



SACHSEN-ANHALT

Ministerium für
Umwelt, Landwirtschaft
und Energie

Waldzustandsbericht 2017



NW-FVA
Nordwestdeutsche
Forstliche Versuchsanstalt

Vorwort



Sehr geehrte Leserinnen und Leser,

unsere Wälder sind gefährdet. Klimaveränderung, Stürme, Schädlinge, zu viel Stickstoff: Viele Faktoren beeinträchtigen die grünen Lungen unseres Ökosystems negativ. Dabei ist es doch für uns alle überlebenswichtig, dass es unseren Wäldern gut geht, denn sie erfüllen bekanntermaßen eine Vielzahl von Funktionen und Leistungen. Neben der Bereitstellung von Rohstoffen, vor allem Holz, kommt ihnen eine erhebliche Bedeutung für den Schutz von Böden und Grundwasser zu. Sie sind Lebensraum für zahlreiche Tier- und Pflanzenarten und dienen uns Menschen als Erholungsraum. Die nachhaltige Sicherung der Waldfunktionen (Nutz-, Schutz- und Erholungsfunktion) haben wir im Landeswaldgesetz verankert.

Mit einem Bewaldungsanteil von 26 Prozent (532.481 Hektar Wald) liegt Sachsen-Anhalt unter dem Bundesdurchschnitt mit 32 Prozent. Damit gehört es nicht zu den walddreichen Ländern in Deutschland. Statistisch stehen jeder Einwohnerin und jedem Einwohner ein Viertel Hektar Wald zur Verfügung. Ich freue mich darüber, dass die Waldfläche im Land in den letzten Jahren zugenommen hat.

Die Klimaveränderung und der langanhaltende Stickstoffeintrag stellen eine ernste Gefährdung für unsere Wälder dar. Die aktuellen Stickstoffeinträge übersteigen nach wie vor den Bedarf des Waldes für das Baumwachstum. Eine Verschlechterung des Waldzustandes mindert die Abwehrfunktionen des Waldökosystems gegenüber biotischen und abiotischen Schaderregern.

Im aktuellen Jahr ist das Kiefertriebsterben, hervorgerufen durch den Schwächeparasiten *Sphaeropsis sapinea*, im Bereich der Regionen Anhalt und der Altmark ein wesentlicher Waldschutzschwerpunkt. Darüber hinaus tritt der Eichenprozessionsspinner (*Thaumetopoea processionea*) in großen eichendominierten Wäldern auf, der weitere Vitalitätsverluste der Baumart Eiche mit sich bringt.

Deshalb ist klar: Wir müssen den Waldumbau weiter vorantreiben, um zu einer Verbesserung des Gesundheitszustandes unserer Wälder zu kommen und sie fit für die Klimaveränderungen zu machen. Der Waldumbau umfasst verschiedene forstwirtschaftliche Maßnahmen, mit denen die noch immer dominierenden Kiefern- und Fichtenreinbestände in naturnähere Mischwälder umgewandelt werden. Dies erfolgt in den nächsten Jahrzehnten durch Pflanzung oder das Ausnutzen einer sich selbst einstellenden Naturverjüngung. Damit werden unsere Wälder ihr Aussehen verändern.

Waldökosysteme beherbergen unter mitteleuropäischen Standortbedingungen eine große Vielfalt an pflanzlichen und tierischen Arten. Die Verbesserung der Waldaufbaustrukturen, der Wechsel mosaikartiger Bewirtschaftungsweisen, die Erhöhung der Baumarten- und Strauchartenanteile, der Schutz von Habitaten und Biotopen und die Entwicklung von liegendem und stehendem Totholz tragen wesentlich zur Erhaltung der biologischen Vielfalt bei. Darüber hinaus kann die Aufgabe der Bewirtschaftung von Wäldern ein Beitrag zur Erhaltung der biologischen Vielfalt darstellen. Mittlerweile werden in Sachsen-Anhalt 8,3 Prozent der öffentlichen Wälder (11.343 Hektar) nicht mehr forstlich bewirtschaftet.

Der vorliegende Waldzustandsbericht informiert über die Inhalte und Ergebnisse der erfolgten Waldzustandserhebung in unserem Land und erläutert allgemeinverständlich die Ursachen der Schäden und deren Auswirkungen in unseren Wäldern. Für die umfangreiche Datenerfassung, Datenauswertung und Darstellung der Ergebnisse möchte ich der Nordwestdeutschen Forstlichen Versuchsanstalt hiermit meinen Dank aussprechen.

Ich wünsche allen Leserinnen und Lesern eine interessante Fachlektüre. Lassen sie uns gemeinsam alles tun, um unsere Wälder zu stärken und fit für die Klimaveränderungen zu machen.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'C. Dalbert'.

Prof. Dr. Claudia Dalbert
Ministerin für Umwelt, Landwirtschaft und Energie des Landes Sachsen-Anhalt



Inhaltsverzeichnis

	Seite
Vorwort	2
Inhaltsverzeichnis	3
Hauptergebnisse	4
Inge Dammann und Uwe Paar	
Forstliches Umweltmonitoring	6
Johannes Eichhorn, Uwe Paar, Jan Evers, Andreas Schulze, Jörg Weymar, Henning Meeseburg, Michael Spielmann und Inge Dammann	
WZE-Ergebnisse für alle Baumarten	9
Inge Dammann und Uwe Paar	
Kiefer	11
Fichte	12
Buche	13
Eiche	14
Andere Laub- und Nadelbäume	15
Witterung und Klima	16
Johannes Suttmöller	
Insekten und Pilze	20
Ulrich Bressemer, Michael Habermann, Rainer Hurling, Andreas Rommerskirchen, Gitta Langer und Pavel Plašil	
Standortsinformationen für die Bundeswaldinventur in Sachsen-Anhalt	22
Bernd Ahrends, Paul Schmidt-Walter und Henning Meeseburg	
Stoffeinträge	26
Birte Scheler	
Entwicklung der Bodenversauerung auf Intensiv-Monitoringflächen in Nordwestdeutschland	28
Nils König, Heike Fortmann, Henning Meeseburg und Egbert Schönfelder	
Die Substratgruppe Tonschiefer	32
Jan Evers, Uwe Paar und Inge Dammann	
Literaturverzeichnis	35
Impressum	36

Foto: J. Weymar



Hauptergebnisse

Waldzustandserhebung

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 Kronenverlichtung der Buchen ist im Vergleich zum Vorjahr zurückgegangen, die Kronenverlichtungswerte der anderen Baumarten veränderten sich gegenüber 2016 kaum.

Die Ergebnisse der Waldzustandserhebung zeigen einen Alterstrend: Die mittlere Kronenverlichtung der über 60jährigen Waldbestände liegt im Erhebungszeitraum deutlich über denen der jüngeren Waldbestände. Im WZE-Kollektiv sind rund drei Viertel der Stichprobenbäume älter als 60 Jahre.

Die Baumartenverteilung in der WZE-Stichprobe in Sachsen-Anhalt ergibt für die Kiefer einen Flächenanteil von 49 %, 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 9 % im WZE-Kollektiv vertreten. Die anderen Laubbäume nehmen einen Anteil von 17 % 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 der Kiefer merklich verbessert. Seit 1995 schwankt die mittlere Kronenverlichtung zwischen 10 und 18 %. Mit einer mittleren Kronenverlichtung von 11 % in diesem Jahr ist der Kronenzustand der älteren Kiefer 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 %) im Anschluss an das Trockenjahr 2003 ermittelt. Seit 2010 entsprechen die Verlichtungswerte der älteren Fichten mit 24 bis 29 % wieder dem Niveau vor 2003. Im Jahr 2017 beträgt die mittlere Kronenverlichtung 26 %.

Im Beobachtungszeitraum sind erhebliche Schwankungen in der Belaubungsdichte der älteren Buche aufgetreten, die höchsten Kronenverlichtungswerte wurden im Jahr 2004 (43 %) ermittelt. Mitverursacht durch eine intensive Fruchtbildung und eine warm-trockene Witterung wurde 2016 der zweithöchste Verlichtungswert (39 %) in der Zeitreihe der Waldzustandserhebung erreicht. Im Jahr 2017 bildete die ältere Buche kaum Früchte aus, es wurde eine mittlere Kronenverlichtung von 33 % festgestellt.



Foto: M. Spielmann



Foto: M. Spielmann

Bei der älteren Eiche sind seit der ersten Erhebung vergleichsweise hohe Verlichtungswerte zwischen 31 und 40 % zu beobachten. Im Vorjahr waren die Eichen dichter belaubt, mit 26 % mittlerer Kronenverlichtung wurde der niedrigste Wert seit Beginn der Waldzustandserhebung festgestellt. 2017 sind die Verlichtungswerte leicht angestiegen (28 %). Schäden durch die Eichenfraßgesellschaft sind seit 2013 nur moderat aufgetreten.

Die anderen Laubbäume (alle Alter) weisen eine mittlere Kronenverlichtung von 20 % auf.

Der Anteil starker Schäden liegt für den Gesamtwald in Sachsen-Anhalt 2017 mit 2,7 % etwas über dem Durchschnittswert (2,4 %). Den höchsten Anteil starker Schäden weist in diesem Jahr die Buche (8,1 %) auf.

Während die Hauptbaumarten Kiefer, Buche, Eiche und Fichte 2017 durchschnittliche Absterberaten aufweisen, sind bei den anderen Laubbäumen 2017 überdurchschnittlich (1,1 %) viele Bäume abgestorben. Die Absterberate für den Gesamtwald in Sachsen-Anhalt (0,6 %) überschreitet 2017 den Durchschnittswert (0,3 %).

Witterung und Klima

Das Vegetationsjahr 2016/2017 (Oktober-September) ist das 21. Jahr in Folge, das im Vergleich zur Klimanormalperiode (1961-1990) zu warm ausfiel. Mit einer Mitteltemperatur von 9,5 °C im Flächenmittel des Landes Sachsen-Anhalt betrug die Abweichung +1,0 °C. Insbesondere ein deutlich zu kalter Januar war die Ursache, dass die Temperaturabweichung geringer war als in den Vorjahren.

Die Nichtvegetationsperiode 2016/2017 war in weiten Teilen des Landes Sachsen-Anhalts zu trocken, so dass im Laufe des Frühjahrs die Trockenheit zu einem zunehmenden Problem für die Vegetationsentwicklung zu werden drohte. Insbesondere im Harz und Harzvorland betrug das Niederschlagsdefizit bis zu 30 %. Die hohen Niederschlagsmengen im Juni und Juli, die regional um mehr als 200 % über den langjährigen Mittelwerten lagen, beendeten die Trockenheit. Aufgrund des nassen Sommers wurde mit 640 mm das langjährige Jahresniederschlagssoll um rund 10 % überschritten.

Hauptergebnisse

Insekten und Pilze

Das Eschentriebsterben ist auf großer Fläche präsent, die Erkrankung kommt bei Eschen aller Altersklassen und auf allen Eschen-Standorten vor. Die heimische Esche ist durch die Pilzerkrankung stark gefährdet.

Das *Diplodia*-Triebsterben der Kiefer tritt seit einigen Jahren in Nordwestdeutschland auf. Untersuchungen der NW-FVA, Abt. Waldschutz, zeigen, dass der Erreger des *Diplodia*-Triebsterbens in Zweigen vorkommen kann, ohne sichtbare Schäden zu verursachen. Sind Kiefern z. B. durch Trockenheit oder Rindenverletzungen in ihrer Vitalität beeinträchtigt, kann es zum Ausbruch des Triebsterbens kommen.

Standortsinformationen für die Bundeswaldinventur in Sachsen-Anhalt

Für bundesweit mehr als 24.000 BWI-Punkte des 4 km x 4 km Grundnetzes konnten die Daten der Bundeswaldinventur um zeitlich und räumlich hochaufgelöste Klima- und Bodendaten ergänzt werden. Die Ableitung von Leitprofilen mit vollständigen horizontweisen Angaben zu Bodenart, Skelettgehalt und Trockenrohdichte und die Ableitung von Klimadaten in hoher zeitlicher Auflösung erlauben eine präzise Modellierung des Wasserhaushaltes. Diese zeigt, dass in den letzten 50 Jahren das Trockenstressrisiko aufgrund des Klimawandels zugenommen hat. Ein Trend, der sich vermutlich noch verschärfen wird.

Stoffeinträge

Die Deposition ist in Wäldern für viele Nähr- und Schadstoffe eine bedeutende Eintragsquelle. Durch vielfältige Maßnahmen zur Luftreinhaltung konnte die ehemals sehr hohe Belastung durch Schwefeleinträge deutlich reduziert



Foto: J. Evers

werden. 2016 betrug der Sulfatschwefeleintrag je Hektar 2,3 kg (Nedlitz Kiefer), 2,4 kg (Klötze Kiefer) und 3,6 kg (Klötze Douglasie).

Der Eintrag von Nitrat und Ammonium ist auf den Monitoringflächen ebenfalls zurückgegangen. 2016 lag der anorganische Stickstoffeintrag mit der Gesamtdosition je Hektar zwischen 12,8 kg (Klötze Kiefer) und 14,4 kg (Klötze Douglasie). Er übersteigt damit nach wie vor den Bedarf des Waldes für das Baumwachstum.

Durch den Rückgang des Schwefeleintrags ist der anorganische Stickstoffeintrag ($\text{NH}_4 + \text{NO}_3$) mit Anteilen zwischen 83 und 88 % der Hauptverursacher der Gesamtsäurebelastung.

Entwicklung der Bodenversauerung auf Intensiv-Monitoringflächen in Nordwestdeutschland

Bei 30 von 47 Intensiv-Monitoringflächen in Nordwestdeutschland handelt es sich um basenarme Standorte mit tiefgründiger Versauerung. Anhand der langen Zeitreihen einer Buchen- und einer Fichtenfläche im Solling sowie einiger anderer Flächen lässt sich der Versauerungsprozess im Boden seit den 1960er Jahren nachverfolgen: die Basensättigung geht zurück, die Calciumvorräte nehmen ab und die austauschbaren Aluminiumgehalte steigen an. Dank des starken Rückgangs der Säureinträge in die Wälder scheint diese Entwicklung seit den 2000er Jahren nicht weiter fortzuschreiten.

Mit Kalkungsmaßnahmen wird der Bodenversauerung entgegengewirkt und damit eine Stabilisierung der bodenchemischen Verhältnisse erreicht. Die Kalkung hebt die Basensättigung, wirkt weiteren Nährstoffverlusten entgegen und führt zu einer Verlagerung von organischem Kohlenstoff aus dem Auflagehumus in den Mineralboden.

Substratgruppe Tonschiefer

Die Substratgruppe Tonschiefer kommt an 9 % der BZE II-Punkte in Sachsen-Anhalt vor. Diese Tonschiefer-Standorte liegen alle in der submontanen Stufe des Harzes.

Tonschiefer ist ein Sedimentgestein, das je nach Sedimentanlieferung und -ablagerung sehr verschieden zusammengesetzt ist. Dementsprechend reicht die Trophie von der Nährkraftstufe ziemlich arm bis zu den Nährkraftstufen reich und kräftig. Überwiegend haben sich Braunerden ausgebildet.

Zum Zeitpunkt der BZE II sind die Tonschiefer-Standorte vorwiegend mit Fichte und Buche bestockt.

Die durchschnittliche Basensättigung beträgt auf Profilebene bis 90 cm Bodentiefe 26 % und liegt damit im gering-mittleren Bewertungsbereich. Tendenziell ist die Basensättigung zwischen der BZE I und der BZE II leicht abgesunken. Wegen der unterschiedlichen chemischen Zusammensetzung der Tonschiefer ist allerdings die Spanne der Basensättigungswerte weit und auch die Gehalte an austauschbaren Nährstoffen sind sehr verschieden.

Die Analyse der Nährelementgehalte in den Fichtennadeln zeigt eine luxuriöse Versorgung der Fichten mit Stickstoff und Calcium. Die Phosphor-, Kalium- und Magnesiumgehalte befinden sich im Normalbereich, wobei die N/K-Quotienten unharmonische Elementverhältnisse anzeigen.

Forstliches Umweltmonitoring

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

Aufgaben

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

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

Konzept

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

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

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

An den Level I-Punkten werden folgende Erhebungen durchgeführt:

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

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

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

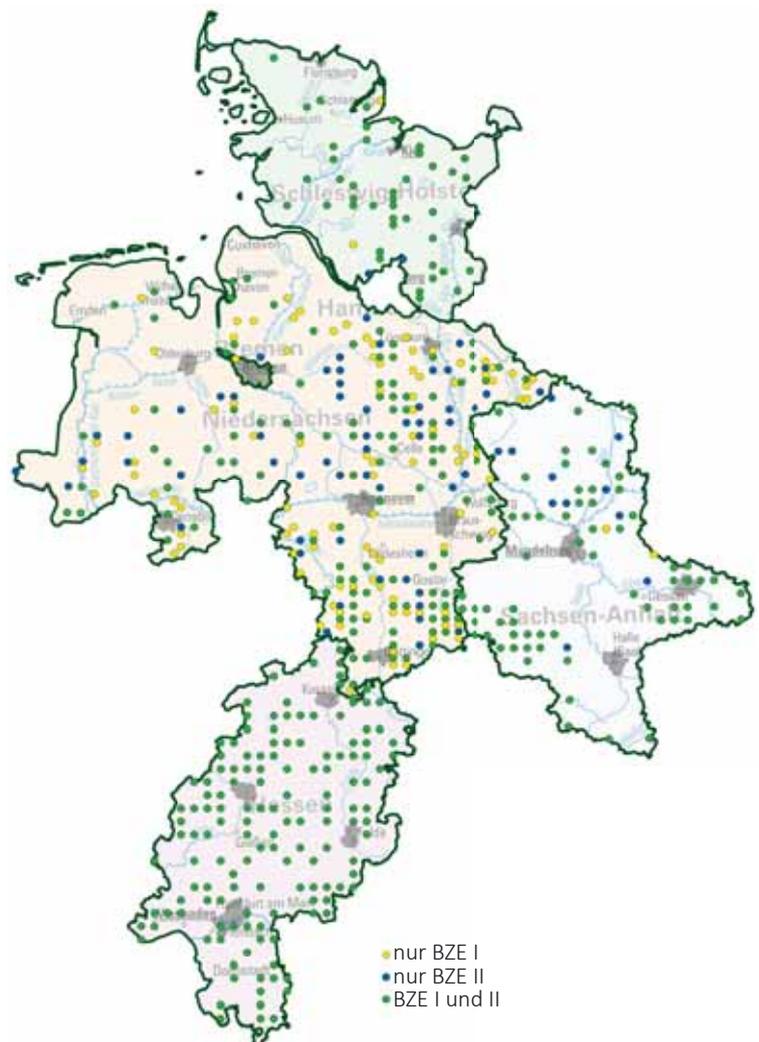
- Chemischer und physikalischer Bodenzustand, Nadel-/Blatternahrung, Baumwachstum, Bodenvegetation, Kronen- und Baumzustand, abiotische und biotische Faktoren.

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

- Deposition, Bodenlösung, Streufall, Meteorologie und Bodenhydrologie.

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

Übersichtserhebung (Level I - BZE)



Forstliches Umweltmonitoring

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

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

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

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

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

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

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

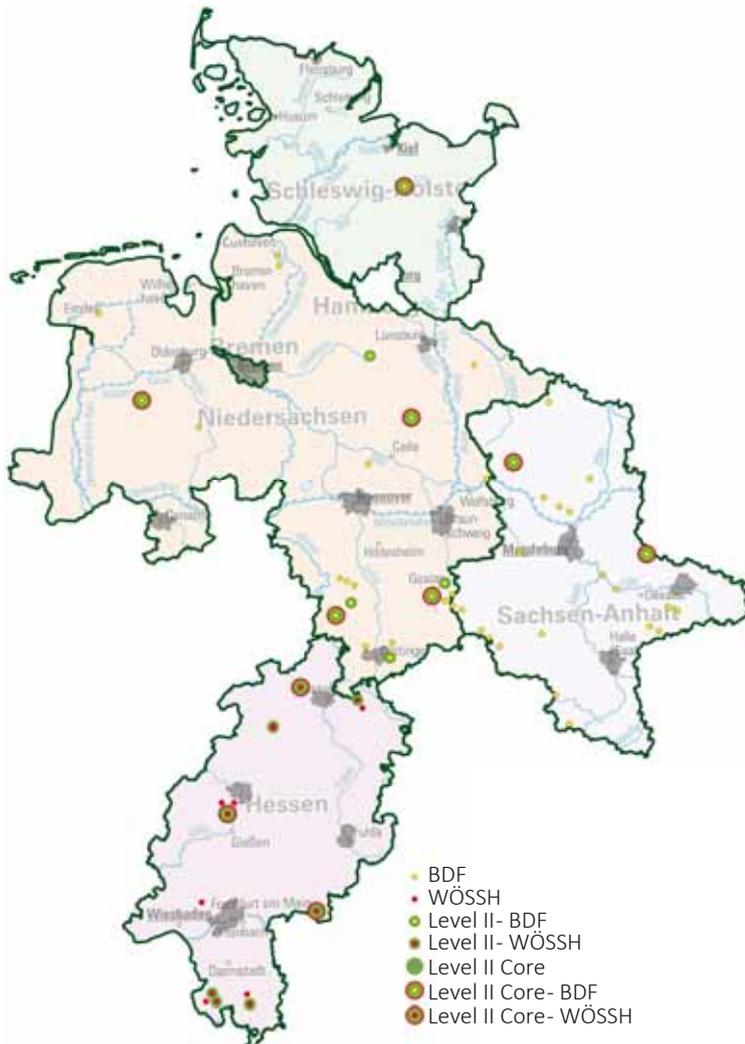
Das Untersuchungsdesign der Forstlichen Umweltkontrolle für die Bereiche Level I, Intensives Forstliches Umweltmonitoring und Experimentalflächen für die Länder Hessen, Niedersachsen, Bremen, Sachsen-Anhalt und Schleswig-Holstein zeigen die Abbildungen unten.



