



# Waldzustandsbericht 2016





# Vorwort



Liebe Leserin, lieber Leser,

der Klimaschutz ist weltweit in den Mittelpunkt unzähliger wissenschaftlicher Untersuchungen gerückt. Heute wissen wir, dass die Speicherung des Klimakillers CO<sub>2</sub> in den deutschen Wäldern, im Waldboden und die Verwendung von Holzprodukten die Atmosphäre jährlich um 126 Millionen Tonnen CO<sub>2</sub> entlasten. Diese beeindruckende Menge Treibhausgas entspricht etwa 14 Prozent des nationalen Gesamt-Ausstoßes.

Nur vitale, widerstandskräftige und leistungsfähige Wälder können ihre Aufgabe als aktive Kohlenstoffsенке, als Rohstofflieferant, Lebens- und Erholungsraum in vollem Umfang erfüllen. Durch das umfangreiche Forstliche Umweltmonitoring der Nordwestdeutschen Forstlichen Versuchsanstalt in Göttingen (NW-FVA) und ihre wissenschaftlich erhobenen Erkenntnisse wissen wir viel über den Gesundheitszustand der niedersächsischen Wälder und über die komplexen Belastungen, denen sie ausgesetzt sind. Daher können wir schädlichen Einflüssen auf unseren Wald frühzeitig entgegen wirken.

In diesem aktuellen Berichtsheft können Sie sich eingehend über die Ergebnisse der diesjährigen Erhebung des Waldzustandes in Niedersachsen informieren. Die gute Nachricht: die Vitalität der untersuchten Baumarten ist weitgehend stabil geblieben und der Anteil starker Schäden oder abgestorbener Bäume stagniert seit Jahren auf sehr geringem Niveau.

Die diesjährige Ausgabe enthält neben aktuellen Forschungsergebnissen über den Boden, den Wasserhaushalt und Forstschädlinge auch ausführliche Informationen über die Belastungen der Wälder mit Blei, Cadmium und anderen giftigen Schwermetallen. Da diese Schadstoffe auch in verbrauchten Batterien, Computerschrott und Energiesparlampen enthalten sind, sind wir alle als Verbraucher zum sachgerechten Umgang und zur fachgerechten Entsorgung aufgefordert.

A handwritten signature in black ink that reads "Christian Meyer". The signature is written in a cursive, flowing style.

Christian Meyer  
Niedersächsischer Minister  
für Ernährung, Landwirtschaft  
und Verbraucherschutz



# Inhaltsverzeichnis

|   | Seite     |
|---|-----------|
| Vorwort   | 2         |
| <b>Inhaltsverzeichnis</b>   | <b>3</b>  |
| <b>Hauptergebnisse</b>  | <b>4</b>  |
| Inge Dammann und Uwe Paar   |           |
| <b>Forstliches Umweltmonitoring</b>   | <b>6</b>  |
| Johannes Eichhorn, Uwe Paar, Jan Evers, Andreas Schulze, Jörg Weymar,<br>Henning Meesenburg, Michael Spielmann und Inge Dammann |           |
| <b>WZE-Ergebnisse für alle Baumarten</b>  | <b>9</b>  |
| Inge Dammann und Uwe Paar   |           |
| <b>Kiefer</b>   | <b>11</b> |
| <b>Fichte</b>   | <b>12</b> |
| <b>Buche</b>  | <b>13</b> |
| <b>Eiche</b>  | <b>14</b> |
| <b>Andere Laub- und Nadelbäume</b>  | <b>15</b> |
| <b>Witterung und Klima</b>  | <b>16</b> |
| Johannes Suttmöller   |           |
| <b>Bodenwasserhaushalt und Trockenstress</b>  | <b>20</b> |
| Paul Schmidt-Walter, Bernd Ahrends und Henning Meesenburg   |           |
| <b>Insekten und Pilze</b>   | <b>23</b> |
| Ulrich Bressemer, Michael Habermann, Rainer Hurling,<br>Andreas Rommerskirchen, Gitta Langer und Pavel Plašil                   |           |
| <b>Stoffeinträge</b>  | <b>25</b> |
| Birte Scheler   |           |
| <b>Die Substratgruppe unverlehmter Sand</b>   | <b>29</b> |
| Jan Evers, Inge Dammann, Thomas Jensen <sup>1</sup> und Uwe Paar<br><sup>1</sup> Niedersächsisches Forstplanungsamt             |           |
| <b>Schwermetallbelastung der Wälder</b>   | <b>34</b> |
| Nils König, Heike Fortmann, Uwe Klinck, Birte Scheler und Markus Wagner   |           |
| Literaturverzeichnis  | 39        |
| Impressum   | 40        |



# Hauptergebnisse

## Waldzustandserhebung

Die mittlere Kronenverlichtung der Waldbäume in Niedersachsen insgesamt erhöhte sich 2016 gegenüber dem Vorjahr um 2 %-Punkte und beträgt jetzt 17 %. Zu diesem Anstieg der Kronenverlichtung hat die Fruchtbildung der Buche in diesem Jahr beigetragen. Schäden durch Insekten und Pilze waren 2016 (mit Ausnahme des Eschentriebsterbens) im WZE-Stichprobenkollektiv nur in geringem Umfang festzustellen. Der Anteil starker Schäden und die Absterberate blieben stabil.

Die Zunahme der mittleren Kronenverlichtung 2016 beschränkt sich auf die älteren (über 60jährigen) Bäume. Die Ergebnisse der Waldzustandserhebung zeigen einen deutlichen Alterstrend: Für ältere Bäume liegt die mittlere Kronenverlichtung mit 21 % etwa doppelt so hoch wie für jüngere (bis 60jährige) Bäume (8 %).

Die Baumartenverteilung in der WZE-Stichprobe in Niedersachsen ergibt für die Kiefer einen Flächenanteil von 37 %, die Fichte ist mit 18 %, die Buche mit 16 % und die Eiche mit 7 % an der WZE-Stichprobe vertreten. Die anderen Laub- und Nadelbäume nehmen zusammen einen Anteil von 22 % ein.

Die ältere Kiefer hat im Beobachtungszeitraum ein relativ geringes Kronenverlichtungsniveau beibehalten. 2016 liegt die mittlere Kronenverlichtung bei 16 %. Auch bei den starken Schäden und in der Absterberate zeigt sich die Kiefer robust, im Erhebungszeitraum blieben die Werte bislang konstant niedrig. Der Kronenzustand der Kiefer ist weiterhin markant besser als der von Fichte, Buche und Eiche.

Bei der älteren Fichte wird seit Beginn der Zeitreihe der Waldzustandserhebung ein anhaltend hoher Verlichtungsgrad mit einer Spanne von 24 bis 30 % festgestellt. 2016 beträgt die mittlere Kronenverlichtung 28 %.



Foto: H. Heinemann

Bei den Laubbaumarten Buche und Eiche ist im Zeitverlauf der Waldzustandserhebung eine Verschlechterung eingetreten. Die Kronenverlichtungswerte liegen für beide Laubbaumarten derzeit etwa doppelt so hoch wie zu Beginn der Zeitreihe. Schwankungen in der Belaubungsdichte der Buche treten vor allem in Zusammenhang mit intensiven Fruchttjahren auf. 2016 bildeten 65 % der älteren Buchen mittleren und starken Fruchtbehang aus, die Verlichtungswerte stiegen um 3 %-Punkte auf 28 % an. Seit 2013 wurden keine nennenswerten Schäden durch Blattfraß an der älteren Eiche festgestellt, die mittlere Kronenverlichtung beträgt in diesem Jahr 30 %.

Die anderen Laub- und Nadelbäume weisen einen insgesamt (alle Alter) vergleichsweise geringen Kronenverlichtungsgrad auf (12 % bzw. 10 %).

## Witterung und Klima

Das Vegetationsjahr 2015/2016 (Oktober-September) ist mit einer Mitteltemperatur von 10,6 °C ebenso wie 2014 und 2007 eines der wärmsten Jahre seit Messbeginn. In 7 Monaten war es mehr als 1,5 °C wärmer als im langjährigen Monatsmittel.

