldern sind die Transpirationsdifferenz und die relative Bodenwasserspeicherfüllung. Die Transpirationsdifferenz beschreibt die Differenz zwischen der bei jederzeit optimaler Wasserversorgung möglichen (potenziellen) Transpiration und der bei gegebener Wasserverfügbarkeit real möglichen Transpiration und berücksichtigt stärker die absolute Wasserverfügbarkeit. Sie ermöglicht es festzustellen, ob die Verdunstung eines Standortes durch Wassermangel begrenzt ist (Abbildung Seite 20 (C)). Je niedriger der Wert, desto günstiger ist die Wasserversorgung. Werte unter 5 mm pro 100 Tage während der Vegetationsperiode werden in den Hochlagen der Mittelgebirge und an vielen Standorten in Schleswig-Holstein erreicht. In Sachsen-Anhalt dagegen überwiegen Werte von >100 mm während der Vegetationsperiode pro 100 Tage. Aber auch an vielen Standorten in Hessen werden entsprechende Werte erreicht.

Standorte mit geringer relativer Auffüllung des pflanzenverfügbaren Bodenwasserspeichers befinden sich vorwiegend in Sachsen-Anhalt und Hessen (Abbildung Seite 20 (D)). Neben geringen Niederschlagsmengen während der Vegetationsperiode sind hierfür auch geringe Speicherkapazitäten auf flachgründigen Standorten verantwortlich. Auf vielen anderen BZE-Punkten tritt demgegenüber Wassermangel nur in Trockenjahren auf. Die kurzzeitige Verknappung der Wasserversorgung des Bestandes führt zu Trockenstress



Dynamik der Bodenaustrocknung in Nordwestdeutschland von 1961 bis 2013

und ist damit eine Risikokomponente. Mögliche Folgen sind Blattverlust, Abnahme der Vitalität, erhöhte Mortalität und eine temporäre Verringerung der Wachstumsleistung.

Räumliche und zeitliche Dynamik

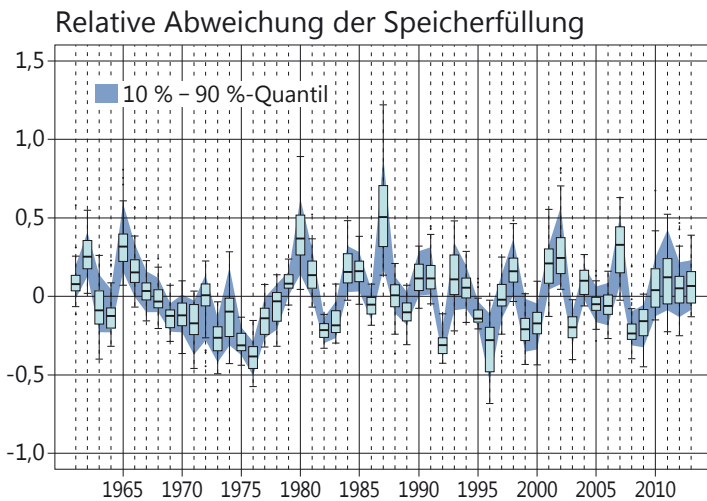
Neuere Untersuchungen deuten darauf hin, dass Abweichungen von den langjährigen Witterungsbedingungen eine zentrale Bedeutung für das bestandesspezifische Trockenstressrisiko haben (Choat et al. 2012). Demzufolge sollten im Vergleich zu Mittelwerten auch die zeitlichen Veränderungen betrachtet werden. Entsprechend wurden die Ergebnisse der Wasserhaushaltsmodellierung der BZE-Punkte hinsichtlich der Raum-Zeit-Dynamik ausgewertet. Hierbei lässt sich die zeitliche Entwicklung anschaulich mit dem Ausmaß von Perioden starker Bodenaustrocknung (Matrixpotentiale von weniger als -120 kPa im Wurzelraum) beschreiben (Abbildung oben). Rote Symbole markieren intensiven Wassermangel und blaue Symbole unkritische Wasserversorgungen. In extremen Trockenjahren (1973, 1976, 1989 und 2003) weist der überwiegende Anteil der BZE-Punkte eine rote Einfärbung auf. Eine Ausnahme hiervon können in einzelnen Jahren die Küstenstandorte in Niedersachsen und Schleswig-Holstein bilden. In Jahren, die weder durch extreme Trockenheit noch

Bodenwasserhaushalt und Trockenstress

durch sehr hohe Niederschläge gekennzeichnet sind, fällt ein ausgeprägtes räumliches Muster des Wassermangels auf. Bereiche mit besonders intensivem Wassermangel sind zum einen die grobbodenreichen Mittelgebirgslagen, deren Wasservorräte schnell aufgebraucht sind, und zum anderen sehr niederschlagsarme Regionen (z. B. im Regenschatten des Harzes). In der zeitlichen Dynamik häuft sich seit Beginn der 1990er Jahre das Auftreten von erhöhtem Wasserstress. Neben dieser Zunahme von Trockenstress zeigen die Modellergebnisse auch eine Abnahme der Variabilität zwischen den BZE-Punkten. Die ist darauf zurückzuführen, dass in der Vergangenheit besser versorgte Standorte in der Zeitachse nach 1990 ebenfalls gehäuft Trockenstress erfahren.



Trinkwassergewinnungsgebiete liegen häufig im Wald
Foto: J. Evers



Pflanzenverfügbare Bodenwasserspeicherfüllung in der Vegetationsperiode für die BZE II-Punkte in Schleswig-Holstein im Zeitraum 1961 bis 2013. Verteilung (Median, Quantil-Bereich (25-75 %, 10 %- und 90 %-Quantil) dargestellt als relative Abweichung vom Mittelwert des Zeitraums 1961 bis 1990.



Boden mit hohem Skelettanteil und geringer Wasserspeicherkapazität
Foto: NW-FVA

Feuchte und trockene Vegetationsperioden in Schleswig-Holstein

Die langfristige Entwicklung von Wassermangelperioden in Schleswig-Holstein wird aus der Abbildung links ersichtlich, in der die zeitliche Entwicklung der pflanzenverfügbaren Bodenwasserspeicherfüllung im Wurzelraum als Verteilung der relativen Abweichungen zum Referenzzeitraum 1961-1990 dargestellt ist. So können Jahre identifiziert werden, die in der Vegetationsperiode gegenüber dem Referenzzeitraum überdurchschnittlich feucht oder trocken waren. In den Jahren 1975, 1976 und 1992 zeigen fast 75 % der BZE-Punkte eine um mindestens 25 % niedrigere mittlere Speicherfüllung. Großflächig überdurchschnittliche Bodenwasserspeicherfüllungen in der Vegetationszeit weisen die Jahre 1965, 1980, 1987 und 2007 auf. Während in Niedersachsen, Hessen und Sachsen-Anhalt Jahre mit unterdurchschnittlicher Wasserversorgung während der Vegetationsperiode seit dem Ende der 1980er Jahre zugenommen haben, zeigt sich für Schleswig-Holstein keine signifikante Veränderung im Zeitraum 1961 bis 2013. Vermutlich wird die signifikante Temperaturerhöhung durch höhere Niederschlagsmengen (nicht signifikant) kompensiert (vgl. Abbildungen Seite 16 und 17). Dies betrifft im betrachteten Zeitraum sowohl die Winter- als auch die Sommerniederschläge (beide nicht signifikant). Sollten die Letztgenannten, wie für den Klimawandel in Schleswig-Holstein projiziert, deutlich abnehmen, ist auch für Schleswig-Holstein bei einer weiteren Temperaturerhöhung mit einem erhöhten Trockenstressrisiko zu rechnen.