Level II-Fläche Klötze

Foto: O. Schwerdtfeger

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 6 Bäume dieser Baumartengruppen am WZE-Punkt vorhanden waren. Im Jahr 2017 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 2017. 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 über 60 Jahre) mit relativ gering streuenden Kronenverlichtungen sind enge Konfidenzintervalle auch bei einer geringen Stichprobenanzahl sehr viel leichter zu

95 %-Konfidenzintervalle für die Kronenverlichtung der Baumartengruppen und Altersstufen der Waldzustandserhebung 2017 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	482	38	4x4 km	6,3
	bis 60 Jahre	124	9	4x4 km	4,3
	über 60 Jahre	358	32	4x4 km	5,6
Eiche	alle Alter	680	68	4x4 km	3,7
	bis 60 Jahre	158	15	4x4 km	7,7
	über 60 Jahre	522	56	4x4 km	3,2
Fichte	alle Alter	681	35	4x4 km	4,6
	bis 60 Jahre	255	11	4x4 km	3,5
	über 60 Jahre	426	24	4x4 km	4,7
Kiefer	alle Alter	835	43	8x8 km	1,8
	bis 60 Jahre	168	9	8x8 km	5,6
	über 60 Jahre	667	34	8x8 km	1,6
andere Laub-bäume	alle Alter	854	78	4x4 km	3,6
	bis 60 Jahre	336	38	4x4 km	8,0
	über 60 Jahre	518	55	4x4 km	2,9
andere Nadelbäume	alle Alter	151	15	4x4 km	4,1
	bis 60 Jahre	121	10	4x4 km	3,7
	über 60 Jahre	30	5	4x4 km	16,6
alle Baumarten	alle Alter	1704	71	8x8 km	2,8
	bis 60 Jahre	456	23	8x8 km	6,1
	über 60 Jahre	1248	54	8x8 km	3,0



Schulung der WZE-Aufnahmeteams Foto: M. Spielmann

erzielen als für heterogene Auswerteeinheiten (z. B. Buche, alle Altersstufen), die sowohl in der Altersstruktur als auch in den Kronenverlichtungswerten ein breites Spektrum umfassen.

Aufnahmeparameter

Bei der Waldzustandserhebung erfolgt eine visuelle Beurteilung des Kronenzustandes der Waldbäume, denn Bäume reagieren auf Umwelteinflüsse u. a. mit Änderungen in der Belaubungsdichte und der Verzweigungsstruktur. Wichtigstes Merkmal ist die Kronenverlichtung der Waldbäume, deren Grad in 5 %-Stufen für jeden Stichprobenbaum erfasst wird. Die Kronenverlichtung wird unabhängig von den Ursachen bewertet, lediglich mechanische Schäden (z. B. das Abbrechen von Kronenteilen durch Wind) gehen nicht in die Berechnung der Ergebnisse der Waldzustandserhebung ein. Die Kronenverlichtung ist ein unspezifisches Merkmal, aus dem nicht unmittelbar auf die Wirkung von einzelnen Stressfaktoren geschlossen werden kann. Sie ist daher geeignet, allgemeine Belastungsfaktoren der Wälder aufzuzeigen. Bei der Bewertung der Ergebnisse stehen nicht die absoluten Verlichtungswerte im Vordergrund, sondern die mittel- und langfristigen Trends der Kronenentwicklung. Zusätzlich zur Kronenverlichtung werden weitere sichtbare Merkmale an den Probestämmen wie der Vergilbungsgrad der Nadeln und Blätter, die aktuelle Fruchtbildung sowie Insekten- und Pilzbefall erfasst.

Mittlere Kronenverlichtung

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

Starke Schäden

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

WZE-Ergebnisse für alle Baumarten

Inge Dammann und Uwe Paar

Mittlere Kronenverlichtung

Die Waldzustandserhebung 2017 weist als Gesamtergebnis für die Waldbäume in Sachsen-Anhalt (alle Baumarten, alle Alter) eine mittlere Kronenverlichtung von 17 % aus. Im Beobachtungszeitraum wurden die höchsten Kronenverlichtungswerte (22 bis 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 %.

Die mittlere Kronenverlichtung der jüngeren (bis 60jährigen) Bestände zeigte zwischen 2007 und 2015 konstant niedrige Werte zwischen 7 und 9 %, 2016 und 2017 beträgt die mittlere Kronenverlichtung 11 bzw. 12 %.

Die älteren (über 60jährigen) Buchen, Eichen und Fichten zeigen weiterhin einen vergleichsweise hohen Verlichtungsgrad zwischen 26 und 33 %. Die mittlere Kronenverlichtung der älteren Kiefern liegt sehr viel niedriger (11 %). Der weitgehend stabile Verlauf der mittleren Kronenverlichtung für den Gesamtwald wird wesentlich durch die Kiefer als häufigste Baumart in Sachsen-Anhalt geprägt.



Foto: T. Ullrich

Mittlere Kronenverlichtung in %

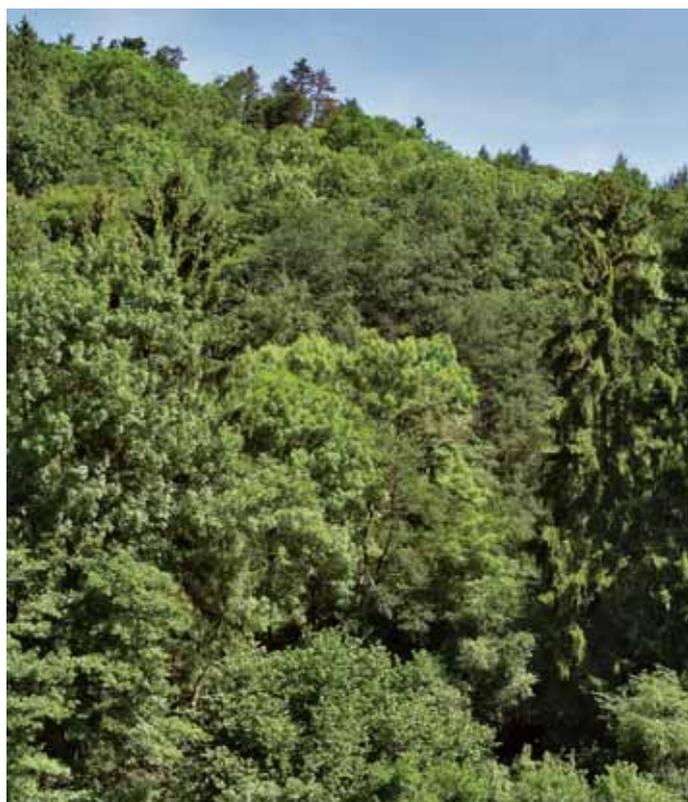
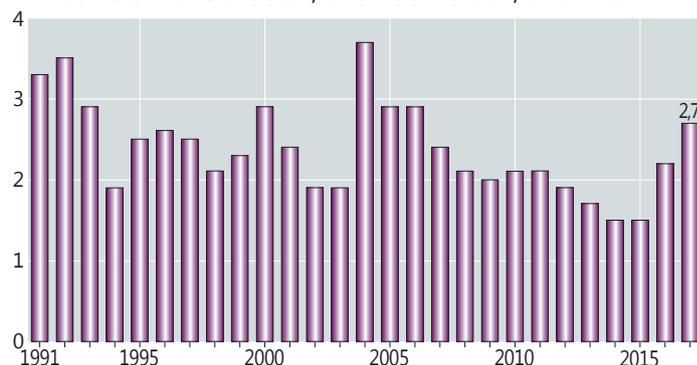


Foto: M. Spielmann

Anteil starker Schäden, alle Baumarten, alle Alter in %



Anteil starker Schäden

Der Anteil starker Schäden liegt im Mittel der Zeitreihe bei 2,4 %, 2017 wird dieser Mittelwert leicht überschritten (2,7 %). Für die älteren Buchen und Eichen wurden im Beobachtungszeitraum mehrmals erhöhte Anteile an starken Schäden (bis 14 %) registriert. Für die älteren Kiefern werden dagegen durchgehend niedrige Werte festgestellt. Bei den älteren Buchen bleibt der Anteil starker Schäden 2017 hoch (8,1 %). Die Spanne reicht in diesem Jahr von 1,5 % (ältere Kiefer) bis 8,1 % (ältere Buche).

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 2017 überschritten (0,6 %). Überdurchschnittliche Absterberaten wurden in der WZE-Stichprobe 1992-1993 sowie 1997 (Eiche) beobachtet. Es folgte eine erneute Phase mit erhöhten Absterberaten im Zeitraum 2004-2007 als Reaktion auf das Trockenjahr 2003 in Kombination mit Insektenbefall. Auch im Jahr 2010 lag die Absterberate (0,5 %) über dem Durchschnittswert der Zeitreihe. 2017 überschreitet die Absterberate erneut das Mittel der Zeitreihe (0,6 %). Die Spanne bei den Baumarten reicht in diesem Jahr von 0 % (Buche und andere Nadelbäume) bis 1,1 % (andere Laubbäume).

Jährliche Absterberate, alle Baumarten, alle Alter in %

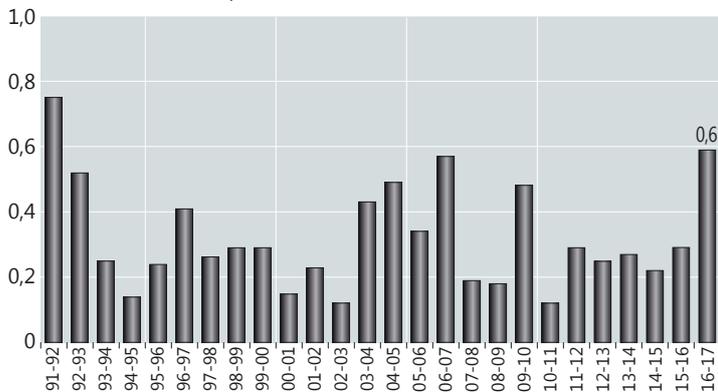


Foto: M. Spielmann

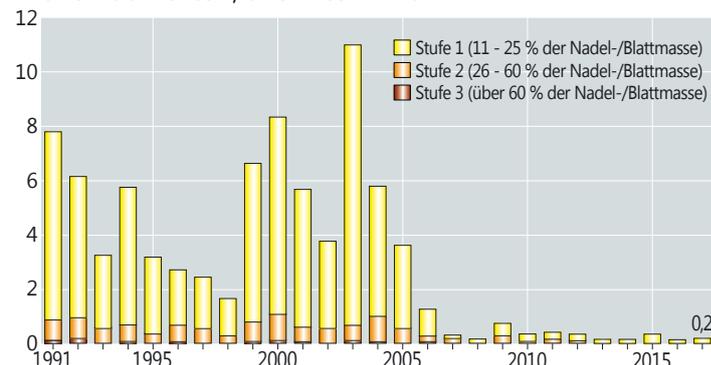


Foto: T. Ullrich

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 0,2 % wird in diesem Jahr erneut ein niedriger Wert ermittelt.

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



Kiefer

Ältere Kiefer

Die älteren Kiefern wiesen 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 2017 11 %.

Jüngere Kiefer

Die jüngeren Kiefern weisen seit 2005 ein geringes Kronenverlichtungsniveau auf, in diesem Jahr beträgt die mittlere Kronenverlichtung 6 %.

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 %

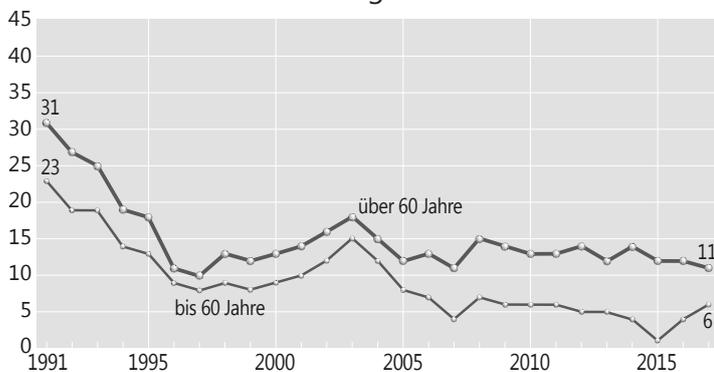
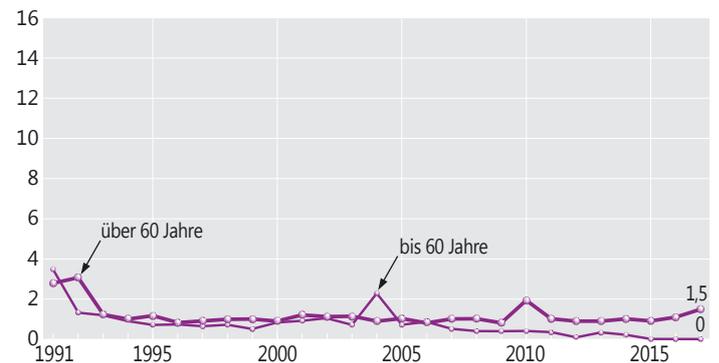


Foto: M. Spielmann

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. 2017 überschreiten die älteren Kiefern mit 1,5 % den Mittelwert, bei den jüngeren Kiefern sind seit drei Jahren keine starken Schäden aufgetreten.

Anteil starker Schäden in %



Absterberate

Die Absterberate der Kiefer liegt im Mittel der Jahre 1991-2017 bei 0,2 %. 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 2017 ist eine sehr geringe Absterberate (0,1 %) ermittelt worden.



Foto: M. Spielmann

Fichte

Ältere Fichte

Bei den älteren Fichten werden im gesamten Beobachtungszeitraum vergleichsweise hohe Kronenverlichtungswerte zwischen 21 und 35 % registriert. Nach dem Rekordsommer 2003 hatten sich die Kronenverlichtungswerte für einige Jahre erhöht. 2017 beträgt die mittlere Kronenverlichtung 26 %.

Jüngere Fichte

Für die Fichte ist ein deutlicher Alterstrend festzustellen. Die jüngeren Fichten liegen mit einer mittleren Kronenverlichtung von 7 % 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.

Mittlere Kronenverlichtung in %

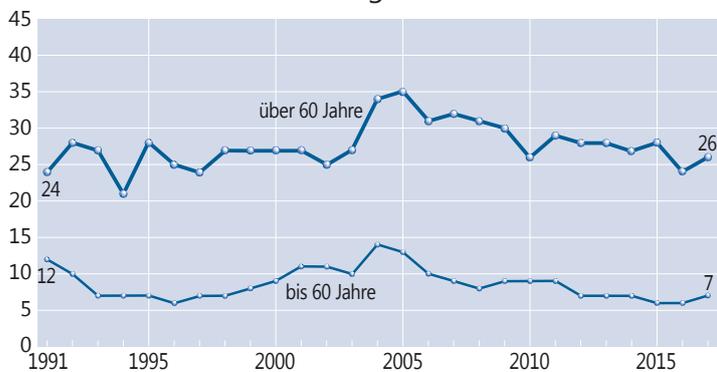


Foto: J. Evers

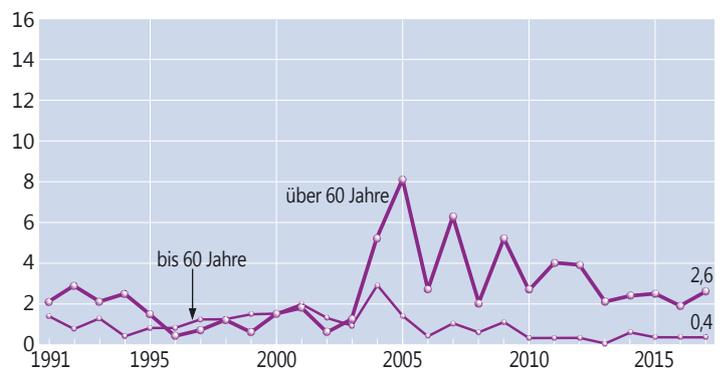


Foto: T. Ullrich

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 2017 beträgt der Anteil stark geschädigter älterer Fichten 2,6 %, bei den jüngeren Fichten sind es 0,4 %.

Anteil starker Schäden in %



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 2017 beträgt die Absterberate 0,3 %.

Buche

Ältere Buche

Bei den älteren Buchen sind in diesem Jahr die Verlichtungswerte im Vergleich zum Vorjahr leicht zurückgegangen. Zu Beginn der Zeitreihe waren für die Buche vergleichsweise günstige Belaubungsdichten ermittelt worden, anschließend stiegen die Kronenverlichtungswerte sprunghaft an. Höchstwerte wurden 2004 mit 43 % und 2016 mit 39 % 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, 2017 blieb die Fruchtbildung weitgehend aus. Die durch eine Hitzewelle im August 2016 ausgelöste frühe Herbstverfärbung und der vorzeitige Blattabfall auf sonnenexponierten und flachgründigen Standorten hat sich 2017 nicht nachhaltig auf den Austrieb und die Kronenentwicklung der Buchen ausgewirkt.

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 Verlichtung zu (11 %). 2017 gingen die Verlichtungswerte wieder zurück (7 %).

Starke Schäden

Wie beim Verlauf der mittleren Kronenverlichtung der älteren Buchen 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 den älteren Buchen auch 2016 zu einer Zunahme der starken Schäden. Im Gegensatz zur mittleren Kronenverlichtung ist für die starken Schäden 2017 kein Rückgang zu verzeichnen (8,1 %).

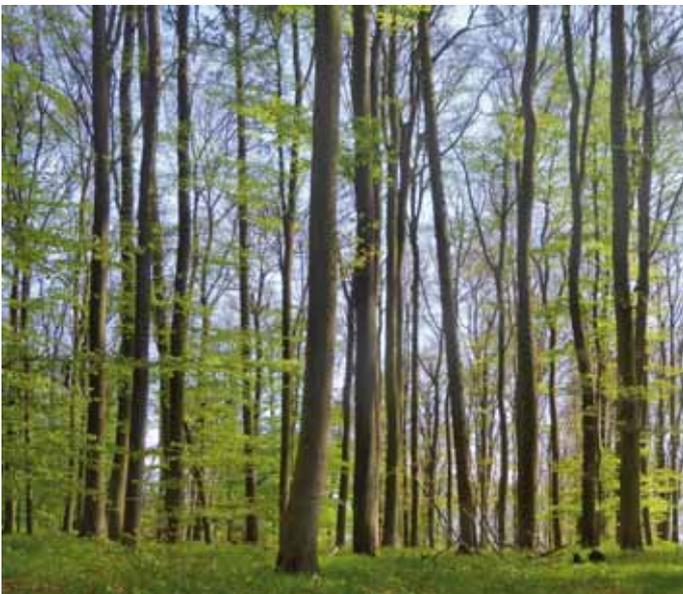
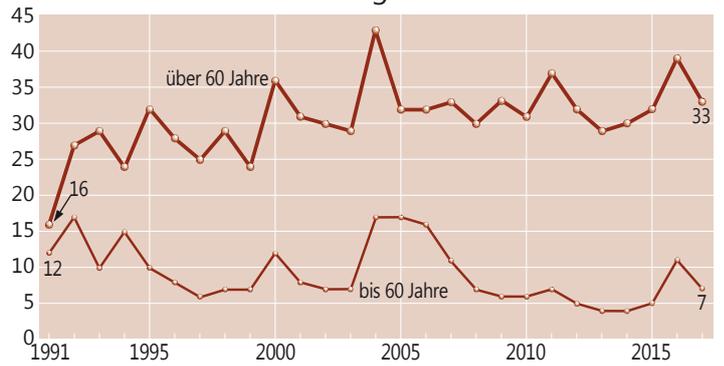
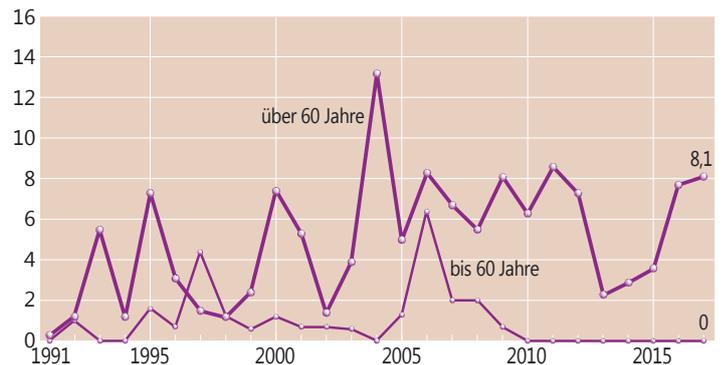


Foto: T. Ullrich

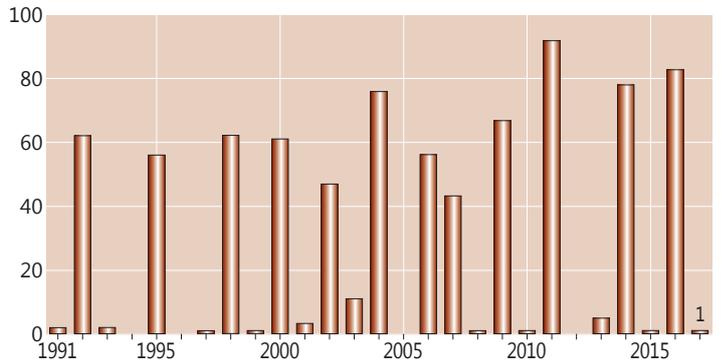
Mittlere Kronenverlichtung in %



Anteil starker Schäden in %



Anteil mittel und stark fruktifizierender älterer Buchen in %



Absterberate

Im Vergleich zu den anderen Hauptbaumarten weist die Buche die niedrigste Absterberate auf. Im Mittel der Jahre 1991-2017 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 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 1991-2017 alle 2,3 Jahre eine starke Mast. Literaturrecherchen (Paar et al. 2011) hingegen ergaben für den Zeitraum 1839-1987 Abstände zwischen zwei starken Masten für 20-Jahresintervalle zwischen 3,3 und 7,1 Jahren.