In acht von 12 Monaten war es in Niedersachsen zu trocken, allerdings konnten sehr hohe Niederschlagsmengen im November 2015 sowie im Februar und Juni 2016 das Niederschlagsdefizit ausgleichen, so dass im Vegetationsjahr 2015/2016 die Niederschlagsmenge dem langjährigen Mittelwert entsprach.

Wie im Vorjahr war es auch 2015/2016 im Osten und Südosten Niedersachsens – vor allem im Harz – überdurchschnittlich warm und trocken.

## Bodenwasserhaushalt und Trockenstress

Mit dem Klimawandel ändert sich die Wasserverfügbarkeit für die Waldbestände. Anhand von Wasserhaushaltssimulationen auf dem BZE-Netz lässt sich zeigen, wie sich verschiedene Parameter des Bodenwasserhaushalts und zum Trockenstress an den Waldstandorten ausprägen. Beispielsweise haben die Phasen der Bodenaustrocknung seit Anfang der 1990er Jahre zugenommen. Die Variabilität zwischen den BZE-Punkten hat gleichzeitig abgenommen, d. h. auch auf in der Vergangenheit besser wasserversorgten Standorten tritt vermehrt Trockenstress auf. Im Rahmen einer klimasensitiven Forstwirtschaft unterstützen Informationen zur Dynamik der Wasserverfügbarkeit die Planung und Bewirtschaftung der Wälder.

## Insekten und Pilze

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

In Fichtenbeständen im Bergland gibt es zahlreiche Befallsherde der Borkenkäfer, bei der Eiche hingegen sind Schäden durch die Eichenfraßgesellschaft in diesem Jahr landesweit nur in geringem Ausmaß aufgetreten. In Ostniedersachsen erfolgte auf rund 900 Hektar Kiefernwald eine Bekämpfung der Kiefernbuschhornblattwespe.



# Hauptergebnisse

## Stoffeinträge

Die Messergebnisse des Intensiven Monitorings bestätigen die Wirksamkeit der ergriffenen Luftreinhaltemaßnahmen zur Reduktion von Schwefelemissionen. Die ehemals sehr hohen Schwefeleinträge in die Wälder haben im Vergleich zu den frühen 1980er Jahren um rund 90 % abgenommen. 2015 sind die Eintragsraten weiter gesunken und betragen pro Hektar und Jahr zwischen 3,6 kg (Lüss Buche) und 7,2 kg (Solling Fichte).

Eindrucksvoll ist auch die Entwicklung der pH-Werte in der Kronentraufe. Die lange Zeitreihe im Solling dokumentiert einen Anstieg unter Fichte von 3,3 (1971) auf 5,3 (2015).

Der Stickstoffeintrag geht zurück, übersteigt aber weiterhin den Bedarf der Wälder und trägt u. a. zur Bodenversauerung bei. Ammonium ist heute relativ betrachtet der bedeutendste Säurebildner im Waldboden.

## Substratgruppe unverlehmter Sand

Für die Waldstandorte in Niedersachsen ist der unverlehmte Sand das am häufigsten vorkommende Substrat. Die Ergebnisse der Bodenzustandserhebung (BZE I und II) zeigen, dass sich auf diesen Standorten vielfältige Bodentypen und Humusformen ausgebildet haben. Die aktuelle Baumartenverteilung ist stark durch den Menschen geprägt, es überwiegen Kiefernbestände. Aufgrund der bodenchemischen Parameter gehören die unverlehmten Sande zu den ärmeren Standorten. Seit der BZE I hat die Basensättigung an den



Foto: M. Spielmann

ungekalkten BZE-Punkten auf unverlehmtem Sand weiter abgenommen und es kam zu Calcium- und Magnesiumverlusten aus dem Mineralboden. Auf den gekalkten Standorten dagegen stieg die Basensättigung an. Auch die Analyse der Ernährungssituation für Kiefer, Fichte, Buche und Eiche für diese Substratgruppe ergibt eine verbesserte Nährstoffversorgung an den gekalkten gegenüber den ungekalkten BZE-Punkten.

## Schwermetallbelastung der Wälder

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

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



Foto: M. Spielmann



# Forstliches Umweltmonitoring

Johannes Eichhorn, Uwe Paar, Henning Meeseburg,  
Jörg Weymar 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 Boden-

zustand 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):

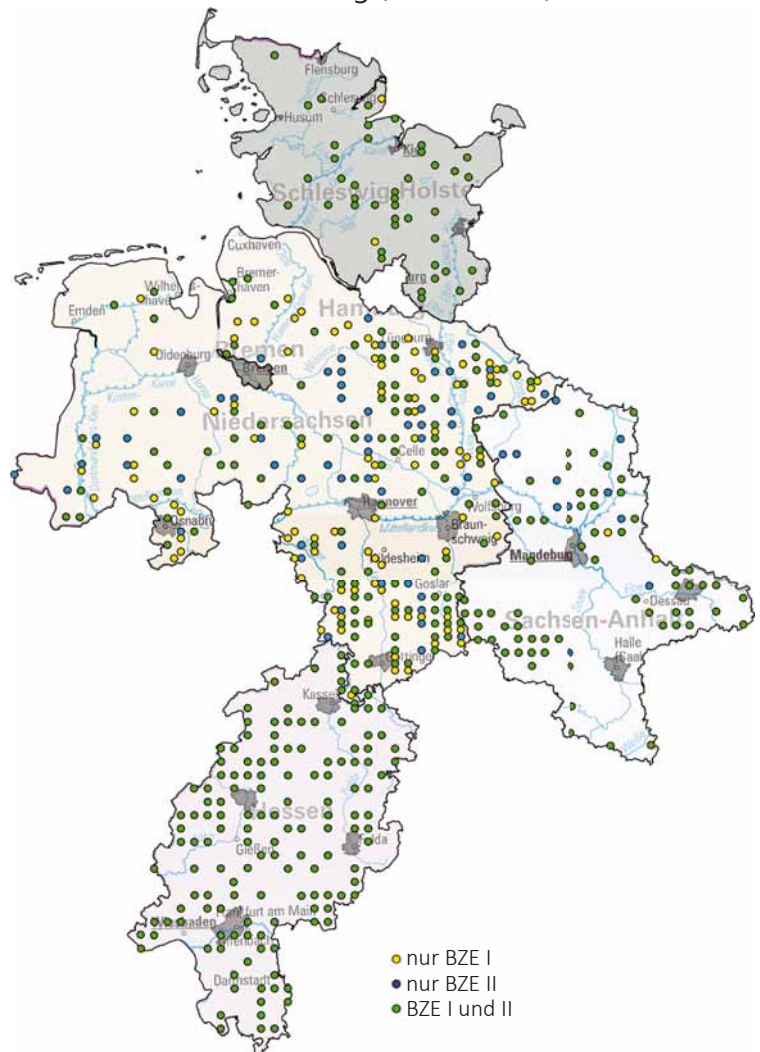
- Chemischer und physikalischer Bodenzustand, Nadel-/Blatternahrung, Baumwachstum, Bodenvegetation, Kronen- und Baumzustand, abiotische und biotische Faktoren.

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.

