



SACHSEN-ANHALT

Ministerium für  
Umwelt, Landwirtschaft  
und Energie

# Waldzustandsbericht 2016



NW-FVA

Nordwestdeutsche  
Forstliche Versuchsanstalt

# Vorwort



Liebe Bürgerinnen und Bürger,

Wälder gelten seit Generationen als Inbegriff für die ursprüngliche Natur. Neben maritimen Ökosystemen beherbergen Wälder die größte Artenmannigfaltigkeit auf unserer Erde. Damit ist für uns Menschen eine besondere Verpflichtung im Umgang mit den Wäldern verbunden. Eine nachhaltige Waldbewirtschaftung beinhaltet die Verwaltung und die Nutzung der Wälder in einer Weise und in einem Maße, dass sie ihre biologische Vielfalt, Produktivität, Erneuerungsfähigkeit und Vitalität behalten. Ebenso muss ihre Fähigkeit erhalten bleiben, jetzt und in Zukunft die relevanten ökologischen, ökonomischen und sozialen Funktionen auf lokaler, nationaler und globaler Ebene zu erfüllen.

Artikel 1 der Konvention zur biologischen Vielfalt nennt als erste Ziele die „Erhaltung der biologischen Vielfalt“ und die „nachhaltige Nutzung ihrer Bestandteile“. Mit der Ratifizierung dieses völkerrechtlichen Vertragswerkes hat sich die Bundesrepublik Deutschland verpflichtet, diese Ziele unter anderem in ihren Wäldern umzusetzen. Hier wird das Ziel der nachhaltigen Nutzung seit ca. 200 Jahren mit der Produktion des nachwachsenden Rohstoffes Holz erfüllt.

Waldstandorte unterliegen durch die verschiedenen Umweltbedingungen stetigen Veränderungen. Eine wissenschaftliche Auswertung von flächenbezogenen Ergebnissen der Umwelt- und Naturwaldforschung über längere Zeiträume hinweg, lässt Rückschlüsse über Veränderungen und Zusammensetzung der jeweiligen Waldgesellschaft zu. Deshalb kommt der Vergleichbarkeit der entsprechenden Verfahren und der Kenntnis über deren Inhalt eine große Bedeutung zu.

Sachsen-Anhalt beherbergt drei größere mitteleuropäische Standortsregionen: Tiefland, Hügelland und Mittelgebirge. Diese ziehen sich – streifenartig von Nordost nach Südwest angeordnet – quer durch das Land. Im Norden/Nordosten erstreckt sich das Tiefland, in der Landesmitte das Hügelland und im Südwesten der Harz als Mittelgebirge. Diese intensive naturräumliche Gliederung spiegelt sich in sehr differenzierten Waldwachstumsbedingungen wider. Die Höhenlagen reichen von 30 Meter ü. NN in der planaren Stufe bis hin zu 1.142 Meter ü. NN in der hochmontanen Stufe des Harzes. Der höchste Waldanteil liegt im Bereich der Standortsregion Tiefland, den höchsten Bewaldungsanteil hat die Mittelgebirgsregion (Harz).

Die unterschiedlichen Boden- und Klimabedingungen in den Regionen haben eine differenzierte Waldverteilung zur Folge. Die Beschaffenheit des Standortes bestimmt andererseits auch die menschliche Bewirtschaftungsintensität und Nutzungsform, in erster Linie Landwirtschaft, die sich wiederum auf die Waldanteile auswirkt.

Natürliche Waldgesellschaften sind untrennbar an den jeweiligen Standort gebunden, der durch Lage, Klima und Boden charakterisiert wird. Standort und Waldgesellschaft stehen in engen und vielfältigen Wechselbeziehungen zueinander. Die Kenntnis über die Zusammensetzung dieser Waldstandorte ist eine wesentliche Voraussetzung für eine nachhaltige Waldbewirtschaftung und bestimmt den waldbaulichen Handlungsspielraum.

Die erwarteten Klimaveränderungen werden auch an Waldökosystemen unserer Breiten nicht spurlos vorbeigehen. Aufgrund der Modifikationen der Jahresmitteltemperaturen und der Niederschlagsmengen insbesondere in der Vegetationszeit werden sich langfristig auch Waldökosysteme in ihrer Baumartenzusammensetzung und in ihren Waldaufbaustrukturen von den heutigen Wäldern unterscheiden. Für die in langen Zeiträumen produzierende Forstwirtschaft stellen Ausmaß und Geschwindigkeit der Klimaveränderungen eine besondere Herausforderung dar.

In Sachsen-Anhalt wird in allen Waldbesitzarten eine Vielzahl von waldbaulichen Maßnahmen umgesetzt, die den Aufbau stabiler und gemischter Wälder fördern, um angesichts der Klimaveränderungen eine Risikominimierung und -verteilung zu erreichen. Schwerpunkte dabei bilden der bereits vor einigen Jahren eingeleitete Waldumbau und die Beteiligung von bisher zu wenig beachteten Waldbaumarten, insbesondere in den artenarmen, gleichaltrigen Kiefernbeständen im Tiefland und Fichtenbeständen des Hügellandes und des Mittelgebirges. Vorrangiges Ziel ist der Aufbau von Mischbeständen aus unterschiedlichen Arten verschiedenen Alters. Zukünftige Waldgenerationen werden damit über ein höheres Maß an Vitalität und Stabilität gegenüber den verschiedensten Schadereignissen verfügen, auf Klimaveränderungen besser reagieren können und die Waldfunktionen nachhaltig sichern.

Der aktuelle Bericht informiert über die Ergebnisse der aktuellen Waldzustandserhebung und erläutert allgemeinverständlich die Ursachen der Schäden und deren Auswirkungen in unseren Wäldern.

Ich wünsche mir, dass der Waldzustandsbericht 2016 viele Menschen erreicht, die sich um den Schutz, die Erhaltung und die Nutzung unserer grünen Oasen bemühen.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'C. Dalbert', written in a cursive style.

Prof. Dr. Claudia Dalbert

Ministerin für Umwelt, Landwirtschaft und Energie des Landes Sachsen-Anhalt



# Inhaltsverzeichnis

	Seite
Vorwort	2
<b>Inhaltsverzeichnis</b>	3
<b>Hauptergebnisse</b>	4
Inge Dammann und Uwe Paar	
<b>Forstliches Umweltmonitoring</b>	6
Johannes Eichhorn, Uwe Paar, Jan Evers, Andreas Schulze, Jörg Weymar, Henning Meesenburg, Michael Spielmann und Inge Dammann	
<b>WZE-Ergebnisse für alle Baumarten</b>	9
Inge Dammann und Uwe Paar	
<b>Kiefer</b>	11
<b>Fichte</b>	12
<b>Buche</b>	13
<b>Eiche</b>	14
<b>Andere Laub- und Nadelbäume</b>	15
<b>Witterung und Klima</b>	16
Johannes Suttmöller	
<b>Bodenwasserhaushalt und Trockenstress</b>	20
Paul Schmidt-Walter, Bernd Ahrends und Henning Meesenburg	
<b>Insekten und Pilze</b>	23
Ulrich Bressemer, Michael Habermann, Rainer Hurling, Andreas Rommerskirchen, Gitta Langer und Pavel Plašil	
<b>Stoffeinträge</b>	25
Birte Scheler	
<b>Die Substratgruppe unverlehmter Sand</b>	28
Jan Evers und Inge Dammann	
<b>Schwermetallbelastung der Wälder</b>	34
Nils König, Heike Fortmann, Uwe Klinck, Birte Scheler und Markus Wagner	
Literaturverzeichnis	39
Impressum	40

# Hauptergebnisse

## Waldzustandserhebung

Im Jahr 2016 ist die mittlere Kronenverlichtung der älteren Buchen gegenüber dem Vorjahr um 7 %-Punkte auf 39 % angestiegen. Dies ist nach 2004 der zweithöchste Verlichtungswert für die Buche in der Zeitreihe der Waldzustandserhebung. Diese Zunahme ist vor allem eine Folge der warm-trockenen Witterung und der intensiven Fruchtbildung der Buche in diesem Jahr. Bei den älteren Fichten und Eichen dagegen verbesserte sich der Kronenzustand, für die ältere Kiefer gab es gegenüber 2015 keine Veränderung. Bereits im letzten Jahr hatten die anderen Laubbäume (alle Alter) auf die Trockenheit mit erhöhten Kronenverlichtungswerten reagiert. 2016 konnte aufgrund des erneuten Trockenstresses keine Erholung eintreten, sodass das Kronenverlichtungsniveau dieser Baumartengruppe sich im Vergleich zum Vorjahr nicht änderte.

Die mittlere Kronenverlichtung der Waldbäume in Sachsen-Anhalt beträgt in diesem Jahr 17 %. Das Gesamtergebnis für alle Baumarten und Alter liegt damit seit 2005 auf einem relativ geringen Niveau zwischen 14 und 17 %.

Die Ergebnisse der Waldzustandserhebung zeigen einen Alterstrend: Die mittlere Kronenverlichtung der über 60jährigen Waldbestände liegt im Erhebungszeitraum deutlich über denen der jüngeren Waldbestände.

Die Baumartenverteilung in der WZE-Stichprobe in Sachsen-Anhalt ergibt für die Kiefer einen Flächenanteil von 51 %, die Ergebnisse der Waldzustandserhebung für den Gesamtwald in Sachsen-Anhalt werden daher stark durch die vergleichsweise niedrigen Verlichtungswerte der Kiefer geprägt. Die Fichte ist ebenso wie die Eiche mit 12 % und die Buche mit 8 % im WZE-Kollektiv vertreten. Die anderen Laubbäume nehmen einen Anteil von 16 % ein, die anderen Nadelbäume sind relativ selten (1 %).

In den ersten Erhebungsjahren wurden für die ältere Kiefer relativ hohe mittlere Kronenverlichtungswerte (1991: 31 %)

festgestellt, inzwischen hat sich die Benadelungsdichte merklich verbessert. Seit 1996 schwankt die mittlere Kronenverlichtung der älteren Kiefer zwischen 10 und 18 %. Mit einer mittleren Kronenverlichtung von 12 % in diesem Jahr ist der Kronenzustand weiterhin markant besser als der von Fichte, Buche und Eiche.

Für die ältere Fichte wurden die höchsten Verlichtungswerte in den Jahren 2004 (34 %) und 2005 (35 %) ermittelt. Seitdem ging die mittlere Kronenverlichtung zurück und beträgt in diesem Jahr 24 %.

Im Beobachtungszeitraum sind erhebliche Schwankungen in der Belaubungsdichte der älteren Buche aufgetreten, die höchsten Kronenverlichtungswerte wurden im Jahr 2004 (43 %) ermittelt. Im Jahr 2016 wurde für die ältere Buche eine mittlere Kronenverlichtung von 39 % festgestellt.

Bei der älteren Eiche sind seit der ersten Erhebung vergleichsweise hohe Verlichtungswerte zwischen 31 und 40 % zu beobachten. In diesem Jahr sind die Eichen besser belaubt, die mittlere Kronenverlichtung beträgt 26 %. Schäden durch die Eichenfraßgesellschaft sind seit 2013 Jahren kaum aufgetreten.

Die anderen Laubbäume (alle Alter) weisen eine mittlere Kronenverlichtung von 21 % auf.

Der Anteil starker Schäden für den Gesamtwald in Sachsen-Anhalt liegt mit 2,2 % ebenso wie die Absterberate (0,3 %) auf einem insgesamt geringen Niveau.

## Witterung und Klima

Das Vegetationsjahr 2015/2016 (Oktober-September) ist mit einer Mitteltemperatur von 10,7 °C ebenso wie 2014 und 2007 eines der wärmsten Jahre seit Messbeginn. Die Temperaturabweichung betrug landesweit +2,2 °C. Die Monatsmitteltemperaturen lagen in 11 Monaten über dem langjährigen Monatsmittel, nur im Oktober 2015 waren die Temperaturen unterdurchschnittlich.

In der Nichtvegetationsperiode wurde das Niederschlagsoll erreicht, in der Vegetationsperiode lagen die gemessenen Niederschläge teilweise deutlich unter den langjährigen Monatsmittelwerten. Besonders trocken war es im April und im August.

Schwerpunkt der Trockenheit im Sommer 2016 waren der Harz und das Harzumland.

## Bodenwasserhaushalt und Trockenstress

Mit dem Klimawandel ändert sich die Wasserverfügbarkeit für die Waldbestände. Anhand von Wasserhaushaltssimulationen auf dem BZE-Netz lässt sich zeigen, wie sich verschiedene Parameter des Bodenwasserhaushalts und zum Trockenstress an den Waldstandorten ausprägen. In Sachsen-Anhalt ergibt sich aus verschiedenen Kenngrößen ein vergleichsweise hohes Risikopotential für Trockenstress. Beispielsweise ist die jährliche Grundwasserneubildungsrate niedrig, die Transpirationsdifferenz in der Vegetationszeit hoch und die relative Bodenwasserspeicherkapazität in der Vegetationszeit häufig gering. Zusätzlich haben die Phasen der Bodenaustrocknung seit Anfang der 1990er Jahre zugenommen.

Im Rahmen einer klimasensitiven Forstwirtschaft unterstützen Informationen zur Dynamik der Wasserverfügbarkeit die Planung und Bewirtschaftung der Wälder.



Foto: H. Heinemann

# Hauptergebnisse

## Insekten und Pilze

Der Witterungsverlauf 2015/2016 hat die Entstehung und Entwicklung von Schäden durch Pilze begünstigt. Hierzu gehören das *Diplodia*-Triebsterben der Kiefer sowie Hallimasch und Wurzelschwamm an verschiedenen Baumarten. Darüber hinaus ist das Eschentriebsterben auf großer Fläche präsent.

In den Fichtenbeständen im Bergland gibt es zahlreiche Befallsherde durch Borkenkäfer. Bei der Eiche sind Schäden durch die Frostspannerarten landesweit nur in geringem Ausmaß aufgetreten, Fraßschäden durch den Eichenprozessionsspinner wurden auf 538 Hektar gemeldet. In den Regionen Altmark und Anhalt erfolgte auf 610 Hektar Kiefernwald eine Bekämpfung der Kiefernbuschhornblattwespe.

## 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. 2015 sind die Eintragsraten weiter gesunken und betragen pro Hektar zwischen 3,0 kg (Klotze Kiefer) und 4,8 kg (Klotze Douglasie).

Auch der Stickstoffeintrag geht zurück, übersteigt aber weiterhin den Bedarf der Wälder für ihr Wachstum und trägt u. a. zur Bodenversauerung bei. Der Anteil von Ammonium am Gesamtsäureeintrag lag in den letzten Jahren bei rund 50 %. Damit ist Ammonium der bedeutendste Säurebildner im Waldboden.

## Substratgruppe unverlehmter Sand

Für die Waldstandorte in Sachsen-Anhalt ist der unverlehmte Sand das am häufigsten vorkommende Substrat. Die Ergebnisse der Bodenzustandserhebung (BZE II) zeigen, dass sich auf diesen Standorten vorwiegend Braunerden ausgebildet haben, als Humusformen sind Moder und Graswurzelfilz vorherrschend. Die aktuelle Baumartenverteilung ist stark durch den Menschen geprägt, es überwiegen Kiefernbestände. Aufgrund der bodenchemischen Parameter gehören die unverlehmten Sande zu den ärmeren Standorten in Sachsen-Anhalt. An BZE-Punkten auf unverlehmtem Sand ohne Flugascheeinfluss ist seit der BZE I die durch-

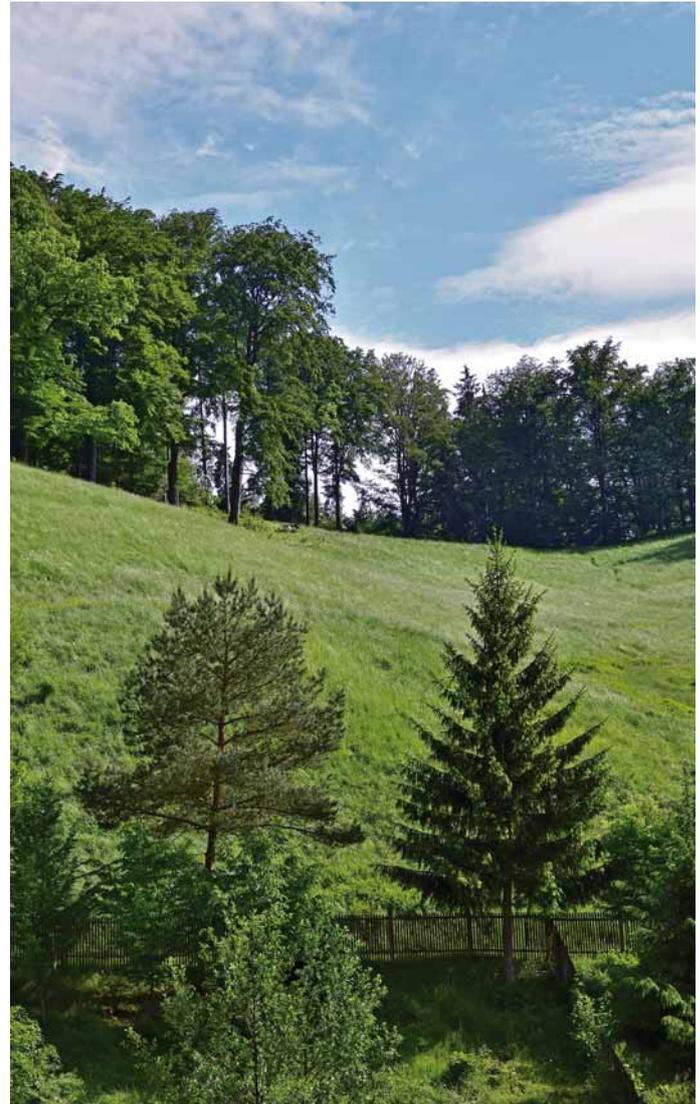


Foto: M. Spielmann

schnittliche Basensättigung auf unter 20 % abgesunken, die Calciumvorräte haben auf diesen Standorten abgenommen. Die Magnesiumvorräte haben sowohl im Flugasche unbeeinflusst als auch Flugasche beeinflusst Kollektiv abgenommen. Die Analyse der Ernährungssituation der Kiefer für diese Substratgruppe zeigt – mit Einschränkungen beim Magnesium – keine Defizite bei den Hauptnährelementgehalten und ausgewogene Stickstoffquotienten.

## 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.



Foto: M. Spielmann

# 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-/Blatternährung, Bodenvegetation und der

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

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

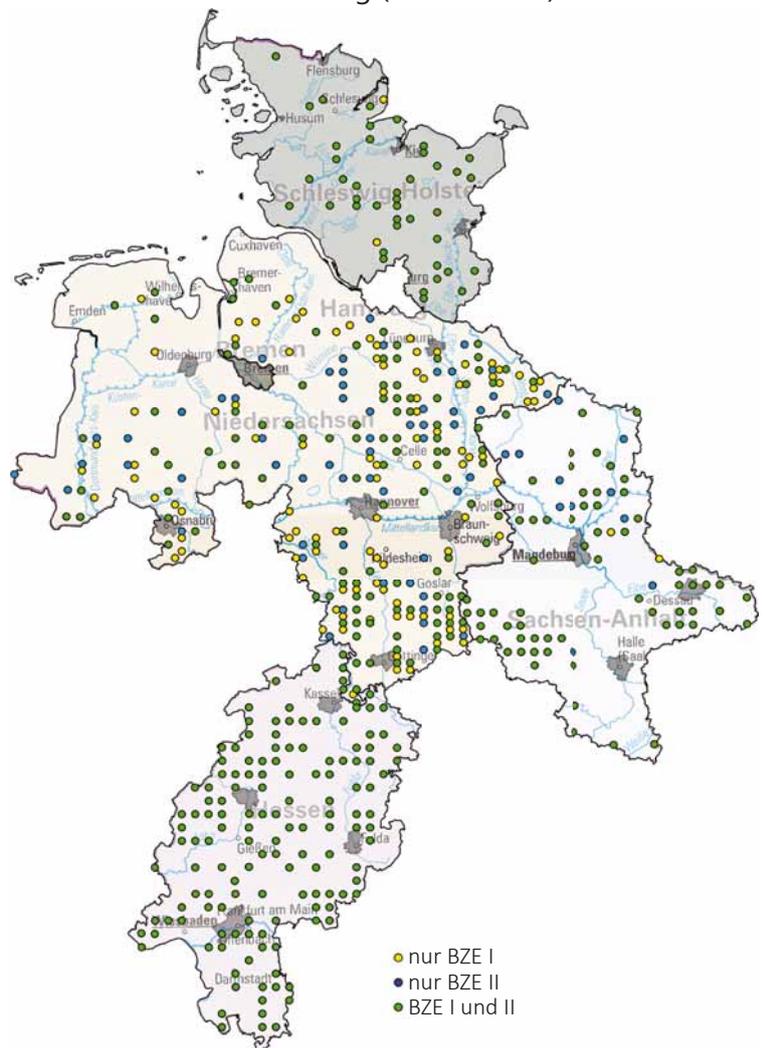
- Chemischer und physikalischer Bodenzustand, Nadel-/Blatternährung, Baumwachstum, Bodenvegetation, Kronen- und Baumzustand, abiotische und biotische Faktoren.

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

- Deposition, Bodenlösung, Streufall, Meteorologie und Bodenhydrologie.