Eiche

Ältere Eiche

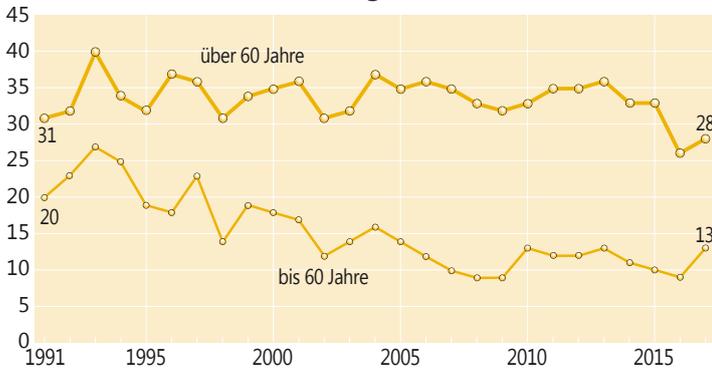
Die mittlere Kronenverlichtung der älteren Eichen ist 2017 zwar tendenziell leicht angestiegen, mit 28 % wird aber der zweitniedrigste Wert in der Zeitreihe festgestellt.

Die Entwicklung des Kronenzustandes der Eichen wird stark durch Insekten- und Pilzbefall beeinflusst. 2017 haben vermutlich Frostschäden bei der Eiche zu höheren Verlichtungswerten beigetragen, denn die Eiche hat in diesem Jahr aufgrund der warmen Frühjahrstemperaturen zeitig mit dem Austrieb begonnen. Kalte Nächte mit Temperaturen unter -5 °C Ende April haben lokal zu Frostschäden an der Eiche geführt.

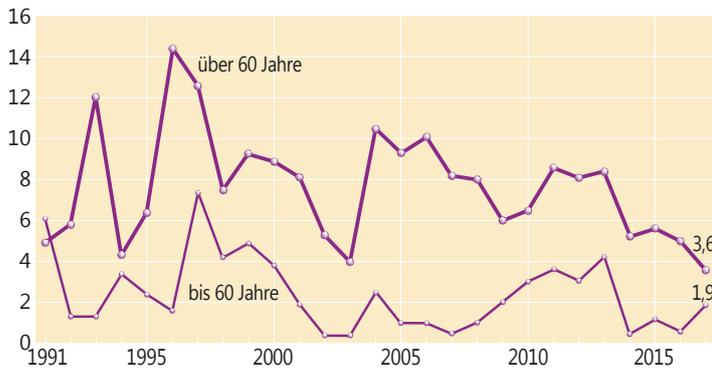
Jüngere Eiche

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 13 %.

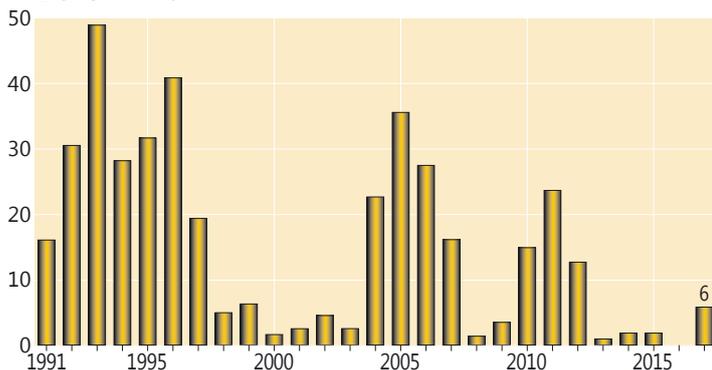
Mittlere Kronenverlichtung in %



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: M. Spielmann

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 7,7 % 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 3,6 %. Dies ist der niedrigste Wert im Beobachtungszeitraum.

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 2017 liegt die Absterberate (0,4 %) unter dem langjährigen Mittel.

Fraßschäden

Die periodische Vermehrung von Schmetterlingsraupen der so genannten 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 1991-1997 beobachtet. Von 2004-2007 und von 2010-2012 folgten zwei weitere Perioden mit Fraßschäden. 2017 wurden an 6 % der älteren Eichen 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 an dieser Referenzstichprobe, bestehend aus 13 WZE-Punkten, haben 2017 zu 24 % mittel und stark fruktifiziert.

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 18 % 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. Das Vorkommen der anderen Nadelbäume ist mit 1 % so gering, dass auf eine Darstellung der Ergebnisse verzichtet wird.



Foto: T. Ullrich

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 zwischen 2004 (25 % mittlere Kronenverlichtung) und 2014 (15 %) rückläufig, seit 2015 hat sich die mittlere Kronenverlichtung wieder erhöht (2017: 20 %).



Foto: J. Evers

Starke Schäden

Für die anderen Laubbäume (alle Alter) liegt der Anteil starker Schäden im Mittel der Jahre 1991-2017 bei 4,6 % und damit höher als der langjährige Durchschnitt für alle Baumarten (2,4 %). Im Jahr 2017 beträgt der Anteil starker Schäden 3,9 %.

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 2017 ist die Absterberate vergleichsweise hoch (1,1 %).



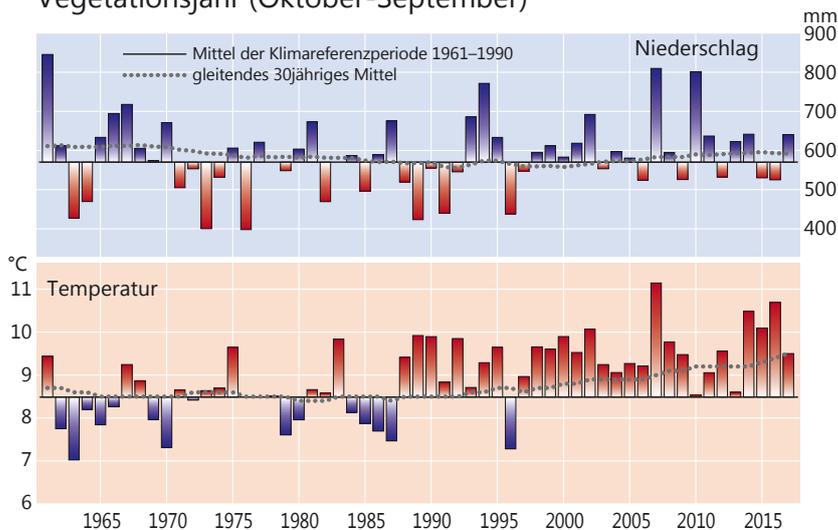
Foto: J. Weymar

Witterung und Klima

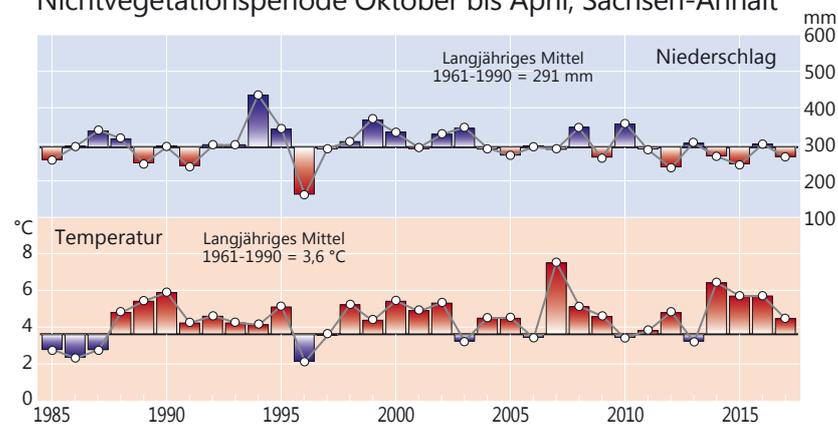
Johannes Suttmöller

Der Witterungsverlauf im Vegetationsjahr 2016/17 (Oktober bis September) war in Sachsen-Anhalt äußerst abwechslungsreich. Die Mitteltemperatur über die gesamte Landesfläche (Berechnungsgrundlage 200 m Raster) lag 1 °C über dem langjährigen Durchschnitt der Klimanormalperiode 1961-1990. Dabei zeigt die Auswertung der 70 Klimastationen des Deutschen Wetterdienstes (DWD), dass die Abweichung in der Vegetationsperiode (Mai bis September) mit +0,9 °C nur unwesentlich geringer ausgefallen ist als in der Nichtvegeta-

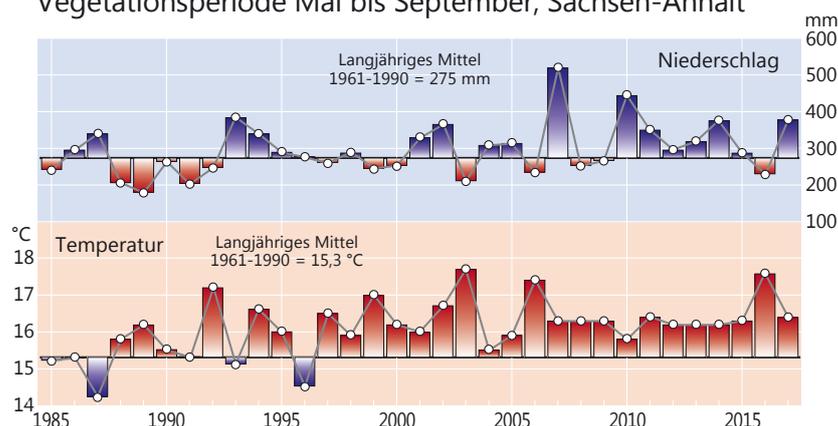
Abweichungen von Niederschlag und Temperatur vom Mittel der Klimareferenzperiode 1961-1990 und gleitendes 30jähriges Mittel in Sachsen-Anhalt, Jahreswerte für das Vegetationsjahr (Oktober-September)



Langjährige Klimawerte (1985-2017)
Nichtvegetationsperiode Oktober bis April, Sachsen-Anhalt



Langjährige Klimawerte (1985-2017)
Vegetationsperiode Mai bis September, Sachsen-Anhalt



Daten des Deutschen Wetterdienstes, Offenbach

tionszeit (Oktober bis April). Die Niederschlagsverteilung weist wie die Temperatur starke jahreszeitliche Schwankungen auf. Die Ergebnisse der mehr als 200 Niederschlagsstationen zeigen für das Vegetationsjahr einen leichten Niederschlagsüberschuss (+10 %). In der Nichtvegetationszeit fielen rund 90 % der üblichen Niederschlagsmenge, während in der Vegetationsperiode das Soll mit mehr als 130 % deutlich übertroffen wurde. 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.

Temperatur und Niederschlag im langjährigen Verlauf

Die langjährigen Messdaten für den Zeitraum von 1961 bis 2017 zeigen seit 1988 eine gegenüber der Referenzperiode (1961-1990) erhöhte Temperatur. Um den gemessenen Temperaturanstieg zu verdeutlichen, wurde das gleitende 30jährige Mittel berechnet, das für jedes Jahr den Mittelwert aus den vorausgegangenen 30 Jahren bildet (gepunktete Linie in der Abb. links oben). Die langjährige Mitteltemperatur beträgt 9,5 °C und liegt damit 1 °C über der Mitteltemperatur der Klimanormalperiode. Die Mitteltemperatur für das Vegetationsjahr 2017 lag im Flächenmittel des Landes Sachsen-Anhalt ebenfalls bei 9,5 °C und damit 1,0 °C über dem langjährigen Mittelwert bzw. 0,3 °C über dem Wert der wärmeren Periode 1981-2010.

Wie bereits in den Vorjahren waren die meisten Monate zu warm (7 von 12). Die höchsten positiven Abweichungen wurden in den Monaten Februar (+2,2 °C) und März (+3,7 °C) gemessen. Auch die Monate Dezember, Mai, Juni und August waren mit jeweils über +1 °C überdurchschnittlich warm. Etwas zu kühl waren der Oktober (-0,4 °C) und der Januar, der mit einer Mitteltemperatur von -1,5 °C um 1,0 °C zu kalt ausfiel.

Die Niederschlagssumme im Vegetationsjahr 2017 betrug rund 640 mm. Dies entspricht mehr als 110 % des langjährigen Mittelwertes von 571 mm. Die Niederschlagshöhe schwankt im Zeitraum 1961-2017 von Jahr zu Jahr mit Werten von rund 400 mm (1976) bis über 800 mm (2007 und 2010) sehr stark (Abb. links oben). Perioden mit überdurchschnittlich hohen Niederschlägen wechseln mit trockenen Perioden ab, so dass keine einheitliche Tendenz festgestellt werden kann.

Im gleitenden 30jährigen Mittel beträgt die Niederschlagssumme rund 590 mm und liegt damit etwas über dem langjährigen Mittelwert.

Die Nichtvegetationszeit von Oktober 2016 bis April 2017 war mit 4,5 °C um 0,9 °C wärmer als der langjährige Durchschnitt der Klimanormalperiode. Im Vergleich zu wärmeren Periode 1981-2010 betrug die Abweichung dagegen nur +0,2 °C.

Witterung und Klima

In den letzten 30 Jahren war nur die Nichtvegetationsperiode 1995/96 mit einer Abweichung von $-1,5^{\circ}\text{C}$ deutlich zu kühl (s. Abb. Seite 16 Mitte). In der Vegetationszeit (Mai bis September) wurde die Mitteltemperatur von $15,3^{\circ}\text{C}$ mit $16,4^{\circ}\text{C}$ um $+1,1^{\circ}\text{C}$ übertroffen (s. Abb. Seite 16 unten). Zur Mitteltemperatur der Periode 1981-2010 ($16,0^{\circ}\text{C}$) war die Abweichung mit $+0,4^{\circ}\text{C}$ geringer. Damit sind in den letzten 30 Jahren seit 1988 nur die Vegetationsperioden 1993 und 1996 im Vergleich zur Klimanormalperiode zu kühl ausgefallen.

Die Niederschläge fielen über das Vegetationsjahr betrachtet sehr ungleichmäßig. In der Nichtvegetationsperiode wurden im Flächenmittel von Sachsen-Anhalt 263 mm Niederschlag gemessen (s. Abb. Seite 16 Mitte). Dies sind 90 % des langjährigen Mittelwertes von 291 mm. Die Vegetationsperiode 2017 zeigte dagegen ein komplett anderes Bild. Das Niederschlagsdefizit aus den Vormonaten wurde mehr als ausgeglichen. Die Niederschlagssumme betrug 378 mm und damit rund ein Drittel mehr als im langjährigen Durchschnitt (s. Abb. Seite 16 unten).

Die Erwärmung, die seit Ende der 1980er Jahre gemessen wird, hat sich weiter fortgesetzt. Im Mittel der letzten Jahre betrug der Temperaturanstieg pro Jahr rund $0,05^{\circ}\text{C}$. Setzt sich dieser Trend unverändert fort, ist etwa alle 20 Jahre mit einer weiteren Temperaturerhöhung von 1°C zu rechnen. Bei den Niederschlägen ist in Sachsen-Anhalt seit einigen Jahren zu beobachten, dass insbesondere der Spätwinter und das Frühjahr eher zu trocken ausfallen und damit die Niederschläge in der Nichtvegetationszeit leicht unterdurchschnittlich sind. Dagegen war die Vegetationsperiode in den letzten Jahren häufig zu nass, da hohe Niederschlagsmengen insbesondere in den Sommermonaten das Soll deutlich übertrafen.

Witterungsverlauf von Oktober 2016 bis September 2017

Das Vegetationsjahr 2016/2017 ist bereits das 21. Jahr in Folge, das zu warm ausgefallen ist. Dabei schwankten die Mitteltemperaturen der Monate Oktober bis Dezember um die langjährigen Mittelwerte der Klimanormalperiode 1961-1990. Es folgte ein kalter Januar. Die Monate Februar und März waren mit Temperaturabweichungen von $+2,2^{\circ}\text{C}$ bzw. $+3,7^{\circ}\text{C}$ deutlich zu warm. Die überdurchschnittlich hohen Temperaturen wurden bis in die erste Aprilhälfte hinein gemessen, so dass es zu einem frühzeitigen Beginn in der Vegetationsentwicklung kam. Starke Nachtfröste in der zweiten Aprilhälfte führten zu Frostschäden an der Vegetation. Von Mai bis einschließlich August war es mit Temperaturabweichungen von $+1,0^{\circ}\text{C}$ (Juli) bis $+1,9^{\circ}\text{C}$ (Mai) durchgehend zu warm. Die Temperatur im September entsprach annähernd dem langjährigen Mittelwert.

Die Niederschlagsentwicklung im abgelaufenen Vegetationsjahr verlief in Sachsen-Anhalt sehr unterschiedlich. Nach einem nassen Oktober ($+166\%$) waren alle Monate bis einschließlich April zu trocken oder entsprachen in etwa dem langjährigen Niederschlagssoll. Die Monate November (79%), Dezember (56%) und April (55%) fielen sogar deutlich zu trocken aus. Da bereits die Vegetationsperiode 2016 zu trocken war (80%), hätte sich die Trockenheit mit Beginn der Vegetationsperiode negativ auf die Vitalität der Bäume auswirken können. Allerdings setzten im Mai ver-

mehrt Niederschläge ein, die die Trockenheit verminderten. Ab Juni bis in den August hinein führten wiederholt auftretende Starkniederschlagsereignisse dazu, dass der Sommer deutlich zu nass war. Im Juni fielen im Landesmittel 150 % der sonst üblichen Niederschläge und im Juli sogar über 230 %. Im September wiederum wurde die langjährige Niederschlagsmenge unterschritten (80%). Aufgrund der hohen Sommerniederschläge wurde in Sachsen-Anhalt das Niederschlagssoll leicht übertroffen. Wie bereits in den letzten Jahren zu beobachten war, fallen die meisten Monate im Jahresverlauf jedoch zu trocken aus. Überdurchschnittlich hohe Niederschläge in einzelnen Monaten führen dazu, dass die Niederschlagsmenge im Vegetationsjahr in Sachsen-Anhalt nur geringfügig von den langjährigen Mittelwerten der Klimanormalperiode abweichen.

In der Nichtvegetationszeit lag die Mitteltemperatur in den wärmsten Regionen Sachsen-Anhalts (Altmark, Börde, Altmoränenland) bei knapp $5,0^{\circ}\text{C}$. In den Hochlagen des Harzes betrug die Mitteltemperatur von Oktober bis April weniger als 1°C . Die Temperaturabweichung zum Temperaturmittel der Periode 1961-1990 war im Harzvorland und Teilen der Börde mit über $+1,0^{\circ}\text{C}$ am höchsten. Im Süden und Südosten des Landes wurde der langjährige Mittelwert mit weniger als $+0,5^{\circ}\text{C}$ nur geringfügig überschritten (s. Abb. Seite 18). In der Vegetationsperiode treten die höchsten Abweichungen von mehr als $+1,5^{\circ}\text{C}$ im Vergleich zum Mittelwert der Referenzperiode im Harzvorland auf. Deutlich geringer ist die positive Temperaturabweichung in Teilen der Börde und des Altmoränenlandes sowie im äußersten Nordwesten und Nordosten des Landes (weniger als $+1,0^{\circ}\text{C}$ Abweichung). Die Temperaturspanne in der Vegetationsperiode reicht von knapp 11°C in den Harzhochlagen bis zu mehr als 17°C in den tieferen Lagen des Landes.