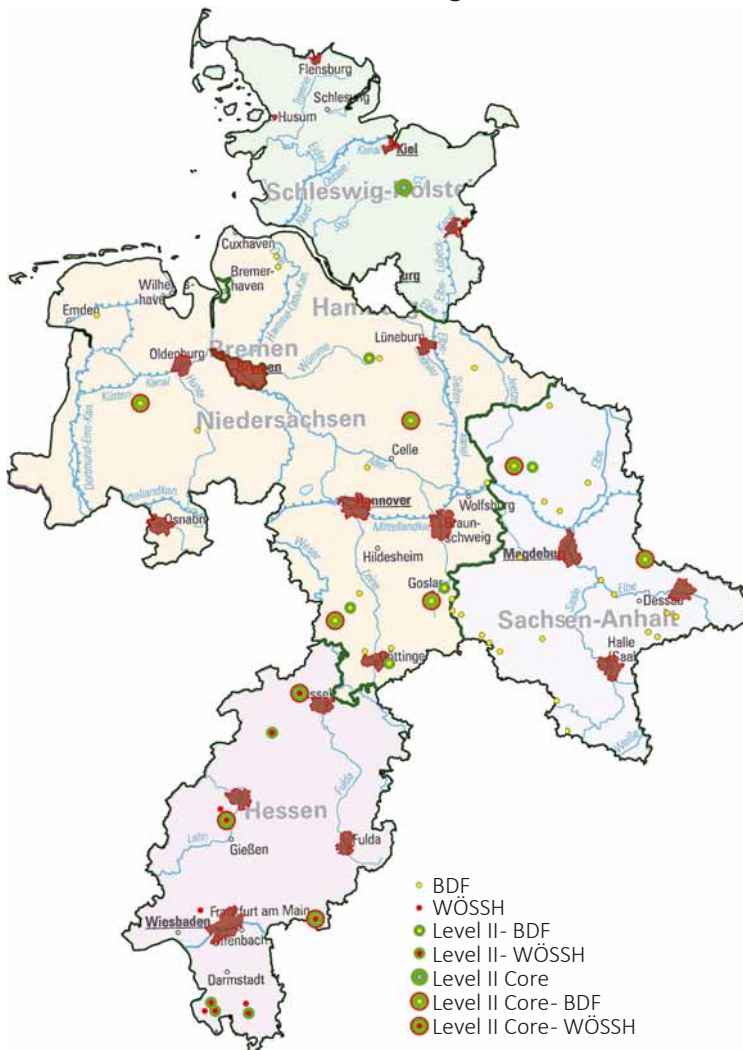
Das Untersuchungsdesign der Forstlichen Umweltkontrolle für die Bereiche Level I, Intensives Forstliches Umweltmonitoring und Experimentalflächen für die Länder Hessen, Niedersachsen, Bremen, Sachsen-Anhalt und Schleswig-Holstein zeigen die Abbildungen unten.



Intensiv-Monitoringfläche Solling, Buche

Foto: NW-FVA

## Intensives Monitoring



## Experimentalflächen





# Forstliches Umweltmonitoring

## Waldzustandserhebung – Methodik und Durchführung

Die Waldzustandserhebung ist Teil des Forstlichen Umweltmonitorings in Niedersachsen. 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 Niedersachsen verteilten Rasternetz werden seit 1984 an jedem Erhebungspunkt 24 Stichprobenbäume begutachtet.

Die Rasterweite des landesweiten Stichprobennetzes beträgt seit 2005 8 km x 8 km, für Buche und Eiche werden zusätzliche Erhebungen im 4 km x 4 km-Raster (WZE-Punkte mit im Jahr 2004 mindestens 6 Buchen oder Eichen) durchgeführt. Derzeit gehören 303 Erhebungspunkte zum Stichprobenkollektiv, von denen in diesem Jahr 294 Erhebungspunkte in die Inventur einbezogen werden konnten. Dieser Aufnahmeumfang ermöglicht repräsentative Aussagen zum Waldzustand auf Landesebene sowie Zeitreihen für die Baumarten Buche, Eiche, Fichte und Kiefer. Für den Parameter mittlere Kronenverlichtung zeigt die Tabelle die 95 %-Konfidenzintervalle (=Vertrauensbereiche) für die Baumarten und Altersgruppen der WZE-Stichprobe 2016. Je weiter der Vertrauensbereich, desto unschärfer sind die Aussagen. Die Weite des Vertrauensbereiches wird im Wesentlichen beeinflusst durch die Anzahl der Stichprobenpunkte in der jeweiligen Auswerteeinheit und die Streuung der Kronenverlichtungswerte. Für relativ homogene Auswerteeinheiten (z. B. Kiefer bis 60 Jahre) mit relativ gering streuenden Kronenverlichtungen sind enge Konfidenzintervalle auch bei einer geringen Stichprobenanzahl sehr viel leichter zu erzielen als für heterogene

*95 %-Konfidenzintervalle für die Kronenverlichtung der Baumartengruppen und Altersstufen der Waldzustandserhebung 2016 in Niedersachsen. 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    | 2232         | 141          | 4x4 km | 2,3                           |
|                   | bis 60 Jahre  | 309          | 23           | 4x4 km | 1,7                           |
|                   | über 60 Jahre | 1923         | 123          | 4x4 km | 2,2                           |
| Eiche             | alle Alter    | 981          | 89           | 4x4 km | 3,4                           |
|                   | bis 60 Jahre  | 171          | 19           | 4x4 km | 2,2                           |
|                   | über 60 Jahre | 810          | 76           | 4x4 km | 2,7                           |
| Fichte            | alle Alter    | 724          | 57           | 8x8 km | 4,2                           |
|                   | bis 60 Jahre  | 226          | 19           | 8x8 km | 5,2                           |
|                   | über 60 Jahre | 498          | 39           | 8x8 km | 4,2                           |
| Kiefer            | alle Alter    | 1469         | 79           | 8x8 km | 1,5                           |
|                   | bis 60 Jahre  | 470          | 28           | 8x8 km | 1,5                           |
|                   | über 60 Jahre | 999          | 56           | 8x8 km | 1,6                           |
| andere Laubbäume  | alle Alter    | 512          | 69           | 8x8 km | 3,5                           |
|                   | bis 60 Jahre  | 256          | 35           | 8x8 km | 5,3                           |
|                   | über 60 Jahre | 256          | 38           | 8x8 km | 4,9                           |
| andere Nadelbäume | alle Alter    | 348          | 41           | 8x8 km | 3,3                           |
|                   | bis 60 Jahre  | 201          | 24           | 8x8 km | 1,4                           |
|                   | über 60 Jahre | 147          | 17           | 8x8 km | 4,9                           |
| alle Baumarten    | alle Alter    | 3960         | 165          | 8x8 km | 1,6                           |
|                   | bis 60 Jahre  | 1316         | 67           | 8x8 km | 1,5                           |
|                   | über 60 Jahre | 2644         | 126          | 8x8 km | 1,8                           |



Schulung der WZE-Aufnahmeteams Foto: M. Spielmann

Auswerteeinheiten (z. B. Eiche, alle Alter), die sowohl in der Altersstruktur als auch in den Kronenverlichtungswerten ein breites Spektrum umfassen. Mit dem 8 km x 8 km-Raster, ergänzt um ein 4 km x 4 km-Raster für Buche und Eiche, werden – mit Abstrichen bei den anderen Laubbäumen (bis 60 Jahre) und der Fichte (bis 60 Jahre) – für die Baumartengruppen belastbare Ergebnisse für die Kronenverlichtungswerte erzielt.

### Aufnahmeparameter

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

### Mittlere Kronenverlichtung

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

### Starke Schäden

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



# WZE-Ergebnisse für alle Baumarten

Inge Dammann und Uwe Paar

## Mittlere Kronenverlichtung

In diesem Jahr stieg die mittlere Kronenverlichtung im Vergleich zum Vorjahr um 2 %-Punkte an. Die Waldzustandserhebung 2016 weist als Gesamtergebnis für die Waldbäume in Niedersachsen (alle Baumarten, alle Alter) eine mittlere Kronenverlichtung von 17 % aus.

Der diesjährige Anstieg der Verlichtungswerte betrifft ausschließlich die älteren über 60jährigen Waldbestände. In den jüngeren bis 60jährigen Waldbeständen ist das Verlichtungsniveau sehr viel niedriger und bleibt seit Jahren konstant.

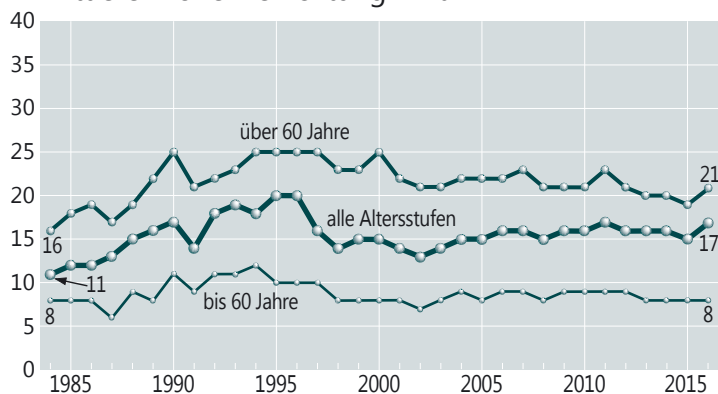
Insgesamt wird der weitgehend stabile Verlauf der mittleren Kronenverlichtung für den Gesamtwald ganz wesentlich durch die Kiefer geprägt, die als häufigste Baumart in Niedersachsen maßgeblich das Gesamtergebnis mit relativ konstanten niedrigen Verlichtungswerten beeinflusst. Auch

die anderen Laub- und Nadelbäume, die an der WZE-Stichprobe einen Anteil von 22 % einnehmen, wirken mit vergleichsweise günstigen Verlichtungswerten ausgleichend auf die höheren Verlichtungswerte von Fichte, Eiche und Buche.