Fazit

Die durch den Klimawandel bedingten Veränderungen in Häufigkeit, Dauer und Intensität von Trockenperioden müssen bei einer klimasensitiven Betrachtung des Wasserhaushalts beachtet werden. Änderungen der Wasserverfügbarkeit im Zuge des Klimawandels müssen dementsprechend bei der Baumartenwahl, der waldbaulichen Behandlung und im Rahmen des Wald- und Grundwasserschutzes berücksichtigt werden. Ohne flächendeckende, verlässliche und dynamische Informationen zum Wasserhaushalt ist eine vorausschauend an den Klimawandel angepasste und damit stabile Forstwirtschaft nicht möglich. Entsprechend gilt es, dieses Modellsystem nicht nur wie dargestellt auf BZE-Punkte anzuwenden, sondern direkt in die Standortskartierung zu integrieren und außerdem die mögliche zukünftige Klimaentwicklung einschließlich deren Unsicherheiten in die Betrachtungen einzubeziehen.

Insekten und Pilze

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

Eichenfraßgesellschaft

Schäden durch den Kleinen und den Großen Frostspanner sind in diesem Jahr kaum aufgetreten. Auf den Beobachtungsflächen der NW-FVA zur „Eichenkomplexerkrankung“ waren die Eichen im Sommer 2016 im Mittel besser belaubt als in den Vorjahren. Allerdings konnten sich Bäume, die bereits sehr hohe Blattverluste hatten, nicht wesentlich regenerieren.

Eschentriebsterben

Das Eschentriebsterben (Erreger: *Hymenoscyphus fraxineus/Chalara fraxinea*) ist auf großer Fläche präsent. Es führte örtlich bereits zur Auflösung von Bestandesteilen und zum Absterben von Eschenaufforstungen. Durch die Bildung von Wasserreisern und Sekundärkronen vermitteln viele Eschen in diesem Jahr zunächst den Eindruck scheinbarer Erholung. Bei sehr starken Kronenschäden etwa ab Verlichtungen von 70 % muss im Wurzelraum mit Befall durch Hallimasch und andere Wurzelpilze gerechnet werden.

Die „Praxis-Information“ der NW-FVA, Abt. Waldschutz, zum Eschentriebsterben wurde im August 2016 überarbeitet und aktualisiert (www.nw-fva.de).

Hallimasch

Absterbeerscheinungen durch Hallimasch (*Armillaria* sp.) wurden im gesamten Zuständigkeitsgebiet beobachtet. Dem Befall geht in der Regel eine Schwächung der Wirtsbäume voraus. Betroffen sind u. a. Buchen- und Douglasienkulturen, Traubeneichen im Zusammenhang mit der Eichenkomplexerkrankung, durch Stauwasser geschädigte Altbuchen mit Wurzelschwambefall, Fichten mit Wurzelschwambefall und Tannen, die an der Tannen-Rindennekrose erkrankt waren.



Befall mit Hallimasch (weißes Fächermycel) am Stammfuß einer stark durch Eschentriebsterben geschädigten Esche

Foto: NW-FVA, Abteilung Waldschutz



Absterbende Triebe an Weißtanne infolge der Tannen-Rindennekrose
Foto: NW-FVA, Abteilung Waldschutz

Tannen-Rindennekrose

Im Frühjahr 2016 wurde örtlich in Niedersachsen und in Schleswig-Holstein ein unterschiedlich starker Befall mit der einheimischen Tannenstammlaus (*Adelges piceae*) an Weißtannen und Küstentannen beobachtet. Betroffen sind Tannen im Alter von etwa 35-60 Jahren in gutwüchsigen Beständen. Vornehmlich wurden freigestellte, stark besonnte Randbäume und Tannen in Standortsbereichen mit ungünstiger Wasserversorgung von den Läusen vom Stammanlauf bis in den Kronenbereich hinein befallen.

Während die Kronen der mit Stammläusen befallenen Bäume an manchen Orten weiterhin vital und gesund erscheinen, kam es z. B. im Nordwesten Niedersachsens zu massiven Absterbeerscheinungen durch die sogenannte Tannen-Rindennekrose. Diese komplexe Erkrankung wird durch Massenbefall der Tannenstammlaus ausgelöst. Die Witterungsbedingungen waren in den letzten Jahren für die Entwicklung der Läuse günstig. Durch die Saugwunden der Läuse drang *Neonectria neomacrospora* als pilzlicher Folgeschadererreger in die Rinde des Wirts ein und verursachte an Stämmen und Ästen Rindennekrosen mit Schädigungen bis zum Kambium. Dadurch kam es zu verkürztem Austrieb 2016, zum Absterben größerer Rindenpartien und zum Absterben von Trieben und Ästen. Das Triebsterben begann im unteren Kronenbereich und setzte sich nach oben hin fort.

Der Befall zeigte sich durch plötzliche Rotfärbung der Nadeln, begleitet von starkem Harzfluss. So geschwächte Tannen wurden von sekundären Schaderregern wie rinden- und holzbrütenden Insekten sowie bodenbürtigen Wurzelfäulepilzen befallen. Letztlich starben die stark betroffenen Bäume im späten Frühjahr und Frühsommer ab

Stoffeinträge

Birte Scheler

Wald filtert durch seine große Kronenoberfläche stärker als alle anderen Landnutzungsformen gas- und partikelförmige Stoffe aus der Luft. Aufgrund dieses Filtereffektes ist das Ökosystem Wald besonders stark durch anthropogen verursachte Stoffeinträge von Sulfatschwefel und Stickstoff (Nitrat und Ammonium) belastet. Um die Wirkungen dieser erhöhten Stoffeinträge sowie die damit verbundenen Risiken für Wälder, Waldböden und angrenzende Ökosysteme wie z. B. das Grundwasser zu untersuchen, wird in Schleswig-Holstein seit 1989 der Stoffeintrag in einem 111jährigen Buchenbestand des Intensiven Forstlichen Umweltmonitorings in Bornhöved erfasst. Hierzu wird der Niederschlag auf einer Freifläche (Freilandniederschlag) und einer Bestandesmessfläche (Bestandesniederschlag) analysiert, in Buchenbeständen wird zusätzlich der bei dieser Baumart quantitativ bedeutsame Stammablauf gemessen. Mittels eines Kronenraumbilanzmodells (Ulrich 1991) werden aus den gemessenen Stoffflüssen Gesamtdositionsraten bestimmt.