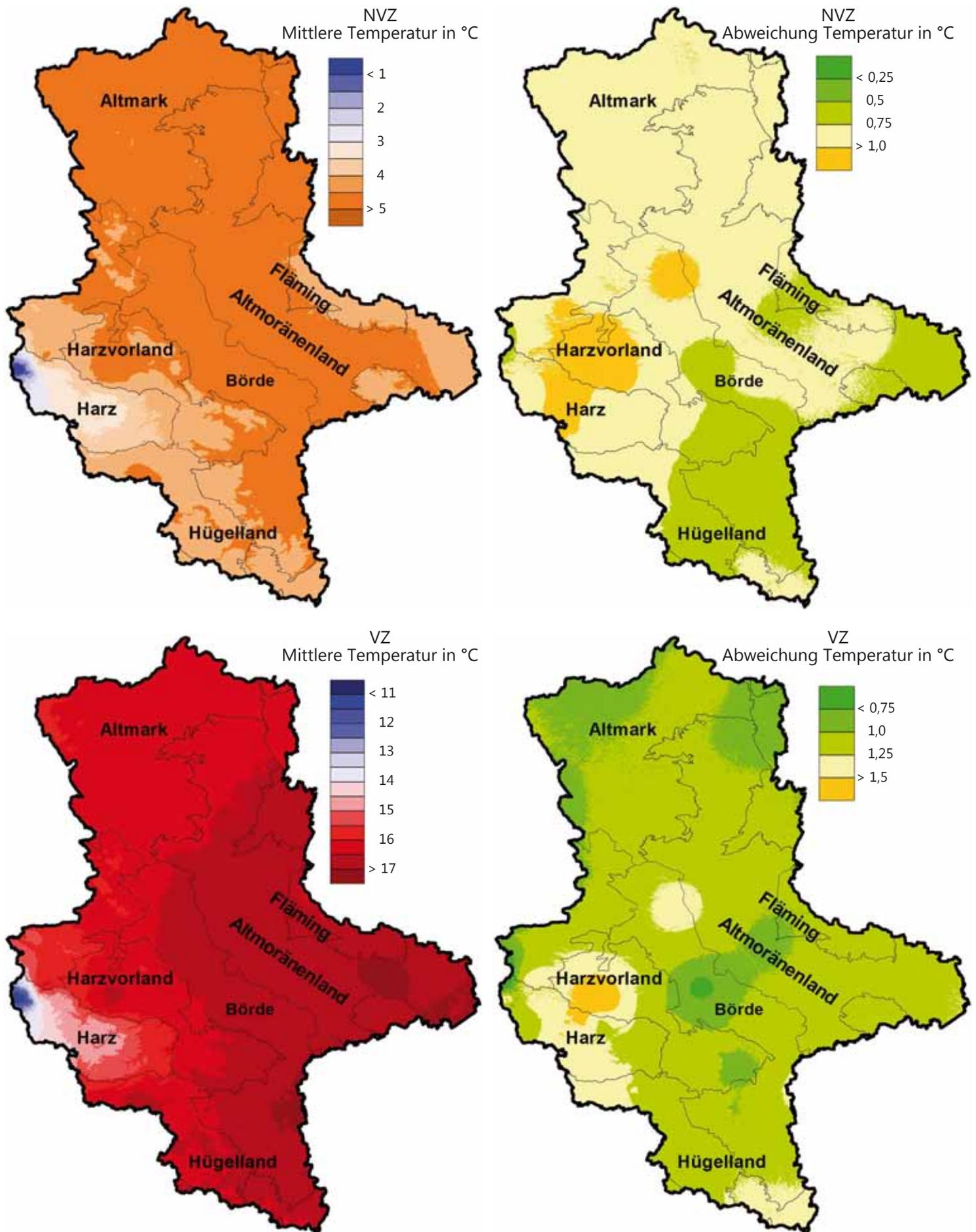
Die Nichtvegetationszeit 2016/2017 war in weiten Teilen des Landes Sachsen-Anhalt zu trocken. Nur im Osten des Landes wurde das Niederschlagssoll mit bis zu $+5\%$ leicht übertroffen. Verbreitet betrug das Niederschlagsdefizit -10 bis -15% , regional im Harz bis zu -30% (s. Abb. Seite 19). In der Vegetationsperiode ergibt sich ein völlig anderes Bild. Flächendeckend lag die gemessene Niederschlagsmenge über den Mittelwerten der Klimanormalperiode. Im gesamten Norden und Westen des Landes lagen die positiven Abweichungen zwischen $+30$ und über $+50\%$. Im äußersten Osten (Fläming) wurde das Niederschlagssoll dagegen nur leicht übertroffen ($< +5\%$).

Fazit

Das Vegetationsjahr 2016/2017 (Oktober-September) reiht sich nahtlos in die überdurchschnittlich warmen Jahre der letzten Jahrzehnte ein. Es ist mit einer Mitteltemperatur von $9,5^{\circ}\text{C}$ jedoch nicht so warm ausgefallen wie die Jahre 2014 bis 2016. Die Temperaturabweichung betrug $+1^{\circ}\text{C}$. Die Niederschläge lagen mit 640 mm im Landesmittel leicht über den Mittelwerten der Referenzperiode von 1961-1990. Infolge der hohen Niederschlagssummen in den Sommermonaten konnte das Niederschlagsdefizit aus dem Frühjahr abgebaut werden, so dass im Wald keine nennenswerten Vitalitätseinbußen infolge von Trockenheit beobachtet wurden.

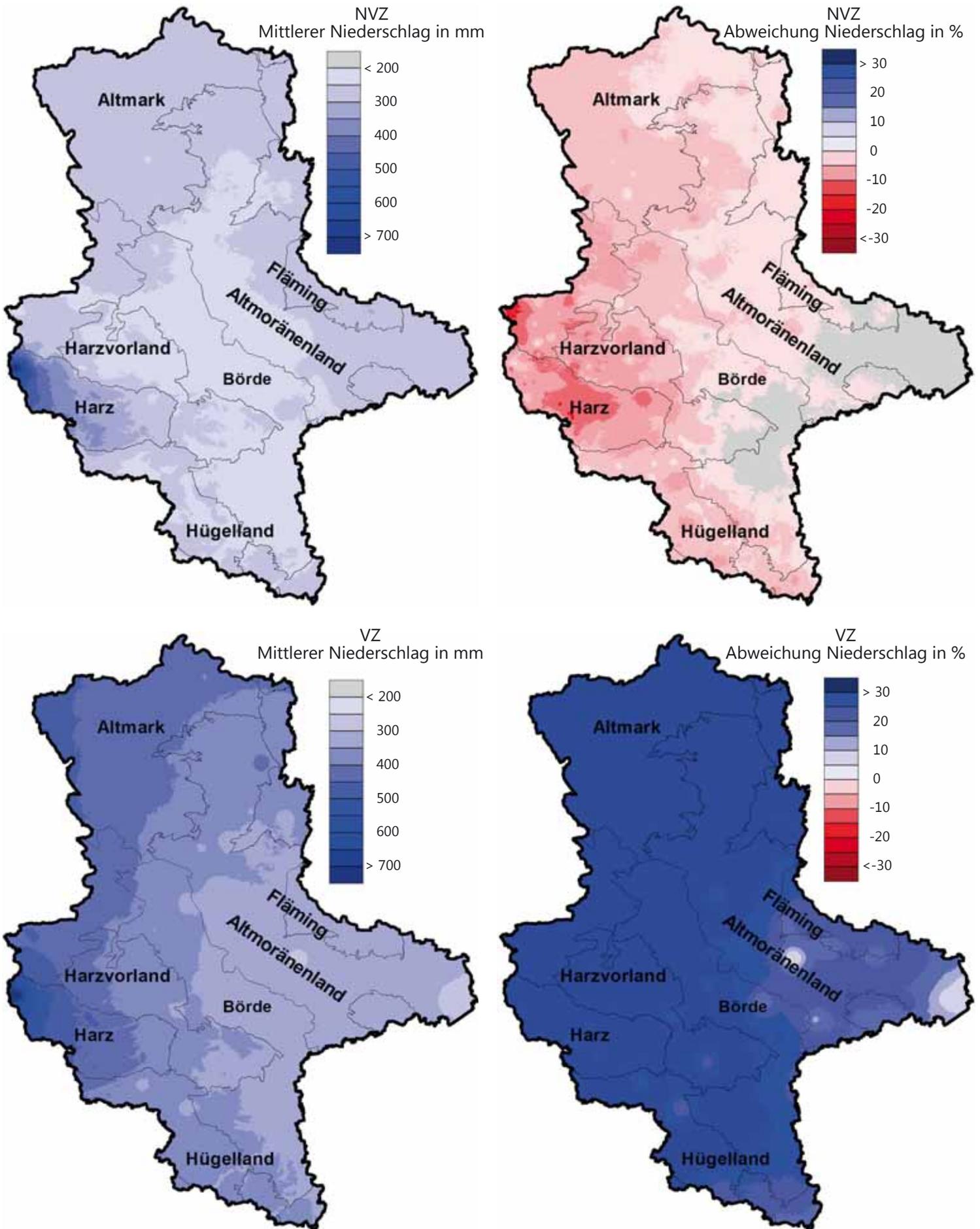
Witterung und Klima

Gemessene Temperaturen und deren Abweichungen zum langjährigen Mittel in der Nichtvegetationszeit (NVZ) 2016/2017 und in der Vegetationszeit (VZ) 2017



Witterung und Klima

Gemessene Niederschlagssummen und deren Abweichungen zum langjährigen Mittel in der Nichtvegetationszeit (NVZ) 2016/2017 und in der Vegetationszeit (VZ) 2017



Insekten und Pilze

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

Borkenkäfer

Wie in den beiden Vorjahren konnten relativ viele Borkenkäfer im Herbst 2016 überwintern. Die Gefährdungslage war zu Saisonbeginn gegenüber dem Frühjahr 2016 nochmals erhöht. Anfang April 2017 gab es bei sehr heißer Witterung bereits einen kurzen, starken Schwärmflug mit vereinzelt Stehendbefall. Nach Ende einer meist kühlfeuchten Wetterphase setzte der eigentliche Hauptflug erst drei Wochen später ein. Ab Anfang Mai wurde aus vielen Regionen frischer Stehendbefall gemeldet, die vorherige mehrwöchige wetterbedingte „Wartezeit“ der Käfer führte zu einem stark synchronisierten Flugbeginn. Im Verlauf der folgenden Wochen zeigte sich weiterer Stehendbefall, zunehmend auch im Bestandesinneren. Trotz der im Sommer wechselhaften Witterung mit schnellen Temperaturwechseln und häufigen, teilweise sehr starken Niederschlägen waren die Entwicklungsbedingungen für den Buchdrucker bis Mitte August überwiegend sehr gut. Im Vergleich zum August 2016 ist die Anzahl der durch Borkenkäfer besiedelten Fichten leicht gestiegen. Betroffene Forstbetriebe nutzen die verbleibende Zeit bis zum Saisonende für Aufarbeitungen, um die Ausgangssituation für das Jahr 2018 zu entspannen.

Eschentriebsterben

Das Eschentriebsterben (ETS) ist eine Erkrankung an verschiedenen Eschen-Arten, die durch den invasiven Schlauchpilz *Hymenoscyphus fraxineus* (Herkunft: Ostasien-Japan, China, Korea) ausgelöst wird. Dessen windverbreitete Pilzsporen infizieren Blattspreiten und Blattstiele sowie Rindenbereiche von Trieben, Stämmen und Wurzelansätzen der Eschen und ermöglichen dem Erreger so das Einwachsen in junge Triebe und Stämme. Typische Symptome sind u. a.: Blattverfärbungen, Blattwelke, braun bis violett verfärbte, abgestorbene Triebe, schildartige Rindennekrosen an Stämmchen von Jungpflanzen, auffällige Rindennekrosen an Stamm- und Wurzelanläufen (so genannte „Stammfußnekrosen“) sowie vor allem weithin sichtbare Kronenverlichtungen. Die Erkrankung kann schwerwiegende Schäden an Eschen jeden Alters hervorrufen und zum Absterben führen.

Im internationalen Expertenkreis gelten die Stammfußnekrosen, die auch an der NW-FVA / Abt. Waldschutz untersucht werden, als einer der Hauptmortalitätsfaktoren beim Eschentriebsterben. Die Ergebnisse der Abt. Waldschutz weisen darauf hin, dass die Stammfußnekrosen überwiegend primär durch den ETS-Erreger selbst hervorgerufen werden. In den Nekrosen hat *Hymenoscyphus fraxineus* eine hohe genetische Variabilität. Sekundär treten bodenbürtige Holzfäulepilze, wie z. B. der Hallimasch (*Armillaria* ssp.), auf. Insbesondere bei sehr starken Kronenschäden etwa ab Blattverlusten von 70 % muss im Wurzelraum generell mit Befall durch Hallimasch und andere Wurzelpilze gerechnet werden, die das Absterben beschleunigen.

Das Eschentriebsterben ist in Deutschland erstmals im Jahr 2002 in Mecklenburg-Vorpommern beobachtet worden. Inzwischen ist die Erkrankung bundesweit und in insgesamt 26 europäischen Staaten (Stand 2015) verbreitet. Sie kommt im Zuständigkeitsgebiet der NW-FVA bei Eschen aller Altersklassen und auf allen Eschen-Standorten vor und ist auf



Eschentriebsterben

Foto: NW-FVA, Abteilung Waldschutz

großer Fläche präsent. Sowohl die Ausbreitung in den Beständen als auch die Intensivierung des Krankheitsverlaufs sind noch nicht zum Stillstand gekommen. Es entstehen örtlich große Verluste durch schlechte Stammformen an Jungpflanzen und das Absterben von Eschen jeden Alters bis hin zur Auflösung von Bestandesteilen. Die heimische Gemeine Esche (*Fraxinus excelsior*) ist durch die Pilzerkrankung stark gefährdet. Es wird deshalb aus forstlicher Sicht empfohlen, auf absehbare Zeit nur reduzierten Pflegeaufwand in diese Baumart zu investieren.

Die Esche wird vermutlich nicht vollständig aus dem Baumartenspektrum verschwinden. Bisher scheint ein kleiner Prozentsatz (1-2 %) der Eschen gegenüber der Erkrankung weniger anfällig zu sein. Ob dieser geringe Prozentsatz an Eschen auch auf Dauer mehr oder minder befallsfrei bleibt oder sogar weitgehend resistent ist, muss die Zukunft zeigen. In verschiedenen europäischen Ländern werden aktuell wissenschaftliche Projekte zur Identifizierung weniger anfälliger Eschen und zu deren Vermehrung durchgeführt, z. B. in Deutschland, Großbritannien und Österreich. Ergebnisse liegen noch nicht vor.

Zum jetzigen Zeitpunkt muss vorrangig mit den vorhandenen mehr oder minder stark erkrankten Eschen gewirtschaftet werden. Ergebnisse der meist langfristigen Resistenzzüchtungen können nur für zukünftige Eschengenerationen genutzt werden.

Mittlerweile ist bekannt, dass ein Komplex von nahe verwandten Arten um *Hymenoscyphus fraxineus* und *H. albidus* in Asien existiert, der bei einer Einschleppung nach Deutschland eine weitere potentielle Gefahr für heimische Eschen darstellen könnte.

Direkte Gegenmaßnahmen gegen das Eschentriebsterben kann und wird es in Zukunft nicht geben, da der Erreger über Sporenflug (Ascosporen) mit dem Wind auch über große Entfernungen verbreitet wird und Bäume infiziert. Diese Art der Verbreitung lässt sich nicht verhindern oder aufhalten.

In der Praxisinformation Nr. 4 (8/2016) der NW-FVA zum Eschentriebsterben sind weitere Hinweise und Handlungsempfehlungen für die Forstbetriebe umrissen.

Diplodia-Triebsterben der Kiefer

Der Wärme liebende Pilz *Sphaeropsis sapinea* (Synonym: *Diplodia pinea*) tritt seit einigen Jahren verstärkt auf. Er verursacht ein Triebsterben, zieht Folgeschäden nach sich (z. B. Käferbefall, Bläue im Holz) und führt im ungünstigsten Falle bei entsprechend starker Kronenschädigung zum Absterben der Bäume.

Insekten und Pilze

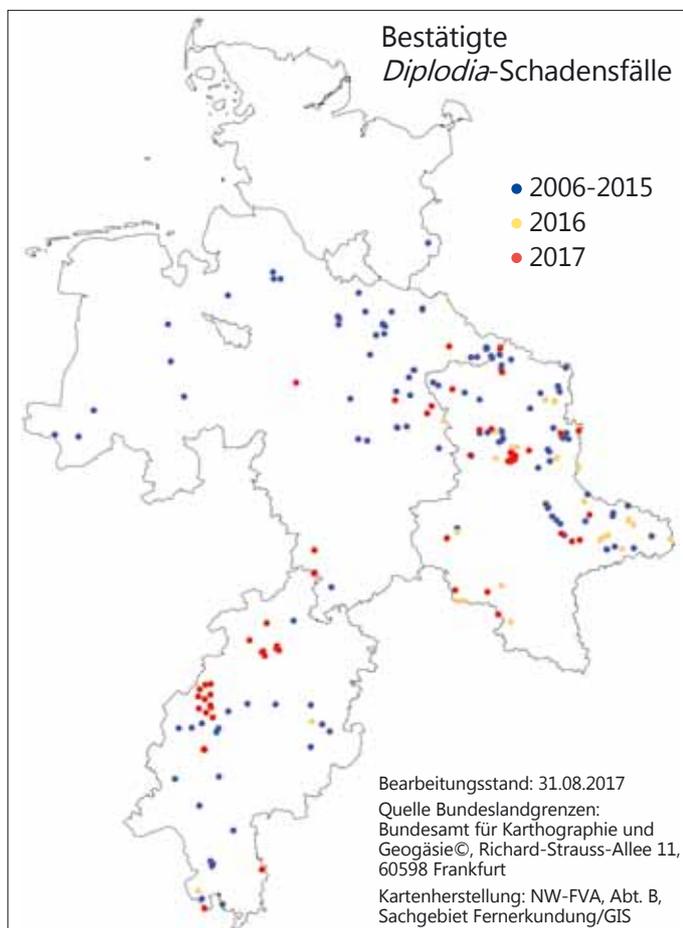
Der Pilz *S. sapinea* ist als weltweiter Parasit mit bevorzugtem Vorkommen in wärmeren Regionen (z. B. Mittelmeerraum; subtropische und tropische Klimagebiete) bekannt. Hier verursacht er Triebsterben, Wipfeldürre und Rindenschäden.

In Mitteleuropa sind die Gemeine Kiefer (*Pinus sylvestris*) und die Schwarzkiefer (*P. nigra*) besonders betroffen. Der Erreger wird in geringerem Umfang auch an jüngeren Douglasien und an anderen Nadelbäumen gefunden. Ein Zusammenhang mit der allgemeinen Klimaerwärmung und mit Witterungsextremen muss angenommen werden.

Beobachtet wird ein Absterben diesjähriger, im Streckungswachstum befindlicher Triebe, die sich braun verfärben. Das Triebsterben wird oft von Harzfluss begleitet. Befallen werden alle Altersklassen: Kulturen, Dickungen, Stangenhölzer bis hin zu Baumhölzern. An jüngeren Bäumen sind die befallenen Tribspitzen oftmals gekrümmt bzw. nach unten gebogen. Der Befall kann auch in etwas stärkere Zweige hineingehen.

Dem Auftreten des *Diplodia*-Triebsterbens geht in der Regel eine Schwächung der Kiefer voraus. Auslösende Faktoren können nach derzeitiger Einschätzung sein: Wasserdefizite durch Trockenheit (Niederschlagsdefizite), Hitze oder Verletzungen der Triebe durch Hagelschlag. Trockenstress kann insbesondere auf flachgründigen Standorten, in sonnenexponierten Randlagen, in Kuppenlagen und in aufgelichteten, wärmeren Bestandesteilen entstehen.

Die Pilzbesiedelung von stärkeren Zweigen und Ästen kann durch Hagelschlag und entsprechende Rindenverletzungen gefördert werden (Eintrittspforten für *S. sapinea*). Hier verursacht der Pilz zusätzlich eine verstärkte Bläueentwicklung im Splintholz. Hagelschlag ist aber nicht in jedem Falle die Voraussetzung für einen beobachteten Befall.



Umfangreiche Untersuchungen der Abt. Waldschutz belegen, dass *S. sapinea* bereits in Trieben und Zweigen lebender Kiefern vorkommen kann, ohne erkennbare Schäden zu verursachen (endophytische Lebensweise). Erst nach starken Beeinträchtigungen der Baumvitalität treten die pathogenen Eigenschaften des Pilzes in den Vordergrund und führen zur Erkrankung.

Zu vermehrten Schadensfällen durch das *Diplodia*-Triebsterben kam es im 1. Halbjahr 2017 in Hessen und Sachsen-Anhalt. Der Erreger wurde dort mehrfach durch Laboruntersuchungen bestätigt (Abb. unten).

Auch an Douglasien-Jungwüchsen traten 2017 Schäden auf, die auf den Erreger des *Diplodia*-Triebsterbens zurückzuführen waren.

Eichenfraßgesellschaft

Die Ergebnisse der laufenden Überwachung des Kleinen und Großen Frostspanners mit Hilfe von Leimringen aus dem Herbst/Winter 2016/17 bestätigen, dass sich die Populationen in Sachsen-Anhalt weiterhin in der Latenz befinden. Lediglich im südlichen Sachsen-Anhalt im Raum Naumburg wurde eine Überschreitung der Warnschwelle festgestellt.

Die Ergebnisse der Fraßkartierung für die Eichenfraßgesellschaft inklusive des Eichenprozessionsspinners ergaben starken Fraß bis Kahlfraß auf ca. 1.700 Hektar. Der Schwerpunkt lag im Bereich Dessau und darüber hinaus kleinräumig verteilt in den Gebieten Altmark, Elb-Havel-Winkel, Annaburg und Naumburg.



Eichenprozessionsspinner

Foto: NW-FVA, Abteilung Waldschutz

Kieferngroßschädlinge

Die Puppensuche im Winter 2016/17 nach Überwinterungsstadien der nadelfressenden Kieferngroßschädlinge ergab eine erhöhte Präsenz der Puppen der Forleule mit Warnschwellenüberschreitungen in den Gebieten Altmark, Elb-Havel-Winkel, Letzlingen und Dessau. Hohe Belagsdichten bei den Kiefernbuschhornblattwespen waren in den Bekämpfungsgebieten aus dem Jahre 2016 zu verzeichnen. Die Vitalitätsuntersuchungen ergaben, dass durch hohe Parasitierung oder fehlende Schlupfbereitschaft kein Flug der Blattwespen zu erwarten war. Die anderen Kieferngroßschädlinge befinden sich weiterhin in der Latenz.