## Anteil starker Schäden

Der Anteil stark geschädigter Bäume liegt im Jahr 2016 mit 1 % etwas unter dem Mittelwert für die Zeitreihe (1,4 %). In den Erhebungsjahren bis 1996 traten in einigen Jahren überdurchschnittlich hohe Anteile an starken Schäden auf und 2010 bis 2013 war der Anteil starker Schäden ebenfalls etwas erhöht. Für die ältere Fichte, Buche und Eiche wurden im Beobachtungszeitraum zeitweise hohe Anteile an starken Schäden (bis 16 %) registriert, für die ältere Kiefer sind bis auf das Jahr 1985 durchgehend niedrige Werte (1 %) ermittelt worden. 2016 reichte die Spanne (alle Alter) von 0,3 % (andere Nadelbäume) bis 2,6 % (Eiche).

Mittlere Kronenverlichtung in %



Anteil starker Schäden, alle Baumarten, alle Alter in %

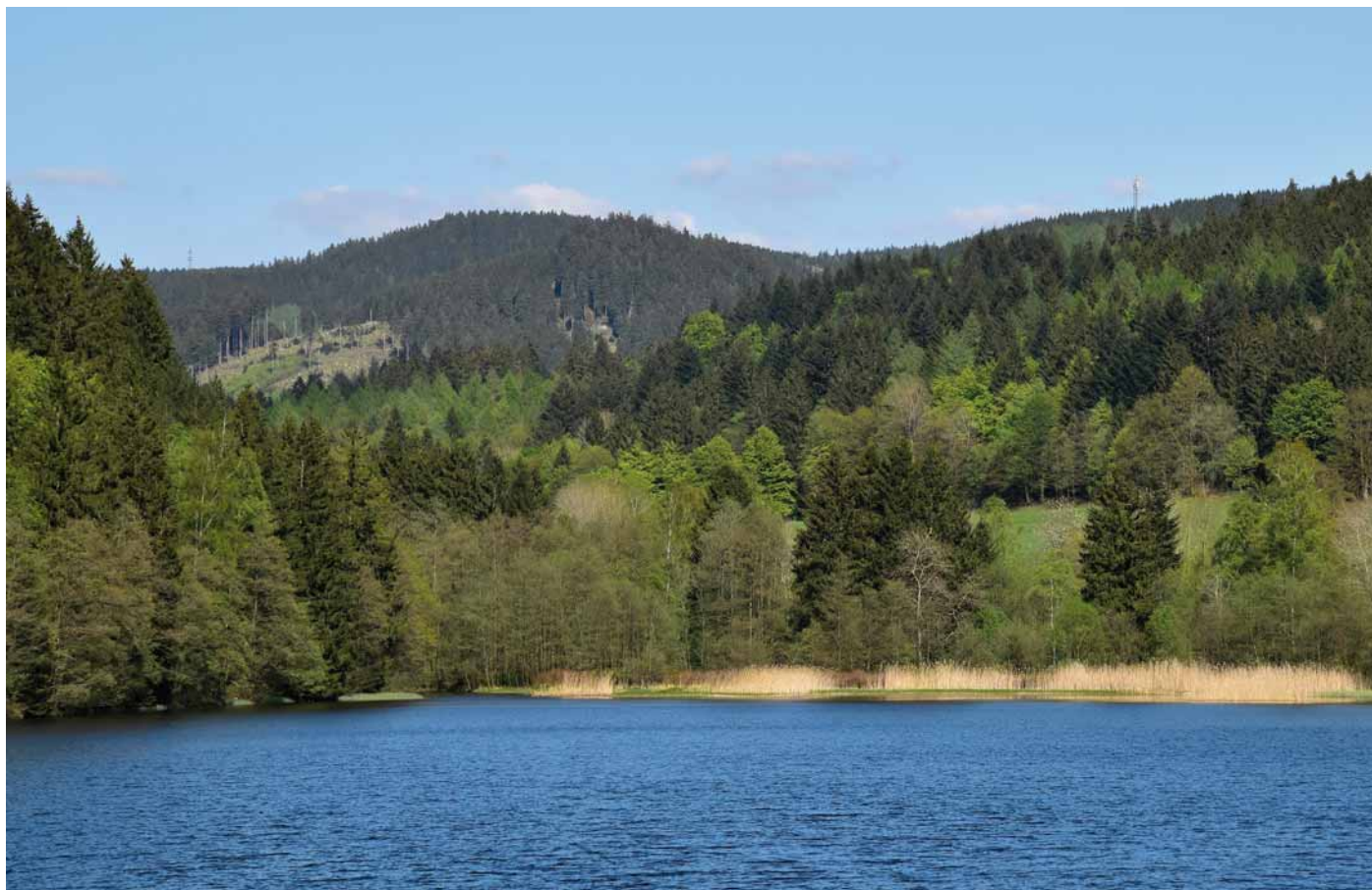
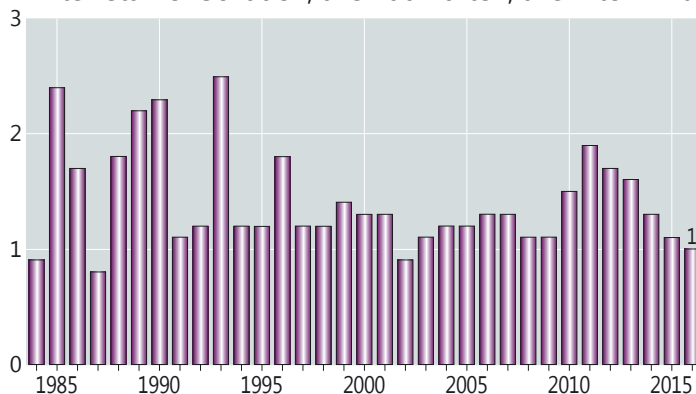


Foto: M. Spielmann

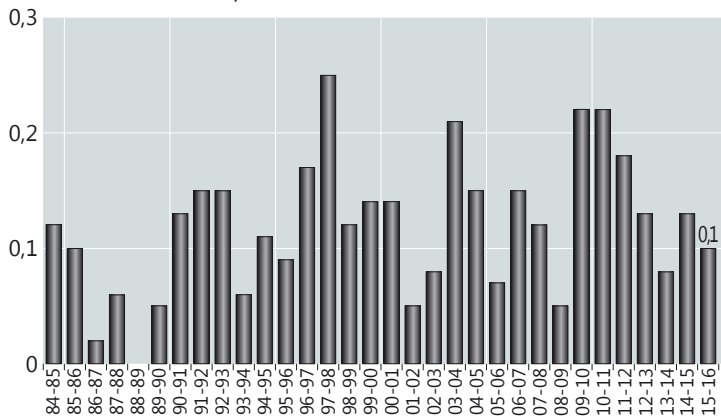


# WZE-Ergebnisse für alle Baumarten

## Absterberate

Im Mittel der Beobachtungsjahre 1984-2016 ergibt sich mit 0,1 % eine sehr geringe Absterberate. Für keine Baumartengruppe werden bei der diesjährigen Waldzustandserhebung gravierende Überschreitungen der durchschnittlichen Absterberate festgestellt. Die Absterberaten liegen zwischen 0 % (Buche und andere Nadelbäume) und 0,2 % (andere Laubbäume).