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

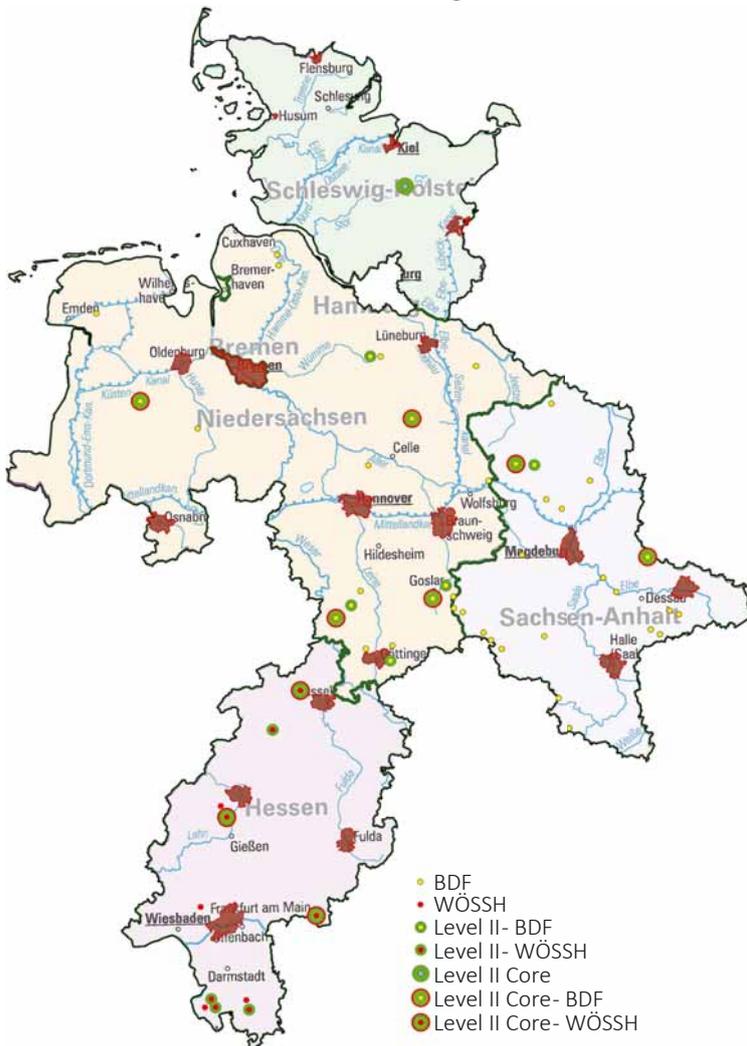
sind danach verbindlich vorgeschrieben. Sie bestätigen die Qualität und die Nutzbarkeit der Ergebnisse.

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.

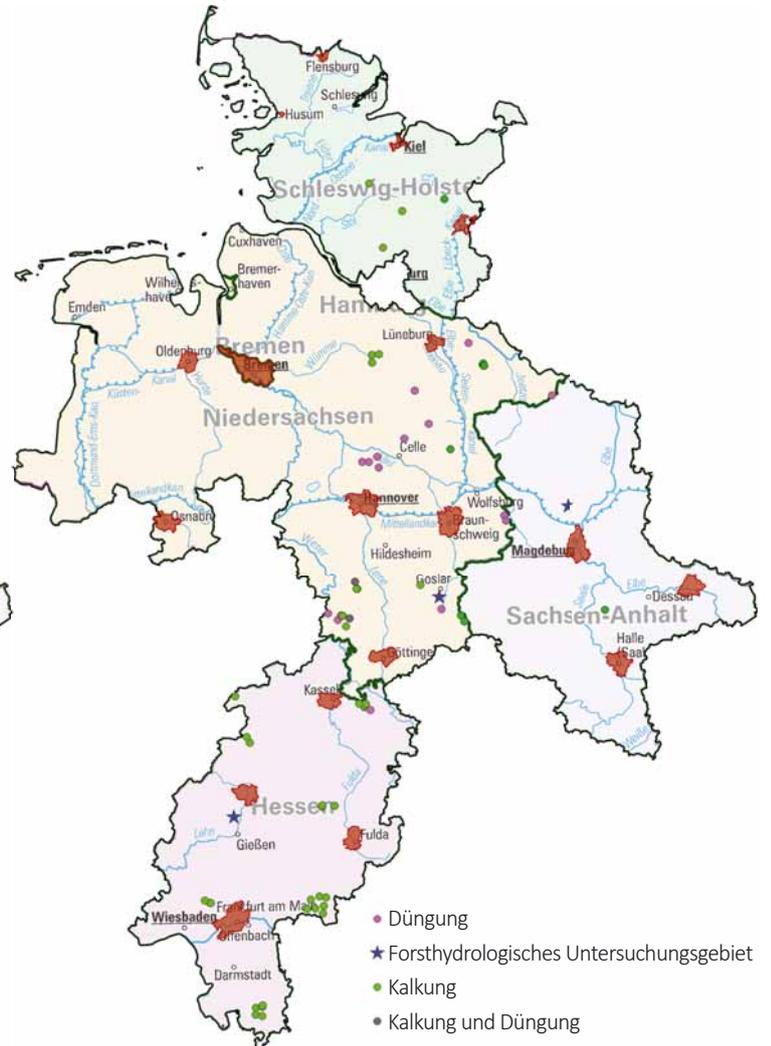


Level II-Fläche Klötze mit Depositions- und Streusammlern  
Foto: H. Meesenburg

## Intensives Monitoring



## Experimentalflächen



# Forstliches Umweltmonitoring

## Waldzustandserhebung – Methodik und Durchführung

Die Waldzustandserhebung ist Teil des Forstlichen Umweltmonitorings in Sachsen-Anhalt. 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 Sachsen-Anhalt verteilten Rasternetz werden seit 1991 an jedem Erhebungspunkt 24 Stichprobenbäume begutachtet. Die Waldzustandserhebung wurde im Zeitraum 1991 bis 2014 im 4 km x 4 km-Raster durchgeführt. Ab 2015 beträgt die Rasterweite des landesweiten Stichprobennetzes 8 km x 8 km. Für Buche, Eiche, Fichte sowie die anderen Laub- und Nadelbäume wurde das 4 km x 4 km-Raster beibehalten, wenn 2014 mindestens sechs Bäume dieser Baumartengruppen am WZE-Punkt vorhanden waren. Im Jahr 2016 konnten 162 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 unten 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. Kiefer bis 60 Jahre) mit relativ gering streuenden Kronenverlichtungen sind enge Konfidenzintervalle auch bei einer geringen Stichprobenanzahl sehr viel leichter zu erzielen als für heterogene Auswerteeinheiten (z. B. Buche, alle Al-

*95 %-Konfidenzintervalle für die Kronenverlichtung der Baumartengruppen und Altersstufen der Waldzustandserhebung 2016 in Sachsen-Anhalt. 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	481	37	4x4 km	6,4
	bis 60 Jahre	143	12	4x4 km	6,9
	über 60 Jahre	338	30	4x4 km	4,6
Eiche	alle Alter	684	69	4x4 km	3,6
	bis 60 Jahre	163	15	4x4 km	3,4
	über 60 Jahre	521	56	4x4 km	3,3
Fichte	alle Alter	671	34	4x4 km	4,4
	bis 60 Jahre	255	11	4x4 km	2,5
	über 60 Jahre	416	23	4x4 km	4,4
Kiefer	alle Alter	867	44	8x8 km	1,6
	bis 60 Jahre	146	8	8x8 km	2,3
	über 60 Jahre	721	36	8x8 km	1,4
andere Laub- bäume	alle Alter	862	75	4x4 km	3,2
	bis 60 Jahre	343	37	4x4 km	6,8
	über 60 Jahre	519	53	4x4 km	2,8
andere Nadelbäume	alle Alter	139	14	4x4 km	5,1
	bis 60 Jahre	122	10	4x4 km	4,1
	über 60 Jahre	17	4	4x4 km	2,8
alle Baumarten	alle Alter	1728	72	8x8 km	2,6
	bis 60 Jahre	430	22	8x8 km	5,8
	über 60 Jahre	1298	56	8x8 km	2,8



Schulung der WZE-Aufnahmeteams Foto: M. Spielmann

tersstufen), die sowohl in der Altersstruktur als auch in den Kronenverlichtungswerten ein breites Spektrum umfassen. Mit der Kombination aus dem 8 km x 8 km-Raster für die Kiefer und alle Baumarten und dem 4 km x 4 km-Raster für die anderen Baumartengruppen werden – mit Abstrichen bei der Buche (alle Alter, bis 60 Jahre), den anderen Laubbäumen (bis 60 Jahre) und in der Gruppe alle Baumarten (bis 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 aktuelle mittlere Kronenverlichtung zeigt nur eine geringe Veränderung gegenüber dem Vorjahr an. Die Waldzustandserhebung 2016 weist als Gesamtergebnis für die Waldbäume in Sachsen-Anhalt (alle Baumarten, alle Alter) eine mittlere Kronenverlichtung von 17 % aus (Vorjahr: 16 %). Im Beobachtungszeitraum wurden die höchsten Kronenverlichtungswerte (22-23 %) in den ersten Erhebungsjahren 1991-1993 festgestellt. In den Folgejahren gingen die Werte zurück, stiegen 2003/2004 erneut leicht an und liegen seit 2005 stabil zwischen 14 und 17 %.

Das diesjährige Ergebnis resultiert aus einem Anstieg der Verlichtungswerte bei den älteren Buchen um 7 %-Punkte und einer Abnahme der Verlichtungswerte für die älteren Eichen und Fichten, während die ältere Kiefer und die anderen Laub- und Nadelbäume keine Veränderungen zum Vorjahr aufweisen. Die mittlere Kronenverlichtung der jüngeren (bis 60jährigen) Bestände zeigte seit 2007 konstant niedrige Werte zwischen 7 und 9 %, 2016 beträgt die mittlere Kronenverlichtung 11 %.

Die älteren (über 60jährigen) Buchen, Eichen und Fichten zeigen 2016 weiterhin einen vergleichsweise hohen Verlichtungsgrad zwischen 24 % und 39 %. Die mittlere Kronenverlichtung der älteren Kiefer liegt sehr viel niedriger (12 %). Der weitgehend stabile Verlauf der mittleren Kronenverlichtung für den Gesamtwald wird wesentlich durch die Kiefer als häufigste Baumart in Sachsen-Anhalt geprägt.

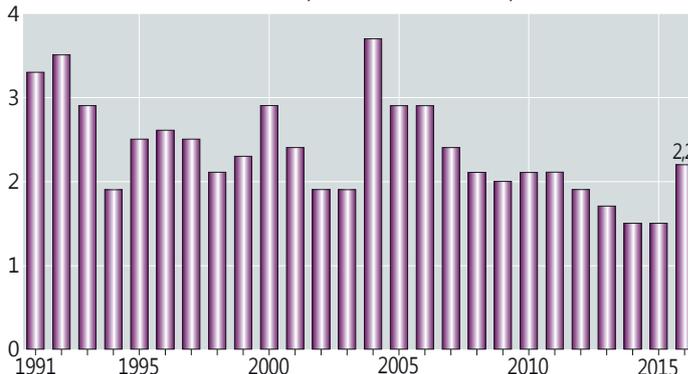
## Anteil starker Schäden

Der Anteil starker Schäden liegt im Mittel der Zeitreihe bei 2,4 %, 2016 wird dieser Mittelwert leicht unterschritten (2,2 %). Für die älteren Buchen und Eichen wurden im Beobachtungszeitraum mehrmals erhöhte Anteile an starken

Mittlere Kronenverlichtung in %



Anteil starker Schäden, alle Baumarten, alle Alter in %



Schäden (bis 14 %) registriert. Für die älteren Kiefern dagegen werden überwiegend niedrige Werte (1 %) festgestellt. Auch bei den starken Schäden ist für die ältere Buche in diesem Jahr ein Anstieg zu verzeichnen, während bei den anderen Baumartengruppen die Anteile starker Schäden im Vergleich zum Vorjahr gleich blieben oder leicht abnahmen.

Die Spanne reicht in diesem Jahr von 1,1 % (ältere Kiefer) bis 7,7 % (ältere Buche).

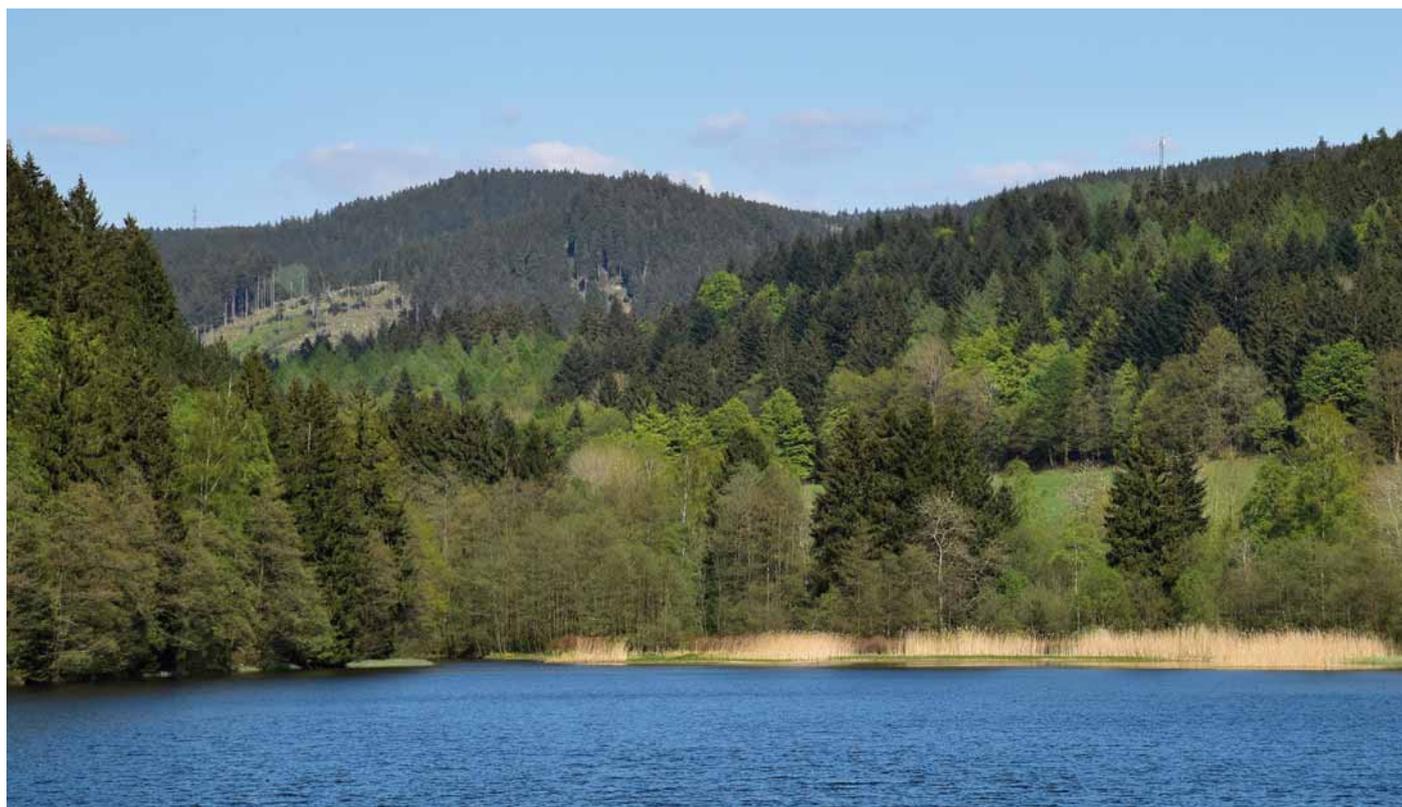


Foto: M. Spielmann

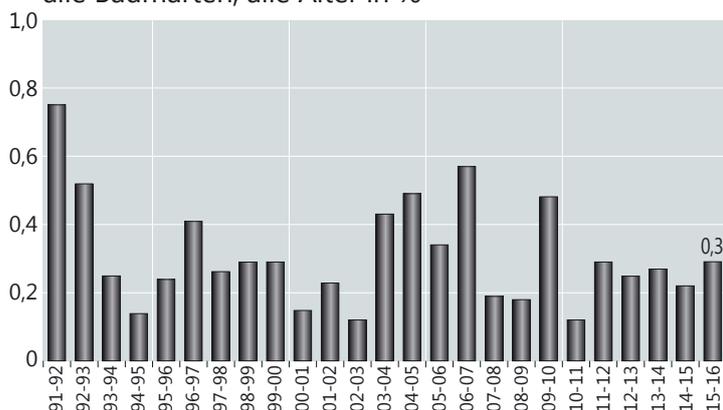
# WZE-Ergebnisse für alle Baumarten

## Absterberate

Die Absterberate (alle Bäume, alle Alter) liegt im Mittel des Beobachtungszeitraumes bei 0,3 % und damit auf einem sehr geringen Niveau. Dieser Wert wird auch 2016 erreicht. Überdurchschnittliche Absterberaten wurden 1992 bis 1993 sowie 1997 (Eiche) beobachtet. Es folgte eine erneute Phase mit erhöhten Absterberaten im Zeitraum 2004 bis 2007 als Reaktion auf das Trockenjahr 2003 in Kombination mit Insektenbefall. Auch im Jahr 2010 lag die Absterberate (0,5 %) über dem Durchschnittswert der Zeitreihe.

Die Spanne bei den Baumarten reicht in diesem Jahr von 0 % (Buche) bis 0,7 % (Eiche).

Jährliche Absterberate, alle Baumarten, alle Alter in %



## Vergilbungen

Vergilbungen der Nadeln und Blätter sind häufig ein Indiz für Magnesiummangel in der Nährstoffversorgung der Waldbäume. Der Anteil an Bäumen mit nennenswerten Vergilbungen (>10 % der Nadel- bzw. Blattmasse) liegt im Erhebungszeitraum zwischen 0,1 % und 11 %, die Vergilbungen waren überwiegend gering ausgeprägt. Mit einer Vergilbungsrate von 0,1 % wird in diesem Jahr erneut ein niedriger Wert ermittelt.

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

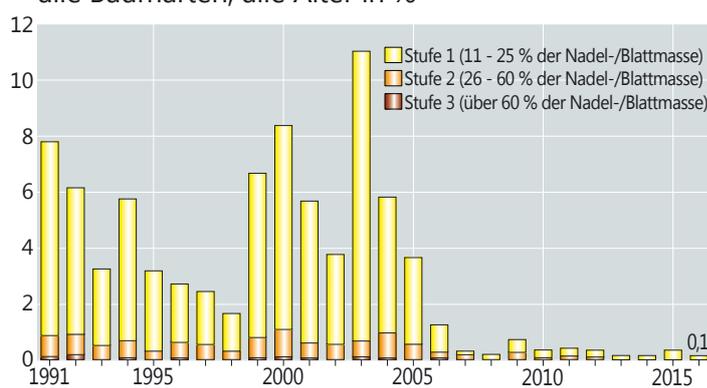


Foto: J. Weymar

# Kiefer

## Ältere Kiefer

Die ältere Kiefer wies im ersten Erhebungsjahr 1991 – mitverursacht durch Insektenschäden – einen hohen Verlichtungsgrad auf. In den Folgejahren verbesserte sich der Kronenzustand erheblich und die Kiefer ist seit Mitte der 1990er Jahre unter den Hauptbaumarten die Baumart mit den niedrigsten Kronenverlichtungswerten. Die mittlere Kronenverlichtung beträgt 2016 12 %.

## Jüngere Kiefer

Die jüngeren Kiefern weisen seit 2005 ein geringes Kronenverlichtungsniveau auf, in diesem Jahr beträgt die mittlere Kronenverlichtung 4 %.

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

Mittlere Kronenverlichtung in %

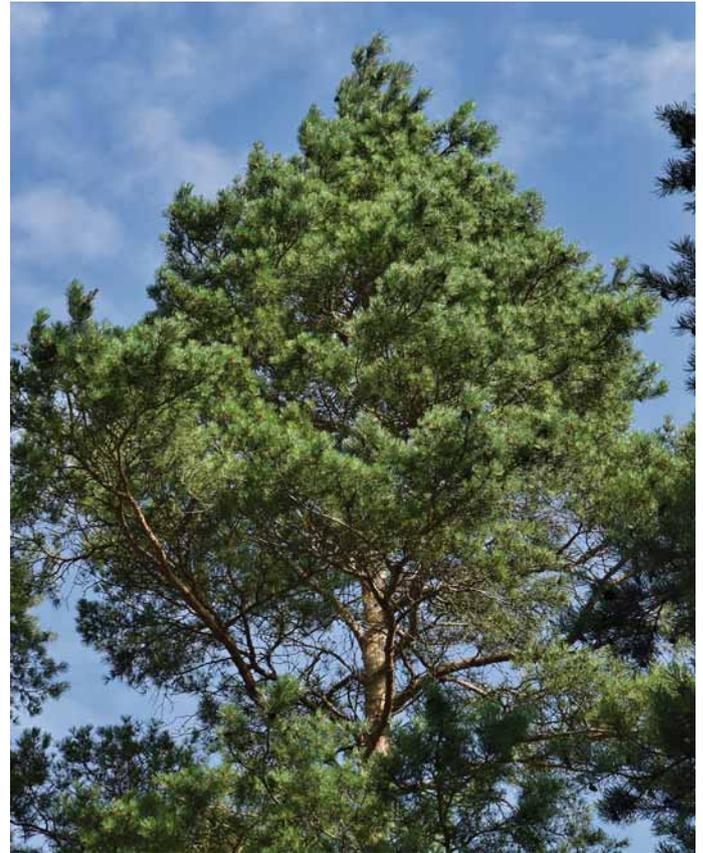
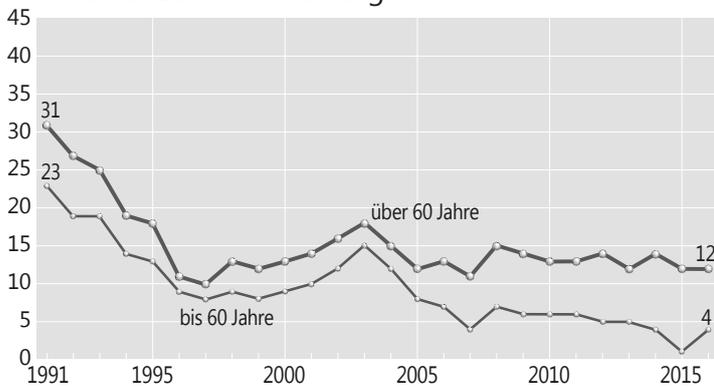


Foto: M. Spielmann

## Starke Schäden

Auch bei den starken Schäden heben sich die Ergebnisse der Kiefer von denen der anderen Baumarten ab. Im Mittel der Erhebungsjahre liegt der Anteil starker Schäden sowohl bei der jüngeren als auch der älteren Kiefer bei 1 %. Es gibt nur wenige Schwankungen in der Zeitreihe, erhöhte Anteile traten in den ersten beiden Erhebungsjahren (bis 4 %) sowie für die jüngere Kiefer im Jahr 2004 (2,3 %) und für die ältere Kiefer 2010 (1,9 %) auf.