Die Falterflugüberwachung der Forleule mit Pheromonfallen ergab Überschreitungen der Warnschwelle in den Bereichen Letzlingen, Flechtingen, Altmark und Hoher Fläming. Die von der NW-FVA empfohlenen Suchen nach Eiern der Forleule zeigten nur geringe Eidichten. Fraßschäden durch Kieferngroßschädlinge und Nonne wurden im Jahr 2017 nicht gemeldet.

Standortsinformationen für die Bundeswaldinventur in Sachsen-Anhalt

Bernd Ahrends, Paul Schmidt-Walter und Henning Meesenburg

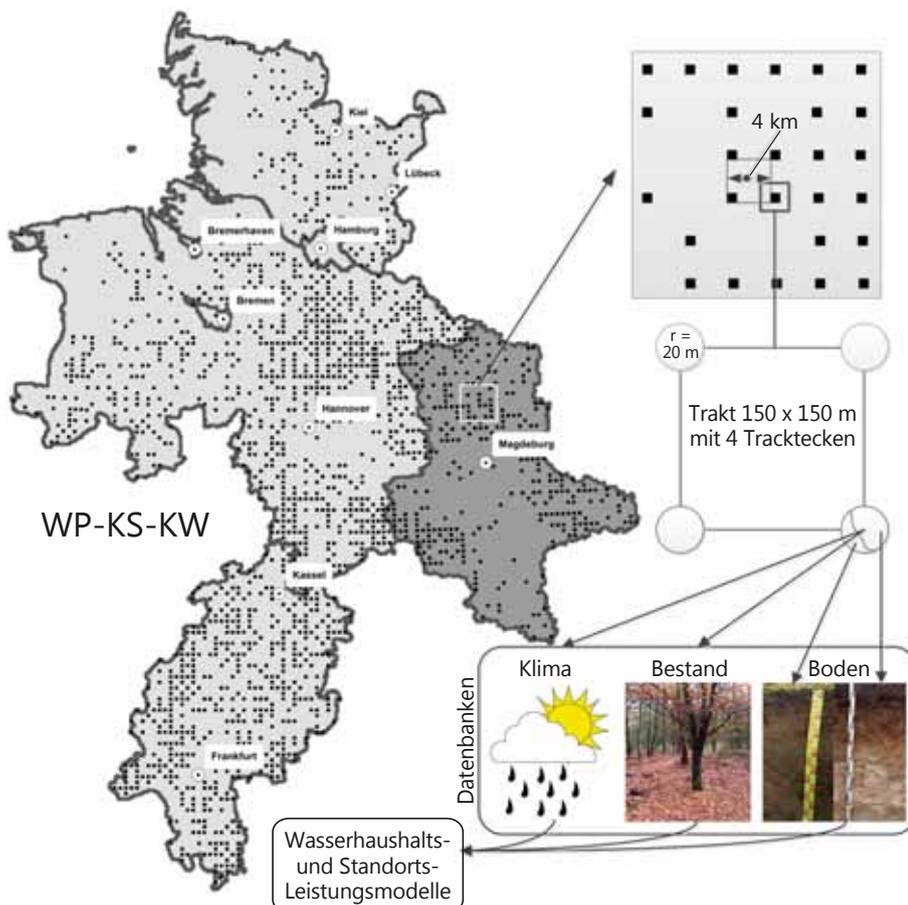
Das Projekt WP-KS-KW

Im Waldklimafonds-Projekt WP-KS-KW („Waldproduktivität-Kohlenstoffspeicherung-Klimawandel“) wurden länderübergreifend einheitliche Standortsinformationen (Klima, Boden) für die Inventurpunkte der Bundeswaldinventur (BWI) erhoben. Innerhalb des 4 km x 4 km Grundnetzes der BWI werden deutschlandweit alle 10 Jahre an ca. 26.450 Inventurpunkten eine Vielzahl von Bestandesparametern (z. B. Baumartenzusammensetzung, Holzvorräte, Zuwächse, Altersverteilungen) erhoben. Um die Produktivität, die Kohlenstoffspeicherung und weitere Ökosystemleistungen unserer Wälder verlässlicher unter sich verändernden Klimabedingungen prognostizieren zu können, sind detaillierte Standortsinformationen eine wichtige Ergänzung zu diesen Daten.

Insbesondere zeitlich und räumlich hochaufgelöste Klima- und Bodendaten fehlten bislang für die Inventurpunkte der BWI oder waren in einer sehr uneinheitlichen und unbefriedigenden Auflösung vorhanden. Beispielsweise waren Wasserhaushaltssimulationen mit prozessorientierten Modellen zur Abbildung des Standortwasserhaushaltes und der Trockenstresssituation durch fehlende Informationen zu bodenphysikalischen Eigenschaften der Bodenprofile an den BWI-Traktecken bis zu diesem Projekt in einer bundesweit einheitlichen Form nicht durchführbar. Für diese Mammutaufgabe ist es den zwölf Projektpartnern aus ganz Deutschland gelungen, eine deutlich verbesserte Datengrundlage



Foto: M. Schmidt



Schematische Darstellung der Ableitung von Umweltinformationen (Klima, Boden) für Traktecken der BWI

zu schaffen. Hierdurch ist es nun möglich, für die Traktecken der BWI belastbare Erklärungen des Zusammenhangs zwischen Standort und Waldwachstum zu erhalten, z. B. durch eine genauere Ableitung von Kenngrößen des Wasserhaushaltes, die für die Standort-Leistungs-Modellierung verwendet werden können.

Boden-Leitprofile für BWI-Traktecken

Ziel war es, für jede Traktecke des Grundnetzes der BWI Leitprofile mit bodenphysikalischen Grundlagendaten zu erstellen. Eine wichtige Datengrundlage bilden hierbei die in den Bundesländern zur Verfügung stehenden Informationen aus der Standorts- und Bodenkartierung. In den jeweiligen Bundesländern erfasst jedoch die traditionelle forstliche Standortskartierung Bodeninformationen in sehr unterschiedlicher Intensität und Qualität. Diese Ausgangslage erforderte ein länderspezifisches Vorgehen, das durch einheitliche Vorgaben in einem homogenen bundesweiten Datensatz mündete.

Die forstliche Standortskartierung in den ostdeutschen Bundesländern wird seit Mitte der 1960er Jahre auf Basis der Standortserkundungsanleitung (SEA) durchgeführt. Ein Bestandteil der SEA ist die

Standortsinformationen für die Bundeswaldinventur in Sachsen-Anhalt

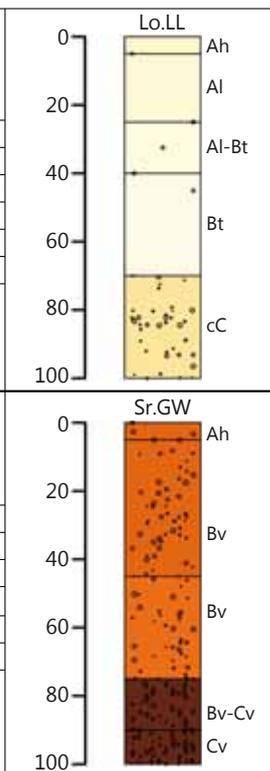
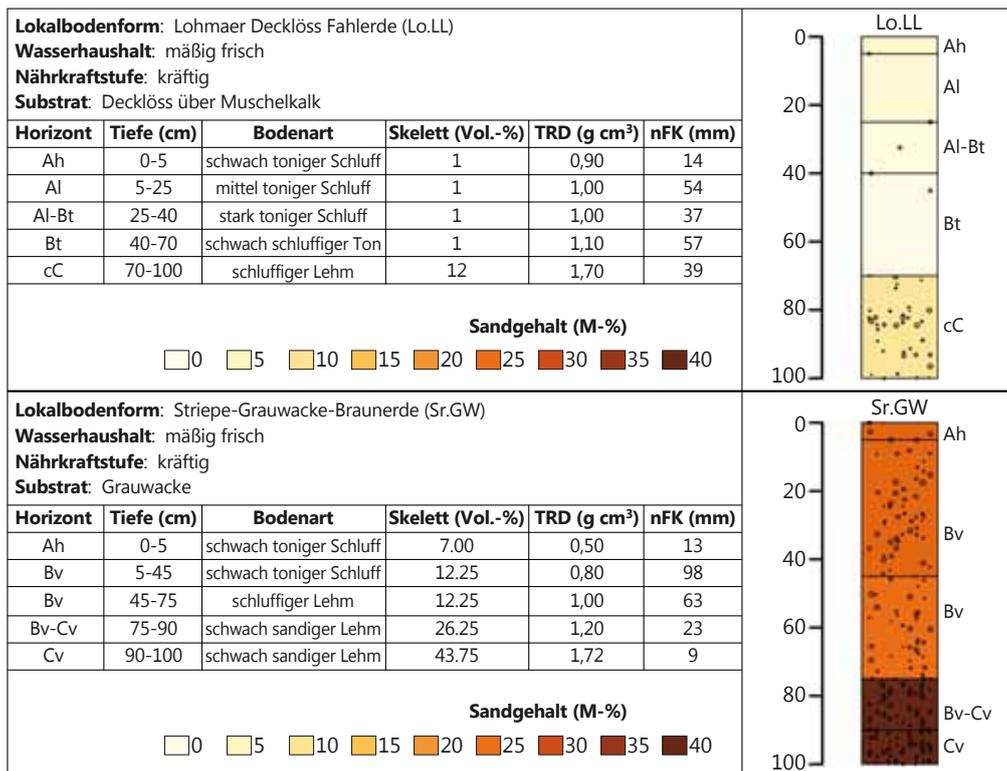


Foto: M. Schmidt

Beispielhafte Darstellung von zwei Bodenprofilen an BWI-Traktecken in Sachsen-Anhalt und verfügbare Profilinformationen (Auszug), (verändert nach Kopp et al. unveröffentlicht). TRD: Trockenrohddichte.

flächige Kartierung von Standortformen und zahlreichen so genannten Lokalbodenformen. Letztgenannte berücksichtigen die ökologisch relevanten bodenkundlichen Unterschiede der gröber gefassten Standortformen. Entsprechend wurden schon in der Vergangenheit durch umfangreiche Vorarbeiten zahlreiche Merkmalsspiegel (mittlere Bodeninformationen für die jeweilige Lokalbodenform) für flächenhaft bedeutsame Lokalbodenformen erstellt. Im Zuge des Projektes wurden auf dieser Grundlage umfangreiche Erweiterungen (Bänderungen, Grund- und Stauwasser, Lehmunterlagerungen) und Anpassungen (Skelettgehalte, Bodenarten, Humusgehalte, Profiltiefen) durchgeführt. Die so generierten Profile wurden abschließend hinsichtlich der bodenphysikalischen Parameter (Sand-, Schluff- und Ton-

gehalt, Skelettgehalt, Trockenrohddichte und Humusgehalt) anhand von Bodenprofilen der zweiten Bodenzustandserhebung im Wald (BZE II), von Bodendauerbeobachtungsflächen (BDF) und der ökologischen Waldzustandskontrolle (ÖWK) evaluiert. Hierbei zeigte sich, dass auf Grundlage der Standortkartierung die meisten bodenphysikalischen Parameter verzerrungsfrei und mit verhältnismäßig hoher Genauigkeit geschätzt werden können. Größere Abweichungen ergaben sich aufgrund ihrer hohen kleinräumlichen Variabilität erwartungsgemäß bei den Skelettgehalten. Dennoch konnten für die Standortkartierung konkrete Bodenprofile abgeleitet werden (Abb. oben), auf deren Grundlage dann für BWI-Traktecken wichtige ökologische Kennwerte, wie z. B. die nutzbare Feldkapazität oder die potenzielle Kationenaustauschkapazität, mittels so genannter Pedotransferfunktionen berechnet werden können.

Für die Zuordnung der bodenkundlichen Kartiereinheiten zu den BWI-Traktecken wurde eine Kreisfläche mit einem Radius von 20 m (vgl. Abb. Seite 22) um die Traktecke betrachtet. Innerhalb dieser Kreisfläche wurden die zwei flächenmäßig bedeutendsten Standorteinheiten (Flächenanteil > 20 %) berücksichtigt.

Klimadaten für die Bundeswaldinventur

Das Klima ist eine entscheidende Einflussgröße für das standörtliche Leistungsvermögen und das Risiko von biotischen Schädigungen der Bestände. Entsprechend sind zur Bewertung der vergangenen und zukünftigen Wachstumsbedingungen unserer Wälder räumlich und zeitlich hoch aufgelöste Klimadaten eine wichtige Grundlage. Eine klimasensitive Berechnung der Vegetationsperiode oder der Einsatz von prozessorientierten Wasserhaushaltsmodellen erfordert in der Regel Klimadaten in täglicher Auflösung.



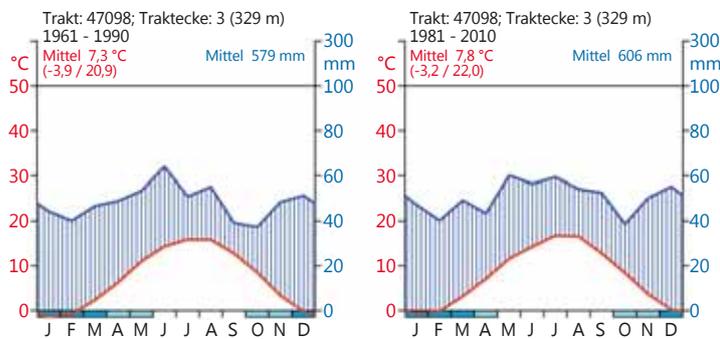
Foto: M. Spielmann

Standortsinformationen für die Bundeswaldinventur in Sachsen-Anhalt

Entsprechende Zeitreihen wurden am Institut für Geographie der Universität Hamburg an 26.450 BWI-Punkten für acht Klimagrößen entwickelt (Kawohl et al. 2017). Die Zeitreihen umfassen dabei sowohl eine retrospektive Betrachtung (ab 1961) als auch die Projektionen von mehreren Klimaszenarien bis zum Jahr 2100. Mit dieser Datengrundlage können zum einen einfache Auswertungen in monatlicher Auflösung zur klimatischen Charakterisierung der einzelnen Traktecken der BWI durchgeführt werden und zum anderen Tagesdaten als Antrieb von komplexen Modellen verwendet werden. Die Abbildung unten zeigt so genannte Walter/Lieth-Klimadiagramme beispielhaft für eine Traktecke. Es ergeben sich zwischen den beiden retrospektiven Zeiträumen (1961-1990 und 1981-2010) ein Temperaturanstieg um 0,5 °C und ein geringer Niederschlagsanstieg von 27 mm. Die Abbildung zeigt weiterhin, dass bei dieser Traktecke nicht nur die absolute Niederschlagsmenge relativ gleich geblieben ist, sondern auch die jahreszeitliche Verteilung.



Foto: M. Schmidt



Klimadiagramme auf Grundlage der generierten Klimazeitreihen für die Traktecke 3 des Traktes 47098 für die Zeiträume 1961-1990 (links) und 1981-2010 (rechts).



Foto: M. Spielmann

Die so für die BWI generierten Klimadaten können zusammen mit den Bodenprofilen verwendet werden, um mit Hilfe von hydrologischen Modellen zeitlich hochaufgelöste Kenngrößen des Wasserhaushaltes (z. B. Trockenstressindikatoren) zu ermitteln und diese mit der Wasserhaushaltseinstufung der Standortskartierung zu vergleichen (vgl. folgendes Kapitel). Außerdem bilden sie eine wichtige Grundlage für ein verbessertes Verständnis der Standort-Leistungs-Beziehungen und möglicher Prognosen im Klimawandel.

Der Trockenstress nimmt zu

Für insgesamt 24.610 Traktecken der Bundeswaldinventur (BWI) wurde der Wasserhaushalt von Buchen- und Fichtenbeständen für den Zeitraum von 1961 bis 2013 berechnet. Verwendet wurde das Modell LWF-Brook90, welches die Verdunstung, die Bodenwasserflüsse einschließlich Sickerwasserspende sowie die Bodenwasserverfügbarkeit von Wäldern in täglicher Auflösung berechnet. Grundlage für die Berechnungen sind unter anderem die vorab beschriebenen bodenkundlichen und klimatischen Eingangsdaten. Für jede Traktecke wurden die Berechnungen jeweils für Modellbestände von Buche und Fichte durchgeführt, um den Einfluss der flächenhaft bedeutendsten Nadel- und Laubbaumart auf den Wasserhaushalt abzuschätzen und deren Standortseignung zu beurteilen. Aus den Modellergebnissen wurden verschiedene Trockenstressindikatoren abgeleitet, welche Einschränkungen der Wasserverfügbarkeit an den BWI-Traktecken beschreiben. Ein häufig verwendeter Indikator ist beispielsweise die relative pflanzenverfügbare Bodenwasserspeicherfüllung (REW). Diese wird als Verhältnis aus aktueller Bodenwasserspeicherfüllung und der maximalen pflanzenverfügbaren Bodenwassermenge berechnet und quantifiziert somit die Bodenwasserverfügbarkeit. In zahlreichen Studien wurden Wachstumseinschränkungen in Waldbeständen beobachtet, wenn dieser Indikator 40 % der nutzbaren Feldkapazität unterschreitet (z. B. Granier et al. 1999; 2007). Um die Dauer und Intensität einer solchen Unterschreitung zu berücksichtigen, kann die Defizitsumme unterhalb des 40 %-Schwellenwertes für die Vegetationsperiode berechnet werden (DREW).

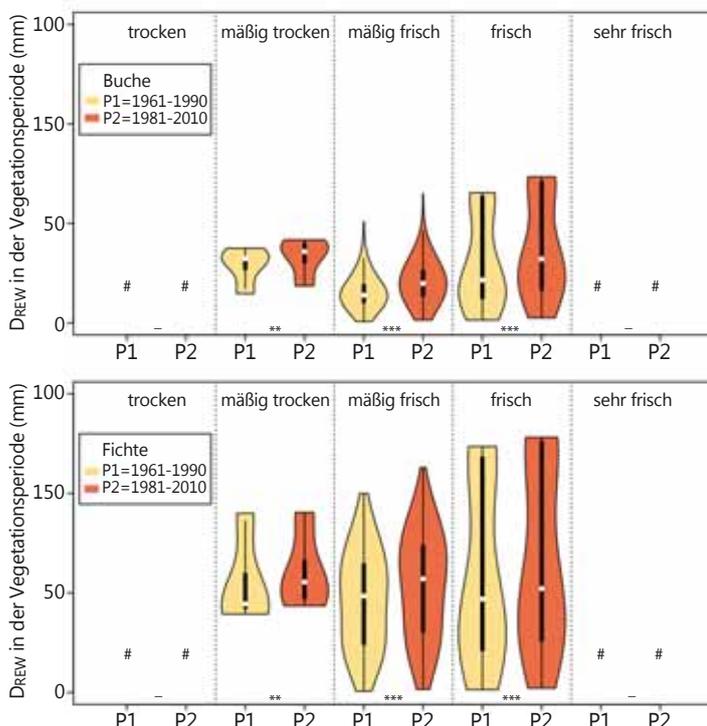
Standortsinformationen für die Bundeswaldinventur in Sachsen-Anhalt

Dieser Indikator wurde für zwei verschiedene Zeiträume der jüngeren Vergangenheit für Sachsen-Anhalt ausgewertet (vgl. Abb. unten), da neuere Untersuchungen darauf hindeuten, dass Abweichungen von den langjährigen Witterungsbedingungen eine zentrale Bedeutung für das bestandspezifische Trockenstressrisiko haben (Choat et al. 2012). Die Defizitsumme REW bei Unterschreitung der 40 %-Grenze korrespondiert schwach mit der Einstufung des Wasserhaushaltes für terrestrische Standorte. Bäume auf mäßig trockenen Standorten haben demnach im Mittel ein größeres Trockenstressrisiko als Bäume auf frischen Standorten. Auf der anderen Seite gibt es anscheinend viele mäßig frische und frische Standorte, die in einigen Jahren in der Vegetationsperiode ein hohes Trockenstressrisiko aufweisen. Dieses kann auf die verhältnismäßig geringen Niederschläge zurückgeführt werden, die bei diesen Standorten nicht ausreichen, um den Wasserbedarf hinreichend zu decken. Bei diesen Standorten dürfte in Zukunft eine weitere Differenzierung nach der Substratfeuchtestufe vermutlich noch klarere Ergebnisse liefern. Die Fichte weist in allen Feuchtestufen insgesamt höheren Trockenstress auf als die Buche. Das Muster der Feuchtestufen ist jedoch vergleichbar. Des Weiteren wird ersichtlich, dass die mittlere Defizitsumme bei beiden Baumarten im Zeitraum 1981 bis 2010 gegenüber 1961 bis 1990 in allen ökologischen Feuchtestufen signifikant angestiegen ist und sich somit das mittlere Trockenstressniveau erhöht hat. Bei den mäßig frischen Standorten ist der Anstieg des Trockenstresses für die Fichte so stark, dass diese Standorte



Foto: M. Schmidt

im Zeitraum von 1981 bis 2010 im Mittel ein höheres Trockenstressrisiko aufweisen als noch im Zeitraum von 1961 bis 1990 die mäßig trockenen Standorte. Da das Klima die einzige veränderliche Größe in den Wasserhaushaltssimulationen ist, kann der Anstieg des Trockenstressniveaus auf die Klimaänderungen, insbesondere auf die angestiegenen Temperaturen innerhalb der letzten 50 Jahre, zurückgeführt werden. Es ist zu erwarten, dass sich im Zuge des prognostizierten Klimawandels die Trockenstresssituation an vielen BWI-Traktecken durch trockenere und wärmere Bedingungen weiter verschärft und somit die bisher im Rahmen der Standortkartierung erfolgte statische Wasserhaushaltsanpassung einer Anpassung bedarf. Weiterhin erscheint die Berücksichtigung der Substratfeuchte unbedingt erforderlich.