Jährliche Absterberate, alle Baumarten, alle Alter in %



## Vergilbungen

Vergilbungen der Nadeln und Blätter sind häufig ein Indiz für Magnesiummangel in der Nährstoffversorgung der Waldbäume. Bis Mitte der 1990er Jahre waren Vergilbungen häufig beobachtet worden, seither ist die Vergilbungsrate merklich zurückgegangen. Im Jahr 2016 wurde dieses Merkmal nur sehr vereinzelt (0,4 %) festgestellt. Die von den Waldbesitzern und Forstbetrieben durchgeführten Waldkalkungen mit magnesiumhaltigen Kalken und der Rückgang der Schwefelemissionen haben dazu beigetragen, das Auftreten dieser Mangelerscheinung zu reduzieren.

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

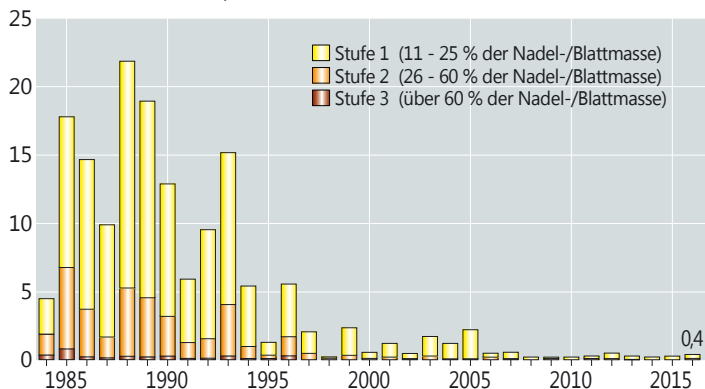


Foto: J. Weymar



# Kiefer

## Ältere Kiefer

Die Kiefer weist über den gesamten Erhebungszeitraum einen stabilen, vergleichsweise niedrigen Kronenverlichtungsgrad auf. Im Zeitraum 1993-2001 wurden leicht erhöhte Werte festgestellt, die Kiefer bleibt aber durchgehend unter den Verlichtungswerten von Fichte, Buche und Eiche. Die mittlere Kronenverlichtung der älteren Kiefer hat sich 2016 gegenüber dem Vorjahr um 2 %-Punkte erhöht und beträgt jetzt 16 %.

## Jüngere Kiefer

Die Unterschiede im Kronenverlichtungsgrad zwischen den Altersgruppen sind bei der Kiefer im Vergleich zu den anderen Hauptbaumarten nur gering ausgeprägt. Die mittlere Kronenverlichtung der jüngeren Kiefer liegt seit einigen Jahren bei 8 %.

Mittlere Kronenverlichtung in %

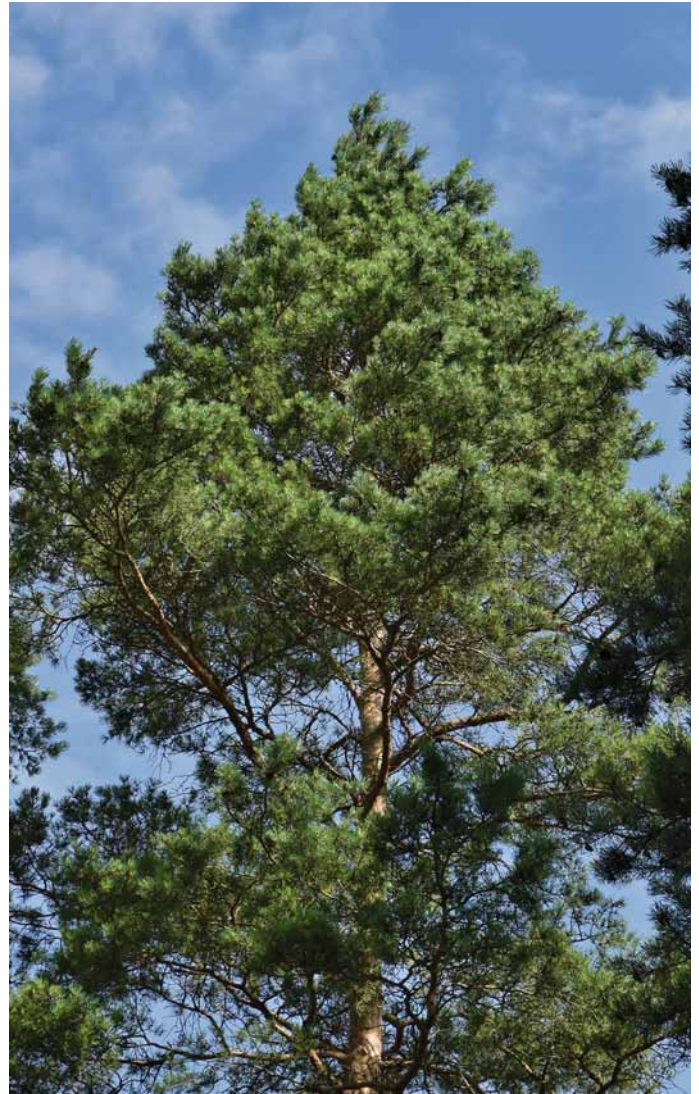
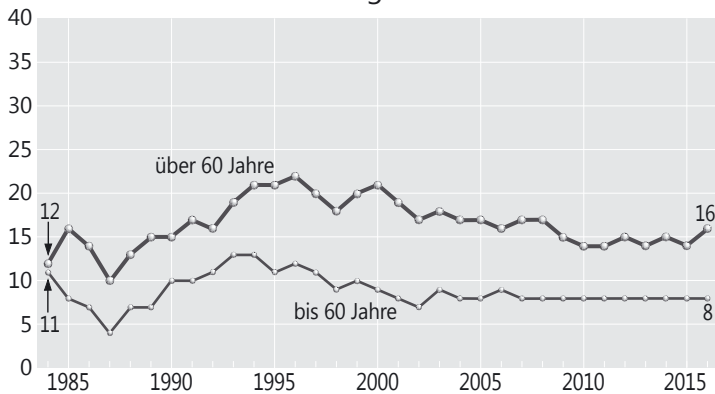


Foto: M. Spielmann



Foto: M. Spielmann

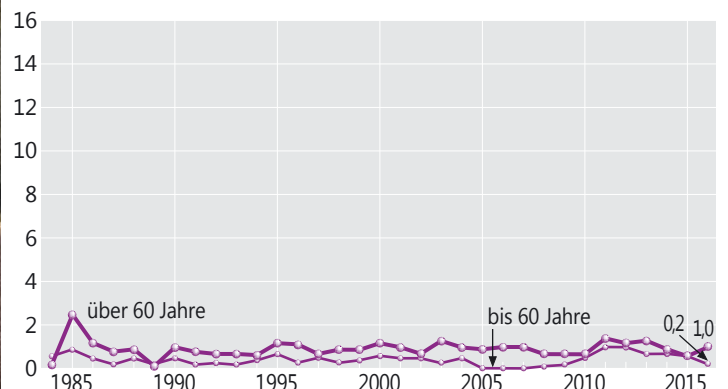
## Starke Schäden

Auch bei den starken Schäden heben sich die Ergebnisse der Kiefer von denen der anderen Baumarten ab. Im Erhebungszeitraum treten nur geringe Schwankungen auf, im langjährigen Mittel liegt der Anteil starker Schäden unter 1 %.

## Absterberate

Die Absterberate der Kiefer ist ebenfalls bemerkenswert niedrig und liegt im Erhebungszeitraum zwischen 0 und 0,3 %. Im Jahr 2016 beträgt die Absterberate 0,1 % und entspricht damit dem Mittel der Zeitreihe.

Anteil starker Schäden in %





# Fichte

## Ältere Fichte

Im gesamten Beobachtungszeitraum werden für die ältere Fichte anhaltend hohe Kronenverlichtungswerte zwischen 24 und 30 % festgestellt. Dies gilt auch für das Jahr 2016 mit einer mittleren Kronenverlichtung von 28 %.