Niederschlag

Die Höhe der Stoffeinträge wird maßgeblich durch verschiedene Faktoren wie Niederschlagsmenge und -verteilung, Baumart, Bestandeshöhe, Kronenrauigkeit bzw. lokale Emittenten bestimmt. Aus diesem Grund sind die Stoffeinträge in niederschlagsärmeren Gebieten in der Regel niedriger als in niederschlagsreichen Gegenden und aufgrund des Laubabwurfs unter Buche geringer als unter Fichte. 2015 betrug der Bestandesniederschlag (Kronentraufe und Stammablauf) in Bornhöved 716 mm und lag damit 127 mm bzw. 22 % über dem Mittel der Jahre 2010-2014. Im Freiland fielen 902 mm Niederschlag bzw. 199 mm (28 %) mehr als im Vergleichszeitraum. Insgesamt zeigt sich im Beobachtungszeitraum jedoch eine abnehmende Tendenz der Niederschlagshöhen.

Schwefel

Durch die konsequente Umsetzung von Maßnahmen zur Luftreinhaltung konnten die Schwefelemissionen drastisch reduziert werden und der Schwefeleintrag in die Wälder (jeweils gemessen als Sulfatschwefel $\text{SO}_4\text{-S}$) ist in der Folge stark zurückgegangen. 2015 betrug er pro Hektar 7,8 kg unter Buche und 2,5 kg im Freiland. Er war damit 1,5 kg höher als im Mittel der Jahre 2010-2014, was vermutlich Folge der deutlich höheren Niederschläge im Jahr 2015 war.

Stickstoff

Stickstoff, ein Hauptnährstoff der Pflanzen, wird einerseits in oxidierter Form als Nitrat (Quellen: Kfz-Verkehr, Verbrennungsprozesse) andererseits in reduzierter Form als Ammonium (landwirtschaftliche Quellen) in das Ökosystem eingetragen. Im langjährigen Mittel (1989-2015) betrug das Verhältnis Ammonium zu Nitrat annähernd 60:40, der Ammoniumanteil schwankte in den einzelnen Jahren zwischen 43 und 66 %.

Der Eintrag von Nitratstickstoff hat im Freiland und der Gesamtdosition seit Untersuchungsbeginn signifikant abgenommen. Er betrug 2015 pro Hektar im Freiland 3,9 kg und unter Buche 8,9 kg (Gesamtdosition mit Stammablauf). Im Vergleich zum Mittel der Jahre 2010-2014 reduzierte sich der Nitratreintrag je Hektar unter Buche um 0,4 kg und um 0,1 kg im Freiland.

Der Ammoniumstickstoffeintrag hat sich seit 1989 ebenfalls signifikant verringert, die mittlere jährliche Abnahme fiel mit 0,56 kg in der Gesamtdosition unter Buche und 0,27 kg im Freiland sogar deutlich höher aus als beim Nitratstickstoff. 2015 betrug der Eintrag von Ammoniumstickstoff 5,5 kg im Freiland und 9,9 kg unter Buche. Im Gegensatz zum abnehmenden Trend im gesamten Beobachtungszeitraum seit

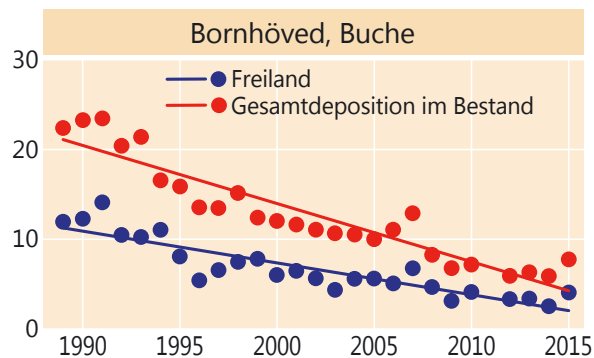
1989 erhöhte sich damit 2015 im Vergleich zum Zeitraum 2010-2014 der Ammoniumeintrag mit der Gesamtdosition um 5 % und im Freiland sogar um 25 %.

Trotz verschiedener Bemühungen zur Reduktion der Stickstoffemissionen und hieraus resultierender rückläufiger Einträge übersteigt der atmosphärische Stickstoffeintrag nach wie vor den Bedarf des untersuchten Bestandes für das Baumwachstum, was gravierende Konsequenzen für den Wald sowie angrenzende Ökosysteme wie Oberflächen- und Grundgewässer zur Folge haben kann.

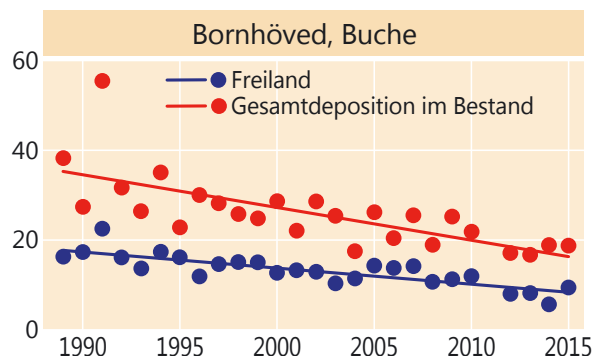


Intensiv-Monitoringfläche Bornhöved: Erfassung der Niederschlagsmenge
Foto: O. Schwerdtfeger

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



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



Stoffeinträge

Gesamtsäure

Der aktuelle Gesamtsäureeintrag berechnet sich als Summe der Gesamtdeposition von Nitrat, Ammonium, Sulfat und Chlorid abzüglich der mit dem Niederschlag eingetragenen Basen Calcium, Magnesium und Kalium (jeweils nicht seesalzbür-tige Anteile; Gauger et al. 2002).

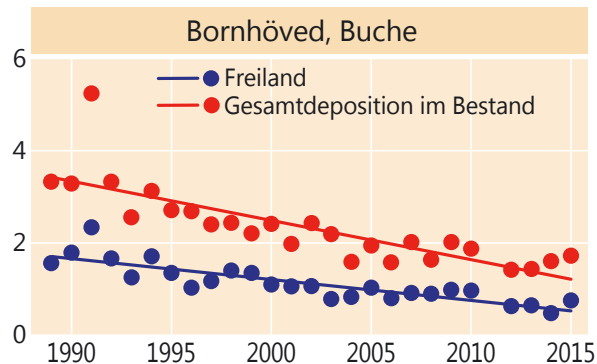
2015 betrug der Gesamtsäureeintrag pro Hektar im Freiland 0,8 kmol_c und 1,7 kmol_c unter Bu-che. Im Vergleich mit neun weiteren untersuch-ten Buchenbeständen im Zuständigkeitsgebiet der Nordwestdeutschen Forstlichen Versuchs-anstalt in den Bundesländern Niedersachsen und Hessen weist die Fläche in Bornhöved 2015 die höchsten Säureeinträge auf.

Zum Schutz der Waldböden und ihrer Filterfunk-tion ist bei basenarmen Ausgangssubstraten eine standortsangepasste Bodenschutzkalkung empfehlenswert.