## Absterberate

Die Absterberate der Kiefer liegt im Mittel der Jahre 1991 bis 2016 bei 0,3 %. In den ersten beiden Erhebungsjahren wurden erhöhte Absterberaten (bis 0,8 %) festgestellt. Im Jahr 2010 war ein erneuter Anstieg zu verzeichnen (0,6 %), der vor allem durch den Fraß der Kiefernbuschhornblattwespe im nördlichen Sachsen-Anhalt verursacht wurde. Bei der WZE 2016 ist eine Absterberate von 0,4 % ermittelt worden.

Anteil starker Schäden in %

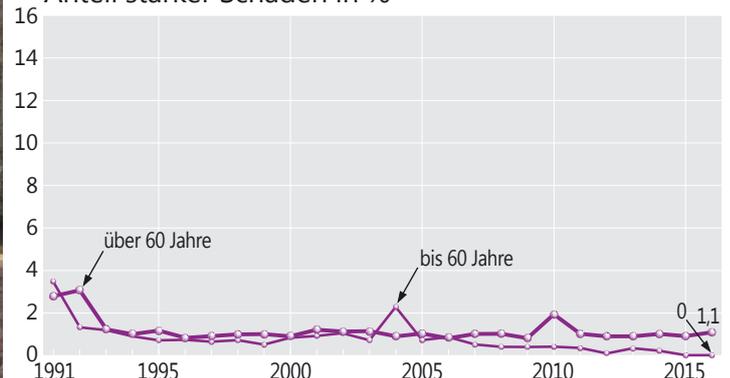


Foto: M. Spielmann

# Fichte

## Ältere Fichte

Bei der älteren Fichte werden im gesamten Beobachtungszeitraum vergleichsweise hohe Kronenverlichtungswerte zwischen 21 % und 35 % registriert. Nach dem Rekordsommer 2003 hatten sich die Kronenverlichtungswerte für einige Jahre erhöht. 2016 beträgt die mittlere Kronenverlichtung 24 %.

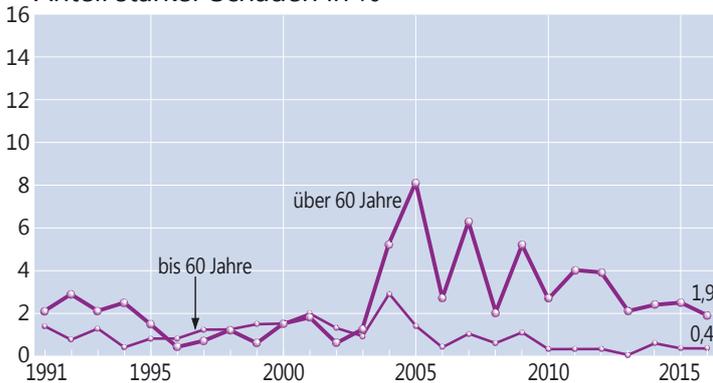
## Jüngere Fichte

Für die Fichte ist ein deutlicher Alterstrend festzustellen. Die jüngeren Fichten liegen mit einer mittleren Kronenverlichtung von 6 % weit unter den Werten der älteren Fichten. Die Auswirkungen des Trockenjahres 2003 und Schäden durch Borkenkäfer hatten auch bei der jüngeren Fichte zu einer Erhöhung der Kronenverlichtung in den Jahren 2004 und 2005 geführt, seit 2006 sind die Werte wieder zurückgegangen.

## Starke Schäden

Bis zum Jahr 2003 wurden bei der älteren Fichte vergleichsweise niedrige Anteile starker Schäden (zwischen 0,6 und 3 %) verzeichnet, ab 2004 stiegen die Anteile bis auf 8 % an, seither treten Schwankungen auf. Im Jahr 2016 beträgt der Anteil stark geschädigter älterer Fichten 1,9 %, bei den jüngeren Fichten sind es 0,4 %.

Anteil starker Schäden in %



Mittlere Kronenverlichtung in %

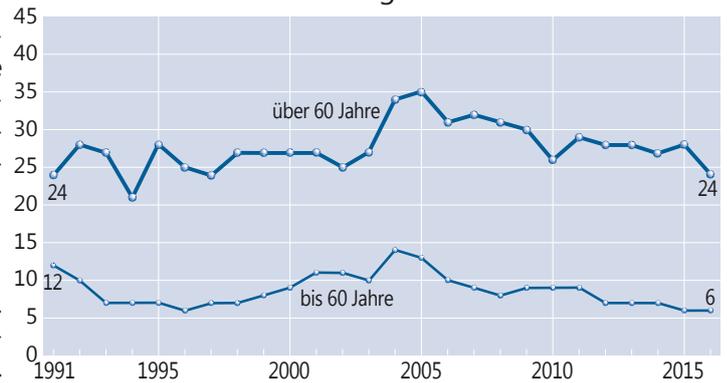


Foto: J. Evers

## Absterberate

Für die Fichte ergibt sich im Mittel aller Erhebungsjahre eine durchschnittliche Absterberate von 0,2 %. Bis zum Jahr 2003 waren die Absterberaten überwiegend gering, anschließend wurden infolge von Trockenstress und Borkenkäferbefall bis 2007 erhöhte Absterberaten (bis 1,3 %) ermittelt. Im Jahr 2016 beträgt die Absterberate 0,3 %.



Foto: J. Weymar

# Buche

## Ältere Buche

Bei der älteren Buche sind in diesem Jahr die Verlichtungswerte um 7 %-Punkte im Vergleich zum Vorjahr angestiegen. Mit einer mittleren Kronenverlichtung von 39 % wird 2016 der zweithöchste Wert in der Zeitreihe der Waldzustandserhebung ermittelt. Zu Beginn der Zeitreihe waren für die Buche vergleichsweise günstige Belaubungsdichten ermittelt worden, anschließend stiegen die Kronenverlichtungswerte sprunghaft an. Der Höchstwert wurde 2004 mit 43 % erreicht.

Eine Ursache für die zunehmende Variabilität der Verlichtungswerte der älteren Buche ist die Intensität der Fruchtbildung. In Jahren mit intensiver Fruchtbildung steigen die Kronenverlichtungswerte an, in den Folgejahren ohne Fruchtbildung weisen die Buchen wieder eine dichtere Belaubung auf. Im Jahr 2016 wurde an 83 % der älteren Buchen der WZE-Stichprobe mittlere und starke Fruchtbildung festgestellt. Zusätzlich hat die warm-trockene Witterung zum Anstieg der Verlichtungswerte beigetragen.

## Jüngere Buche

Bei der Buche sind die Unterschiede in der Belaubungsdichte zwischen jüngeren und älteren Beständen besonders stark ausgeprägt. Im Zeitraum 2008 bis 2015 wiesen die jüngeren Buchen ein geringes Kronenverlichtungsniveau auf. 2016 jedoch nahm wie bei den älteren Buchen auch in der jüngeren Altersgruppe die mittlere Kronenverlichtung zu und beträgt jetzt 11 %.

## Starke Schäden

Wie beim Verlauf der mittleren Kronenverlichtung der älteren Buche treten auch beim Anteil starker Schäden im Beobachtungszeitraum Schwankungen (0-13 %) auf. Der Anteil starker Schäden lag 2004 besonders hoch. Die Belastung durch Fruchtbildung und Trockenstress führte bei der älteren Buche auch 2016 zu einer Zunahme der starken Schäden auf 7,7 %.

## Absterberate

Im Vergleich zu den anderen Hauptbaumarten weist die Buche die niedrigste Absterberate auf. Im Mittel der Jahre 1991-2016 liegt die Absterberate der Buche bei 0,05 %. Seit 2008 ist keine Buche im Stichprobenkollektiv abgestorben.

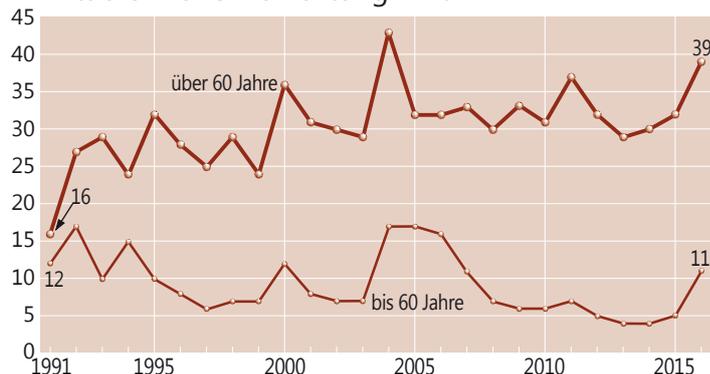
## Fruchtbildung

Die Ergebnisse zur Fruchtbildung im Rahmen der Waldzustandserhebung zeigen die Tendenz, dass die Buchen in kurzen Abständen und vielfach intensiv fruktifizieren. Dies

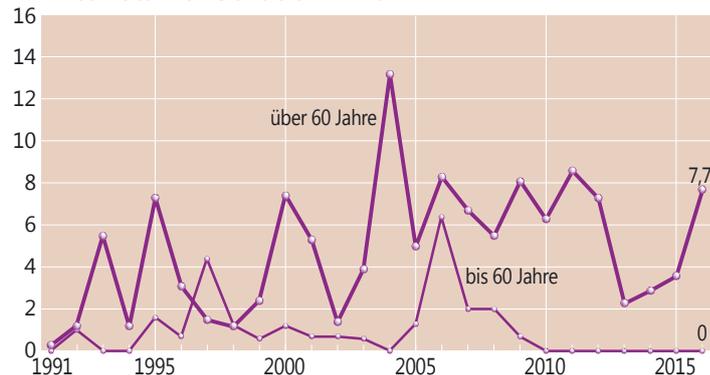


Foto: J. Weymar

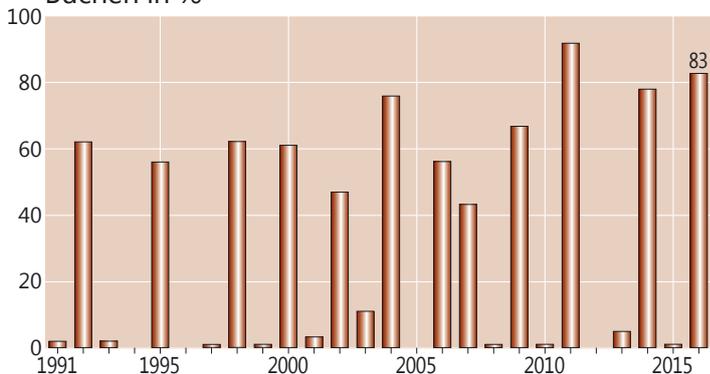
## Mittlere Kronenverlichtung in %



## Anteil starker Schäden in %



## Anteil mittel und stark fruktifizierender älterer Buchen in %



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 Beobachtungszeitraum der Waldzustandserhebung 1991-2016 alle 2,2 Jahre eine starke Mast.

## Frühe Herbstverfärbung

Eine Hitzewelle im August führte insbesondere auf flachgründigen und sonnenexponierten Standorten zu einer frühen einsetzenden Herbstverfärbung und vorzeitigem Blattabfall der Buchen. Mit dieser Anpassungsreaktion auf Wassermangel schützt sich die Buche vor dem Austrocknen durch hohe Wasserverluste mit der Transpiration, gleichzeitig hat sich aber durch die frühe Herbstverfärbung für die betroffenen Buchen der Assimilationszeitraum – die Grundlage für Wachstum und den Aufbau von Reservestoffen – verkürzt. Im Gegensatz zur Buche zeigte die Eiche 2016 kaum Trockenstresssymptome.

# Eiche

## Ältere Eiche

Die mittlere Kronenverlichtung der älteren Eiche ist 2016 zurückgegangen. Mit 26 % wird der niedrigste Wert in der Zeitreihe festgestellt. Im Gegensatz zur Buche sind bei der Eiche 2016 keine witterungsbedingten Stressanzeichen aufgetreten.

Die Entwicklung des Kronenzustandes der Eiche wird stark durch Insekten- und Pilzbefall beeinflusst, Schäden durch die Eichenfraßgesellschaft sind 2016 – wie schon in den vorangegangenen drei Jahren – im WZE-Kollektiv kaum aufgetreten.

## Jüngere Eiche

Die Kronenentwicklung der Eichen in der Altersstufe bis 60 Jahre zeigt einen sehr viel günstigeren Verlauf als die Entwicklung der älteren Eichen. Die mittlere Kronenverlichtung beträgt aktuell 9 %.

## Starke Schäden

Die Anteile starker Schäden liegen bei der Eiche höher als bei den anderen Baumarten. Im Durchschnitt der Zeitreihe sind bei der jüngeren Eiche 2,4 % und bei der älteren Eiche 7,8 % als stark geschädigt eingestuft worden. Der Anteil starker Schäden variiert bei der Eiche stark und verläuft parallel zum Anteil der Fraßschäden. Phasen erhöhter Anteile treten bei der älteren Eiche vor allem im Anschluss an mittleren und starken Insektenfraß auf. Der diesjährige Anteil stark geschädigter älterer Eichen liegt bei 5 %.

## Absterberate

Bei der Eiche ist die durchschnittliche Absterberate doppelt so hoch (0,6 %) wie der Gesamtwert für alle Baumarten (0,3 %). Überdurchschnittliche Absterberaten wurden bei der Eiche jeweils im Anschluss an Perioden mit starkem Insektenfraß ermittelt, am höchsten war die Absterberate 1997 (2,7 %). Im Jahr 2016 liegt die Absterberate (0,7 %) etwas über dem langjährigen Mittel.

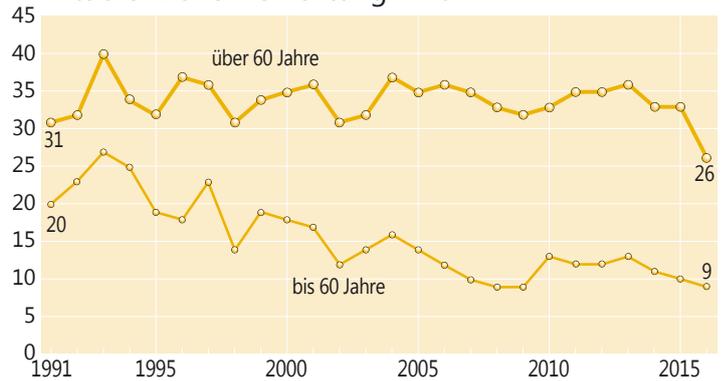
## Fraßschäden

Die periodische Vermehrung von Schmetterlingsraupen der sogenannten Eichenfraßgesellschaft trägt maßgeblich zu den Schwankungen der Belaubungsdichte der Eiche bei. Der Fraß an Knospen und Blättern durch die Eichenfraßgesellschaft wurde verstärkt in den Jahren 1991 bis 1997 beobachtet. Von 2004 bis 2007 und von 2010 bis 2012 folgten zwei weitere Perioden mit Fraßschäden. Diese sind 2013 abgeklungen, seitdem werden kaum mittlere und starke Fraßschäden registriert.

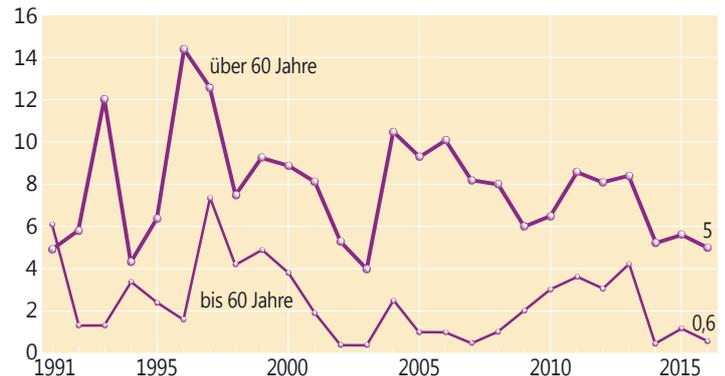
## Fruchtbildung

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

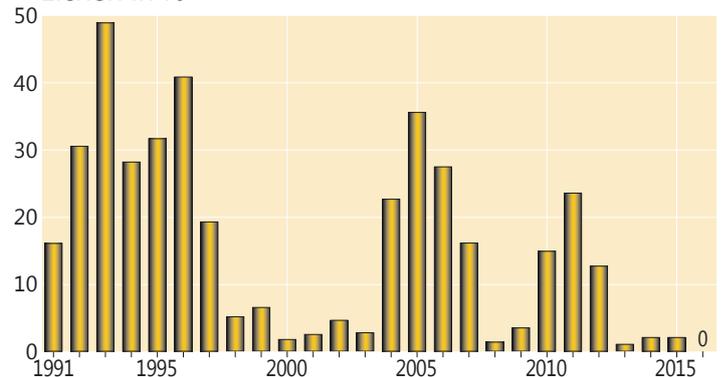
Mittlere Kronenverlichtung in %



Anteil starker Schäden in %



Anteil mittlerer und starker Fraßschäden an älteren Eichen in %



1991-2005: Einstufung in 4 Stufen, ab 2006: Einstufung in 5 %-Stufen, Fraßschäden >=15 % zählen zu den mittleren und starken Fraßschäden

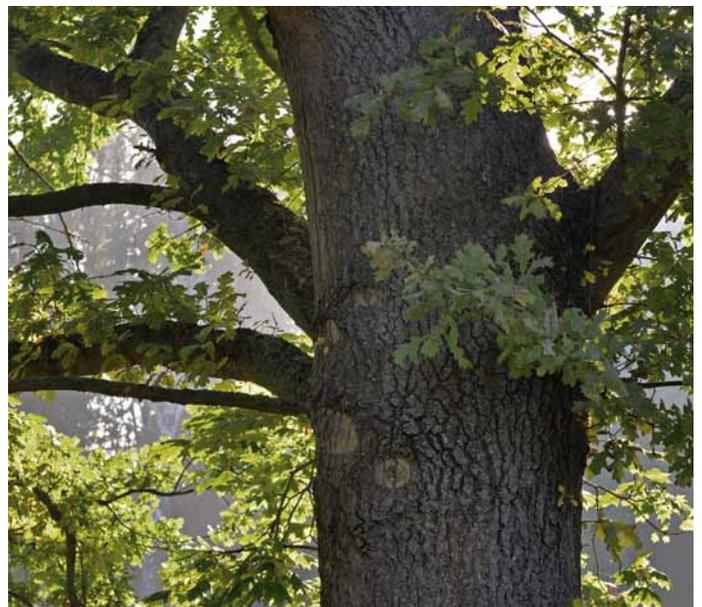


Foto: J. Evers

# Andere Laub- und Nadelbäume

In Sachsen-Anhalt werden bei der Waldzustandserhebung als landesweite flächendeckende Stichprobeninventur 34 Baumarten erfasst. Neben den Hauptbaumarten Kiefer, Fichte, Buche und Eiche kommt in den Wäldern eine Vielzahl von anderen Baumarten vor, die insgesamt 17 % der Stichprobenbäume der Waldzustandserhebung in Sachsen-Anhalt ausmachen. Jede Baumart für sich genommen ist 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. Die Gruppe der anderen Nadelbäume ist mit 1 % so gering vertreten, dass auf eine Darstellung der Ergebnisse verzichtet wird.

Zu den anderen Laubbäumen gehören u. a. Esche, Ahorn, Linde und Hainbuche. Am häufigsten ist die Birke, gefolgt von der Erle.

Im Beobachtungszeitraum weisen die Werte für die Altersgruppen kaum Differenzen auf. Die mittlere Kronenverlichtung (alle Alter) war seit 2004 (25 % mittlere Kronenverlichtung) rückläufig, stieg aber von 2014 auf 2015 wieder um 6 %-Punkte an. Dieses Niveau wird auch 2016 (21 %) beibehalten.