## Jüngere Fichte

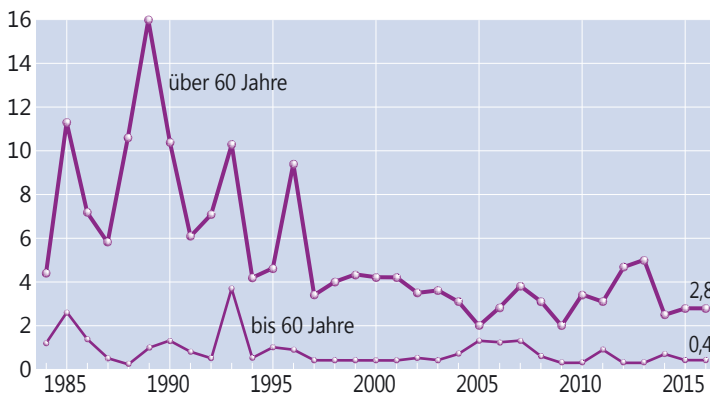
Für die Fichte ist ein deutlicher Alterstrend festzustellen. Die jüngeren Fichten liegen mit einer mittleren Kronenverlichtung von 10 % weit unter den Werten der älteren Fichten.

## Starke Schäden

Für die älteren Fichten wurden bis 1996 wiederholt erhebliche Anteile an starken Schäden (bis 16 %) festgestellt. Bis Mitte der 1990er Jahre haben mittlere und starke Vergilbungen von >25 % der Nadelmasse, die zur Einstufung in die nächsthöhere Schadstufe führen, eine bedeutsame Rolle gespielt. Mit dem Rückgang der Vergilbung gingen bei der Fichte auch die Anteile an starken Schäden zurück. Seit 1997 sind nur leichte Schwankungen aufgetreten. 2012 und 2013 wurde eine Erhöhung festgestellt, die aber nicht das Ausmaß früherer Jahre erreichte.

Auch bei den starken Schäden zeigt sich für die Fichte ein Alterstrend. Bei den jüngeren Fichten weisen 0,4 % starke Schäden auf, bei den älteren Fichten sind es dagegen 2,8 %.

## Anteil starker Schäden in %



## Mittlere Kronenverlichtung in %

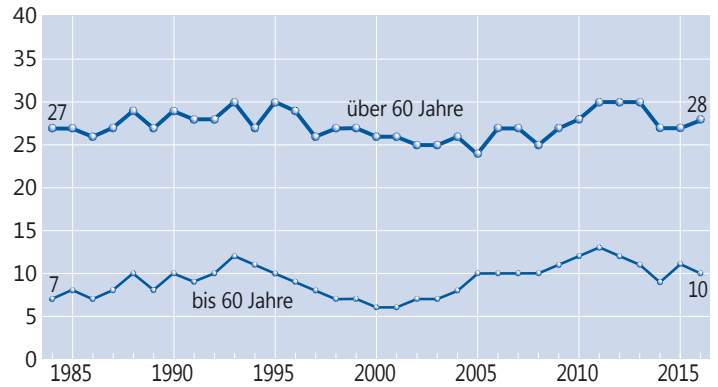


Foto: J. Evers

## Absterberate

Die Absterberate der Fichte (alle Alter) schwankt im Erhebungszeitraum zwischen 0 und 0,5 %, im Durchschnitt liegt sie bei 0,2 %. 2016 ist eine Fichte im WZE-Kollektiv abgestorben.



Foto: J. Weymar



# Buche

## Ältere Buche

Im Vergleich zum Vorjahr stieg die mittlere Kronenverlichtung der älteren Buche 2016 um 3 %-Punkte an und beträgt jetzt 28 %.

Seit 1989 liegen die Verlichtungswerte der älteren Buche relativ hoch und es treten erhebliche Schwankungen von Jahr zu Jahr auf. 2011 wurde mit einer mittleren Kronenverlichtung von 33 % der höchste Kronenverlichtungsgrad in der Zeitreihe festgestellt. Eine Ursache für die zunehmende Variabilität der Verlichtungswerte ist die Intensität der Fruchtbildung. Die intensivste Fruchtbildung der Buche seit Beginn der Waldzustandserhebung trat 2011 auf.

Im Jahr 2016 wurde eine mittlere und starke Fruchtbildung in der Stichprobe der Waldzustandserhebung an 65 % der älteren Buchen beobachtet. Mit der Intensität der Fruchtbildung zeigen sich Unterschiede in der Entwicklung der Kronenverlichtung: Buchen, die 2016 keine Früchte ausbildeten, sind etwas besser belaubt als 2015 und für Buchen mit wenigen Früchten änderte sich die Belaubungsdichte nicht. Buchen mit intensiver Fruchtbildung sind dagegen 2016 stärker verlichtet als 2015.

## Jüngere Buche

Bei der Buche sind die Unterschiede in der Belaubungsdichte zwischen jüngeren und älteren Beständen besonders stark ausgeprägt. Die jüngeren Buchen weisen seit 1995 ein geringes Kronenverlichtungsniveau auf. Auch 2016 bleiben die Verlichtungswerte der jüngeren Buche gering (4 %).

## Starke Schäden

Auch beim Anteil starker Schäden treten bei der älteren Buche im Beobachtungszeitraum Schwankungen auf. 2016 liegt der Anteil starker Schäden mit 1,2 % unter dem Durchschnittswert (2,6 %). Bei den jüngeren Buchen werden nur selten starke Schäden beobachtet. Der Durchschnittswert der Zeitreihe liegt bei 0,2 %.

## Absterberate

Die Buche weist eine auffallend niedrige Absterberate auf. Im Mittel der Zeitreihe liegt die Absterberate der Buche bei 0,04 %. Seit drei Jahren ist kein Buchen-Stichprobenbaum abgestorben.

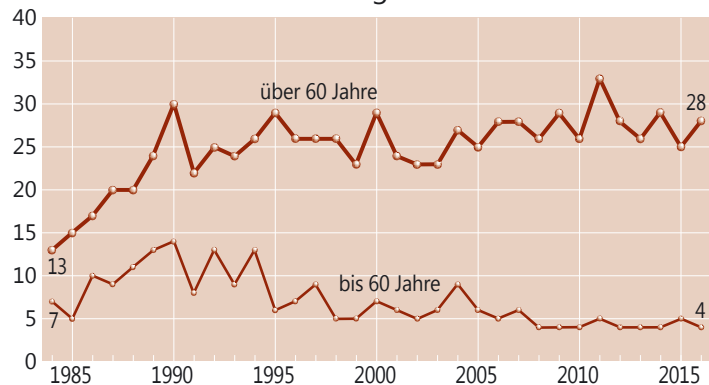
## Fruchtbildung

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

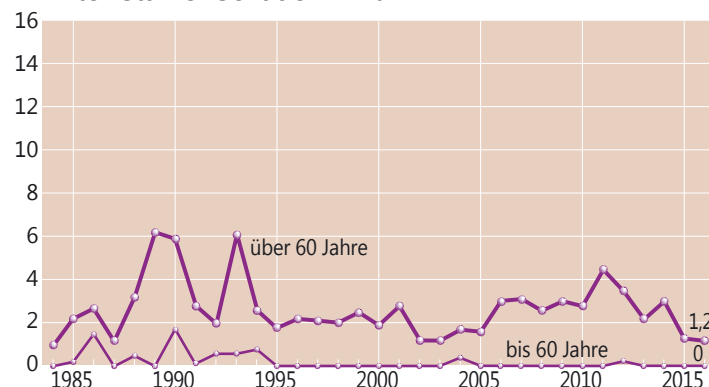


Foto: J. Weymar

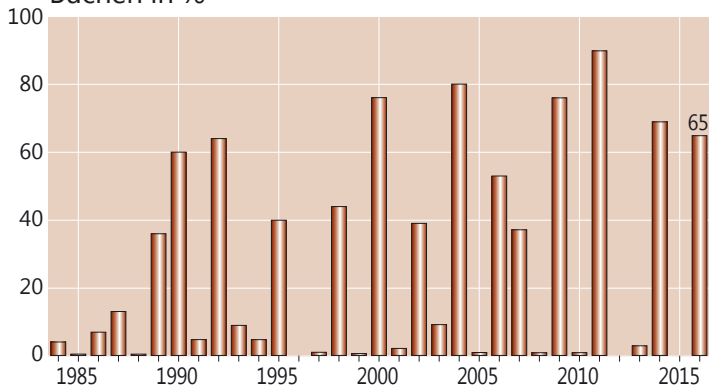
## Mittlere Kronenverlichtung in %



## Anteil starker Schäden in %



## Anteil mittel und stark fruktifizierender älterer Buchen in %



steht im Zusammenhang mit einer Häufung warmer Jahre sowie einer erhöhten Stickstoffversorgung der Bäume. Geht man davon aus, dass eine starke Mast erreicht wird, wenn ein Drittel der älteren Buchen mittel oder stark fruktifiziert, ergibt sich rechnerisch für den Beobachtungszeitraum der Waldzustandserhebung 1984-2016 alle 2,4 Jahre eine starke Mast.