Mittlere Defizitsumme (DREW) des relativen pflanzenverfügbaren Bodenwassers bei Unterschreitung von 40 % der nutzbaren Feldkapazität in der Vegetationsperiode der Buche (oben) und Fichte (unten) für zwei Zeiträume gruppiert nach ökologischen Feuchtestufen. Signifikant verschiedene Werte zwischen den Zeiträumen sind durch Sternchen gekennzeichnet. Die Anzahl der Sterne beschreibt das Signifikanzniveau (*** < 0.001, ** < 0.01); #: äußerst geringer Stichprobenumfang). Das „Violinen“-Diagramm ist sehr ähnlich zum Boxplot. Die Breiten der „Violine“ zeigen zusätzlich an, wie viele Fälle in dem jeweiligen Wertebereich vorliegen.

Fazit

Im Projekt WP-KS-KW konnten für die Traktecken im 4 km x 4 km Grundnetz der Bundeswaldinventur umfangreiche Datensätze mit Umweltinformationen erhoben und abgeleitet werden. Diese Datengrundlagen erlauben eine Analyse des Zusammenhangs zwischen Standort und Waldwachstum und somit eine bessere Einschätzung der zukünftigen Waldentwicklung. Aber auch die Wasserhaushaltseinstufung der Standortkartierung kann hinsichtlich ihrer Konstanz bzw. Dynamik bewertet werden. Die durch die Klimaänderungen der jüngeren Vergangenheit bedingte Zunahme der Trockenstressintensität zeigt, wie wichtig eine klimasensitive Einschätzung des Standortwasserhaushalts zur Anpassung unserer Wälder an den Klimawandel zukünftig sein wird. Dies muss bei der Baumartenwahl und der Bewirtschaftung der Bestände berücksichtigt werden. Die Dynamik des Bodenwasserregimes und die damit verbundenen Einschränkungen der Wasserverfügbarkeit stehen direkt mit der Produktionsfunktion unserer Wälder und der zukünftigen Standortseignung der Baumarten in Verbindung. Die im Projekt erarbeiteten Wasserhaushalts- und Trockenstressgrößen eröffnen nun erstmals die Möglichkeit, Zusammenhänge zwischen Produktionsfunktion und Wasserverfügbarkeit großflächig zu analysieren.

Stoffeinträge

Birte Scheler

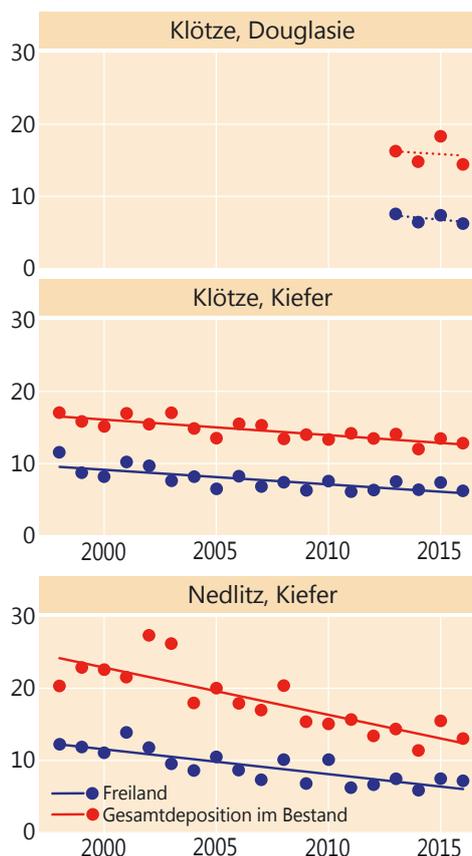
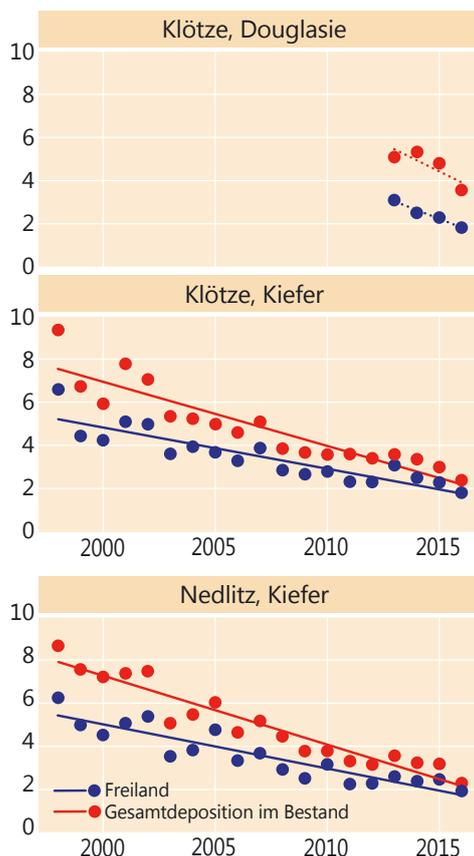
In Wäldern ist die Deposition aus der Atmosphäre für viele Nähr- und Schadstoffe die wichtigste Eintragsquelle. Die Kronenoberflächen von Bäumen filtern sehr effektiv gas- und partikelförmige Stoffe aus der Luft. Aufgrund dieses Filtereffektes ist der Eintrag anthropogen bedingter Sulfatschwefel- und Stickstoffverbindungen (Nitrat und Ammonium) im Wald deutlich höher als bei anderen Landnutzungsformen. Diese so genannte Immissionschutzfunktion des Waldes stellt jedoch für das Ökosystem Wald selbst eine Belastung dar. 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 u. a. 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 einer Bestandesfläche (Bestandesniederschlag) erfasst.

Mit Hilfe eines Kronenraumbilanzmodells (Ulrich 1991) werden aus den gemessenen Stoffflüssen Gesamtdepositionsraten berechnet.

Die Höhe der Stoffeinträge wird maßgeblich durch verschiedene Faktoren wie Niederschlagsmenge und -verteilung, Windgeschwindigkeit, Baumart, Bestandeshöhe, Kronenrauhigkeit oder lokale Emittenten bestimmt.

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

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



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

Niederschlag

2016 lag die Niederschlagsmenge in Klötze und Nedlitz unter dem Mittel der Jahre 2011-2015. In Nedlitz fielen 643 mm im Freiland und 458 mm als Kronentraufe unter Kiefer. In Klötze fiel mit 558 mm (Freiland) bzw. 415 mm (Kiefer) weniger Niederschlag als in Nedlitz. Aufgrund der höheren Interzeption war bei gleichem Freilandniederschlag die Kronentraufe im Douglasienbestand mit 347 mm um 68 mm geringer als im benachbarten Kiefernbestand.

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, setzt sich die signifikante Abnahme stetig bis 2016 fort. 2016 betrug der Sulfatschwefeleintrag je Hektar in Klötze 2,4 kg (Kiefer) bzw. 3,6 kg (Douglasie) sowie 2,3 kg unter Kiefer in Nedlitz. Damit war er 2016 in der Kronentraufe der Kiefer 1 kg bzw. 30 % geringer als im Mittel der Jahre 2011-2015. Im Freiland lag der Sulfatschwefeleintrag bei 1,8 kg (Klötze) bzw. 1,9 kg (Nedlitz). Sowohl im Freiland als auch mit der Kronentraufe wurden die geringsten Werte seit Messbeginn registriert.

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 (1998-2015) 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 Gesamtde-

position im Bestand



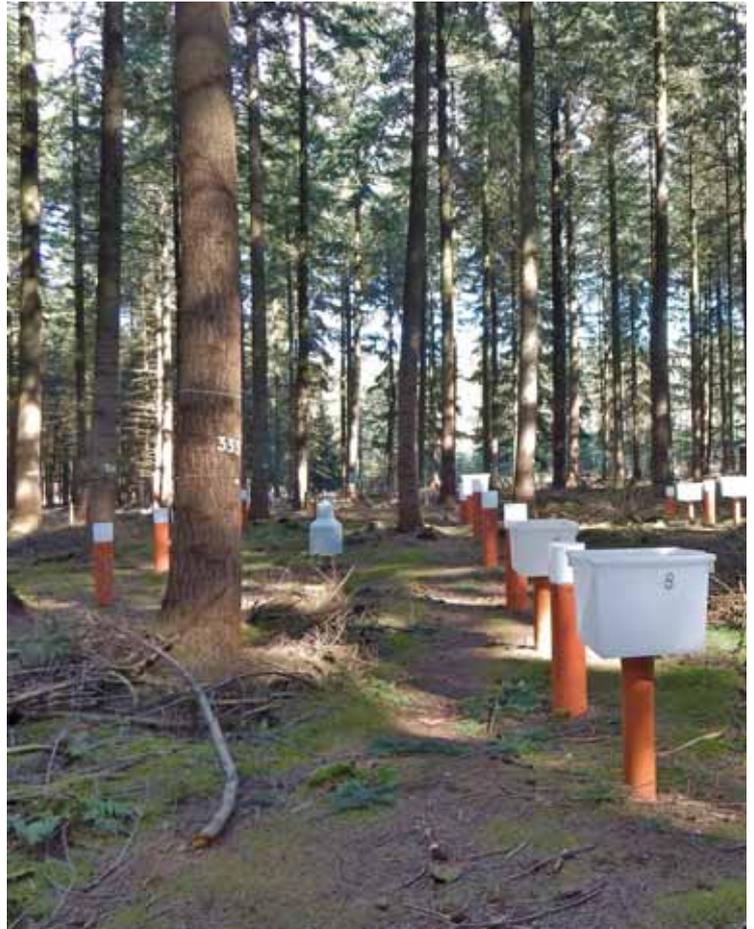
Intensiv-Monitoringfläche Klötze, Douglasie
Foto: O. Schwerdtfeger

Stoffeinträge

position seit 1998 signifikant abgenommen. Er betrug 2016 im Freiland je Hektar 2,8 kg (Klötze, Nedlitz), mit der Gesamtdeposition unter Kiefer 5,2 kg in Klötze und 5,4 kg in Nedlitz. Unter Douglasie war er rund 25 % höher als unter Kiefer und betrug 2016 6,5 kg.

Unterschiede zwischen den beiden Kiefernflächen zeigen sich hingegen beim Ammonium. Zu Beginn der Messungen waren in Nedlitz die Einträge von Ammoniumstickstoff im Freiland sowie unter Kiefer deutlich höher als in Klötze. Diese höhere Belastung in Nedlitz war vermutlich vorwiegend auf einen lokalen Emittenten zurückzuführen. Im Beobachtungszeitraum nahmen die Einträge auf dieser Fläche jedoch deutlich stärker ab als in Klötze. 2016 betrug die Gesamtdeposition von Ammonium unter Kiefer sowohl in Klötze als auch in Nedlitz 7,6 kg je Hektar. Damit war sie 2016 in Nedlitz 4,0 kg, in Klötze hingegen nur 0,8 kg geringer als im Vergleich zum Mittel 1998-2015. Im Freiland lag der Eintrag bei 3,4 kg (Klötze) bzw. 4,4 kg (Nedlitz). Unter Douglasie war der Eintrag mit 7,9 kg nur geringfügig höher als unter Kiefer.

Trotz verschiedener Bemühungen zur Reduktion der Stickstoffemissionen und hieraus resultierender rückläufiger Einträge übersteigt der anorganische Stickstoffeintrag mit Werten von 13 kg (Nedlitz Kiefer), 12,8 kg (Klötze Kiefer) und 14,4 kg (Klötze Douglasie) nach wie vor den Bedarf des Waldes für das Baumwachstum. Stickstoffeinträge, die über dem Bedarf des Ökosystems für das Wachstum liegen, ziehen jedoch – ggf. zeitverzögert – gravierende negative Konsequenzen für den Wald selbst sowie angrenzende Ökosysteme wie Fließ- und Grundgewässer nach sich.



Intensiv-Monitoringfläche Klötze, Douglasie

Foto: O. Schwerdtfeger

Gesamtsäure

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

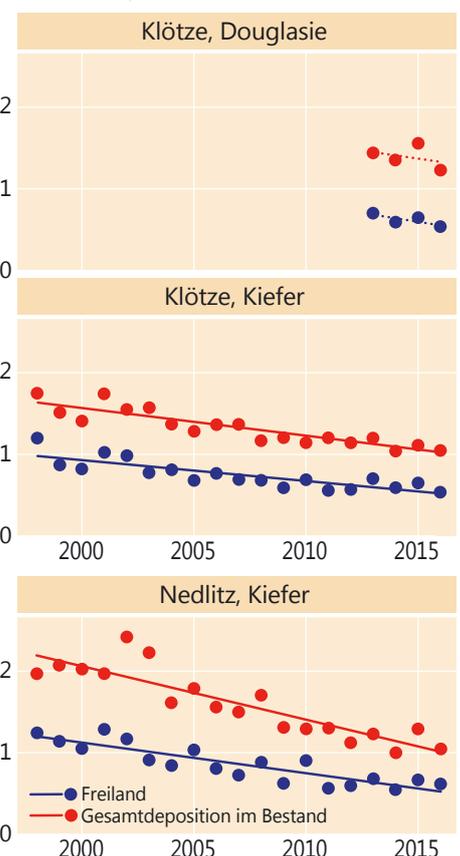
Im Beobachtungszeitraum hat der Gesamtsäureeintrag signifikant abgenommen. Er betrug 2016 zwischen 1,1 kmol_c (Kiefer) und 1,2 kmol_c (Douglasie) je Hektar.

Während 1998 der Gesamtsäureeintrag zu 26 % (Nedlitz) bzw. 31 % (Klötze) durch Schwefeleintrag und zu 74 % bzw. 69 % durch anorganischen Stickstoffeintrag (NH₄-N + NO₃-N) verursacht wurde, haben sich die relativen Anteile weiter zum Stickstoffeintrag hin verschoben. Sein Anteil an der Gesamtsäurebelastung lag 2016 zwischen 83 und 88 %. Auch unter dem Gesichtspunkt der Säurebelastung ist deshalb eine weitere Reduzierung der Stickstoffeinträge dringend geboten.

Aufgrund der geringen Baseneinträge (0,1 kmol_c) sowie der sehr geringen Basenfreisetzung durch Verwitterung 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.

Gesamtsäure-Eintrag auf ausgewählten Flächen in kmol_c je Hektar und Jahr



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

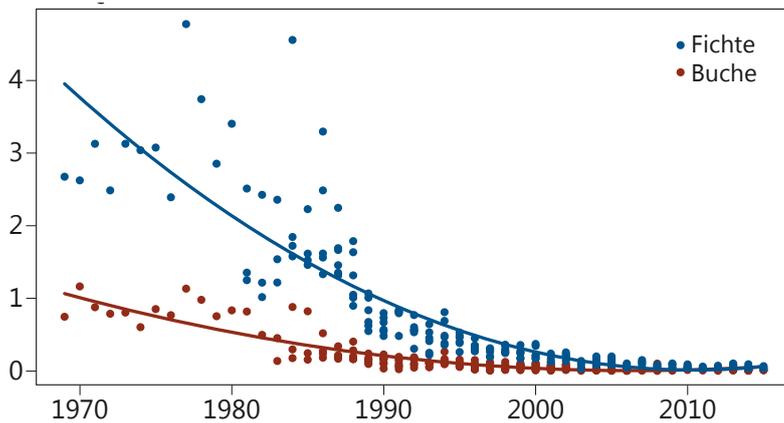
kmol_c (Kilomol charge) = Menge an Ladungsäquivalenten. Sie berechnet sich wie folgt: Elementkonzentration multipliziert mit der Wertigkeit des Moleküls (=Ladungsäquivalente pro Molekül), dividiert durch das Molekulargewicht. Multipliziert mit der Niederschlagsmenge ergibt sich die Fracht an Ladungsäquivalenten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

Entwicklung der Bodenversauerung auf Intensiv-Monitoringflächen in Nordwestdeutschland

Nils König, Heike Fortmann, Henning Meesenburg und Egbert Schönfelder

Der Eintrag von Säure in die Waldökosysteme ist im Vergleich zu den 1970er und 1980er Jahren deutlich zurückgegangen. Dies zeigen die Säureeinträge (Protonen) in Fichten- und Buchenflächen des Intensiven Monitorings der Länder Niedersachsen, Hessen, Sachsen-Anhalt und Schleswig-Holstein (siehe Abb. unten). Die Einträge in die Fichtenbestände sind deutlich höher als die in die Buchenbestände.

Säureeintrag (Protonen) kmol_c/ha



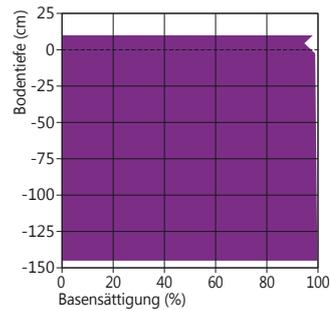
Säureeintrag (Protonen) mit der Kronentraufe auf Buchen- (rot) und Fichten- (blau) Monitoring-Flächen der NW-FVA seit 1968

Im Rahmen des Forstlichen Umweltmonitorings der NW-FVA wurden in den letzten 50 Jahren auf 47 Flächen die Einträge von Nähr- und Schadstoffen sowie deren Austräge mit der Bodenlösung gemessen. Hierzu wurden Bodeninventuren durchgeführt und die Bodenproben hinsichtlich ihres Versauerungszustandes untersucht. Einige Ergebnisse dieser Untersuchungen zur Wirkung und zum Verbleib der eingetragenen Säuren und die Wirkung von Kalkungsmaßnahmen werden im Folgenden dargestellt.

Bodenversauerung

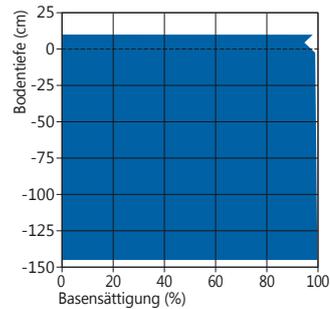
Um den Versauerungszustand von Böden zu beschreiben, werden verschiedene bodenchemische Indikatoren untersucht. Der pH-Wert in wässriger Bodensuspension (pH (H₂O)) kennzeichnet den aktuellen Säurezustand, während der pH-Wert in Salzlösung (pH (CaCl₂)) die potenzielle Versauerung widerspiegelt. Mit der Bestimmung der austauschbaren Kationenbasen Calcium, Magnesium, Natrium und Kalium sowie den Kationensäuren Aluminium, Eisen, Mangan und Protonen können ebenfalls Aussagen zum Versauerungsgrad des Bodens gemacht werden. Dabei stellt das Verhältnis der basischen Kationen zur Gesamtsumme der austauschbaren Kationen (AK) die Basensättigung (BS) dar: je geringer die Basensättigung, desto höher ist der Versauerungsgrad. Bei einer Basensättigung unter 20 % besteht das Risiko, dass vermehrt toxische Aluminiumionen in die Bodenlösung abgegeben werden und dort Baumwurzeln und Mikroorganismen schädigen.

Die 47 Flächen des Intensiven Forstlichen Monitorings wurden zunächst auf Basis des Tiefenverlaufs der Basensättigung den fünf Versauerungs- bzw. Basensättigungstypen nach Kölling zugeordnet. Typ 1 beschreibt die Böden mit nahezu vollständiger Basensättigung über die gesamte Profiltiefe, zum Typ 5 gehören alle Flächen mit tiefgründiger Versauerung und einer Basensättigung unter 20 % über die gesamte Profiltiefe. Die Typen 2-4 beschreiben die fortschreitende Versauerung mit der Bodentiefe (siehe Abbildungen rechts).