Gesamtsäure-Eintrag in kmol_c je Hektar und Jahr



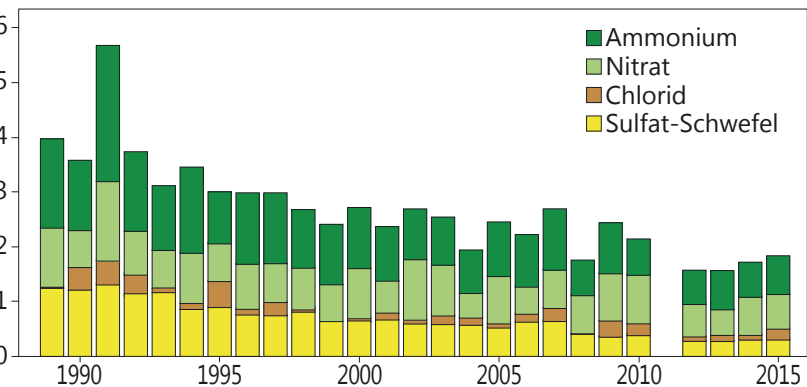
Foto: M. Spielmann



Anteile der Säurebildner

Anhand der 27jährigen Zeitreihe des Gesamtsäureeintrags in Bornhöved kann gezeigt werden, dass sich durch die Reduktion der Schwefel-einträge die Bedeutung der einzelnen Säurebildner verschoben hat. So sank die Säurebelastung durch Sulfatschwefel unter Buche von 1,24 kmol_c (1989) auf 0,29 kmol_c (2015), wodurch sich der Anteil am Gesamtsäureeintrag von 31 % auf 16 % fast halbierte. Die Säurebelastung durch Nitrat nahm im gleichen Zeitraum von 1,1 kmol_c auf 0,6 kmol_c ab, der relative Anteil stieg jedoch von 27 % auf 35 %. Die Säurebe-lastung durch Ammonium schwankte zwischen 2,5 kmol_c (1991) und 0,6 kmol_c (2008, 2012, 2014). Ammonium ist damit aufgrund der land-wirtschaftlichen Prägung Schleswig-Holsteins im gesamten Zeitraum mit einem Anteil von rund 40 % der bedeutendste Säurebildner. Im Mittel der letzten fünf Jahre ist der anorganische Stickstoffeintrag (NH₄-N + NO₃-N) für 76 % des Gesamtsäureeintrags verantwortlich. Auch unter dem Gesichtspunkt der Säurebelastung ist eine weitere Re-duzierung der Stickstoffeinträge dringend geboten.

Anteile der Säurebildner am Gesamtsäure-Eintrag (kmol_c je Hektar und Jahr) in Bornhöved



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 Ladungs-äquivalenten in kmol_c je Hektar.



Intensiv-Monitoringfläche Bornhöved: Wartung der Stammablaufmessung Foto: O. Schwerdtfeger

Schwermetallbelastung der Wälder

Nils König, Heike Fortmann, Uwe Klinck, Birte Scheler und Markus Wagner

Im Rahmen des Forstlichen Umweltmonitorings werden neben den Säure- und Stickstoffeinträgen seit den 1980er Jahren auch die Belastungen der Waldökosysteme mit Schwermetallen erfasst.

Ursprung der Schwermetallbelastung

Ungeachtet ihres Risikopotenzials wurden durch Verbrennungsprozesse und im Rahmen der Güterproduktion in der Vergangenheit große Mengen an Schwermetallen wie Blei, Cadmium, Kupfer, Quecksilber, Chrom, Kobalt, Nickel oder Zink in die Atmosphäre freigesetzt. Durch den atmosphärischen Ferntransport kam es auch in Wäldern, die weit entfernt von den Emissionsquellen liegen, zu einer Anreicherung von Schwermetallen.

Zu den hinsichtlich ihrer Toxizität relevantesten Schwermetallen gehört das Blei. Es wurde früher als Antiklopfmittel dem Benzin zugesetzt. Außerdem ist es ein wichtiger Bestandteil von Legierungen und wird in Bleiakkumulatoren verwendet. Bleipigmente werden auch in großem Maßstab für rostschützende Grundierungen und Farben benötigt.

Ein weiteres bedeutsames Schwermetall ist Cadmium, das in verschiedenen Legierungen, in Batterien, in einigen Leuchtfarben und in Düngemitteln enthalten ist und als Stabilisator in Kunststoffen sowie als Korrosionsschutz verwendet wird. Trotz seiner Toxizität ist Cadmium in den Produkten des Alltags nahezu allgegenwärtig.

Andere Schwermetalle wie Kupfer, Zink oder Kobalt stellen wichtige Mikronährstoffe dar und sind erst in höheren Konzentrationen giftig.

Schwermetalle in der Umwelt

Schwermetalle können als Stäube durch die Atmosphäre weit verteilt werden und gelangen so in Gewässer und Böden. In Gewässern werden sie schnell verdünnt und fallen teilweise als schwerlösliche Carbonate, Sulfate oder Sulfide aus, die sich zunächst in den Gewässerböden anreichern. Wenn die Anlagerungskapazität der Sedimente erschöpft ist, steigt die Konzentration der Schwermetallionen im Wasser an.

Höhere Schwermetallgehalte in Waldböden stellen in erster Linie eine Gefahr für die Organismen der Zersetzerkette im Boden dar. Moose, krautige Pflanzen und Bäume werden erst bei höheren Belastungen geschädigt. Die Löslichkeit und damit auch die Toxizität von Schwermetallen im Boden hängt in starkem Maße vom Säuregrad (pH-Wert) sowie vom Ton- und Humusgehalt des Bodens ab, da hohe pH-Werte sowie hohe Ton- und Humusgehalte zur Immobilisierung der Metalle beitragen. Eine Bewertung des Gefahrenpotenzials von Schwermetallen lässt sich somit nur unter Berücksichtigung weiterer bodenchemischer Kenngrößen durchführen. In besonders sauren sowie ton- und humusarmen Böden können Beeinträchtigungen der physiologischen Aktivität der Mikroorganismen bereits bei geringen Schwermetallgehalten auftreten. Da Waldböden nicht wie landwirtschaftliche Böden umgepflügt werden, kann es zu besonders hohen Anreicherungen der Schwermetalle im Humus und dem oberen Mineralboden kommen.

Waldböden enthalten je nach Ausgangsgestein natürlicherweise gewisse Mengen an Schwermetallen. Dies ist der sogenannte geogene Anteil. Bei der Bewertung der Toxizität muss dies berücksichtigt werden. Zusätzliche, anthropogen (vom Menschen verursacht) eingetragene Schwermetalle werden zunächst von den Huminstoffen im Boden gebunden oder an mineralischen Oberflächen angelagert. Sie sind leichter für Pflanzen und Mikroorganismen verfügbar und damit gefährlicher. Durch unterschiedliche Aufschluss- und Extraktionsmethoden können die anthropogenen und geogenen Anteile der Schwermetalle analytisch getrennt bestimmt werden.