## Frühe Herbstverfärbung

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



# Eiche

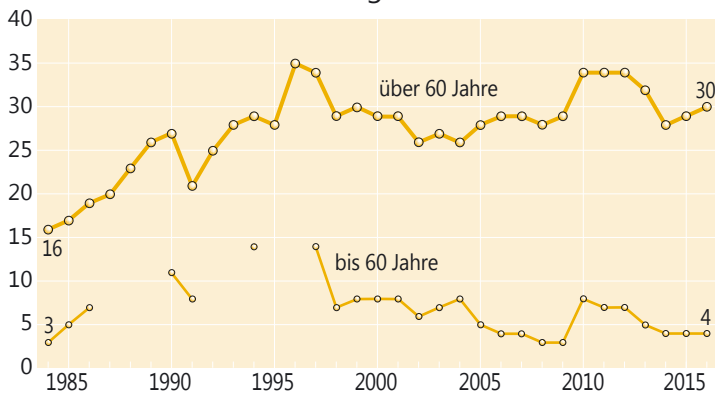
## Ältere Eiche

In der Zeitreihe der mittleren Kronenverlichtung der älteren Eiche treten die höchsten Verlichtungswerte (>30 %) in den Jahren 1996/1997 und von 2010-2013 auf. 2016 beträgt die mittlere Kronenverlichtung 30 %. Die Entwicklung des Kronenzustandes der Eiche wird stark durch Insekten- und Pilzbefall beeinflusst.

## Jüngere Eiche

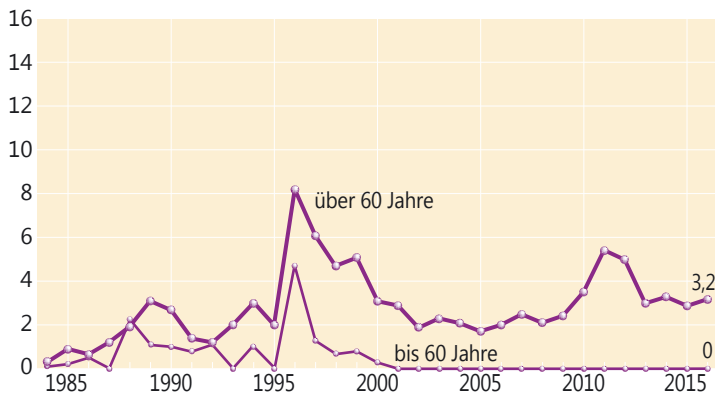
Die Kronenentwicklung der Eichen in der Altersstufe bis 60 Jahre zeigt einen sehr viel günstigeren Verlauf als die Entwicklung der älteren Eichen. Mit einer mittleren Kronenverlichtung von 4 % erreicht die jüngere Eiche 2016 wieder einen günstigen Kronenverlichtungswert.

Mittlere Kronenverlichtung in %

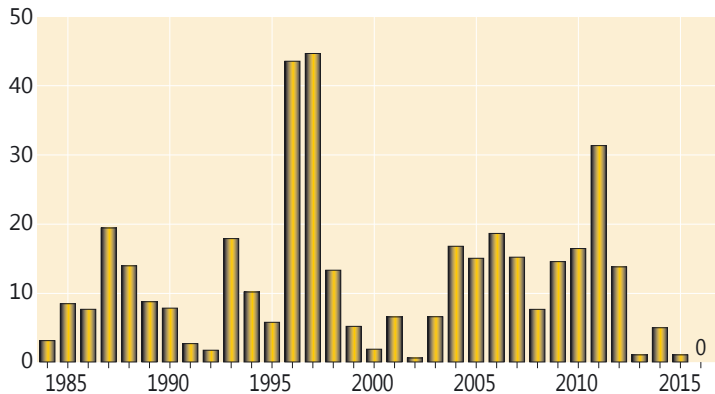


In den Jahren 1987-1989, 1992-1993 und 1995-1996 sind aufgrund des Stichprobenumfangs keine Aussagen für die Eiche bis 60 Jahre möglich.

Anteil starker Schäden in %



Anteil mittlerer und starker Fraßschäden an älteren Eichen in %



1984-2005: Einstufung in 4 Stufen, ab 2006: Einstufung in 5 %-Stufen, Fraßschäden >=15 % zählen zu den mittleren und starken Fraßschäden

## Starke Schäden

Parallel zu den erhöhten Kronenverlichtungswerten in den Jahren 1996/1997 und 2010-2013 waren in diesen Phasen auch erhöhte Anteile starker Schäden zu verzeichnen. 2016 nehmen die starken Schäden bei der älteren Eiche einen Anteil von 3,2 % ein. Bei den jüngeren Eichen sind seit 2001 keine starken Schäden aufgetreten.

## Absterberate

Die Absterberate der Eiche liegt im Mittel der Jahre 1984-2016 bei 0,2 %. Überdurchschnittliche Absterberaten wurden jeweils im Anschluss an starken Insektenfraß ermittelt, am höchsten war die Absterberate 1998 (0,9 %). In diesem Jahr blieb die Absterberate niedrig (0,1 %).

## Fraßschäden

Die periodische Vermehrung von Insekten der so genannten Eichenfraßgesellschaft trägt maßgeblich zu den Schwankungen der Belaubungsdichte der Eiche bei. Der Fraß an Knospen und Blättern durch die Eichenfraßgesellschaft wirkte sich besonders stark in den Jahren 1996/1997 und 2011 aus. Seit 2013 ist der Anteil mittlerer und starker Fraßschäden erheblich zurückgegangen.

## Fruchtbildung

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

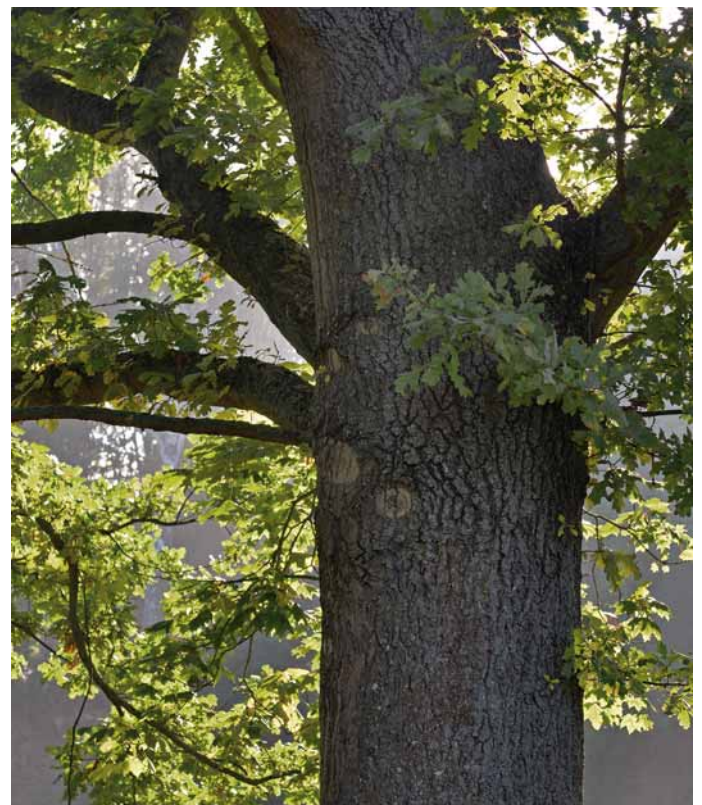


Foto: J. Evers



# Andere Laub- und Nadelbäume

In Niedersachsen werden bei der Waldzustandserhebung als landesweite flächendeckende Stichprobeninventur 28 Baumarten erfasst. Neben den Hauptbaumarten Kiefer, Fichte, Buche und Eiche kommt in den niedersächsischen Wäldern eine Vielzahl von anderen Baumarten vor, die insgesamt 22 % der Stichprobenbäume der Waldzustandserhebung in Niedersachsen 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.