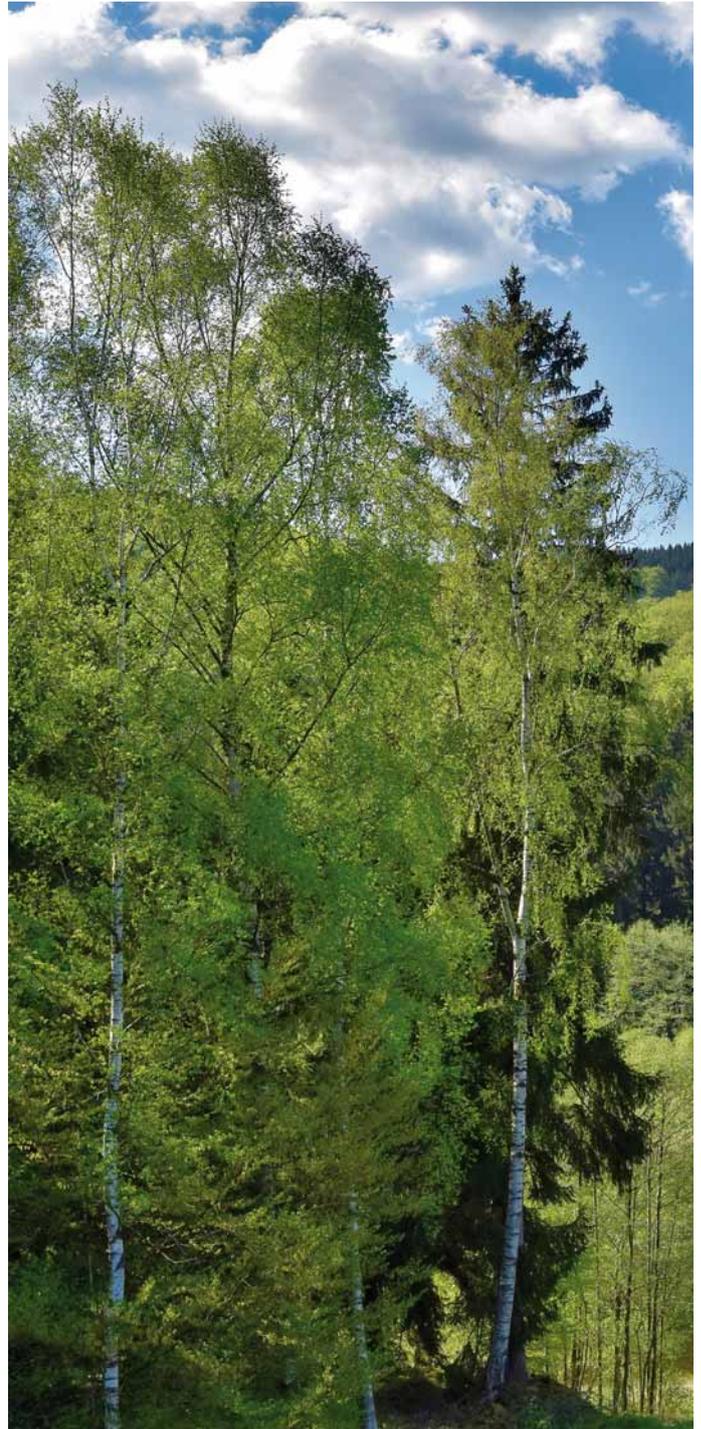


Foto: M. Spielmann



Foto: J. Evers

## Starke Schäden

Für die anderen Laubbäume (alle Alter) liegt der Anteil starker Schäden im Mittel der Jahre 1991-2016 bei 4,6 % und damit höher als der langjährige Durchschnitt für alle Baumarten (2,4 %). Im Jahr 2016 beträgt der Anteil starker Schäden 3,4 %.

## Absterberate

Auch die durchschnittliche Absterberate der anderen Laubbäume (0,6 %) ist im Erhebungszeitraum doppelt so hoch wie das Mittel aller Baumarten (0,3 %). Die jährlichen Absterberaten im Beobachtungszeitraum schwanken zwischen 0,1 % und 1,5 %, eine gerichtete Entwicklung ist nicht erkennbar. Im Jahr 2016 ist die Absterberate sehr niedrig (0,1 %).

# Witterung und Klima

Johannes Suttmöller

Der Witterungsverlauf für Sachsen-Anhalt 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 (109 Klima- und 860 Niederschlagsstationen), die auf ein 200 m-Raster interpoliert wurden, so dass der Mittelwert über die gesamte Landesfläche von Sachsen-Anhalt gebildet werden konnte.

## Temperatur und Niederschlag im langjährigen Verlauf

Die langjährigen Messdaten für den Zeitraum von 1961 bis 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 8,5 °C (Mittelwert der Referenzperiode) auf nun 9,4 °C erhöht (Mittelwert 1987 bis 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 10,7 °C nach 2007 das zweitwärmste Jahr seit Messbeginn in Sachsen-Anhalt. Die Temperaturabweichung betrug im Flächenmittel +2,2 °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 +6,2 °C sogar als wärmster Dezember seit Messbeginn in die Wetterhistorie ein. Der September 2016 wies mit einer Temperaturabweichung von +4,2 °C und einer Mitteltemperatur von 17,7 °C eher sommerlichen Charakter auf.

Mit 525 mm entsprach die Niederschlagssumme im Vegetationsjahr 2015/2016 rund 92 % des langjährigen Mittelwertes der Referenzperiode (1961-1990) von 571 mm. Die Niederschlagshöhe schwankt im Zeitraum 1961 bis 2016 von Jahr zu Jahr mit Werten von rund 400 mm (1976) bis über 800 mm (2007 und 2010) sehr stark (Abbildung unten). Perioden

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

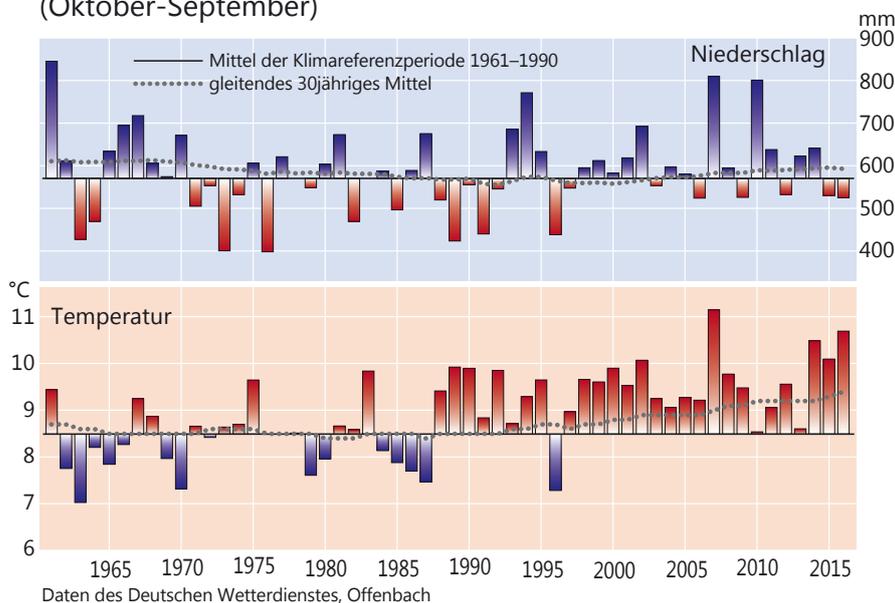


Foto: J. Evers

mit überdurchschnittlich hohen Niederschlägen wechseln mit trockenen Perioden ab, so dass keine einheitliche Tendenz festgestellt werden kann.

In der Vegetationszeit (Mai-September) wurde die Mitteltemperatur von 15,3 °C mit 17,6 °C deutlich überschritten und auch die Mitteltemperatur in der Nichtvegetationszeit (Oktober-April) lag mit 5,7 °C signifikant über dem Mittelwert der Referenzperiode (3,6 °C). Während die Niederschlagssumme in der Nichtvegetationsperiode mit 298 mm fast genau dem langjährigen Mittelwert von 291 mm entsprach, fielen in der Vegetationsperiode nur 82 % (227 mm) der üblichen Niederschlagsmenge (Abbildung Seite 17).

Ein Trend zu feuchteren Wintern und trockeneren Sommern, wie es die aktuellen Klimaszenarien projizieren, ist bisher nicht zu beobachten. 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 zum 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 Sachsen-Anhalt fast durchgehend positive Temperaturabweichungen gemessen. Während das Vegetationsjahr noch mit einem unterkühlten Oktober startete (Abweichung  $-1,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), folgten ein sehr warmer November und ein rekordwarmer Dezember. Trotz kurzer winterlicher Episoden lagen die Monatsmitteltemperaturen von Januar bis April über den langjährigen Mittelwerten. Der Februar 2016 war mit einer Abweichung von  $+3,3\text{ }^{\circ}\text{C}$  sogar deutlich zu warm. Auch im weiteren Jahresverlauf lagen die Monatsmitteltemperaturen durchweg über den Werten der Referenzperiode 1961-1990. Von Mai bis August traten Temperaturabweichungen von  $+1,3\text{ }^{\circ}\text{C}$  bis  $+2,2\text{ }^{\circ}\text{C}$  auf. Das Vegetationsjahr endete mit einer ungewöhnlichen Hitzeperiode im September, wobei an vielen Messstationen des DWD in Sachsen-Anhalt neue Rekordwerte gemessen wurden.

Die Monate Oktober 2015 bis einschließlich Februar 2016 waren bis auf den Dezember deutlich niederschlagsreicher als im langjährigen Mittel. Von März bis September lagen mit Ausnahme des Juni die gemessenen Niederschläge teilweise deutlich unter den langjährigen Monatsmittelwerten. Besonders trocken waren die Monate April (54 %) und August (41 %). Aufgrund der Trockenheit setzte insbesondere bei der Buche auf exponierten und schlecht wasserversorgten Standorten bereits im August eine verfrühte Laubfärbung und vorzeitiger Laubfall ein.

Die positive Temperaturabweichung in der Nichtvegetationszeit schwankte in Sachsen-Anhalt zwischen  $+1,6\text{ }^{\circ}\text{C}$  und  $+2,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Dabei wurden im Harzvorland überdurchschnittlich hohe Abweichungen gemessen, während in der Altmark, im Fläming und in Teilen des Hügellandes die Mittel-

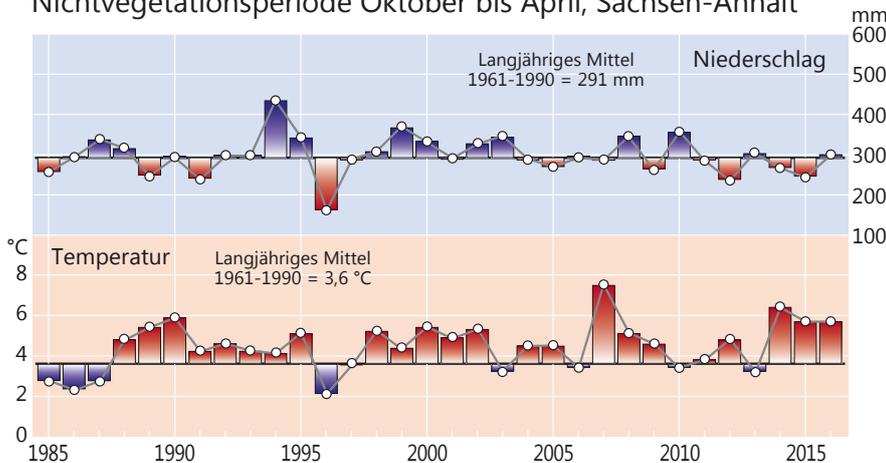
temperatur weniger als  $+2,0\text{ }^{\circ}\text{C}$  vom langjährigen Mittel abwich. In der Vegetationsperiode von Mai bis September sind die regionalen Unterschiede größer. Wiederum werden in einigen Gebieten des Harzvorlandes und im Harz die größten Temperaturabweichungen mit teilweise mehr als  $+3,0\text{ }^{\circ}\text{C}$  beobachtet. In den östlichen (Fläming) und südlichen Landesteilen (Hügelland und Börde) liegen die Temperaturanomalien dagegen häufig unter  $+2,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Die absolut höchsten Mitteltemperaturen in der Vegetationszeit wurden im Lee des Harzes mit deutlich mehr als  $18,0\text{ }^{\circ}\text{C}$  gemessen.

In der Nichtvegetationsperiode wurde in Sachsen-Anhalt das langjährige Niederschlagsoll fast flächendeckend erreicht. Im Norden des Landes (nördliche Altmark) und im Südosten lagen die Niederschläge bis zu 20 % über den langjährigen Mittelwerten, während in weiten Teilen des Harzes und des Harzvorlandes bis zu 20 % weniger Niederschlag gefallen ist. In der Vegetationsperiode 2016 wurde aufgrund der Trockenheit im Sommer landesweit das Niederschlagsoll nicht erreicht. Nur punktuell konnte dieses Defizit durch einzelne Starkregenereignisse ausgeglichen werden. Besonders ausgeprägt war die Trockenheit im Harz, wo regional weniger als Zweidrittel der sonst üblichen Niederschlagsmenge fielen. Auch in Teilen des Harzvorlandes, der Börde und in der südlichen Altmark betrug das Niederschlagsdefizit bis zu 30 %. In den östlichen Landesteilen wurde das Niederschlagsoll dagegen nur leicht unterschritten.

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  $10,7\text{ }^{\circ}\text{C}$  ebenso wie 2014 und 2007 eines der wärmsten Jahre seit Messbeginn. Die Temperaturabweichung betrug  $+2,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Die Niederschläge lagen mit 525 mm im Landesmittel leicht unter den Mittelwerten der Referenzperiode von 1961-1990. Schwerpunkt der Trockenheit im Sommer 2016 waren der Harz und das Harzumland, wo das Niederschlagsdefizit regional mehr als 30 % betrug.

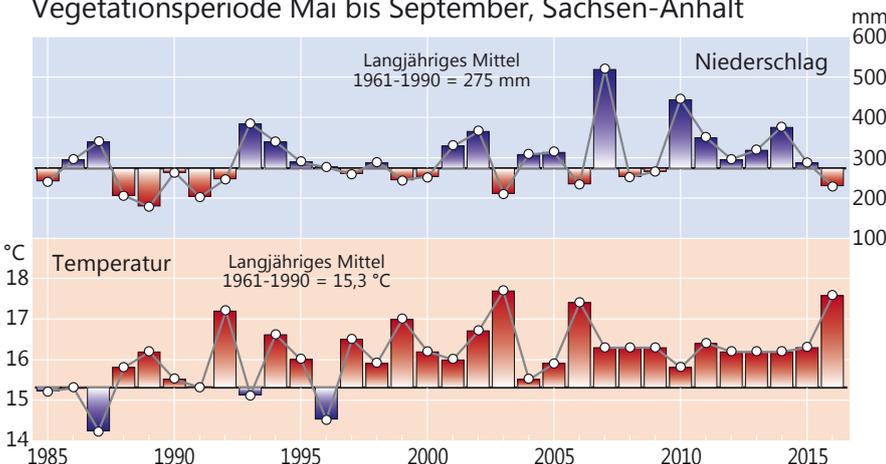
### Langjährige Klimawerte (1985-2016)

#### Nichtvegetationsperiode Oktober bis April, Sachsen-Anhalt



### Langjährige Klimawerte (1985-2016)

#### Vegetationsperiode Mai bis September, Sachsen-Anhalt



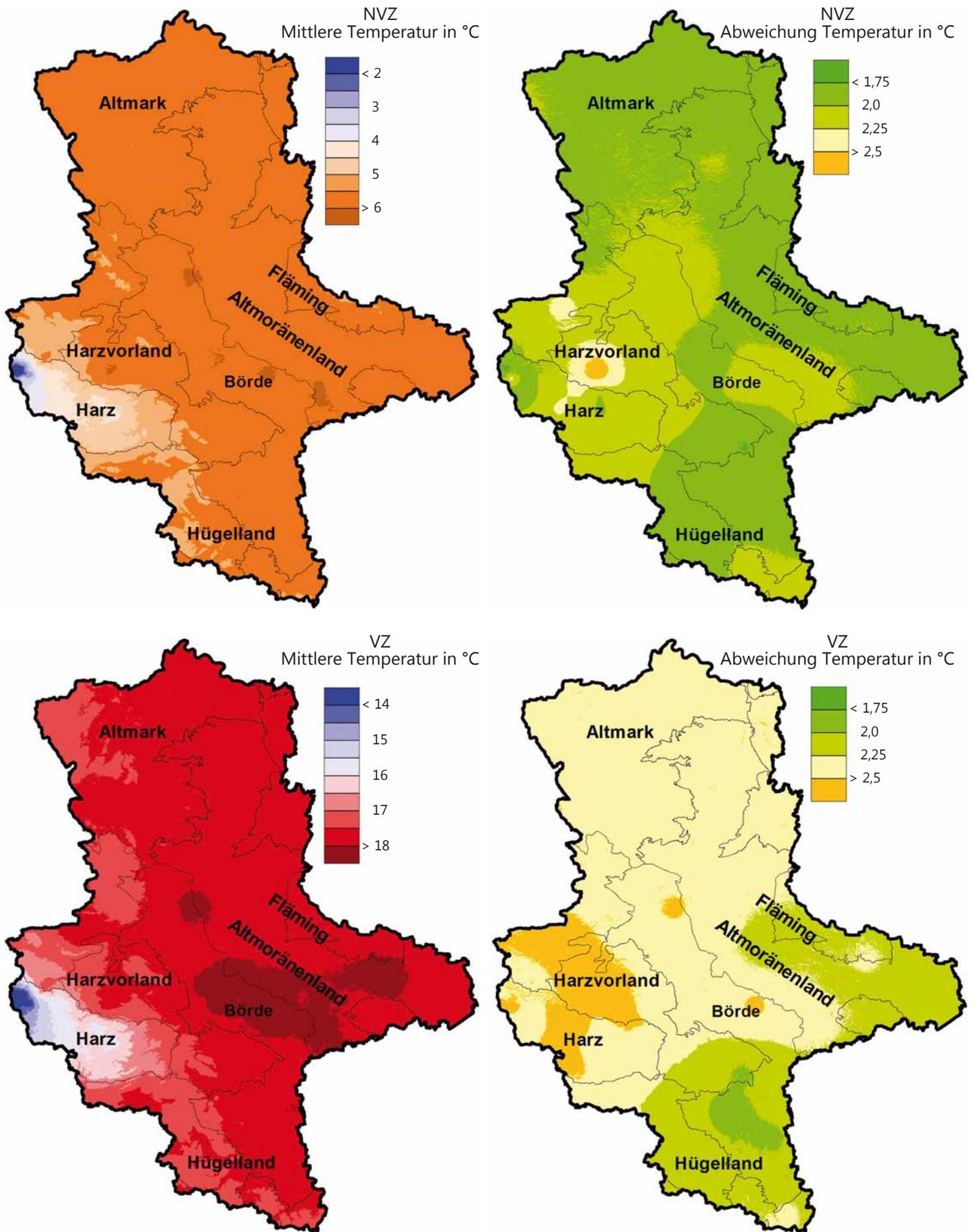
Daten des Deutschen Wetterdienstes, Offenbach



Foto: M. Spielmann

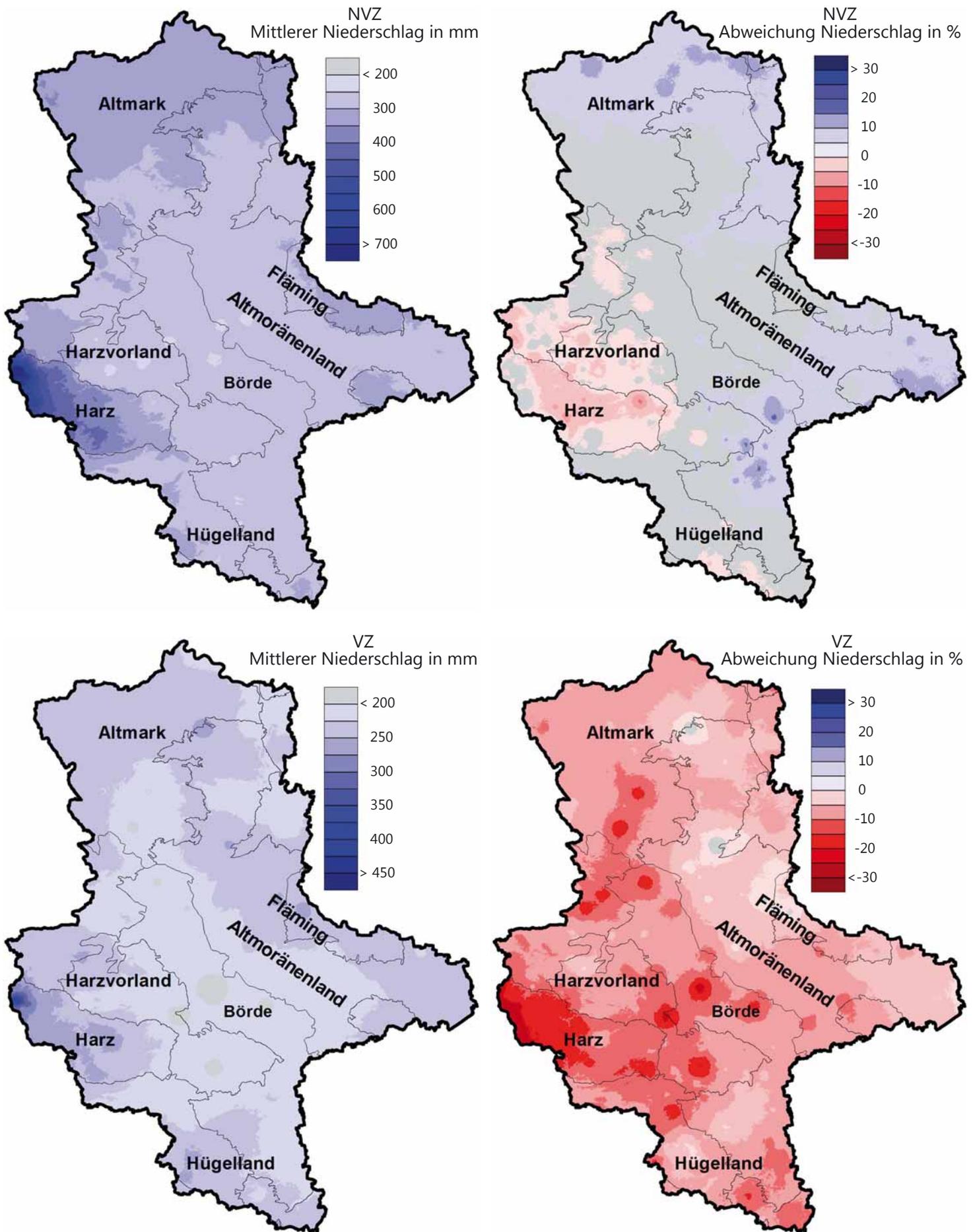
# Witterung und Klima

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



# Witterung und Klima

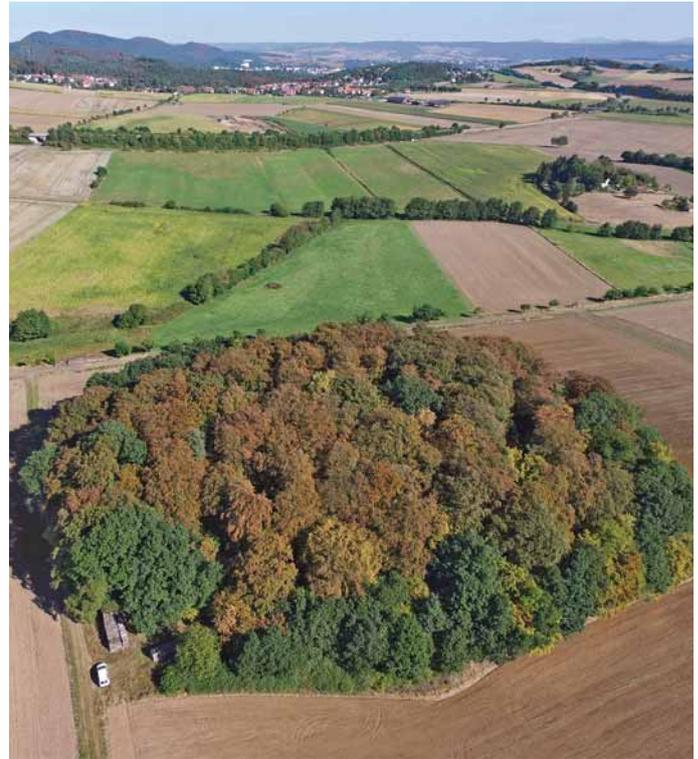
Gemessene Niederschlagssummen und deren Abweichungen zum langjährigen Mittel in der Nichtvegetationszeit (NVZ) 2015/2016 und in der Vegetationszeit (VZ) 2016