Schwermetallmonitoring

Im Rahmen des Forstlichen Umweltmonitorings der Länder Niedersachsen, Hessen, Sachsen-Anhalt und Schleswig-Holstein werden auf 20 Versuchsflächen seit über 30 Jahren Schwermetallein- und -austräge untersucht. Die Untersuchungsflächen wurden zum Teil im Rahmen der Waldschadensforschung in den 1970er und 1980er Jahren angelegt. Im Rahmen der Bodenschutz- und Waldmonitoringprogramme der Länder sowie des europäischen Level II-Programms wurden die damals begonnenen Untersuchungen fortgeführt.



Frühere Schwermetallquelle für Bleibelastung: Verkehr

Foto: J. Weymar

Schwermetallbelastung der Wälder

Ziel dieser Untersuchungen ist es, die zeitliche Entwicklung der Schwermetalleinträge zu quantifizieren, ihre Anreicherung im Boden zu ermitteln und die Auswirkungen auf das Ökosystem zu bestimmen. Zu diesen Auswirkungen gehören die Fixierung der abgelagerten Schwermetalle auf Pflanzen- und Bodenoberflächen sowie die Tiefenverlagerung der Schwermetalle im Boden. Einhergehend mit diesen Prozessen kann es zu einer Aufnahme durch die Bodenmikroorganismen sowie die Wurzeln der Bäume und der sonstigen Bodenvegetation kommen. Auch in der Biosphäre des Waldökosystems ist demnach eine Anreicherung der Schwermetalle möglich, die bei der Überschreitung tolerierbarer Gehalte toxische Wirkungen haben kann.

Schwermetalleinträge in Waldökosysteme

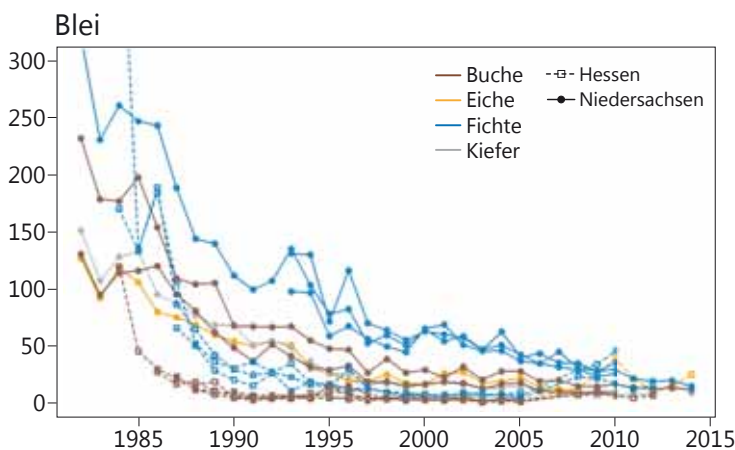
Seit mehr als zwei Jahrzehnten nehmen die Emissionen vor allem in Mitteleuropa und Nordamerika ab, was auf veränderte Produktionstechniken und gesetzliche Vorgaben der jüngsten Vergangenheit zurückzuführen ist. Besonders die dabei angewandten Staubminderungsmaßnahmen und die Stilllegung veralteter Produktionsstätten sowie die Einführung von bleifreiem Benzin führten zu einer erheblichen Verringerung der Schwermetallemissionen.

In den Abbildungen unten ist die Entwicklung der Blei- und Cadmiumeinträge über die Kronentraufe auf 20 Monitoringflächen in Niedersachsen und Hessen in den letzten

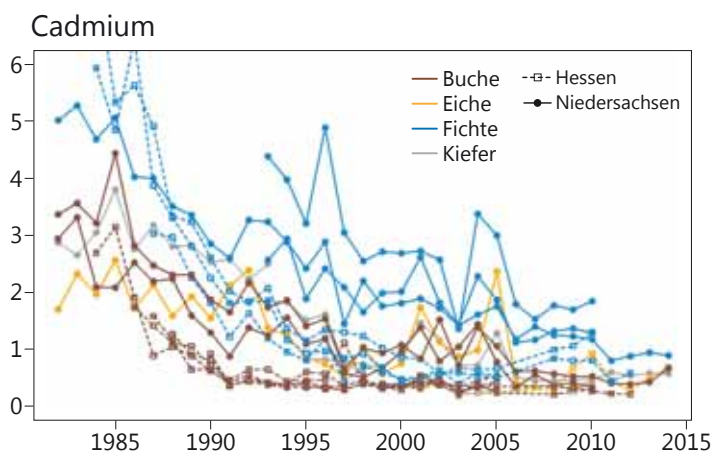
32 Jahren dargestellt. Es ist deutlich zu erkennen, dass sich die Einträge auf allen Flächen seit den 1980er Jahren teilweise um den Faktor 10 verringert haben. Hauptgründe für diese Reduktion sind die in den 1980er Jahren verordnete Abgasreinigung der großen Kohlekraftwerke und das damals beschlossene Benzin-Blei-Gesetz.

Während z. B. in den 1970er Jahren die Bleiemissionen in Westdeutschland allein aus dem Kfz-Verkehr rd. 7000-8000 Tonnen pro Jahr betrug, ging die Emission bis 1995 auf wenige hundert Tonnen zurück. Im gleichen Zeitraum sank der Bleigehalt im Schwebstaub der Luft an den Messstationen des Umweltbundesamtes um 95 %. Mittlerweile rückt durch die Verwendung von bleifreiem Treibstoff die Bedeutung der Bleiemissionen durch das Verkehrswesen immer weiter in den Hintergrund. Mittlerweile wird Blei vor allem noch bei Verhüttungsprozessen emittiert.

Die Einträge bei den Nadelbaumflächen sind deutlich höher als bei den Laubbaumflächen (Abbildungen links). Dies liegt an der größeren Auskämmwirkung der ganzjährig begrünten Nadelbäume gegenüber den winterkahlen Laubbäumen. Die scheinbar niedrigeren Einträge auf den hessischen Flächen (gestrichelte Linien) sind auf eine andere Messtechnik auf diesen Versuchsflächen zurückzuführen. In Hessen wurden für die Schwermetallbestimmung die Niederschlagsproben aus den Sammlern für die Erfassung der Säure- und Staubeinträge verwendet. In Niedersachsen hingegen wurden von Anfang an spezielle Schwermetallsammler verwendet, bei denen auch die an den Gefäßwänden angelagerten Anteile der Schwermetalle erfasst werden. Laborversuche haben ergeben, dass die Vernachlässigung dieser Fraktion die Einträge je nach Element um das 2 bis 5fache unterschätzt. Ab 2007 wurden dann auch in Hessen spezielle Schwermetallsammler verwendet. Seit diesem Zeitpunkt liegen die erfassten Eintragsmengen in einer ähnlichen Größenordnung. Der Rückgang der Schwermetalleinträge gilt auch für alle anderen untersuchten Schwermetalle wie Kupfer, Zink, Kobalt, Nickel oder Chrom, was den Erfolg der zahlreichen Umweltgesetze aus den 1980er und 1990er Jahren nochmals unterstreicht.