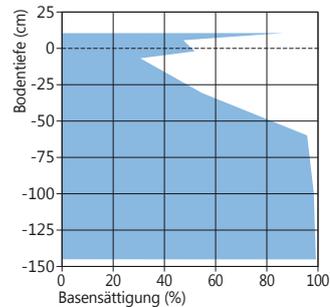


Versauerungstypen
nach Kölling 1999, Kölling et al. 1996

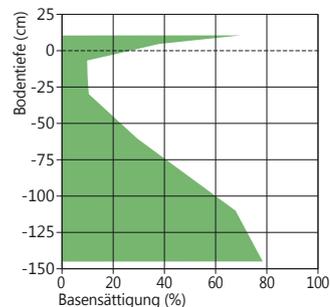
sehr basenreich (Typ 1+)
Gleichmäßig hohe Basensättigung von > 80 % im gesamten Profil mit hohem Calcium-, Magnesium- und Kaliumvorrat, keine Bodenversauerung



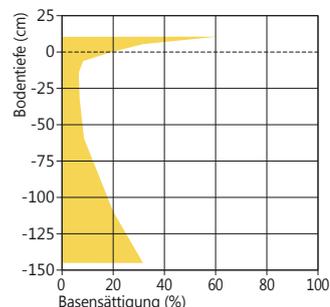
sehr basenreich, geringes Kaliumangebot (Typ 1-)
Gleichmäßig hohe Basensättigung von > 80 % im gesamten Profil mit hohem Calcium-, Magnesium- und geringem Kaliumvorrat (< 400 kg/ha Kalium), keine Bodenversauerung



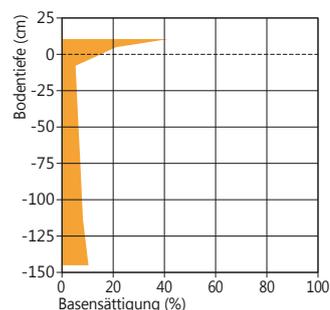
basenreich (Typ 2)
Hohe Basensättigung mit hohem Calcium-, Magnesium- und Kaliumvorrat, leichte Versauerung im Oberboden



mittelbasisch (Typ 3)
Mittlere Basensättigung mit mittlerem Calcium-, Magnesium- und Kaliumvorrat, stärkere Versauerung im Oberboden



basenarm (Typ 4)
Geringe Basensättigung mit geringem Calcium-, Magnesium- und Kaliumvorrat, tieferreichende Bodenversauerung, Anstieg der Basensättigung von > 20 % erst in 1 m Tiefe



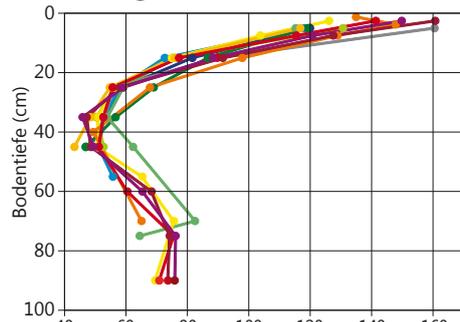
sehr basenarm (Typ 5)
Gleichmäßig geringe Basensättigung von < 20 % mit geringem Calcium-, Magnesium- und Kaliumvorrat, tiefreichende Bodenversauerung

Entwicklung der Bodenversauerung auf Intensiv-Monitoringflächen in Nordwestdeutschland

Ordnet man die 47 Intensiv-Monitoringflächen diesen Versauerungstypen zu, so entfallen drei Flächen auf Typ 1, fünf Flächen auf Typ 2, sieben Flächen auf Typ 3, zwei Flächen auf Typ 4 und 30 Flächen auf Typ 5. Zehn dieser Flächen wurden ein- oder mehrmals gekalkt. Die 30 Intensiv-Monitoringflächen des Versauerungstyps 5 sind in der Regel basenarme Standorte mit geringer Austauschkapazität und gehören vorrangig den Substratgruppen unverlehmter Sand, schwach verlehmter Sand, Buntsandstein und Quarzit an. Ein typisches Beispiel ist die Fichtenfläche im Solling (SLF1, Südniedersachsen).

Diese Fläche ist sehr homogen, was am sehr ähnlichen Verlauf der Austauschkapazität (Abb. rechts, oben links) mit der Bodentiefe zu den verschiedenen Beprobungszeitpunkten und -orten zu erkennen ist. Die Basensättigung (Abb. rechts, oben rechts) hat mit der Zeit über die gesamte Bodentiefe deutlich abgenommen und ist erst in den letzten Jahren wieder leicht angestiegen. Mit der Abnahme der Basensättigung verändert sich das chemische Bodenmilieu. Der Anteil von Aluminium an der Austauschkapazität nimmt zu, die Nährstoffe (u. a. Calcium, Magnesium) werden mit dem Sickerwasser ausgetragen und gehen dem Ökosystem verloren. Diese Entwicklung spiegelt sich in der Zunahme von austauschbarem Aluminium (Abb. rechts, Mitte links) und der Abnahme von austauschbarem Calcium (Abb. rechts, Mitte rechts) auf der Fichtenfläche im Solling (SLF1) wider.

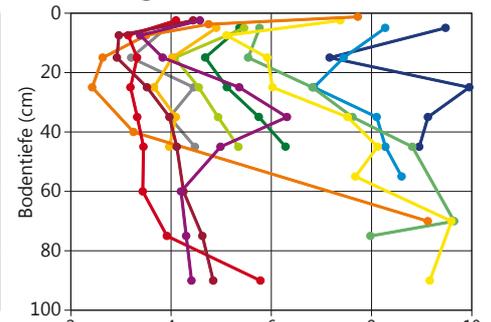
Austauschkapazität (mmol_c/kg), Solling Fichte



Zeitliche Entwicklung der Austauschkapazität mit der Bodentiefe von 1968-2010

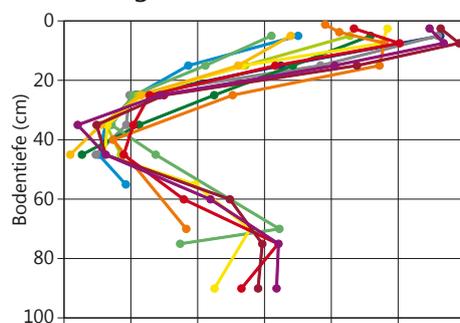


Basensättigung (%), Solling Fichte



Zeitliche Entwicklung der Basensättigung mit der Bodentiefe von 1968-2010

Aluminium (mmol_c/kg), Solling Fichte



Zeitliche Entwicklung des Gehalts an austauschbarem Aluminium mit der Bodentiefe von 1968-2010

Calcium (mmol_c/kg), Solling Fichte



Zeitliche Entwicklung des Gehalts an austauschbarem Calcium mit der Bodentiefe von 1968-2010

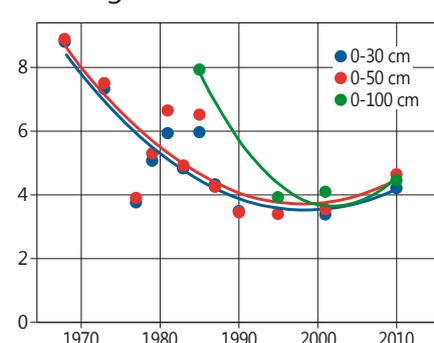
Noch deutlicher ist die Entwicklung der Basensättigung zu erkennen, wenn für verschiedene Bodentiefen (0-30 cm, 0-50 cm, 0-100 cm) die mittlere Basensättigung betrachtet wird (Abb. unten links). Eine Ursache für die Abnahme der Basensättigung ist der Verlust an austauschbarem Calcium, dessen Vorräte im Oberboden (0-50 cm) wie auch im Unterboden (50-100 cm) deutlich abgenommen haben. Seit etwa dem Jahr 2000 deutet sich ein Anstieg der Calciumvorräte im Oberboden an, während der Unterboden weiter an Calcium zu verarmen scheint (Abb. unten rechts).



Bodenprobenahme

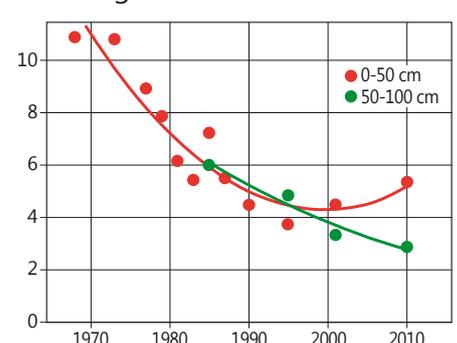
Foto: J. Evers

Mittlere Basensättigung (%), Solling Fichte



Veränderung der mittleren Basensättigung für die Bodentiefe 0-30, 0-50 und 0-100 cm

Calciumvorräte (kmol_c/ha), Solling Fichte

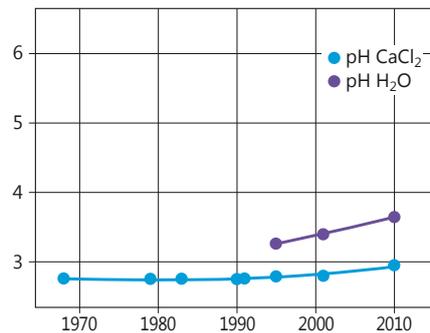


Veränderung der austauschbaren Calciumvorräte für die Bodentiefe 0-50 und 50-100 cm

Entwicklung der Bodenversauerung auf Intensiv-Monitoringflächen in Nordwestdeutschland

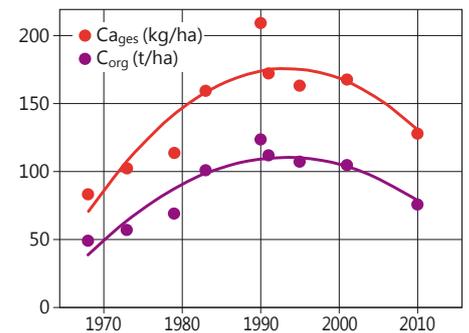
Im Auflagehumus ist der pH-Wert (H₂O) im Zeitraum 1995-2010 angestiegen (Abb. links). Dies geht einher mit der Abnahme des Auflagehumusvorrats auf der Fläche, der in der Phase der Versauerung zugenommen hatte (Abb. rechts). Diese Ergebnisse sind in ähnlicher Form auch auf den übrigen Flächen des Versauerungstyps 5 festzustellen. Wegen der größeren Inhomogenität anderer Versuchsflächen sind die Tendenzen jedoch nicht immer so klar erkennbar oder es liegen nicht so lange Zeitreihen vor. Betrachtet man die 14 ungekalkten Flächen des Versauerungstyps 5 mit niedrigen Calciumvorräten, auf denen mehr als eine Inventur durchgeführt wurde, gemeinsam, so ergibt sich für eine Reihe von Flächen eine signifikante Abnahme des austauschbaren Calciumvorrates in den vergangenen Jahrzehnten seit 1966 im Oberboden (durchgezogene Linien in roten bis orangenen Farbtönen). Die Abnahme des austauschbaren Calciums im Mineralboden scheint im letzten Jahrzehnt gestoppt zu sein, auf einigen der Flächen ist sogar eine leichte Erholung zu erkennen (Abb. unten).

pH-Werte im Auflagehumus, Solling Fichte



Veränderung der pH-Werte im Auflagehumus in Wasser (H₂O) und Calciumchlorid (CaCl₂)

Calcium- und Kohlenstoffvorräte im Auflagehumus, Solling Fichte



Veränderung der Calcium-Vorräte (Ca_{ges}) und der Vorräte an organischem Kohlenstoff (C_{org}) im Auflagehumus

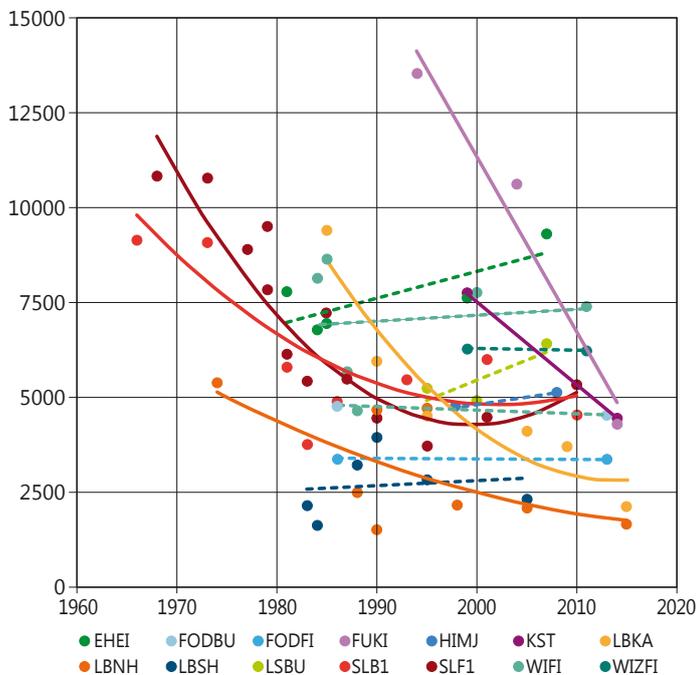
Bei vielen Flächen, deren Zeitreihen erst Mitte der 1980er Jahre oder noch später beginnen, ist in den letzten Jahrzehnten hingegen keine signifikante Veränderung zu erkennen.

Insgesamt muss festgestellt werden, dass die Versauerung auf schwach versorgten Standorten bis um das Jahr 2000 fortgeschritten ist und erst nach dem drastischen Rückgang der Säureeinträge die Calciumverluste gestoppt wurden. Auf einigen Standorten scheint eine langsame Erholung der Calciumvorräte und damit auch der Basensättigung stattzufinden. Diese Entwicklung muss weiter beobachtet werden.

Kalkung

Auf zehn Monitoringflächen wurden verschiedene Kalkungsmaßnahmen durchgeführt, um den Einfluss der Kalkung auf die Versauerungsindikatoren pH-Wert, Basensättigung, austauschbare Calciumvorräte u. a. zu untersuchen.

Calciumvorräte in 0-50 cm Bodentiefe (mol_c/ha)



Veränderung der austauschbaren Calciumvorräte für die Bodentiefe 0-50 cm auf 14 Flächen des Versauerungstyps 5. Durchgezogene Linien: signifikante Veränderung. Gestrichelte Linien: keine signifikante Veränderung.

EHEI = Ehrhorn Eiche, FODBU= Fürth im Odenwald Buche, FODFI = Fürth im Odenwald Fichte, FUKI = Fuhrberg Kiefer, HIMJ = Hils Mulde jung Fichte, KST = Königstein Fichte, LBHN = Lange Bramke Nordhang Fichte, LBSH = Lange Bramke Südhang Fichte, LSBU = Lüss Buche, SLB1 = Solling Buche, SLF1 = Solling Fichte, WIF1 = Wingst Fichte, WIZFI = Witzenhausen Fichte



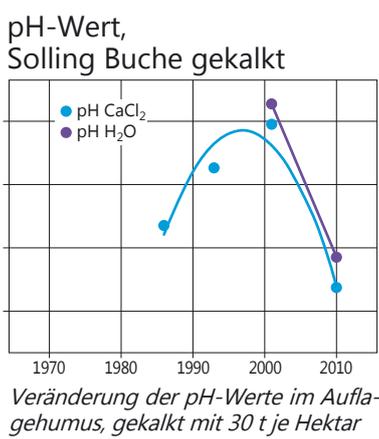
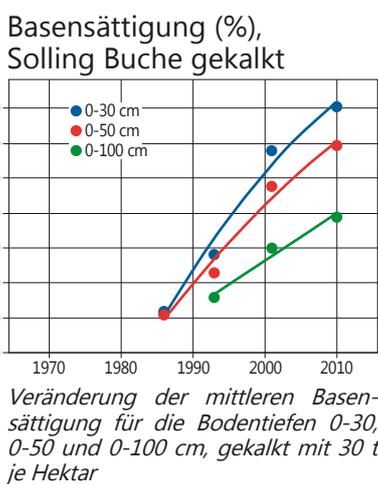
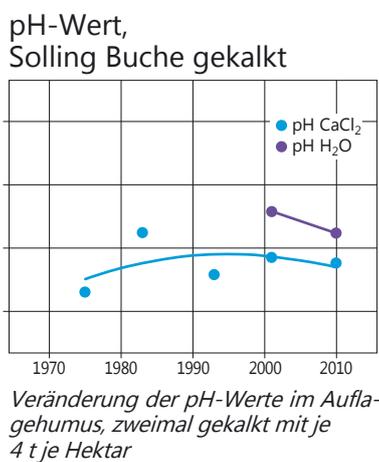
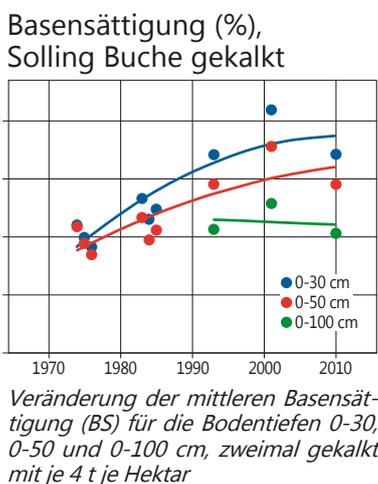
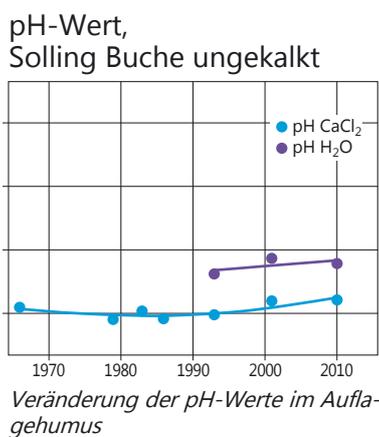
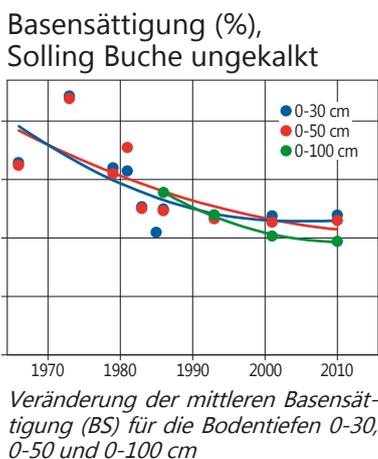
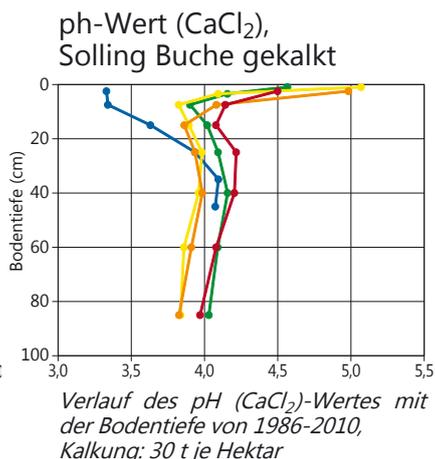
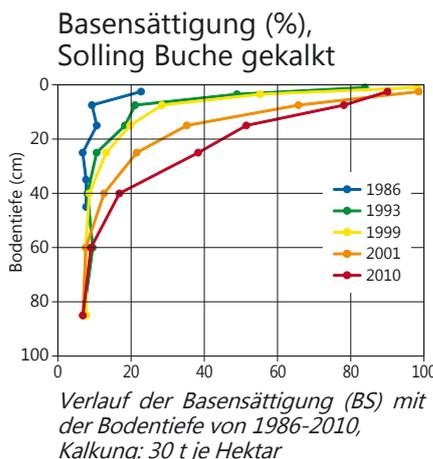
Bodenprobenahme

Foto: J. Evers

Entwicklung der Bodenversauerung auf Intensiv-Monitoringflächen in Nordwestdeutschland

Am deutlichsten kann die Wirkung der Kalkung auf einer Buchenfläche im Solling belegt werden, die mit 30 t je Hektar gekalkt wurde. Innerhalb von 25 Jahren stieg die Basensättigung im Oberboden auf bis zu 90 % an und änderte sich bis in eine Bodentiefe von 60 cm (Abb. links). Der pH-Wert (CaCl_2) stieg von 3,2 auf 5,4 in den obersten Zentimetern des Mineralbodens an (Abb. rechts). Damit einher gingen ein Abbau des Auflagehumus und eine Anreicherung von organischem Kohlenstoff im Oberboden.

Zwar ist eine Kalkung mit 30 t je Hektar extrem; sie zeigt aber deutlich die Trends auf, die



grundsätzlich auch bei geringeren Kalkmengen eintreten.

In den Abbildungen links sind die Entwicklungen der Basensättigung im Mineralbodenprofil und die des pH-Wertes im Auflagehumus auf drei Buchenflächen im Solling dargestellt. Die erste Fläche wurde nicht gekalkt, die zweite mit 2 x 4 t je Hektar und die dritte mit 30 t je Hektar. Es zeigt sich deutlich die Wirkung der Kalkung: die ungekalkte Fläche versauerte weiter und zeigt eine abnehmende Basensättigung auf unter 5 %, die sich erst in den letzten 10 Jahren mit leicht ansteigendem pH-Wert stabilisierte. Die mit 2 x 4 t je Hektar gekalkte Fläche zeigt eine leicht ansteigende Basensättigung auf bis zu 20 % im Oberboden und einen steigenden pH-Wert im Auflagehumus. 30 Jahre nach der letzten Kalkung scheinen jedoch beide Indikatoren wieder leicht abzunehmen. Die mit 30 t je Hektar gekalkte Fläche zeigt eine drastisch erhöhte Basensättigung bis in größere Bodentiefen. Der pH-Wert im Auflagehumus steigt zwischenzeitlich auf Werte um pH 6 an und hat nach 30 Jahren fast schon wieder den Ausgangszustand erreicht. Die Bodenschutzkalkung in den Partnerländern der NW-FVA wird in der Regel mit 3 t je Hektar durchgeführt, der Kalkungsturnus variiert. Die mit 2 x 4 t je Hektar gekalkte Fläche kommt von den Versuchsvarianten der Praxiskalkung am nächsten. Der Auflagehumusvorrat hat auf dieser Fläche abgenommen und ist auf der extrem gekalkten Fläche auf die Hälfte reduziert (ohne Abbildung).