# Bodenwasserhaushalt und Trockenstress

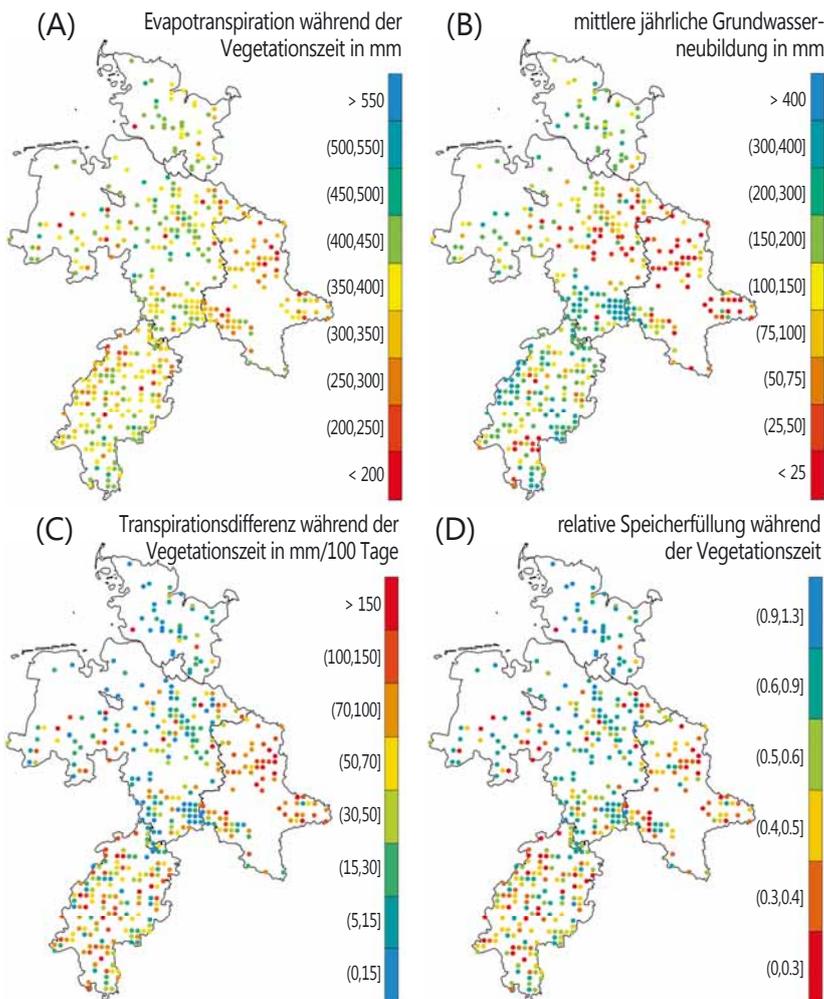
Paul Schmidt-Walter, Bernd Ahrends und Henning Meesenburg

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



Vorzeitige Blattverfärbung der Buche im August 2016

Foto: J. Weymar



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, Trockenrohdichte, 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.

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.

# Bodenwasserhaushalt und Trockenstress

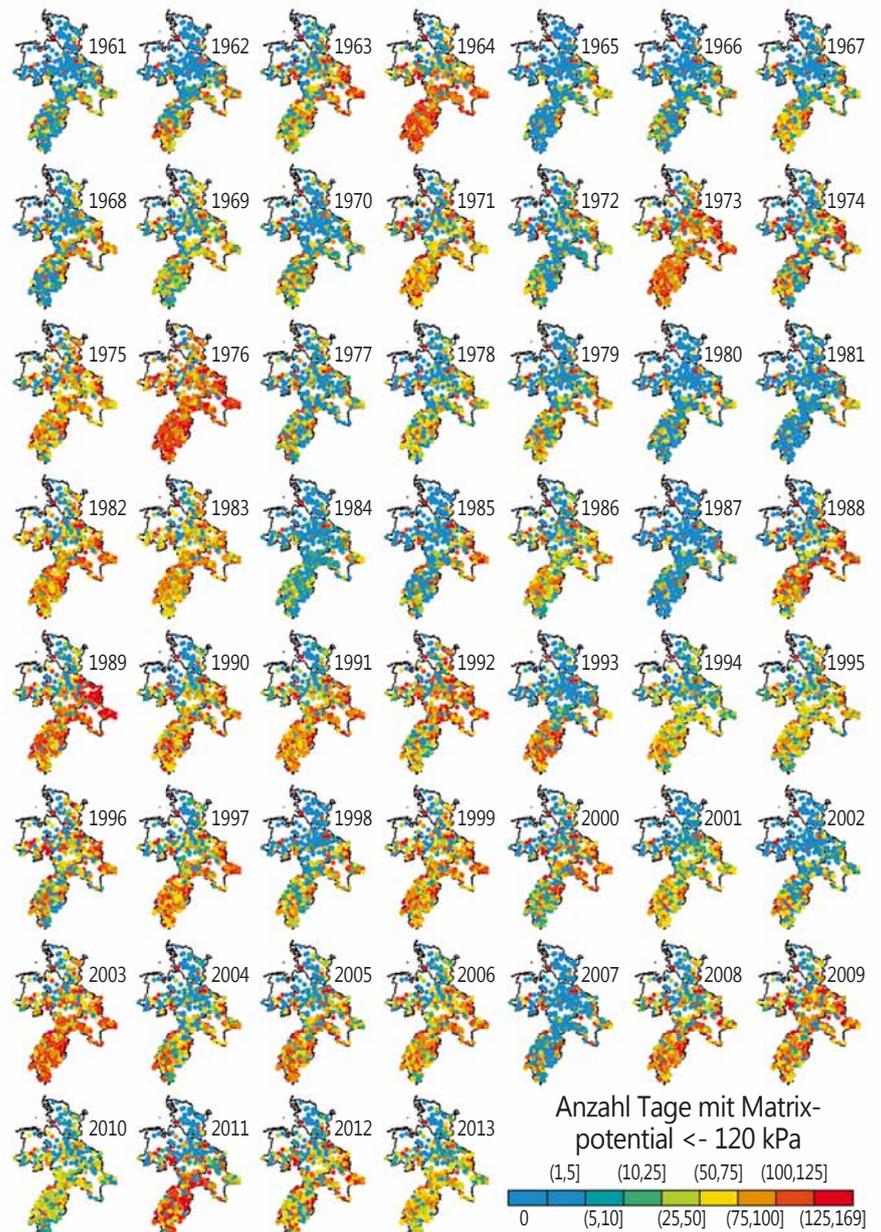
## Grundwasserneubildung

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 Wuchsleistung.

## 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

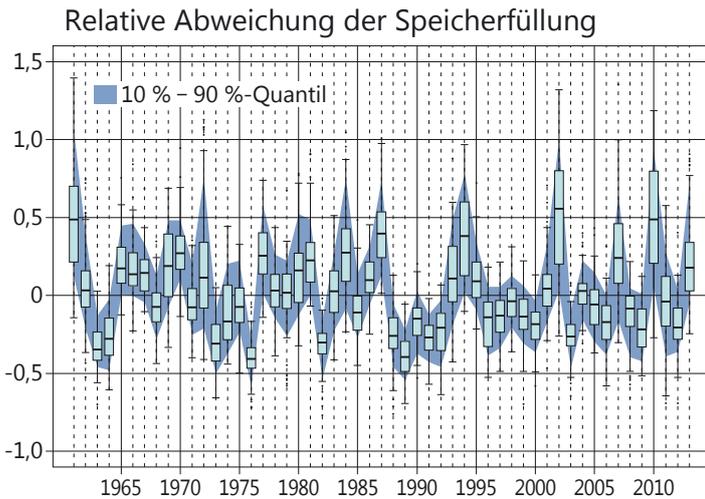
# Bodenwasserhaushalt und Trockenstress

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: M. Spielmann



Pflanzenverfügbare Bodenwasserspeicherfüllung in der Vegetationsperiode für die BZE II-Punkte in Sachsen-Anhalt 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.

## Feuchte und trockene Vegetationsperioden in Sachsen-Anhalt

Die langfristige Entwicklung von Wassermangelperioden in Sachsen-Anhalt 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 extremen Trockenjahren 1976, 1982 und 1989 zeigten fast 75 % der BZE-Punkte eine um mindestens 25 % niedrigere mittlere Speicherfüllung. Insgesamt zeigt sich auch hier, dass Jahre mit unterdurchschnittlicher Wasserversorgung während der Vegetationsperiode seit dem Ende der 1980er Jahre zugenommen haben. In den meisten Jahren seit 1989 liegt der Median unter 0, woraus ersichtlich wird, dass hier für die Mehrzahl der BZE-Punkte im Vergleich zu 1961-1990 unterdurchschnittliche Speicherfüllungen verzeichnet wurden. Diese Abnahme ist statistisch signifikant und auf die Zunahme der Temperaturen bei gleichbleibenden Niederschlagsverhältnissen zurückzuführen.

## 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.



Boden mit hohem Skelettanteil und geringer Wasserspeicherkapazität

Foto: NW-FVA

# Insekten und Pilze

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

## Witterung

Für das Jahr 2016 ist festzuhalten, dass es insbesondere zu Beginn der Vegetationszeit vielerorts einen für die Entstehung und Entwicklung von Pilzschäden förderlichen Witterungsverlauf gab: Ein verregneter Start in den Mai, gefolgt von trockenem, sonnigem und zunehmend warmem Wetter, in der zweiten Maidekade erneut Regen, zum Pfingsten (Mitte Mai) Kaltluft, im letzten Monatsdrittel feucht-warme Luft. Im Juni setzte sich die wechselhafte Witterung fort. Die Meldungen zu Pilzschäden an jungen Trieben waren im Frühsommer sehr zahlreich.

Ab Ende August war vielerorts eine auffällig verfrüht einsetzende Laubverfärbung vornehmlich an Altbuchen zu beobachten. Teilweise wurden auch grüne Blätter abgeworfen. Dies hat wahrscheinlich mit der anhaltenden Hitze und Trockenheit im August in Verbindung mit der physiologischen Beanspruchung vieler Buchen durch intensive Fruchtbildung zu tun. Besonders betroffen waren sonnenexponierte Kuppen-, Hang- und Randlagen und Bäume auf flachgründigen Standorten. Bezeichnend war, dass andere Baumarten (z. B. Eiche) zunächst keine vorzeitige Laubverfärbung zeigten. Diese Beobachtung unterstreicht nochmals, dass die Buchenmast in diesem Zusammenhang ein gravierender Stressfaktor ist.

## Borkenkäfer

Da im Herbst 2015 in vielen Regionen die Befallsansprache von Borkenkäferschäden im Bestandesinneren schwierig war, konnten relativ viele Borkenkäfer in die Überwinterung entkommen. Dies führte zu Saisonbeginn im Frühjahr 2016 zu starkem Schwärmflug des Buchdruckers, der vielerorts schnell Stehendbefall an besonnten Fichtenrändern nach sich zog. Im Ergebnis konnten sich die Jungkäfer der ersten Generation vielerorts ebenfalls etablieren, so dass vor allem in den Berglandbereichen zahlreiche Befallsherde der zweiten Generation im Bestandesinneren gefunden werden.

## Eichenfraßgesellschaft

Die Ergebnisse der laufenden Überwachung des Kleinen und Großen Frostspanners mit Hilfe von Leimringen aus dem Herbst/Winter 2015 bestätigten, dass sich die Frostspanner

in Sachsen-Anhalt weiterhin in der Latenzphase befinden. In keinem der überwachten Eichenbestände wurde die Warnschwelle erreicht. Die Ergebnisse der Fraßkartierung für die Eichenfraßgesellschaft ergaben überwiegend keinen bzw. geringen Fraß.

Im Jahr 2016 wurden insgesamt Schäden durch die Eichenfraßgesellschaft auf 555 Hektar gemeldet. Davon waren auf 538 Hektar die Schäden durch den Eichenprozessionsspinner (*Thaumetopoea processionea* L.) verursacht. Die Schwerpunkte lagen im Bereich Elb-Havel-Winkel und in der Altmark.

## Fraßgeschehen an Alteichen auf Beobachtungsflächen

In den Trägerländern der NW-FVA werden von der Abt. Waldschutz dauerhaft auf 45 Beobachtungsflächen etwa 2100 Alteichen zu verschiedenen Terminen im Jahresverlauf vor dem Hintergrund der „Eichenkomplexerkrankung“ beobachtet. Eine Fraßbonitur erfolgt Anfang Juni, eine Schwerpunkterhebung Krone/Stamm im August und eine Bonitur der Kronenstruktur wird alle zwei bis drei Jahre im Winter durchgeführt.

Im Frühjahr 2016 war auf allen Flächen nur unbedeutender Fraß durch die Eichenfraßgesellschaft zu verzeichnen (im Mittel unter 1 %). Selten waren an einzelnen Eichen Verlichtungen von 10 % oder 20 % durch Fraß zu erkennen.

Bei der „Schwerpunkterhebung Krone/Stamm“ im August 2016 waren die Eichen in den Beobachtungsbeständen im Mittel meist deutlich besser belaubt als in den Vorjahren. Allerdings konnten sich Bäume, die in den vergangenen Jahren bereits sehr hohe Blattverluste hatten, nicht wesentlich regenerieren. Eichen in geschlossenen Beständen haben meist geringere Blattverluste als solche in aufgelichteten Bestandesteilen oder an Bestandeslöchern. Frischer Schleimfluss kommt derzeit kaum vor, auch der Mehltau ist in diesem Jahr eher unbedeutend.

Auf den Beobachtungsflächen wurden 2016 zehn (0,5 %) neu abgestorbene Eichen seit der Erhebung im Sommer 2015 festgestellt. In der letzten Erkrankungsphase der „Eichenkomplexerkrankung“ tritt oftmals Befall mit Hallimasch auf, der über die hervorgerufene Wurzelfäule die Eichen zum Absterben bringt.

## Kieferngroßschädlinge

Die vom Landeszentrum Wald Sachsen-Anhalt und den Bundesforstämtern durchgeführten winterlichen Puppensuchen nach Überwinterungsstadien der Kieferngroßschädlinge 2015/16 wurden in 509 Suchbeständen durchgeführt. Während sich die Fläche mit Puppenfunden bei der Forleule (*Panolis flammea* [Schiff.]) leicht erhöht hat, hat die Präsenz des Kiefernspanners (*Bupalus piniaria* L.) gegenüber den letztjährigen Ergebnissen abgenommen. Die Warnschwelle wurde lokal bei Forleule, Kiefernspanner und Kiefernbuschhornblattwespe erreicht.

Bei der Falterflugüberwachung der Forleule zeigten die Ergebnisse tendenziell auf allen Monitoringflächen leichte Erhöhungen der Fangzahlen gegenüber dem Vorjahr; die Warnschwelle wurde aber nur örtlich überschritten (Flechtingen). Die bisherigen Ergebnisse der Falterflugüberwachung des Kiefernspinners (*Dendrolimus pini* L.) ergaben



Raupen der Kiefernbuschhornblattwespe  
Foto: NW-FVA, Abteilung Waldschutz

# Insekten und Pilze

Warnschwellenüberschreitungen im Bereich Letzlingen. Auffällige Falterflug- bzw. Fraßereignisse im Wald wurden dort aber nicht beobachtet. Örtlich wurde auffälliger Falterflug des Kiefernspanners registriert (Nordöstliche Altmark).

Ende August und im September 2016 wurden im Bereich der Forstbetriebe Altmark und Anhalt sowie bei den Betreuungsforstämtern Letzlingen und Flechtingen starke Fraßschäden durch die zweite Generation der Kiefernbuschhornblattwespe (*Diprion pini* L.) gemeldet. Daraufhin erfolgte eine chemische Bekämpfung mit Helikoptern auf insgesamt 610 Hektar.

## Diplodia-Triebsterben der Kiefer

Dem Auftreten des *Diplodia*-Triebsterbens (Erreger: *Sphaeropsis sapinea*) geht in der Regel eine Schwächung der Bäume voraus. Maßgebliche prädisponierende Faktoren können nach derzeitiger Einschätzung z. B. Trockenheit, Hitze, Überflutung, Hagelschlag mit Rindenverletzungen, Fraß an den Nadeln, Mistelbefall oder Wurzelfäulen sein.

Offenbar hat sich der milde Winter 2015/16 im Zusammenhang mit aktuellen *Diplodia*-Fällen ausgewirkt. Bekannt ist eine „physiologische Schwächung“ der Kiefer durch ausgeprägte Wärmephasen im Hochwinter. Bereits zu Beginn der Vegetationszeit 2016 konnte der Erreger des Triebsterbens mehrfach in geschädigten Kulturen bzw. Naturverjüngungen von Kiefer und Douglasie nachgewiesen werden.

Ende Juli/Anfang August wurden *Diplodia*-Schäden mit erheblicher Flächenausdehnung in Kiefernbaumhölzern aus dem Osten Sachsen-Anhalts gemeldet und auch mehrfach durch Laboruntersuchungen bestätigt.

Im Rahmen eines Forschungsprojektes wird das *Diplodia*-Triebsterben bei Waldkiefern entlang eines Transekts über die Trägerländer der NW-FVA hinaus untersucht (Brandenburg, Sachsen-Anhalt, Bayern, Thüringen, Hessen, Baden-Württemberg).



Absterbende Krone einer Waldkiefer infolge des *Diplodia*-Triebsterbens  
Foto: NW-FVA, Abteilung Waldschutz

## Eschentriebsterben

Das Eschentriebsterben (Erreger: *Hymenoscyphus fraxineus/Chalara fraxinea*) ist auf großer Fläche präsent. Es führte örtlich bereits zur Auflösung von Bestandteilen 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](http://www.nw-fva.de)).

## Wurzelschwamm

Der Wurzelschwamm (*Heterobasidion annosum* s. l.) wurde als maßgeblicher Schadfaktor bei Bereisungen und Untersuchungen insbesondere in Niedersachsen, in abgeschwächter Form aber auch in den anderen Trägerländern, identifiziert.

Es ist davon auszugehen, dass der Wurzelschwamm in vielen Waldbeständen vorkommt, ohne dass oberirdische Symptome erkennbar sind. Daher birgt der Wurzelschwamm ein ernst zu nehmendes, sich zukünftig möglicherweise noch erhöhendes, Schadpotential.