Jährliche Blei-Einträge (g je Hektar) mit der Kronentraufe für 20 Flächen des Intensiven Waldmonitorings in Hessen und Niedersachsen von 1982-2014



Jährliche Cadmium-Einträge (g je Hektar) mit der Kronentraufe für 20 Flächen des Intensiven Waldmonitorings in Hessen und Niedersachsen von 1982-2014



Schwermetallquelle: verbrauchte Batterien

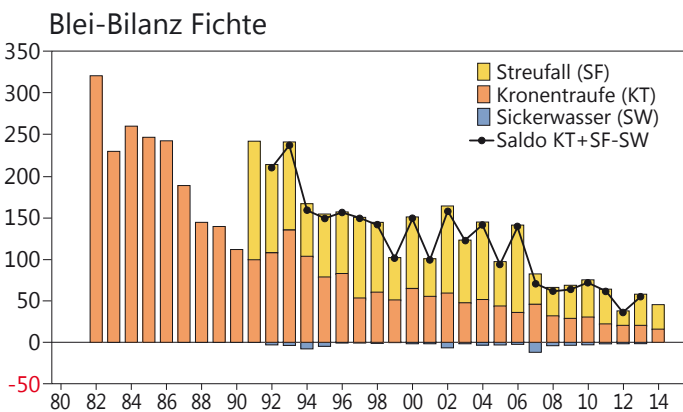
Foto: J. Evers

Schwermetallbelastung der Wälder

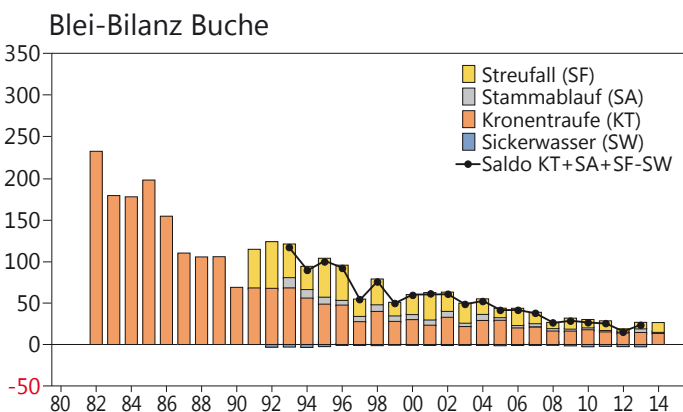
Schwermetallbilanzen

Neben den Einträgen mit der Kronentraufe sind hinsichtlich der Menge noch die Einträge mit der Nadel- oder Blattstreu und – besonders bei Buchenbeständen – die mit dem Stammablauf von Bedeutung. Der Vergleich der Summe der Einträge mit den Austrägen im Sickerwasser unterhalb des Wurzelraums ergibt die Schwermetallbilanz. Diese Bilanz lässt erkennen, ob die Metalle im Waldboden gespeichert werden oder ob sie das System verlassen und damit eine Gefahr für das Grundwasser werden können.

Am Beispiel der ältesten Versuchsflächen im Solling werden die Bilanzen für Blei und Cadmium auf einer Fichten- und einer Buchenfläche vorgestellt (Abbildungen unten und rechts). Dabei ist zu beachten, dass sich Blei und Cadmium im Waldökosystem unterschiedlich verhalten. Blei wird stark an mineralischen Oberflächen angelagert und in Humuskomplexen gebunden; es wird praktisch nicht über die Wurzeln aufgenommen. Cadmium hingegen wird zum einen nur schwach angelagert und zum anderen leichter über die Wurzel aufgenommen. Während sich für Blei die Einträge als Summe aus Kronentraufe, Streufall und Stammablauf berechnen, liegen die Cadmиеinträge zwischen dieser Summe und der Summe von Kronentraufe und Stammablauf, da ein Teil des Streueintrags aus dem über die Wurzeln aufgenommenen Cadmium (interner Kreislauf) stammt und deshalb nicht als direkter Eintrag zu werten ist. Die resultierende Eintrags-Austragsbilanz ist bei Blei mit der schwarzen

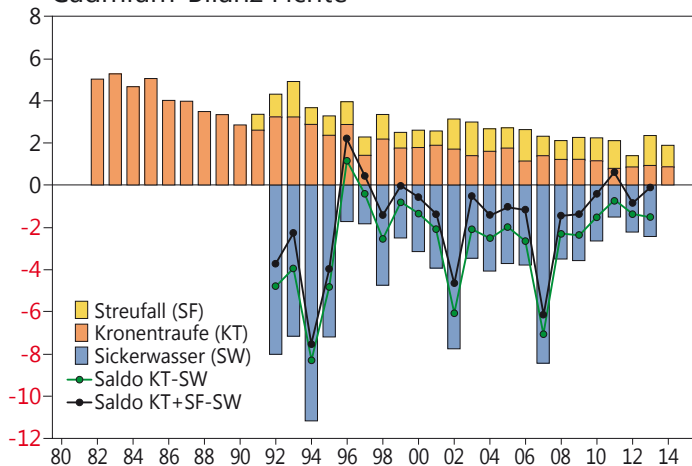


Jährliche Blei-Bilanz und -Salden aus Ein- und Austrägen (g je Hektar) für eine Fichtenfläche im Solling von 1982-2014. Die schwarze Linie entspricht dem Saldo aus Kronentraufe plus Streufall minus Austrag.



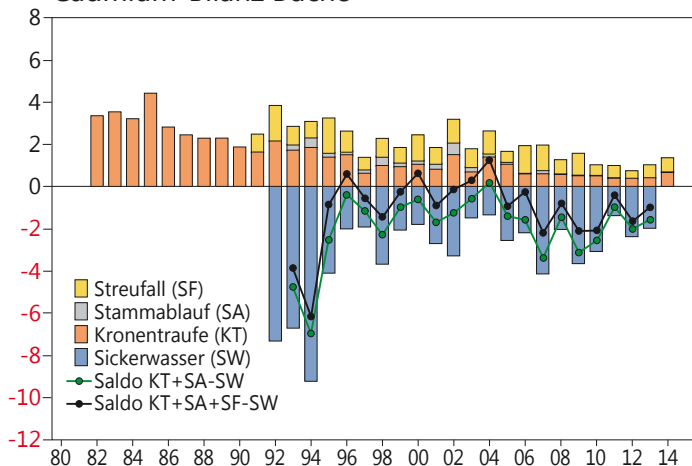
Jährliche Blei-Bilanz und -Salden aus Ein- und Austrägen (g je Hektar) für eine Buchenfläche im Solling von 1982-2014. Die schwarze Linie entspricht dem Saldo aus Kronentraufe plus Stammablauf plus Streufall minus Austrag.