Die Tiefenwirkung der Kalkung hängt stark vom Bodensubstrat ab. Auf sandigen Böden mit geringer Austauschkapazität wie der Eichenfläche GDEI in der Görhde ist nach 2-maliger Kalkung der austauschbare Calciumvorrat bis in 1 m Bodentiefe angestiegen und nimmt im Oberboden schon wieder ab (ohne Abbildung). Insgesamt kann der Kalkung eine positive Wirkung in Bezug auf eine Rückführung der Bodenversauerung sowie einer Verlagerung des organischen Kohlenstoffs vom Auflagehumus in den oberen Mineralboden zugesprochen werden.

Die Substratgruppe Tonschiefer

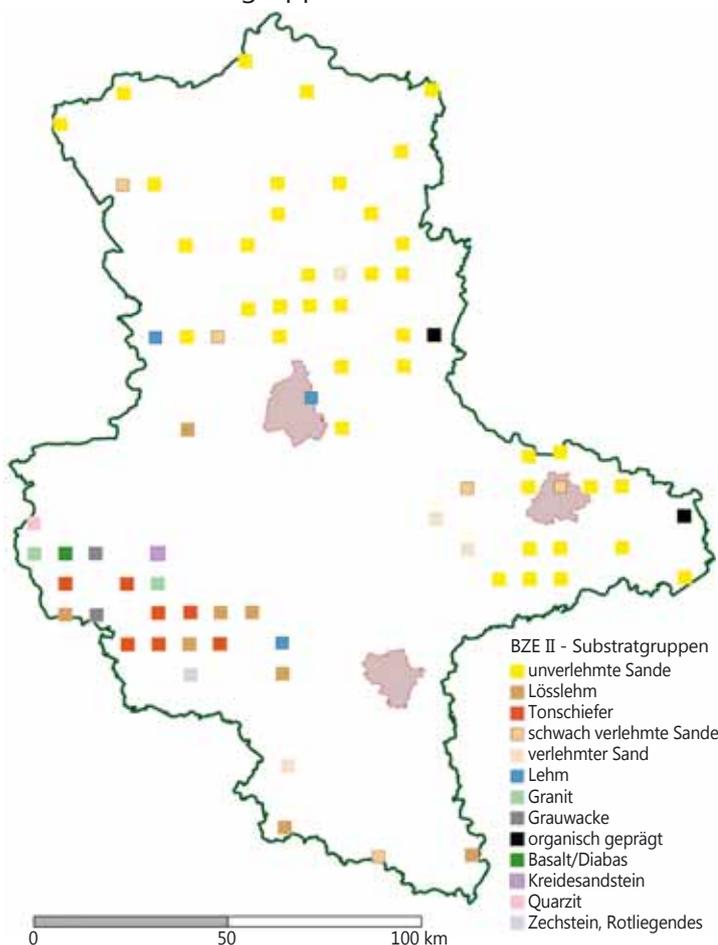
Jan Evers, Uwe Paar und Inge Dammann

Jeder der 388 BZE II-Punkte in Hessen, Niedersachsen und Sachsen-Anhalt wurde im Rahmen der Auswertungen der zweiten Bodenzustandserhebung im Wald (BZE II) einer Substratgruppe zugeordnet. Die Generierung der länderübergreifenden Substratgruppen erfolgte dabei nach den Merkmalen Ausgangssubstrat (Ausgangsgestein), Lagerung (Substrat-Lagerung), Bodenart, Bodenmorphologie und Bodenphysik. In Sachsen-Anhalt kommen 13 der für Nordwestdeutschland insgesamt definierten 16 Substratgruppen vor. Für 41 BZE II-Punkte (53 %) wurde die Substratgruppe „unverlehmte Sande“ ausgewiesen. Diese Substratgruppe wurde ausführlich im Waldzustandsbericht 2016 vorgestellt. Fünf BZE-Punkte (6 %) wurden als „schwach verlehmte Sande“ und vier Punkte (5 %) als ver-



Foto: M. Schmidt

Substratgruppen in Sachsen-Anhalt



Zuordnung der 76 sachsen-anhaltischen BZE II-Punkte zu Substratgruppen

lehmte Sande eingruppiert. 10 % der BZE-Punkte werden standörtlich von Lösslehmvorkommen bestimmt. 9 % der BZE-Punkte gehören zu den Tonschieferstandorten, die in diesem Bericht vorgestellt werden. Die Substratgruppen „Granit“, „Grauwacke“, „Kreidesandstein“, „Lehm“, „Ton(stein)“ und „Basalt/Diabas“, „Quarzit“ sowie „organisch geprägte Standorte“ sind jeweils mit Anteilen von 1-3 % vertreten (siehe Abb. unten).

Geologie

Tonschiefer ist ein Sedimentgestein, welches unter hohem Druck und hoher Temperatur in größerer Bodentiefe im Zuge von Gebirgsbildung und Plattentektonik verfestigt und verändert wurde. Dabei kennzeichnet den Tonschiefer eine dünnsschichtige Spaltbarkeit entlang engständiger paralleler Flächen (Schieferungsflächen). Je nach Sedimentanlieferung und -ablagerung kann der Tonschiefer sehr verschieden zusammengesetzt sein. Überwiegend ist er sehr fein und dicht als Folge einer Sedimentation überwiegend toniger Partikel am Grunde ehemaliger Gewässer in Senken und großräumigen Becken ohne starke Strömung. Er kann aber auch sandige und schluffige Komponenten enthalten. Es wird zwischen dem sedimentären Tonschiefer, der in Wasser quillt und dem metamorphen Tonschiefer unterschieden, der nicht auf Wasser reagiert. Wurden auch organische Bestandteile sedimentiert, verdichtet und umgewandelt, dann kann der Tonschiefer Erdöl und -gas enthalten. Je nach Einlagerung und Umwandlung kann der Tonschiefer schwarz-grau, bläulich oder rötlich-violette Färbung aufweisen. Die Sedimentgesteine, aus denen der Tonschiefer gebildet wurde, entstanden in unterschiedlichen Erdzeitaltern vom Silur, Devon und Perm bis hin zur Jura, Kreide und dem Tertiär. Bedeutende Vorkommen von Tonschiefer finden sich im Fichtelgebirge, Harz, Eifel, Thüringer Schiefergebirge, Rheinisches Schiefergebirge, Taunus, Hunsrück und in der Oberlausitz.

Schindeln aus Tonschiefer decken viele Häuser und werden noch heute oft als Giebel- und Fassadenverkleidung genutzt. Vor der industriellen Papierherstellung waren Schiefertafeln gängige Gebrauchsgegenstände in Schulen, Haushalten und Gewerbe.

In den Gesteinsfolgen Sachsens-Anhalts zählt der Tonschiefer zu den sehr alten Gesteinen im Grundgebirgsstock, der vom Ende der Erdurzeit (Präkambrium) bis zum Unterkarbon im Erdaltertum zwischen rund 550 bis 300 Millionen Jahren sedimentiert und verfestigt wurde. Dieses Gestein tritt im Harz an die Oberfläche und besteht aus feinen Gesteinsbruchstücken, die schwach verfestigt sind und eine engständige Schieferung im Millimeterbereich aufweisen. Aus diesem Gestein entstanden häufig Fließerdern und Schutte, die im Oberboden auch eingewehten Lösslehm enthalten können (Landesamt für Geologie und Bergwesen Sachsen-Anhalt 2014).

Bodenartenschichtung (Substrat-Lagerung)

Überwiegend findet man an den Tonschiefer-BZE II-Punkten in Sachsen-Anhalt schluffige, schwach tonige oder sandige Lehme bis zu sandig lehmigen oder mittel tonigen Schluffen bis zu 30 cm Mächtigkeit über dem skelett-

Die Substratgruppe Tonschiefer

reichen Tonschiefer. Vereinzelt sind diese feinkbodenreichen Decken, auch mit Lösslehm, bis zu 70 cm mächtig. Die Tonschiefer-Standorte der BZE II sind karbonatfrei.

Bodentypen

Der charakteristische Bodentyp in der Substratgruppe Tonschiefer ist die Braunerde. Im BZE II-Kollektiv wurden weit überwiegend reine Braunerden ausgewiesen, teilweise kamen noch Pseudogley-Braunerden (bei höherem Lösseinfluss) vor.

Humusformen

Die vorkommenden Humusformen auf den Standorten der Substratgruppe Tonschiefer in Sachsen-Anhalt sind zum Zeitpunkt der BZE II (2007) relativ günstig: Insgesamt drei der betreffenden BZE-Punkte zeigen den Humustyp Mull, zwei Standorte die Humusform Moder und zwei Standorte den deutlich schlechtere Zersetzung anzeigenden Rohhumusartigen Moder. Zum Zeitpunkt der BZE I (1992) gab es nur einen Standort mit der Humusform Mull und jeweils drei in der Gruppe der Moder- und Rohhumusartigen Moder. Die beiden Verteilungen zeigen eine Tendenz zu besseren Humusformen in der BZE II an, für gesicherte Aussagen ist das Tonschiefer-Kollektiv in Sachsen-Anhalt allerdings zu klein. Diese tendenzielle Verbesserung in den Humusformen kann nicht wie in Niedersachsen auf Waldkalkungen zurückgeführt werden, da in Sachsen-Anhalt an diesen BZE-Punkten keine Waldkalkung dokumentiert ist.

Trophie

Die Trophiestufen der Tonschiefer-Standorte liegen zu 40 % im eutrophen und gut mesotrophen (Nährkraftstufen reich und kräftig), zu 10 % im mesotrophen (Nährkraftstufe mittel) und zu 40 % im schwach mesotrophen Bereich



Typisches BZE-Tonschieferprofil bei Hayn im Harz, eine Braunerde mit hohen Steinanteilen im Unterboden, der gut durchwurzelt ist
Foto: NW-FVA

(Nährkraftstufe ziemlich arm). Die weite Spanne der Trophiestufen im Tonschiefer hängt mit der unterschiedlichen Zusammensetzung des Gesteins zusammen. Je nach der einst sedimentierten Komponente und dem Verwitterungsgrad kann der Tonschiefer sehr unterschiedlich mit Nährstoffen versorgt sein. Häufig findet sich eine bessere Nährstoffversorgung eher in den mehr tonigen Ausprägungen des Tonschiefers, die schwächere Nährstoffausstattung eher in den mehr sandigen, flachgründigen Standorten.

Natürliche Waldgesellschaften und aktuelle Bestockung

Auf Tonschiefer-Standorten kommen natürlicherweise Hainsimsen-, Waldmeister- und Waldschwingel- sowie Zahnwurz-Buchenwälder je nach Nährstoffausstattung und Höhenlage des Tonschiefers vor.

Hainsimsen-Buchenwälder sind typisch für mittel und gering mit Nährstoffen versorgte Tonschiefer-Standorte in der montanen und submontanen Stufe. Neben der Hainsimse kommen u. a. Drahtschmiele, Frauenhaarmoos, Pillesegge, Wald-Ehrenpreis, Rotes Straußgras, Sauerklee, Frauenfarn und Rasenschmiele vor.

Hainsimsen-Waldmeister- (submontane Lagen) und Waldschwingel-Buchenwälder (montane Lagen) finden sich vorzugsweise auf Standorten mit mächtigeren Lösslehmdecken (bis 70 cm) oder den mehr tonigen Ausprägungen des Tonschiefers. Charakterarten der Hainsimsen-Waldmeister-Buchenwälder sind u. a. Weiße Hainsimse, Buschwindröschen, Flattergras, Waldmeister, Wald-Segge, Eichenfarn, Frauenfarn und Goldnessel.

Zahnwurz-Buchenwälder kennzeichnen die sehr gut mit Nährstoffen versorgten Standorte in der montanen Stufe, die aber nicht im BZE-Kollektiv vertreten sind. Die Tonschiefer-Standorte in Sachsen-Anhalt liegen alle in der submontanen Stufe.

Zum Zeitpunkt der BZE II waren 60 % der Tonschiefer-Standorte mit überwiegend Fichte, 30 % mit überwiegend Laubholz (Eiche, Buche und Schwarzerle) sowie 10 % mit reiner Buche bestockt. Weitere, häufig vorkommende Mischbaumarten auf Tonschiefer sind die Lärche und Douglasie, auf den besser nährstoffversorgten Standorten auch Bergahorn und Kirsche.

Chemische Bodenkenngößen

Austauschkapazität

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

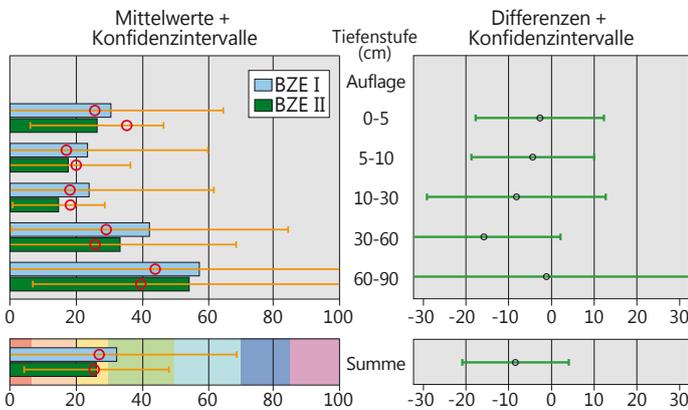
Die Substratgruppe Tonschiefer gehört in Sachsen-Anhalt zu den mittel mit Nährstoffen versorgten Standorten. Die mittlere Austauschkapazität beträgt knapp 500 kmol_c je Hektar bis 90 cm Bodentiefe und liegt damit durchschnittlich im mittleren Bewertungsbereich nach der AK Standortskartierung (2016). Die über das Profil summierte Austauschkapazität schwankt je nach Standort zwischen 320 kmol_c je Hektar (noch mittlerer Bewertungsbereich) bis knapp 1000 kmol_c je Hektar (mittel-hoher Bewertungsbereich).

Die Substratgruppe Tonschiefer

Basensättigung

Im Zuge fortschreitender Bodenversauerung werden die an der Pufferung beteiligten basischen Kationen Calcium, Magnesium und Kalium 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 Calcium, Magnesium, Kalium und Natrium 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.

Basensättigung (%)



Basensättigung der Substratgruppe Tonschiefer (n=7) in sachsen-anhaltischen Waldböden als Mittelwert für die BZE I und II (linke Spalte) und Differenz (BZE II – BZE I) (rechte Spalte) nach Tiefenstufen und Summe bis 90 cm

Für die Tonschiefer-BZE-Standorte in Sachsen-Anhalt liegt die durchschnittliche Basensättigung auf Profilebene bei 26 % und damit im gering-mittleren Bewertungsbereich. Ähnlich geringe durchschnittliche Basensättigungen in Sachsen-Anhalt bis 90 cm Bodentiefe zeigen auch die Substratgruppen unverlehmter Sand, Grauwacke und Quarzit. Die durchschnittlichen Calciumvorräte im Tonschiefer befinden sich im mittel-hohen, die Magnesiumvorräte im gering-mittleren und die Kaliumvorräte im mittleren Bewertungsbereich.

Veränderung der Basensättigung

Für die Tonschiefer-Standorte verringerten sich die durchschnittlichen Basensättigungswerte zwischen den BZE-Zeitpunkten leicht, doch sind diese Unterschiede in keinem Fall signifikant. Mit 26 % Basensättigung zum Zeitpunkt der BZE II hat sich die Basensättigung im Vergleich zur BZE I um 7 %-Punkte verringert, dieser Unterschied lässt sich jedoch nicht statistisch absichern. Aufgrund der sehr unterschiedlichen chemischen Zusammensetzung des Tonschiefer-Gesteins sind die austauschbaren Nährstoffvorräte im Mineralboden sehr

verschieden und die Streuungen der Basensättigung entsprechend hoch. Abnahmen der Basensättigung sind in jeder Tiefenstufe aufgetreten. In Abhängigkeit der standörtlichen Voraussetzungen sind die Tonschiefer-Standorte grundsätzlich für Waldkalkungen vorgesehen.

Wesentliche Veränderungen gegenüber der BZE I haben auch für die pH-Werte nicht stattgefunden. Die Tonschiefer-Standorte decken sowohl in der BZE I als auch BZE II den Austauscher-Pufferbereich ab. Seit der BZE I sind die mittleren pH(H₂O)-Werte im Auflagehumus leicht signifikant gesunken und im Mineralboden leicht gestiegen. Die pH(KCl)-Werte sind tendenziell gesunken, signifikant im Auflagehumus und oberen Mineralboden bis 10 cm Bodentiefe. Die abnehmenden pH-Werte im Auflagehumus lassen weiter auf zu hohe Säureeinträge schließen. Im Mineralboden hat sich hinsichtlich der pH(H₂O)-Werte der Zustand nicht weiter verschlechtert. Die signifikant geringeren pH(KCl)-Werte im oberen Mineralboden lassen jedoch auf abgelaufene und noch ablaufende Pufferreaktionen schließen, die Protonen an der Bodenmatrix binden und damit sinkende pH(KCl)-Werte verursachen.

Ernährungssituation der Waldbäume

In der Substratgruppe Tonschiefer ist in Sachsen-Anhalt die Fichte im Harz am häufigsten vertreten. Die Bewertung der Ernährungssituation der Fichte erfolgt anhand der Mediane für die Hauptnährstoffe (Stickstoff, Kalium, Phosphor, Calcium und Magnesium) sowie der Stickstoffquotienten zum Zeitpunkt der BZE II im Jahr 2007 (Tabelle unten).

Die Fichte kommt im BZE II-Kollektiv in Sachsen-Anhalt lediglich an zehn Punkten vor, davon entfallen vier auf die Substratgruppe Tonschiefer.

Die Ergebnisse der Nadelanalysen in Sachsen-Anhalt insgesamt zeigen eine luxuriöse Versorgung (oberhalb des Normalbereichs) der Fichte mit Stickstoff und Calcium. Dies gilt auch für die Fichte auf Tonschieferstandorten. Die Calciumgehalte in den Fichtennadeln in dieser Substratgruppe liegen mit einem Median von 6,3 mg/g sogar noch über dem Landesdurchschnitt (5,5 mg/g).

Die Versorgung der Fichten mit Phosphor und Magnesium ist landesweit und auch auf den Tonschieferstandorten gut (Normalbereich). Darüber hinaus zeigen die Mediane der N/P und N/Mg-Quotienten ausgewogene Elementverhältnisse.

Die Kaliumgehalte in den Fichtennadeln auf Tonschiefer befinden sich ebenfalls überwiegend im Normalbereich, die N/K-Quotienten deuten allerdings auf unharmonische Elementverhältnisse hin. Auch dies entspricht dem Landesdurchschnitt.

Elementgehalte und Stickstoffquotienten

Baumart	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
Rotfichte	4	17,4	1,7	5,0	6,3	1,3	10,1	3,5	2,9	14,1

- Elementgehalt im latenten Mangel bzw. Stickstoffquotient unausgewogen
- Elementgehalt im Normalbereich bzw. Stickstoffquotient ausgewogen
- Elementgehalt oberhalb des Normalbereichs

Median der Elementgehalte und Stickstoffquotienten in Fichtennadeln (1. Nadeljahrgang) an BZE II-Punkten auf Tonschiefer. Bewertung der Elementgehalte nach Göttlein (2015) und der Stickstoffquotienten nach Mellert u. Göttlein (2012)

Literaturverzeichnis

AK Standortskartierung (2016): Forstliche Standortsaufnahme. 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): Boden-Dauerbeobachtung, 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, Marti´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

Granier A, Breda N, Biron P & Villetto S (1999): A lumped water balance model to evaluate duration and intensity of drought constraints in forest stands. *Ecol. Modelling*, 116, 269-283.

Granier A, Reichstein M, Breda N, Janssens I A, Falge E, Ciais P, Grunwald T, Aubinet M, Berbigier P, Bernhofer C, Buchmann N, Facini O, Grassi G, Heinesch B, Ilvesniemi H, Keronen P, Knohl A, Koster B, Lagergren F, Lindroth A, Longdoz B, Loustau D, Mateus J, Montagnani L, Nys C, Moors E, Papale D, Peiffer M, Pilegaard K, Pita G, Pumpanen J, Rambal S, Rebmann C, Rodrigues A, Seufert G, Tenhunen J, Vesala T, Wang O (2007): Evidence for soil water control on carbon and water dynamics in European forests during the extremely dry year: 2003. *Agricultural and Forest Meteorology*, 143, (1-2), 123-145.

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

Kawohl T, Dietrich H, Wehberg J, Böhner J, Wolf T & Röder A (2017): Das Klima in 80 Jahren - Wein- statt Waldbau? *AFZ-DerWald*, 72 Jg., (15), 32-35.

Kölling C, Hoffmann M, Gulder HJ (1996): Bodenchemische Vertikalgradienten als charakteristische Zustandsgrößen von Waldökosystemen. *Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde*, 159, 69-77

Kölling C (1999): Ordination von Waldökosystemen nach Stoffkonzentrationen der Lösungsphase und bodenchemischen Tiefengradienten. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 162, 1, 89-95.

Kopp D, Schwanecke W, Schmidt W (unveröffentlicht): Merkmalsspiegel zur Kennzeichnung der wichtigsten forstlichen Lokalbodenformen Sachsen-Anhalts.

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

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

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

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



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: Evers J

Layout: Paar E

Herstellung: Nordwestdeutsche
Forstliche Versuchsanstalt

Druck: Printec Offset Kassel

Der Waldzustandsbericht 2017
ist abrufbar unter
www.nw-fva.de und
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.