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

Foto: NW-FVA, Abteilung Waldschutz

## Hallimasch

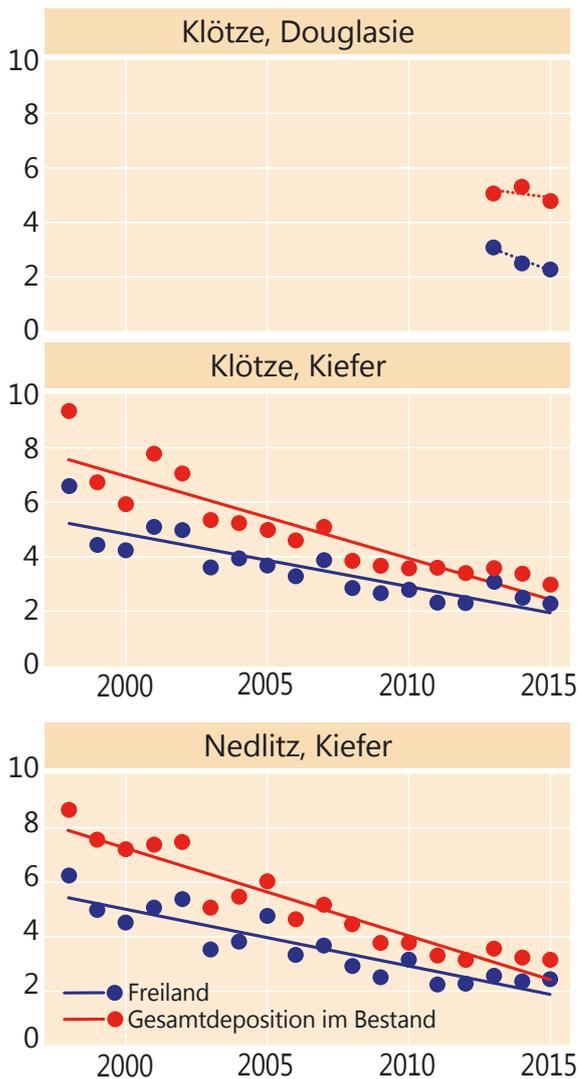
Absterbeerscheinungen durch Hallimasch (*Armillaria* sp.) wurden im gesamten Zuständigkeitsgebiet beobachtet. Dem Befall geht in der Regel eine Schwächung der Wirtsbäume voraus. Betroffen sind u. a. Buchen- und Douglasienkulturen, Traubeneichen im Zusammenhang mit der Eichenkomplexerkrankung, durch Stauwasser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

# 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. In Sachsen-Anhalt werden im Rahmen des Forstlichen Umweltmonitorings seit 1998 die Stoffeinträge in zwei Kiefernbeständen im Fläming (Nedlitz) und in der Altmark (Klötze) erfasst, um die Wirkung erhöhter Stoffeinträge sowie damit verbundener Risiken für Wälder, Waldböden und angrenzende Ökosysteme zu untersuchen. Um Erkenntnisse zum Einfluss der Baumart auf die Höhe der Stoffeinträge unter gleichen klimatischen und standörtlichen Bedingungen zu gewinnen, wird seit 2013 in Klötze auch ein benachbarter Douglasienbestand beobachtet. Die Stoffeinträge werden jeweils auf einer Freifläche (Freilandniederschlag) und

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



durchgezogene Linie: signifikante Abnahme,  
gepunktete Linie: kein signifikanter Trend

einer Bestandesfläche (Bestandesniederschlag) erfasst. Mit Hilfe eines Kronenraumbilanzmodells (Ulrich 1991) werden aus den gemessenen Stoffflüssen Gesamtdepositionsraten bestimmt.

Die Höhe der Stoffeinträge wird maßgeblich durch verschiedene Faktoren wie Niederschlagsmenge und -verteilung, Windgeschwindigkeit, Baumart, Bestandeshöhe, Kronenrauigkeit oder lokale Emittenten bestimmt. Beim Vergleich der Baumarten sind Fichten- und Douglasienbestände wegen der ganzjährigen und im Vergleich mit Kiefer dichteren Benadelung stärker durch Stoffeinträge belastet als Buchen-, Eichen- und Kiefernwälder.

## Niederschlag

2015 entsprach die Niederschlagsmenge in Klötze und Nedlitz dem Mittel der Jahre 2010 bis 2014. Pro Quadratmeter fielen in Nedlitz im Freiland 688 mm, im Bestand (Kronentraufe) waren es 522 mm. In Klötze war die Niederschlagshöhe mit 637 mm (Freiland) bzw. 479 mm unter Kiefer etwas geringer als in Nedlitz. Aufgrund der im Vergleich mit Kiefern höheren Interzeption von Douglasien betrug die Kronentraufe in diesem Bestand bei gleichem Freilandniederschlag nur 433 mm.

## Schwefel

Obwohl mit der Erfassung der Stoffeinträge erst 1998 begonnen wurde, als der Schwefeleintrag (gemessen als Sulfatschwefel  $\text{SO}_4\text{-S}$ ) im Vergleich zu den 1980er Jahren bereits auf einem niedrigen Niveau lag, hat er trotzdem noch signifikant abgenommen. Er betrug 2015 je Hektar in Klötze 3,0 kg (Kiefer) bzw. 4,8 kg (Douglasie) sowie 3,2 kg unter Kiefer in Nedlitz. Im Vergleich zum Mittel der Jahre 2010–2014 hat er 2015 um 6 % (Nedlitz) bzw. 14 % (Klötze) abgenommen. Im Freiland lag der Sulfatschwefeleintrag bei 2,6 kg (Klötze) bzw. 2,5 kg (Nedlitz).



Intensiv-Monitoringfläche Klötze, Kiefer

Foto: U. Klinck

# Stoffeinträge

## Stickstoff

Stickstoff, ein Hauptnährstoff der Pflanzen, wird in oxidierter Form als Nitrat (Quellen: Kfz-Verkehr, Verbrennungsprozesse) und in reduzierter Form als Ammonium (landwirtschaftliche Quellen) in das Ökosystem eingetragen. Der Ammoniumanteil am anorganischen Stickstoffeintrag war in Nedlitz im langjährigen Mittel (1998-2014) mit 62 % geringfügig höher als in Klötze (57 % unter Kiefer, 54 % im Freiland). Ursache hierfür ist vermutlich ein lokaler Emittent in der Nähe der Fläche Nedlitz.

Der Nitratstickstoffeintrag liegt in beiden Untersuchungsgebieten im langjährigen Mittel in der gleichen Größenordnung und hat sowohl im Freiland als auch mit der Gesamtdeposition seit 1998 signifikant abgenommen. Er betrug 2015 im Freiland je Hektar 3,1 kg (Klötze) bzw. 3,0 kg (Nedlitz), mit der Gesamtdeposition unter Kiefer 5,7 kg in Klötze und 6,1 kg in Nedlitz. Unter Douglasie war er rund 35 % höher als unter Kiefer und betrug 2015 7,8 kg je Hektar.

Unterschiede zwischen den beiden Kiefernflächen zeigen sich hingegen beim Ammonium. Zu Beginn der Messungen waren in Nedlitz die Einträge von Ammoniumstickstoff sowohl im Freiland als auch unter Kiefer deutlich höher als in Klötze. Im Beobachtungszeitraum nahmen die Einträge in Nedlitz im Freiland und in der Gesamtdeposition zwar stärker ab als in Klötze, liegen aber 2015 mit 4,5 kg je Hektar im Freiland und 9,4 kg unter Kiefer weiter über den Einträgen in Klötze (Freiland: 4,2 kg, Kiefer: 7,8 kg). Die unterschiedlich hohe Belastung mit Ammonium in Nedlitz und Klötze ist vermutlich vorwiegend auf den lokalen Emittenten zurückzuführen. Der Ammoniumeintrag unter Douglasie betrug 2015 10,5 kg je Hektar und war damit 35 % höher als unter Kiefer im selben Gebiet.

Trotz verschiedener Bemühungen zur Reduktion der Stickstoffemissionen und hieraus resultierender rückläufiger Einträge übersteigt der atmosphärische Stickstoffeintrag nach wie vor den Bedarf der Wälder für das Baumwachstum, was gravierende Konsequenzen für den Wald sowie angrenzende Ökosysteme wie Fließ- und Grundgewässer zur Folge haben kann. Hierzu zählen u. a. ein verändertes Spross-Wurzel-Verhältnis der Bäume mit einem erhöhten Windwurfisiko, Nährstoffungleichgewichte in den Pflanzen, die Ausbreitung stickstoffliebender krautiger Pflanzen sowie die Auswaschung von Nitrat mit dem Sickerwasser Richtung Grundwasser. Der Prozess der Nitratauswaschung ist mit dem Austrag wichtiger Pflanzennährstoffe wie Calcium und Magnesium verbunden, wodurch dem Waldökosystem wichtige Nährstoffe verloren gehen.

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

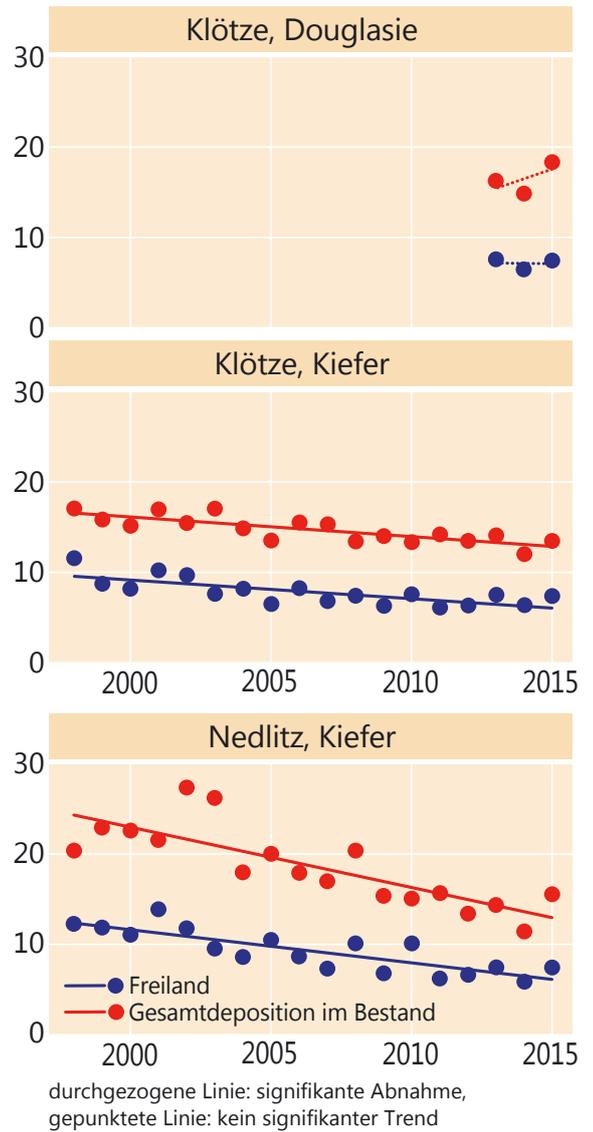


Foto: J. Evers

# Stoffeinträge

## Gesamtsäure

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

2015 betrug der Gesamtsäureeintrag je Hektar zwischen 1,0 kmol<sub>c</sub> (Nedlitz Kiefer) und 1,4 kmol<sub>c</sub> (Klötze Douglasie). Aufgrund der sehr geringen Basenvorräte im Boden übersteigen die Gesamtsäureeinträge trotz des beobachteten Rückgangs nach wie vor die nachhaltige Säurepufferkapazität der untersuchten Bestände.

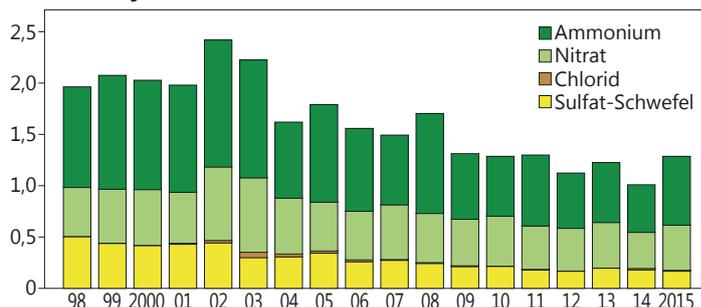
Eine standortsangepasste Kalkung zum Schutz der Waldböden und der Erhaltung ihrer Filterfunktion für das Grundwasser kann empfohlen werden.

## Anteile der Säurebildner

Die Zeitreihe der Anteile der einzelnen Säurebildner am Gesamtsäureeintrag zeigt anschaulich, wie sich die Bedeutung der Säurebildner seit 1998 verschoben hat.

So sank die Säurebelastung durch Sulfatschwefel in Ned-

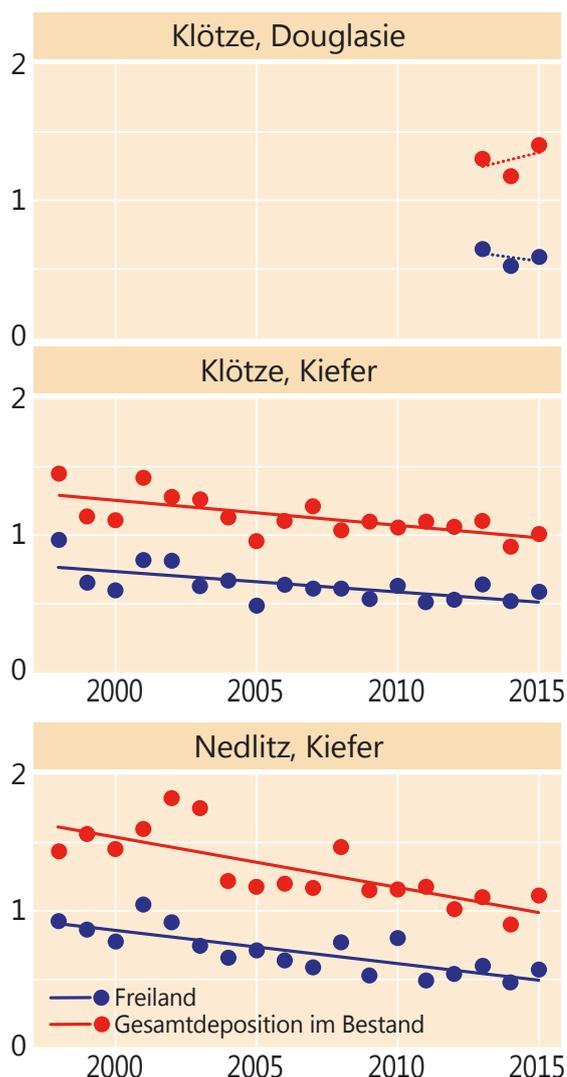
Anteile der Säurebildner am Gesamtsäure-Eintrag (kmol<sub>c</sub> je Hektar und Jahr) in Nedlitz (Kiefer)



litz unter Kiefer von 0,5 kmol<sub>c</sub> (1998) auf 0,17 kmol<sub>c</sub> (2015), wodurch sich der Anteil am Gesamtsäureeintrag von 26 % auf 13 % halbierte. Die Säurebelastung durch Nitrat nahm im gleichen Zeitraum von 0,5 kmol<sub>c</sub> auf 0,4 kmol<sub>c</sub> ab, der relative Anteil stieg jedoch von 24 % auf 34 %. Im gesamten Zeitraum war Ammonium mit einem Anteil von rund 50 % der bedeutendste Säurebildner.

Auch unter dem Gesichtspunkt Säurebelastung ist eine weitere Reduzierung der Stickstoffeinträge dringend geboten.

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



durchgezogene Linie: signifikante Abnahme, gepunktete Linie: kein signifikanter Trend



Intensiv-Monitoringfläche Klötze, Douglasie

Foto: O. Schwerdtfeger

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

Interzeption = Der Anteil der Niederschläge, der durch die Oberfläche der Vegetation zurückgehalten wird.

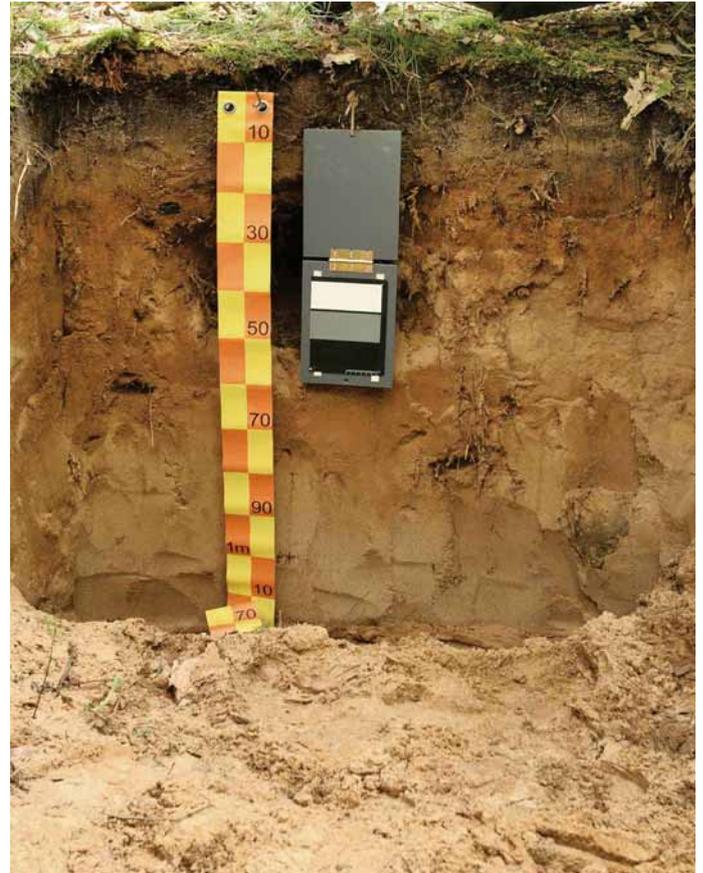
# Die Substratgruppe unverlehmter Sand

Jan Evers und Inge Dammann

Ein Ziel bei der Aus- und Bewertung der zweiten Bodenzustandserhebung im Wald (BZE II) war die stärkere Berücksichtigung einer sinnvollen Gruppierung der BZE-Punkte in standörtliche Einheiten (Substratgruppen), um die Auswertungen einerseits dichter an Prozessen und Rahmenbedingungen forstlicher Standortseinheiten zu orientieren und andererseits die Bewertungen besser in die forstliche Praxis einbinden zu können.

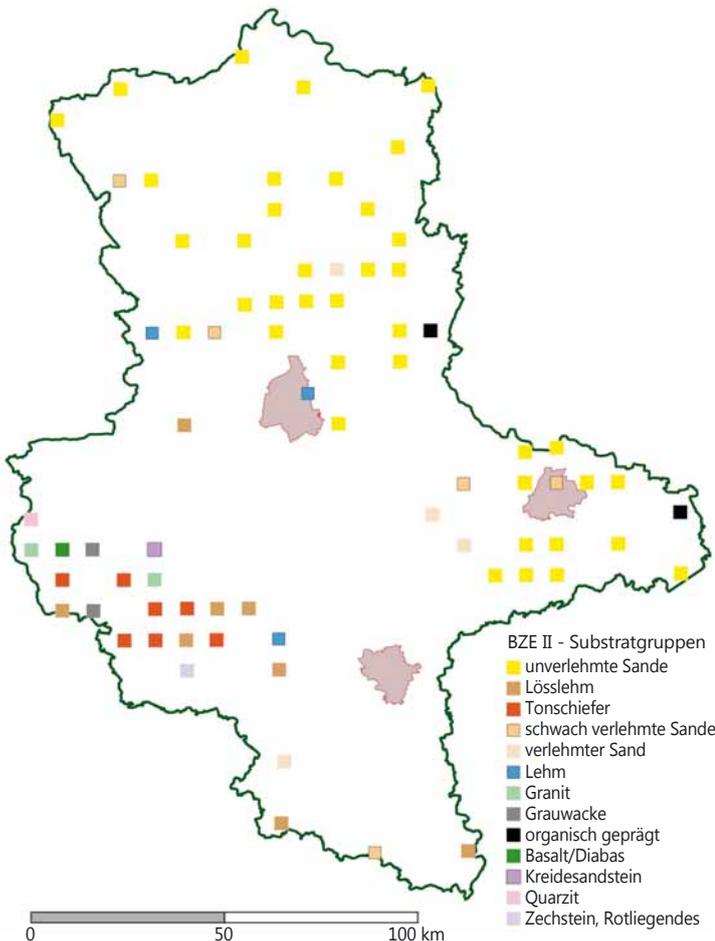
Jedem der 388 BZE II-Punkte in Niedersachsen, Hessen und Sachsen-Anhalt wurde daher eine Substratgruppe zugeordnet. Die Generierung der länderübergreifenden Substratgruppen erfolgte nach den Merkmalen Ausgangssubstrat (Ausgangsgestein), Lagerung (Substrat-Lagerung), Bodenart, Bodenmorphologie und Bodenphysik. In Sachsen-Anhalt kommen im BZE II-Kollektiv bis auf den Buntsandstein, Ton(stein) und Kalkstein alle für Nordwestdeutschland definierten 16 Substratgruppen vor. Für 39 BZE-Punkte (51 %) wurde die Substratgruppe „unverlehmter Sand“ ausgewiesen, diese Substratgruppe tritt damit in der BZE II in Sachsen-Anhalt am häufigsten auf (Abbildung unten).

Nach Schwanecke und Kopp (1994) wird das Land Sachsen-Anhalt durch drei wesentliche Standortsregionen geprägt: das Tiefland im Norden und Nordosten, das Hügelland in der Mitte des Landes und das Mittelgebirge mit Harz und Kyffhäuser im Südwesten. Die meisten Waldstandorte liegen im Tiefland mit 70 % der Waldfläche, gefolgt vom Mittelgebirge mit 19 % und dem Hügelland mit 11 %. Die



Bärenthorener-Sand-Braunerde (Stendaler Platte) Foto: W. Schmidt

Substratgruppen in Sachsen-Anhalt



Zuordnung der 76 BZE II-Punkte in Sachsen-Anhalt zu Substratgruppen

Standorte, die durch den unverlehmten Sand geprägt sind, liegen überwiegend im sachsen-anhaltischen Tiefland. Diese Region wird von durch Wasser und Wind verursachten Ablagerungen der letzten Eiszeiten geprägt, vor allem der Warthevereisung. Damit zählt das Tiefland fast ausschließlich zum Altmoränengebiet, nur im Nordosten Sachsens-Anhalts kommen die zum Jungmoränengebiet zählenden Ablagerungen des Brandenburger Stadiums der Weichseleiszeit vor. Im Altmoränengebiet dominieren intensiv verwitterte, eher nährstoffarme Grund- und Endmoränen, Sander und Talsande, die vorwiegend aus sandigen Böden bestehen. Tief entkalkte Sand-Braunerden und Tieflehm-Fahlerden mit mittlerer Nährstoffversorgung sowie ärmere Sand-Podsole und Podsole sind hier vorherrschend.