Cadmium-Bilanz Fichte



Jährliche Cadmium-Bilanz und -Salden aus Ein- und Austrägen (g je Hektar) für eine Fichtenfläche im Solling von 1982-2014. Die schwarze Linie entspricht dem Saldo aus Kronentraufe plus Streufall minus Austrag, die grüne Linie dem aus Kronentraufe minus Austrag.

Cadmium-Bilanz Buche



Jährliche Cadmium-Bilanz und -Salden aus Ein- und Austrägen (g je Hektar) für eine Buchenfläche im Solling von 1982-2014. Die schwarze Linie entspricht dem Saldo aus Kronentraufe plus Stammablauf plus Streufall minus Austrag, die grüne Linie dem aus Kronentraufe plus Stammablauf minus Austrag.

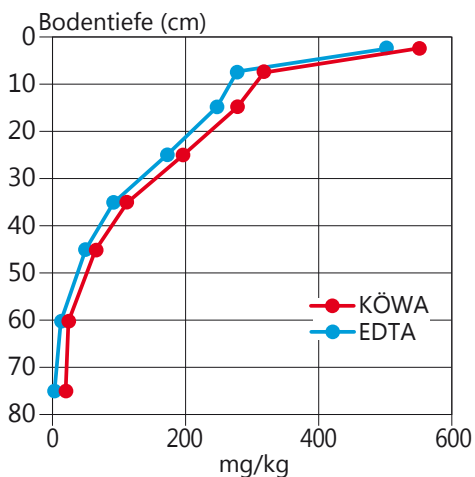


Schwermetallquelle: Computerplatine

Foto: J. Evers

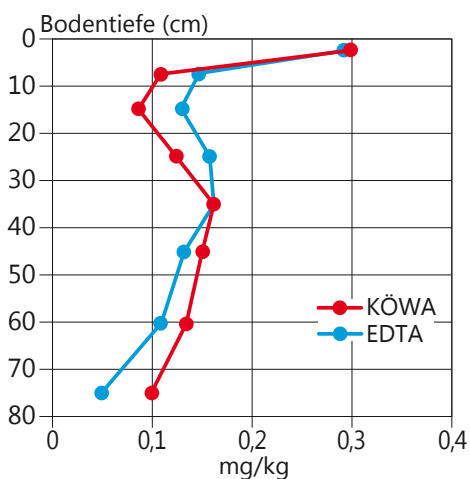
Schwermetallbelastung der Wälder

Königswasser- und EDTA-extrahierbares Blei



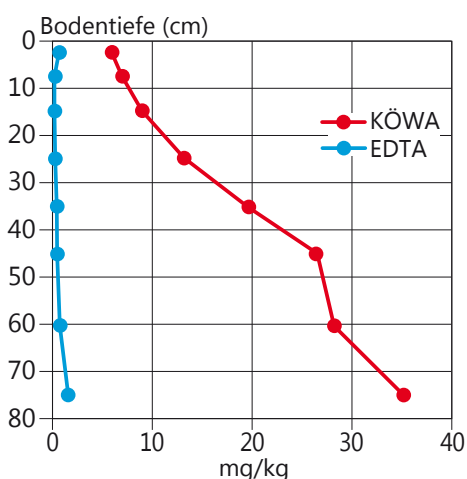
Tiefenprofil der Blei-Gehalte [mg/kg] im Harz (Lange Bramke Kamm) nach unterschiedlichen Extraktionsverfahren

Königswasser- und EDTA-extrahierbares Cadmium



Tiefenprofil der Cadmium-Gehalte [mg/kg] im Harz (Lange Bramke Kamm) nach unterschiedlichen Extraktionsverfahren

Königswasser- und EDTA-extrahierbares Nickel



Tiefenprofil der Nickel-Gehalte [mg/kg] im Harz (Lange Bramke Kamm) nach unterschiedlichen Extraktionsverfahren

Linie beschrieben. Bei Cadmium liegt sie zwischen der schwarzen und der grünen Linie. Es ist deutlich zu erkennen, dass die Bilanz bei Blei (schwarze Linie) auf beiden Flächen positiv ist, das eingetragene Blei also nahezu komplett im Boden gespeichert wird. Bei Cadmium fällt die Bilanz in fast allen Jahren negativ aus, was bedeutet, dass mehr Cadmium das Ökosystem unterhalb der Wurzelzone verlässt als eingetragen wird. Diese für den Solling dargestellten Sachverhalte gelten beim Blei auch für alle anderen untersuchten Flächen in ähnlicher Weise. Für Cadmium sind die Bilanzen auf den unterschiedlichen Versuchsflächen je nach Bodenart und Versauerungsgrad durchaus unterschiedlich; es gibt auch Flächen mit einer positiven Bilanz.

Unterscheidung geogener und anthropogener Schwermetallanteile

Um Aussagen über den Verbleib der eingetragenen Schwermetalle im Boden machen zu können, wurden auf allen Versuchsflächen sowohl die Gesamtgehalte der Metalle (Königswasser-extrahierbar; dies entspricht für die meisten Metalle den Gesamtgehalten) in der Humusauflage und den verschiedenen Bodentiefen untersucht als auch der über die Luftverschmutzung eingetragene Anteil (EDTA-extrahierbar; EDTA ist ein Komplexbildner, der in erster Linie die Metallionen, die an der Bodenoberfläche angelagert oder in Humuskomplexen gebunden sind, bindet und extrahiert). Dadurch ist erkennbar, ob die Schwermetallbelastung eines Bodens geogenen (dem Ausgangsgestein zuzusprechenden) oder anthropogenen Ursprungs ist (Abbildungen links). Die Bleigehalte im Boden nehmen für die Beispielfläche im Harz (Lange Bramke) mit der Tiefe deutlich ab und sind fast ausschließlich anthropogenen Ursprungs (Abbildung links oben). Das eingetragene Blei wird vornehmlich in der Humusauflage und im oberen Mineralboden gespeichert und angereichert. Auch Cadmium ist nahezu vollständig durch Luftverschmutzung in den Waldboden gelangt (Abbildung links Mitte; die EDTA-extrahierbaren Anteile sind im Oberboden nur scheinbar höher als die Königswasser-extrahierbaren, die Streuung der Daten für beide Methoden liegt bei 20 bis 40 %, sodass kein signifikanter Unterschied festzustellen ist). Es ist im Vergleich zum Blei schon