Auf den Grundmoränenplatten liegen aber auch Lehm- und Tieflehm-Staugleye und holozäne Auen begleiten den Lauf der Elbe und ihre Nebenflüsse in den Talniederungen. Vor allem im Raum Bitterfeld und Dübener Heide hat der ehemalige Braunkohleabbau und der hiermit einhergehende Flugascheeintrag durch Verbrennung der Kohle in Kraftwerken, Industrie und Haushalten die Böden stark beeinflusst.

Im Tiefland treten nach dem Landesamt für Geologie und Bergwesen Sachsen-Anhalt (2014) häufig weitgehend unverlehmte Niederungssande auf, die bis mehrere Meter mächtig sein können und überwiegend aus Fein- und Mittelsand bestehen, verbreitet aber auch schwach lehmig sein können. Dies sind kaltzeitliche, meist geschichtete Sande mit wechselnden Kiesanteilen, die in ruhiger Strömung vom Wasser abgelagert wurden. Auch die im Tiefland fast ebenso häufig vorkommenden Schmelzwassersande sind weitgehend unverlehmte und damit typische Waldstandorte.

# Die Substratgruppe unverlehmter Sand

Zumeist liegen die Schmelzwassersande unter periglazialen (ohne Gletschereinfluss) und/oder durch Wind eingetragene Decken aus Geschiebedecksand, Decklehm oder Flug-sand und Lössen.

Im Einzelnen ist das Tiefland sehr heterogen und wird in fünf forstliche Wuchsgebiete unterteilt. Im Ostniedersäch-sisch-Altmärkischen Altmoränenland überwiegen mäßig nährstoffversorgte Sand-Braunerden, z. T. lehmbeeinflusst und pseudovergleyt, sowie ärmere Sanderflächen mit Braunerde-Podsolen, in Niederungen Sand-Gleye, Gley-Podsole und Flachmoorbildungen und reicheren Auen im Elbtal. Das weichselkaltzeitlich entstandene Mittelbranden-burgische Talsand- und Moränenland ist geprägt durch überwiegend ärmere grundwasserbeeinflusste Sande und Braunerde-Podsole auf Sandern sowie durch lehmbeeinflusste Braunerden mit mittlerer Nährstoffversorgung auf den Moränen. Im Mittleren Nordostdeutschen Altmoränenland sind ärmere Sande, mäßig nährstoffversorgte leh-mige Sande sowie Lehme mit Braunerden, Sand-Gleye und Moorbildungen in den Niederungen sowie reichere Auen in der Elbtalniederung vorherrschend. Mittlere bis ärmere Sande und lehmige Sande sowie Lehme als Braunerden und Braunerde-Podsole sind typisch für den Hohen Flä-ming. Im Düben-Niederlausitzer Altmoränenland sind im Bereich der Moränen mittlere Sand-Braunerden, auf den Sanderflächen mittlere bis ärmere Sand-Braunerden und Sand-Braunpodsole verbreitet, kleinflächig kommen Moore vor. Die Böden sind in Folge des basischen Flugascheeintra-ges häufig eutrophiert.

Im sachsen-anhaltischen Hügelland und Mittelgebirge kommen unverlehmte Sande im BZE II-Kollektiv nicht vor.



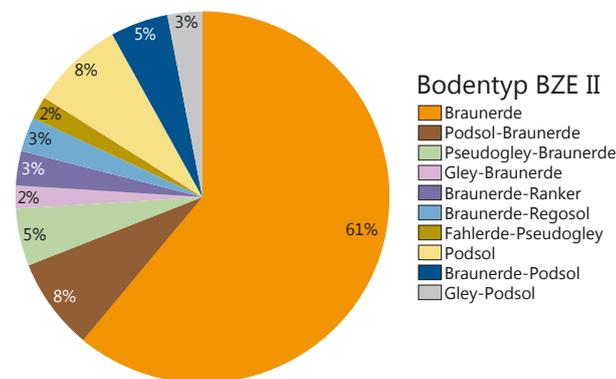
Henningsdorfer-Sand-Braungley (Schollener Platte) Foto: W. Schmidt

## Bodentypen

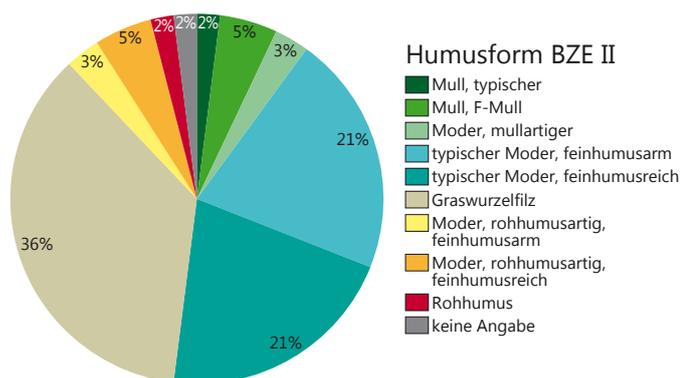
In der Abbildung links ist die prozentuale Verteilung der innerhalb der Substratgruppe unverlehmter Sand vorkom-menden Bodentypen für Sachsen-Anhalt in der BZE II dar-gestellt. Die Gruppe der Braunerden kommt mit Abstand am häufigsten vor: Mit 61 % typische Braunerden, 8 % Pod-sol-Braunerden und 5 % Pseudogley-Braunerden sowie ver-einzelt Gley-Braunerden nehmen die Braunerden insgesam-t drei Viertel der Bodentypen dieser Substratgruppe ein. Die Gruppe der Podsole tritt mit 16 % deutlich zurück. Vereinzelt treten noch Ranker, Regosole und Pseudogleye auf, doch bilden die Braunerden und Podsole die beiden wichtigsten Bodentypen im unverlehmten Sand. Bei der Substratgruppe unverlehmter Sand in Niedersachsen stellt im Gegensatz zu den Ergebnissen in Sachsen-Anhalt die Gruppe der Podsole mit 50 % den höchsten Anteil. Der bodenbildende Prozess der Podsolierung tritt mit seinen Verwitterungs- und Verla-gerungsbedingungen vor allem in sandigen, quarzreichen Substraten auf, ist aber auch an feuchtes Klima gebunden. Da es im Tiefland Sachsen-Anhalts wesentlich trockener als im Tiefland Niedersachsens ist, könnte dies ein Grund für die geringeren Anteile der Podsole im unverlehmten Sand in Sachsen-Anhalt sein. Eine fortgeschrittene Podsolierung weist in der Regel auf eine Nährstoffverarmung im Boden hin und geht häufig mit gestörten biologischen Abbau-bedingungen und schlechten Humusformen einher. Die Podsolierung wird verstärkt durch historisch intensive Hei-de- und Plaggenwirtschaft auf armen Standorten, was mög-licherweise in Sachsen-Anhalt weniger intensiv der Fall war.

## Humusformen

Mit 10 % sind in der Substratgruppe unverlehmter Sand mit dem Mull, F-Mull und mullartigem Moder Humusformen (grüne Farben) vertreten, die eher auf deutlich besser mit Nährstoffen versorgten Substraten typisch sind. Dass diese Humusformen auf den von Natur aus ärmeren, unverlehm-ten Sanden vorkommen, liegt an der häufig in Sachsen-



Verteilung der Bodentypen in der Substratgruppe unverlehmter Sand in Sachsen-Anhalt (BZE II)



Verteilung der Humusformen in der Substratgruppe unverlehmter Sand in Sachsen-Anhalt (BZE II)

# Die Substratgruppe unverlehmter Sand

Anhalt durchgeführte Bodenbearbeitung von Waldböden, z. B. die Streifenkultur. Aber auch der Einfluss von basischen Stäuben, die über Flugaschen langfristig eingetragen wurden, kann die Humusformen verbessern. Es folgen mit 42 % der typische Moder (blaue Farben). Diese Humusform weist auf eine mittlere Nährstoffversorgung und bereits stärkere Versauerung im Mineralboden hin. Typisch für Kiefernwälder ist der Graswurzelfilz, der mit 36 % häufig in Sachsen-Anhalt anzutreffen ist. Humusformen, die auf eine gehemmte Streuzersetzung und einen ungünstigen biologischen Bodenzustand hinweisen, kommen mit 10 % relativ wenig vor (gelbe und rote Farben). In Niedersachsen sind diese Humusformen mit rund 30 % Anteil an den unverlehmten Sanden deutlich häufiger. An 2 % aller Standorte konnte keine Humusform zugewiesen werden.

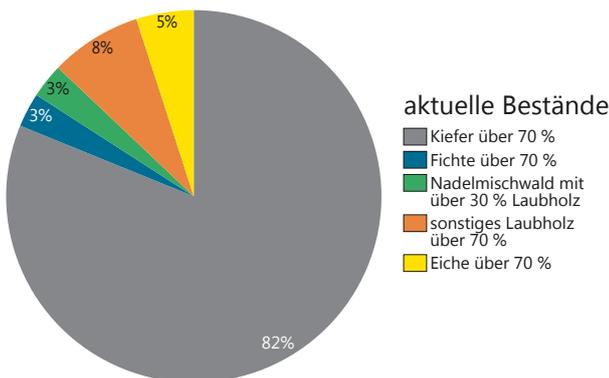
## Nährstoffangebot (Trophie)

Die Standorte des unverlehmten Sandes in der BZE II in Sachsen-Anhalt sind überwiegend schwach mesotroph (56 %) oder mesotroph (26 %), nur 10 % wurden als gut mesotroph eingestuft. Vereinzelt finden sich oligotrophe Standorte (z. B. Dünen, Flusssande) oder auch eutrophe Standorte, die durch historische Flugascheinträge hohe Basensättigungen aufweisen.

## Natürliche Waldgesellschaften und aktuelle Bestockung

Als natürliche Waldgesellschaft ist im Tiefland Sachsen-Anhalts wie auch in Niedersachsen auf den unverlehmten Sanden überwiegend der Drahtschmielen-Buchenwald anzunehmen. Als Mischbaumarten kommen auf den trockeneren Standorten Trauben- und Stieleiche, auf vernässten Standorten die Stieleiche hinzu und auf den ganz armen, trockenen Standorten auch die Kiefer. Im stärker kontinentalen Bereich wird von Schwanecke und Kopp (1994) der Traubeneichen-Birken-Kiefernwald und auf besseren Standorten der Traubeneichen-Lindenwald mit Hainbuche angegeben.

Der heutige Wald wird auf unverlehmtem Sand in der BZE II in Sachsen-Anhalt zu 80 % aus Kiefernbeständen mit über 70 % Kiefernanteil gebildet (Abbildung unten). Es folgen in weitem Abstand mit jeweils 3 % Bestände aus überwiegend Fichten- oder Nadelmischwald. 8 % nimmt das sonstige Laubholz (vorwiegend Sandbirke) ein, auf 5 % der BZE II-Punkte auf unverlehmtem Sand kommen Eichenbestände vor.



Verteilung der aktuellen Bestände in der Substratgruppe unverlehmter Sand in Sachsen-Anhalt (BZE II)



Biegener-Sand-Rostpodsol (Elbe-Elsterwinkel-Sandterrasse)

Foto: W. Schmidt

## Chemische Bodenkenngrößen

Als Folge zwischeneiszeitlicher Verwitterungsprozesse und starker Übernutzung in vorindustrieller Zeit sind die Waldböden, vor allem die Oberböden, häufig versauert. Mit der Industrialisierung, der intensiven landwirtschaftlichen Nutzung und den hohen luftbürtigen Schwefel- und Stickstoffeinträgen ist die Versauerung auch in die Unterböden vorgedrungen. Dieser Prozess wurde regional noch verstärkt durch die früher weit verbreitete Entnahme von Waldstreu, die Plaggennutzung und die Waldweide für die Versorgung der Bevölkerung mit landwirtschaftlichen Produkten. Der damit einhergehende Biomasseexport führte zu weiterer Nährstoffverarmung der Waldböden. Wichtige bodenchemische Kenngrößen, die die Versauerung und ihre Folgen charakterisieren, sind die Austauschkapazität, die Basensättigung und die Vorräte an Calcium und Magnesium.

## Austauschkapazität

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

Mit rund 250 kmol<sub>c</sub> je Hektar durchschnittlicher Austauschkapazität (summiert bis 90 cm Bodentiefe) liegt die Substratgruppe unverlehmter Sand in Sachsen-Anhalt auf der Grenze zwischen dem mittleren und gering-mittleren Bewertungsbereich nach der AK-Standortskartierung (2016). Damit ist die mittlere Austauschkapazität der unverlehmten Sande in Sachsen-Anhalt um 50 kmol<sub>c</sub> je Hektar geringer als

# Die Substratgruppe unverlehmter Sand

bei den unverlehmten Sanden in Niedersachsen. Die Spannbreiten sind jedoch recht hoch, sie reichen vom gering-mittleren Bewertungsbereich mit 140 kmol<sub>c</sub> je Hektar bis zum mittel-hohen Bewertungsbereich mit über 900 kmol<sub>c</sub> je Hektar (BZE II). Im Vergleich mit den anderen Waldstandorten in Sachsen-Anhalt zählen die unverlehmten Sande zusammen mit den Quarzen im Mittel zu den Standorten mit den geringsten Austauschkapazitäten. Die (schwach) verlehmten Sande, Lehme und Lösslehme sowie die Standorte des Berglandes (z. B. Tonschiefer) weisen deutlich höhere mittlere Austauschkapazitäten auf. Das Mittel der Austauschkapazität aller Waldstandorte in Sachsen-Anhalt der BZE II liegt bei 520 kmol<sub>c</sub> je Hektar und damit doppelt so hoch wie die Austauschkapazität der unverlehmten Sande.

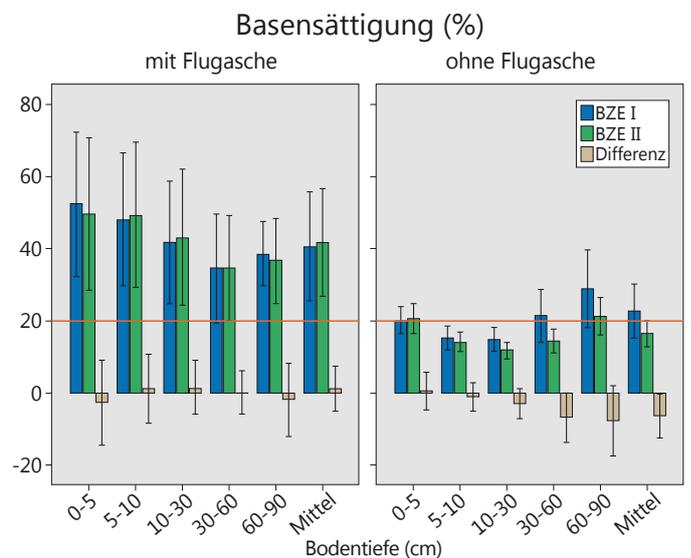
## Basensättigung

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

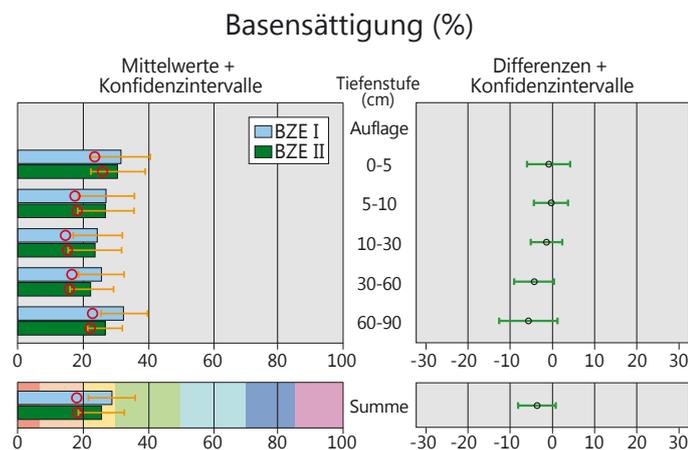
Bei den unverlehmten Sanden in Sachsen-Anhalt ergeben sich zum Zeitpunkt der BZE II auf Profilebene knapp 26 % durchschnittliche Basensättigung, was eine gering-mittlere Basenversorgung anzeigt. Der Durchschnitt für alle Waldstandorte in Sachsen-Anhalt ist deutlich höher und liegt mit 37 % im mittleren Bewertungsbereich. Die jeweils höchsten Werte in der BZE II nach Tiefenstufen finden sich in 0-5 cm Bodentiefe (Abbildung unten), hier ist der Einfluss organischer Substanz und der Flugascheeinfluss noch am höchsten. Mit zunehmender Bodentiefe sinken die Werte bis auf 23 % in der Tiefenstufe 30-60 cm, in 60-90 cm steigen sie



Commerauer-Sand-Gleysaumpodsol (Lüchow-Salzwedeler-Niederung)  
Foto: W. Schmidt



Durchschnittliche Basensättigung der BZE II-Punkte auf unverlehmtem Sand in Sachsen-Anhalt mit Flugasche (n=12) und ohne Flugasche (n=27) sowie die Differenzen zwischen BZE I und II. Die orangene Linie kennzeichnet 20 % Basensättigung



Basensättigung der Substratgruppe unverlehmter Sand in Sachsen-Anhalt (n=39)

bis auf 28 %. Damit liegt die durchschnittliche Basensättigung der unverlehmten Sande in Sachsen-Anhalt deutlich über dem Länderdurchschnitt von Niedersachsen, Hessen und Sachsen-Anhalt (rote Kreise, Abbildung links, Teilgrafik links oben). Signifikante Veränderungen hat es zwischen der BZE I und II in Sachsen-Anhalt bei der Basensättigung in keiner Tiefenstufe und auch nicht im Profilmittel gegeben. In der Tendenz sind die durchschnittlichen Werte jedoch in den Tiefenstufen 30-60 und 60-90 cm in der BZE II deutlich geringer (Abbildung links, Grafik rechts oben).

Ein wichtiger Einflussfaktor auf die Bodenchemie in den Waldböden Sachsens-Anhalts ist der historische Flugascheeinfluss. Bei den BZE-Punkten in Sachsen-Anhalt wurde anhand der Lage zu Regionen mit viel Industrie (z. B. Raum Bitterfeld-Dübener Heide), naheliegender Braunkohleabbau oder (ehemaliger) Kraftwerke versucht, den Flugascheeinfluss als Faktor in die Auswertungen und Bewertungen einzubeziehen. In der Abbildung oben sind die BZE II-Punkte

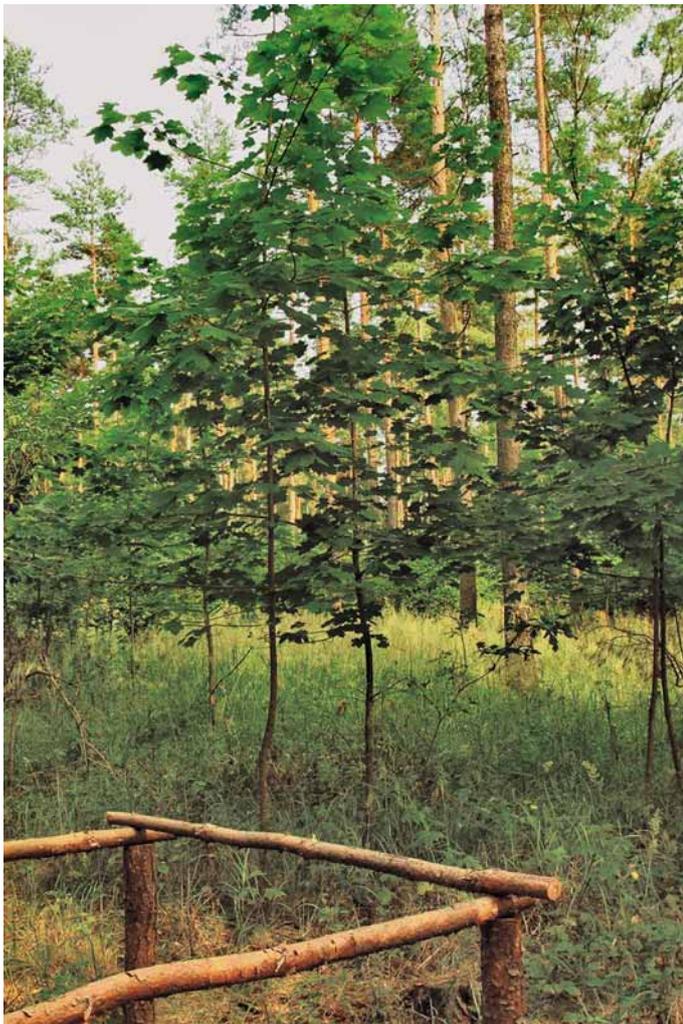
# Die Substratgruppe unverlehmter Sand

auf unverlehmtem Sand hinsichtlich ihrer durchschnittlichen Basensättigung in Tiefenstufen und nach Flugascheeinfluss differenziert dargestellt. In allen Tiefenstufen und im Profilmittel sind die durchschnittlichen Basensättigungen im Flugasche beeinflussten Kollektiv mit Werten zwischen 34 und 50 % deutlich höher als im Vergleichskollektiv ohne Flugascheeinfluss mit Werten zwischen 15 und 22 %. Die Standorte ohne Flugascheeinfluss unterschreiten in der BZE II in den Bodentiefen 5-60 cm und im Profilmittel 20 % Basensättigung und sind damit ähnlich kritisch zu beurteilen wie die ungekalkten Standorte dieser Substratgruppe in Niedersachsen. In der Tendenz verringerte sich die Basensättigung auf den Punkten ohne Flugasche von der BZE I zur BZE II. Basensättigungen von unter 20 % zeigen an, dass diese Standorte nicht mehr über das Potential an austauschbaren Nährstoffen verfügen, welches grundsätzlich bei gegebener Austauschkapazität an vergleichbaren, unbelasteten Waldstandorten zur Verfügung stand. In diesem Milieu wird der Austauscher und die Bodenlösung durch das Kation Aluminium geprägt. Calcium, Magnesium, Kalium und Natrium liegen in vergleichsweise geringen Anteilen vor. Für Baumwurzeln kann es schwierig werden, unter diesen Bedingungen ausreichend Nährelemente mit den Wurzeln aufzunehmen. Aluminium wirkt in der Bodenlösung in höheren Konzentrationen zudem toxisch gegenüber Pflanzenwurzeln. In diesen Fällen können Kompensationsmaßnahmen in Form von Waldkalkungen sinnvoll sein.