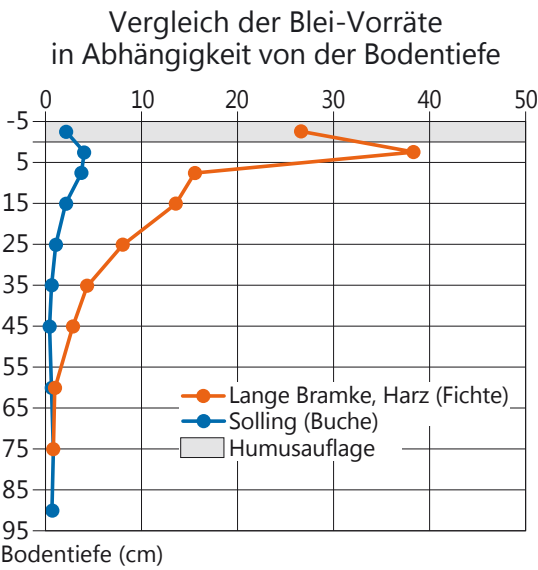


Schwermetallquelle: Kohlekraftwerke

Foto: M. Spielmann

Schwermetallbelastung der Wälder

in größere Tiefen eingesickert und verteilt sich deshalb gleichmäßiger im Bodenprofil. Nahezu rein geogenen Ursprungs ist hingegen Nickel; hier ist der zusätzliche Eintrag durch den Menschen vernachlässigbar. Der Gesamtgehalt nimmt mit der Tiefe deutlich zu, was gleichfalls auf die Herkunft aus dem Ausgangsgestein hinweist (Abbildung Seite 29 unten). Diese für eine Fichtenfläche im Harz getroffenen Aussagen gelten auch für die meisten anderen Versuchsflächen. Bei Kupfer und Zink stammt nur ein geringer Teil aus anthropogenen Quellen. Kobalt, Nickel und Chrom sind nahezu ausschließlich geogenen Ursprungs.



Tiefenprofil der Blei-Vorräte (kg je Hektar und cm) in der Langen Bramke, Harz (Fichte) und im Solling (Buche)



Depositions-Messfläche mit Schwermetallsammlern (Nr. 5 und Nr. 2) Foto: NW-FVA



Entnahme eines Schwermetall-Sammelgefäßes Foto: NW-FVA

Die von allen untersuchten Flächen am höchsten belastete ist der Standort Lange Bramke im Harz. Hier wurden aufgrund der langen, schon im Mittelalter begonnenen Erzbergbau-Tätigkeiten über Jahrhunderte große Mengen an schwermetallhaltigen Stäuben in die Waldökosysteme eingetragen. Die Gehalte im Boden z. B. für Blei sind hier um den Faktor 5 bis 10 höher als im Solling (Abbildung links). Dennoch wird das gesamte Blei im Boden gespeichert; es ist aber schon bis in eine Tiefe von etwa 50 cm vorgedrungen.

Fazit

Das Schwermetall-Monitoring belegt eindeutig die großen Erfolge der Luftreinhaltepolitik der 1980er und 1990er Jahre. Die Einträge von Schwermetallen haben drastisch abgenommen und sind nun in den industriefernen Waldgebieten auf einem vergleichsweise niedrigen Niveau. Die meisten der eingetragenen Schwermetalle werden in der Humusauflage und im oberen Mineralboden gespeichert und können dort hohe Konzentrationen erreichen. Lediglich das sehr mobile Cadmium ist bereits in tiefere Bodenschichten eingedrungen und wird kontinuierlich in die Zone unterhalb des Wurzelraums ausgewaschen. Eine Fortsetzung des Monitorings erlaubt es, das weitere Verhalten und Eindringen der bislang ausgewählten Schwermetalle beobachten und gleichzeitig neue Belastungen frühzeitig erkennen zu können.

Literaturverzeichnis

Barth N, Brandtner W, Cordsen E, Dann T, Emmerich KH, Feldhaus D, Kleefisch B, Schilling B & Utermann J (2000): Bodendauerbeobachtung, Einrichtung und Betrieb von Bodendauerbeobachtungsflächen. In: Bachmann G, König W & Utermann J (Hrsg.): Bodenschutz. Ergänzbare Handbuch der Maßnahmen und Empfehlungen für Schutz, Pflege und Sanierung von Böden, Landschaft und Grundwasser, 3, Kennziffer: 9152, 1-127, Erich Schmidt Verlag, Berlin

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

Choat B, Jansen S, Brodribb TJ, Cochard H, Delzon S, Bhaskar R, Bucci SJ, Feild TS, Gleason SM, Hacke UG, Jacobsen AL, Lens F, Hafiz Maherali H, Martí'Nez-Vilalta J, Mayr S, Mencuccini M, Mitchell PJ, Nardini A, Pittermann J, Pratt RB, Sperry JS, Westoby M, Wright IJ & Zanne AE (2012): Global convergence in the vulnerability of forests to drought. *Nature*, 491, 752-755.

Gauger T, Anshelm F, Schuster H, Draaijers GPJ, Bleeker A, Erisman JW, Vermeulen AT & Nagel HD (2002): Kartierung ökosystembezogener Langzeittrends atmosphärischer Stoffeinträge und Luftschadstoffkonzentrationen in Deutschland und deren Vergleich mit Critical Loads und Critical Levels. Forschungsvorhaben im Auftrag des BMU/UBA, FE-Nr. 299 42 210., Institut für Navigation, Univ. Stuttgart. 207 S

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

ICP Forests (2010): Manual on methods and criteria for harmonized sampling, assessment, monitoring and analysis of the effects of air pollution on forests. UNECE, ICP Forests, Hamburg

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

Ulrich B (1991): Beiträge zur Methodik der Waldökosystemforschung. Berichte des Forschungszentrums für Waldökosysteme/Waldsterben. Reihe B, Band 24, 142 S

Wellbrock N, Aydin CT, Block J, Bussian B, Deckert M, Diekmann O, Evers J, Fetzer KD, Gauer J, Gehrmann J, Kölling C, König N, Liesebach M, Martin J, Meiwes KJ, Milbert G, Raben G, Riek W, Schäffer W, Schwerhoff J, Ullrich T, Utermann J, Volz HA, Weigel A & Wolff B (2006): Bodenzustandserhebung im Wald (BZE II), Arbeitsanleitung für die Außenaufnahmen. BMELV (Hrsg.). Berlin, 413 S

Impressum:

Ansprechpartner

Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt

Abteilung Umweltkontrolle

Sachgebiet Wald- und Bodenzustand

Grätzelstraße 2, 37079 Göttingen

Tel.: 0551/69401-0

Fax: 0551/69401-160

Zentrale@nw-fva.de

www.nw-fva.de

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

Titelfoto: NW-FVA

Layout: Paar E

Herstellung: Nordwestdeutsche
 Forstliche Versuchsanstalt

Druck: Printec Offset Kassel

Der Waldzustandsbericht 2016
 ist abrufbar unter
www.nw-fva.de und
[www.schleswig-holstein.de/
 UmweltLandwirtschaft](http://www.schleswig-holstein.de/UmweltLandwirtschaft)

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

Prof. Dr. Johannes Eichhorn
 Abteilungsleiter
 Umweltkontrolle



Dr. Uwe Paar
 Sachgebietsleiter Wald- und
 Bodenzustand, Redaktion



Inge Dammann
 Leiterin der Außenaufnahmen,
 Auswertung, Redaktion



Dr. Jan Evers
 Bodenzustandserhebung



Andreas Schulze
 Datenbank



Jörg Weymar
 Außenaufnahmen und Kontrollen



Michael Spielmann
 Außenaufnahmen und Kontrollen



Dr. Bernd Westphal
 Außenaufnahmen und Kontrollen