Typischer Moder in einem Kiefernbestand

Foto: NW-FVA

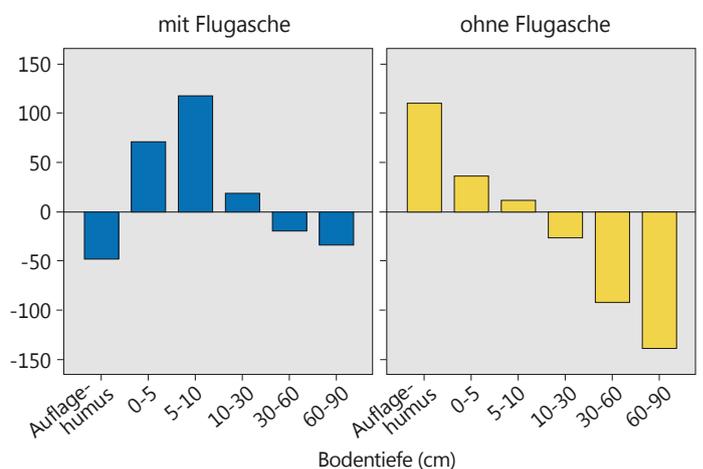


Unverlehmter Sand mit Flugascheeinfluss mit Bergahorn in der Verjüngung  
Foto: W. Schmidt

## Veränderung der Calcium- und Magnesiumvorräte

Im von Flugasche beeinflussten Kollektiv der unverlehmten Sande in Sachsen-Anhalt haben die Calciumvorräte insgesamt um rund 8 % bezogen auf den Vorrat der BZE I zugenommen. Die Zunahmen traten in der obersten Bodenschicht bis 30 cm Bodentiefe auf und kompensierten die Abnahmen im Auflagehumus und tieferen Mineralboden. Im von Flugasche unbeeinflussten Kollektiv dagegen kam es ab 10 cm Bodentiefe zu deutlichen Abnahmen, die auf

### Differenzen der Calciumvorräte der BZE II zur BZE I (kg/ha)



Differenzen der Calciumvorräte der BZE II zur BZE I in Sachsen-Anhalt nach Tiefenstufen für die Substratgruppe unverlehmter Sand, getrennt nach Flugasche beeinflusst (n=11) und unbeeinflusst (n=17)

# Die Substratgruppe unverlehmter Sand

das Gesamtprofil bezogen einen Verlust von 13 % im Vergleich zur BZE I bedeuten. Aufgrund der hohen Streuungen und geringen Stichprobenzahl sind diese Ergebnisse jedoch nur für die Zunahmen im Auflagehumus und oberen Mineralboden 0-5 cm und Abnahmen im unteren Mineralboden 60-90 cm im nicht von Flugasche beeinflussten Kollektiv signifikant.

Die Magnesiumvorräte haben sowohl im Flugasche beeinflussten als auch Flugasche unbeeinflussten Kollektiv zugenommen. Die Zunahmen von 46 % bezogen auf den Vorrat der BZE I (mit Flugasche) und 19 % (ohne Flugasche) sind signifikant.

Die Ergebnisse zeigen, dass es trotz des Rückgangs der Säureeinträge bei den unverlehmten Sanden in Sachsen-Anhalt in der Tendenz zu einer verringerten Basensättigung im Unterboden und zu Calciumverlusten aus dem Mineralboden gekommen ist. Die bis zur Wende regional im Bereich größerer Industriekomplexe und Kohlekraftwerke zusätzlich eingetragenen basischen Stäube wirkten einer weiteren Versauerung entgegen, belasten aber die Waldböden mit Schwefel und Schwermetallen zusätzlich. Zwar ist die Belastung der Böden durch den Schwefeleintrag aufgrund der Luftreinhaltemaßnahmen deutlich zurückgegangen; allerdings sind in den Böden noch erhebliche Säuremengen (Altlasten) gespeichert. Zusätzlich ist der luftbürtige Eintrag von Stickstoff weiterhin zu hoch. Regelmäßige Bodenuntersuchungen im Rahmen von Übersichtserhebungen und des Intensiven Monitorings sowie auf Versuchsflächen der Forstlichen Umweltkontrolle sind deshalb von besonderer Wichtigkeit, um Bodenveränderungen und -prozesse zu dokumentieren, zu verstehen und ggfs. Gegenmaßnahmen einzuleiten.

## Ernährungssituation der Kiefer

In der Substratgruppe unverlehmter Sand in Sachsen-Anhalt ist die Kiefer die Hauptbaumart. Fichte, Buche und Eiche kommen auf dieser Substratgruppe selten vor (1-3 BZE-Punkte) und werden hier nicht dargestellt. Die Bewertung der Ernährungssituation der Kiefer erfolgt anhand der Mediane für die Hauptnährstoffe (Stickstoff, Kalium, Phosphor, Calcium und Magnesium) sowie der Stickstoffquotienten zum Zeitpunkt der BZE II (2007).

Im Median befinden sich die Kiefernadelgehalte für Phosphor, Kalium, Calcium und Magnesium im Normalbereich und die Stickstoffquotienten zeigen ausgewogene Verhältnisse an (Tabelle rechts). Dies gilt sowohl für BZE II-Punkte mit und ohne Flugascheeinfluss. An keinem BZE II-Kiefern-punkt auf unverlehmtem Sand ist (latenter) Mangel an Phosphor, Kalium oder Calcium festgestellt worden. Dagegen zeigt sich latenter Magnesiummangel an sechs von 33 Punkten, wobei sich tendenziell eine etwas schlechtere Magnesiumversorgung an den BZE-Punkten ohne Flugascheeinfluss zeigt. Hier sind latenter Magnesiummangel und unharmonische N/Mg-Verhältnisse mit 22 % bzw. 35 % häufiger als an Punkten mit Flugascheeinfluss (10 %). Die Stickstoffgehalte in den Kiefernadeln haben seit der BZE I zugenommen und liegen 2007 meist (79 %) oberhalb des Normalbereichs.



Die Standorte der Substratgruppe unverlehmter Sand sind zu 80 % mit Kiefer bestockt  
Foto: W. Schmidt

## Elementgehalte und Stickstoffquotienten

Baumart	Flugasche-einfluss	Anzahl BZE-Punkte	Elementgehalte (mg/g)					Stickstoffquotient			
			Stickstoff N	Phosphor P	Kalium K	Calcium Ca	Magnesium Mg	N/P	N/K	N/Ca	N/Mg
Kiefer		33	18	1,6	6,0	3,3	0,9	11,1	3,1	5,5	20,4
	ja	10	19	1,7	5,9	3,5	1,0	10,9	3,1	5,3	20,1
	nein	23	18	1,6	6,0	3,2	0,9	11,5	3,1	5,7	20,6

■ Elementgehalt im Normalbereich bzw. Stickstoffquotient ausgewogen  
■ Elementgehalt oberhalb des Normalbereichs

Mediane der Elementgehalte und Stickstoffquotienten in Kiefernadeln (1. Nadeljahrgang) an BZE-Punkten auf unverlehmtem Sand insgesamt und getrennt nach Flugascheeinfluss. Bewertung der Elementgehalte nach Göttlein (2015) und der Stickstoffquotienten nach Mellert u. Göttlein (2012)

# 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

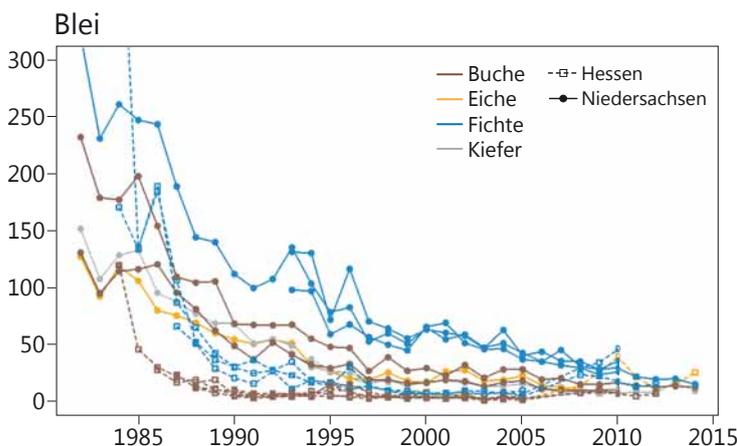
Seit mehr als zwei Jahrzehnten nehmen die Emissionen vor allem in Mitteleuropa und Nordamerika ab, was auf veränderte Produktionstechniken und gesetzliche Vorgaben der jüngsten Vergangenheit zurückzuführen ist. Besonders die dabei angewandten Staubminderungsmaßnahmen und die Stilllegung veralteter Produktionsstätten 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

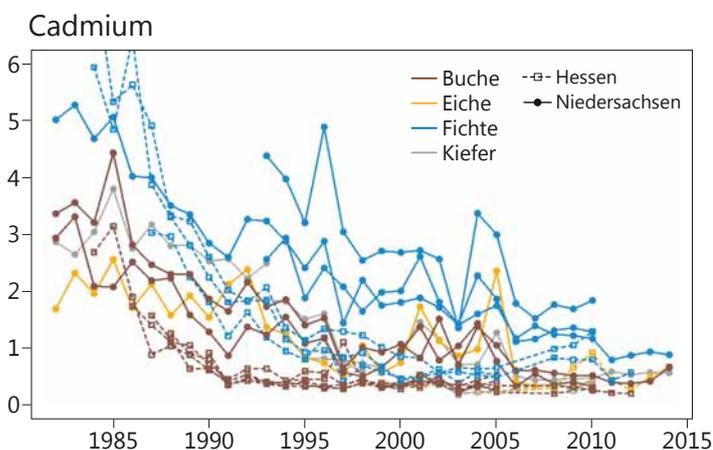
32 Jahren dargestellt. Es ist deutlich zu erkennen, dass sich die Einträge auf allen Flächen seit den 1980er Jahren teilweise um den Faktor 10 verringert haben. Hauptgründe für diese Reduktion sind die in den 1980er Jahren verordnete Abgasreinigung der großen Kohlekraftwerke und das damals beschlossene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

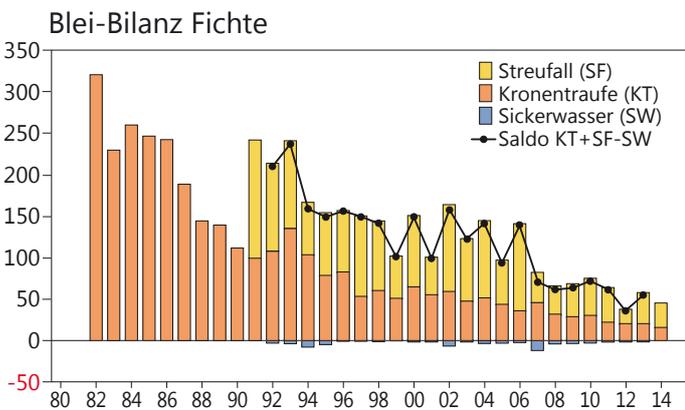
Foto: J. Evers

# Schwermetallbelastung der Wälder

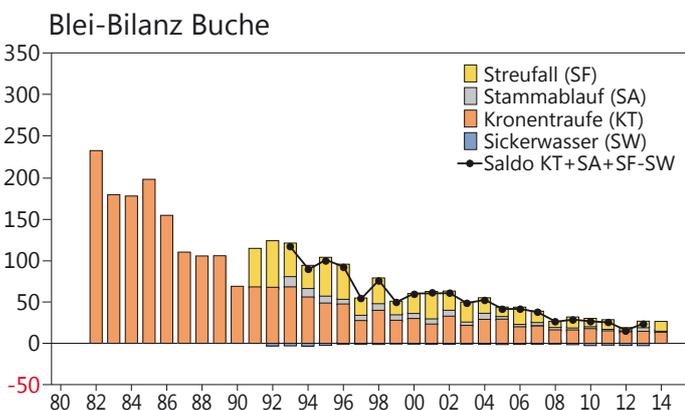
## Schwermetallbilanzen

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 Cadmiumeinträge 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

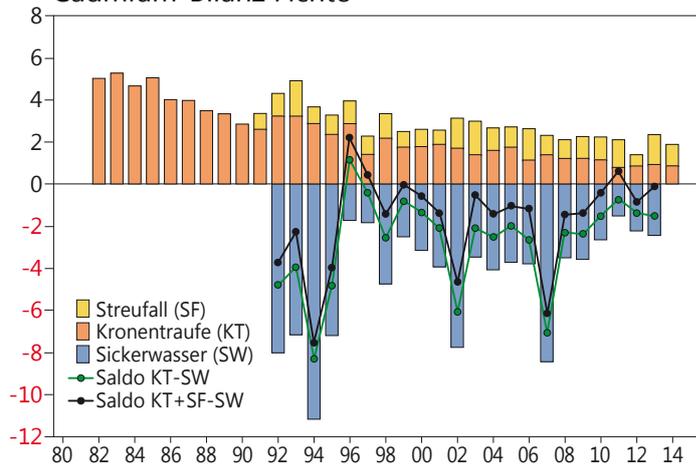


Jährliche Blei-Bilanz und -Salden aus Ein- und Austrägen (g je Hektar) für eine Fichtenfläche im Solling von 1982-2014. Die schwarze Linie entspricht dem Saldo aus Kronentraufe plus Streufall minus Austrag.



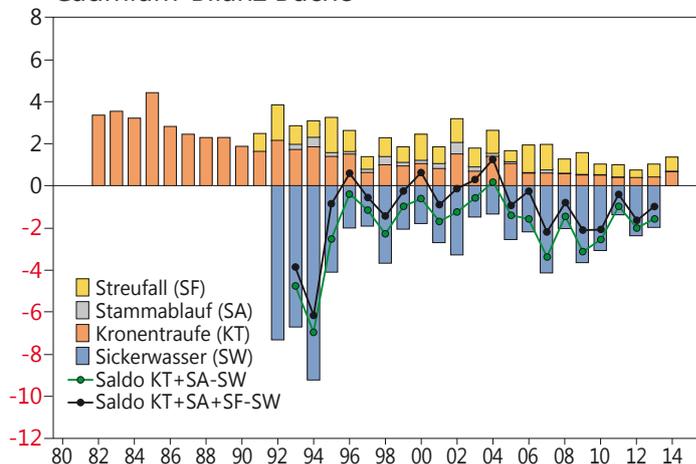
Jährliche Blei-Bilanz und -Salden aus Ein- und Austrägen (g je Hektar) für eine Buchenfläche im Solling von 1982-2014. Die schwarze Linie entspricht dem Saldo aus Kronentraufe plus Stammablauf plus Streufall minus Austrag.

## 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



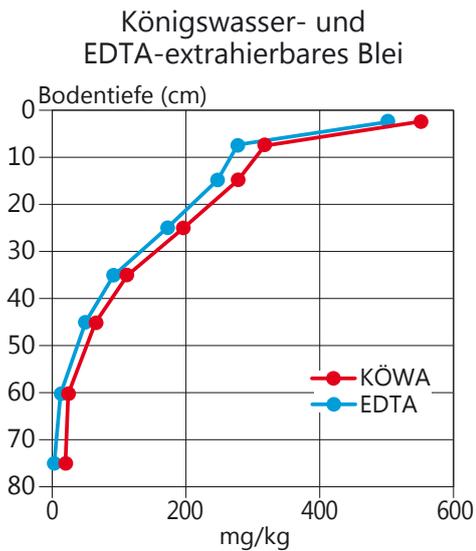
Jährliche Cadmium-Bilanz und -Salden aus Ein- und Austrägen (g je Hektar) für eine Buchenfläche im Solling von 1982-2014. Die schwarze Linie entspricht dem Saldo aus Kronentraufe plus Stammablauf plus Streufall minus Austrag, die grüne Linie dem aus Kronentraufe plus Stammablauf minus Austrag.



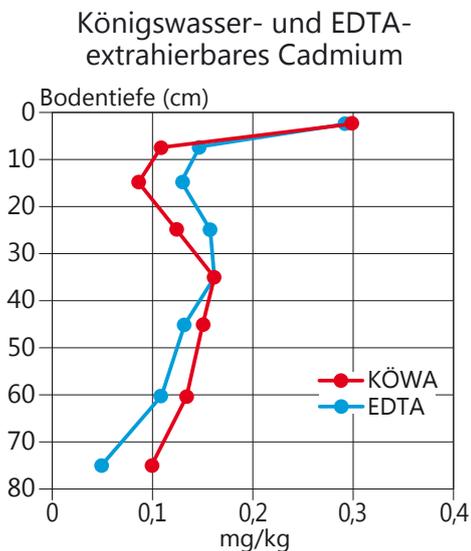
Schwermetallquelle: Computerplatine

Foto: J. Evers

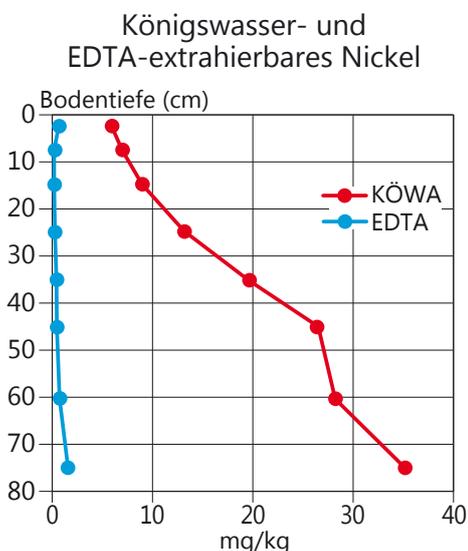
# Schwermetallbelastung der Wälder



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



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



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

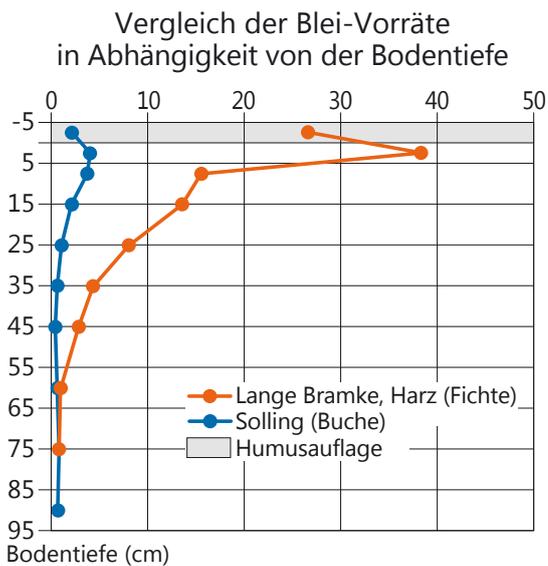


Schwermetallquelle: Kohlekraftwerke

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 37 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

- AK Standortskartierung (2016): Forstliche Standortaufnahme. Arbeitskreis Standortskartierung in der Arbeitsgemeinschaft Forsteinrichtung, 6. Auflage, Eching bei München, 400 S
- 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
- Göttlein A (2015): Grenzwertbereiche für die ernährungsdiagnostische Einwertung der Hauptbaumarten Fichte, Kiefer, Eiche, Buche. *Allgemeine Forst- und Jagdzeitung* 182, 173-186
- 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
- Landesamt für Geologie und Bergwesen Sachsen-Anhalt (2014): Bodenbericht Sachsen-Anhalt 2014. Grundlagen, Parameter und Hintergrundwerte. Mitteilungen zu Geologie und Bergwesen von Sachsen-Anhalt, Band 18, 72 S
- Mellert KH & Göttlein A (2012): Comparison of new foliar nutrient thresholds derives from van den Burg's literature compilation with established central European references. *European Journal of Forest Research* 131, 1461-1472
- Schwanecke W. & Kopp D. (1994): Forstliche Wuchsgebiete und Wuchsbezirke des Landes Sachsen-Anhalt, Forstliche Landesanstalt Sachsen-Anhalt, Haferfeld, 203 S
- 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



# SACHSEN-ANHALT

Ministerium für  
Umwelt, Landwirtschaft  
und Energie

## 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](http://www.nw-fva.de) und  
[www.mule.sachsen-anhalt.de](http://www.mule.sachsen-anhalt.de)

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

Prof. Dr. Johannes Eichhorn  
Abteilungsleiter  
Umweltkontrolle



Dr. Uwe Paar  
Sachgebietsleiter Wald- und  
Bodenzustand, Redaktion



Inge Dammann  
Leiterin der Außenaufnahmen,  
Auswertung, Redaktion



Dr. Jan Evers  
Bodenzustandserhebung



Andreas Schulze  
Datenbank



Jörg Weymar  
Außenaufnahmen und Kontrollen



Michael Spielmann  
Außenaufnahmen und Kontrollen



Dr. Bernd Westphal  
Außenaufnahmen und Kontrollen



Diese Druckschrift wird im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit der Sachsen-Anhaltischen 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.