Zu den anderen Laubbäumen gehören u. a. Esche, Ahorn, Linde und Hainbuche. Am stärksten vertreten ist die Birke, gefolgt von der Erle. Seit 1997 sind kaum Schwankungen in der Belaubungsdichte aufgetreten, die Werte der mittleren Kronenverlichtung (alle Alter) lagen zwischen 10 und 14 %. Im Jahr 2016 liegt sie bei 12 %. Die Verlichtungswerte der Esche heben sich hiervon deutlich ab, mitverursacht durch das Eschentriebsterben liegt die mittlere Kronenverlichtung der Esche in diesem Jahr bei 24 %.

Die Gruppe der anderen Nadelbäume setzt sich vorwiegend aus Lärche und Douglasie zusammen. Die mittlere Kronenverlichtung (alle Alter) lag im Erhebungszeitraum zwischen 6 und 12 %, 2016 beträgt sie 10 %.

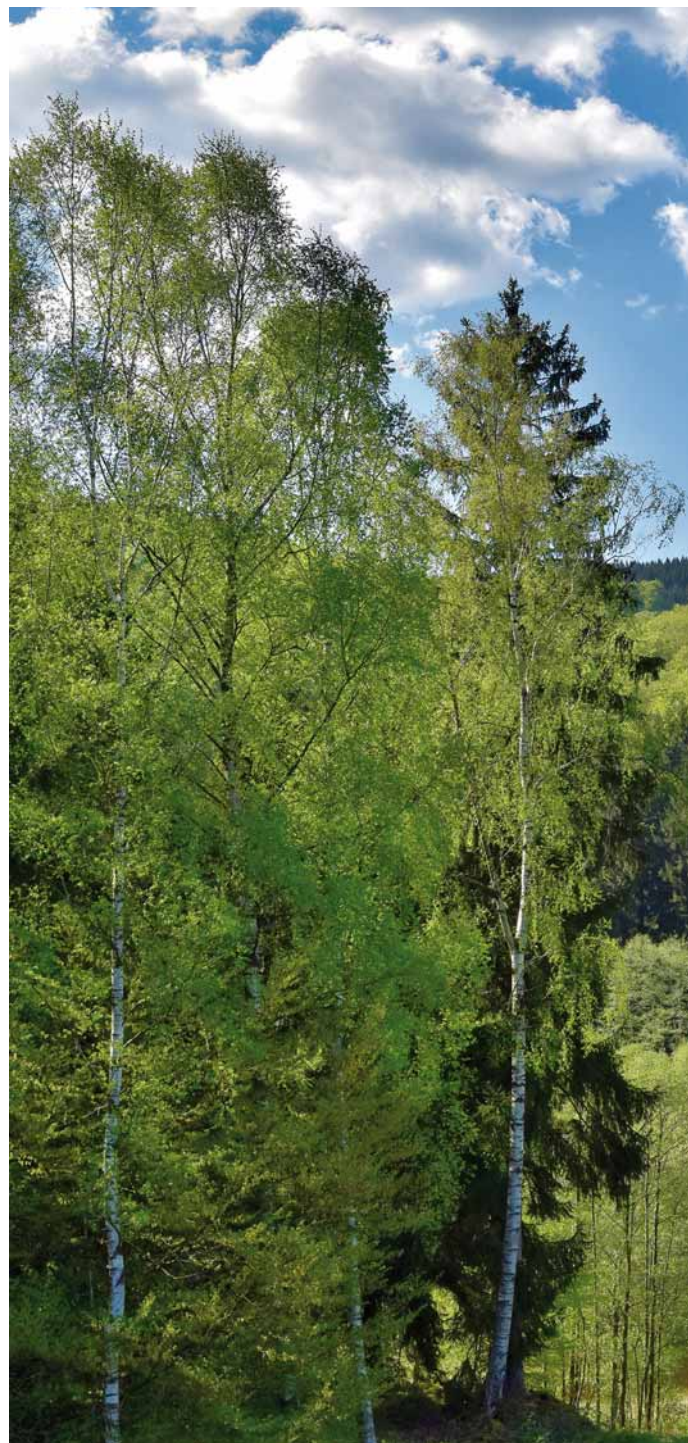


Foto: M. Spielmann

## Starke Schäden

Für die anderen Laubbäume liegt der Anteil starker Schäden (alle Alter) in diesem Jahr bei 1,6 %, das Mittel der Zeitreihe beträgt 1,4 %. Bei den anderen Nadelbäumen (Mittelwert 0,8 %) wird 2016 der Durchschnittswert unterschritten (0,3 %).

## Absterberate

Die Absterberate der anderen Laubbäume schwankt im Erhebungszeitraum (0 bis 0,8 %), 2016 liegt sie bei 0,2 %. Bei den anderen Nadelbäumen ist in den letzten sechs Jahren in der Stichprobe der Waldzustandserhebung kein Baum abgestorben. Der Mittelwert der Absterberate liegt hier bei 0,1 %.



Foto: J. Evers



# Witterung und Klima

Johannes Suttmöller

Der Witterungsverlauf für Niedersachsen wird anhand von Daten des Deutschen Wetterdienstes (DWD) beschrieben. Die Höhe der Niederschläge und ihre Verteilung über das Jahr sowie die Temperaturdynamik sind wichtige Einflussgrößen auf die Vitalitätsentwicklung der Waldbäume. Dabei spielen sowohl der langjährige Witterungsverlauf als auch die Werte des vergangenen Jahres eine Rolle. Dargestellt sind jeweils die Niederschlagssummen und die Mitteltemperaturen sowie die Abweichungen vom Mittel der Klimanormalperiode 1961-1990. Grundlage für die Auswertung bilden die Messdaten des DWD (252 Klima- und 1204 Niederschlagsstationen), die auf ein 200 m-Raster interpoliert wurden, so dass der Mittelwert über die gesamte Landesfläche von Niedersachsen gebildet werden konnte.

## Temperatur und Niederschlag im langjährigen Verlauf

Die langjährigen Messdaten für den Zeitraum von 1961 bis 2016 zeigen seit 1988 eine gegenüber der Referenzperiode (1961-1990) erhöhte Temperatur. Im Vegetationsjahr 2016 (Oktober 2015 bis September 2016) hat sich die langjährige Mitteltemperatur von 8,6 °C (Mittelwert der Referenzperiode) erstmalig um 1 °C auf nun 9,6 °C erhöht (Mittelwert 1987-2016). Um den gemessenen Temperaturanstieg zu verdeutlichen, wurde das gleitende 30jährige Mittel berechnet, das für jedes Jahr den Mittelwert aus den vorausgegangenen 30 Jahren bildet (gepunktete Linie in der Abbildung unten). Dabei war das Vegetationsjahr 2016 mit 10,6 °C nach den Jahren 2007 und 2014 das drittwärmste Jahr seit Messbeginn in Niedersachsen. Die Temperaturabweichung betrug im Flächenmittel +2 °C.

Wie bereits in den letzten Jahren zu beobachten war, weisen fast alle Monate positive Temperaturabweichungen auf. Nur der Oktober 2015 fiel etwas zu kühl aus. Der Dezember 2015 ging mit einer Temperaturanomalie von +6,3 °C sogar als wärmster Dezember seit Messbeginn in die Wetterhistorie ein. Der September 2016 wies mit einer Temperaturabweichung von +3,8 °C und einer Mitteltemperatur von 17,3 °C sommerlichen Charakter auf.

Mit 737 mm entsprach die Niederschlagssumme im Vegetationsjahr 2015/2016 dem langjährigen Mittelwert der Referenzperiode (1961-1990) von 742 mm. Die Niederschlagshöhe schwankt im Zeitraum 1961 bis 2016 von Jahr zu Jahr mit Werten von weniger als 500 mm (1996) bis annähernd 1000 mm (1961 und 2007) sehr stark (Abbildung unten). Perioden

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

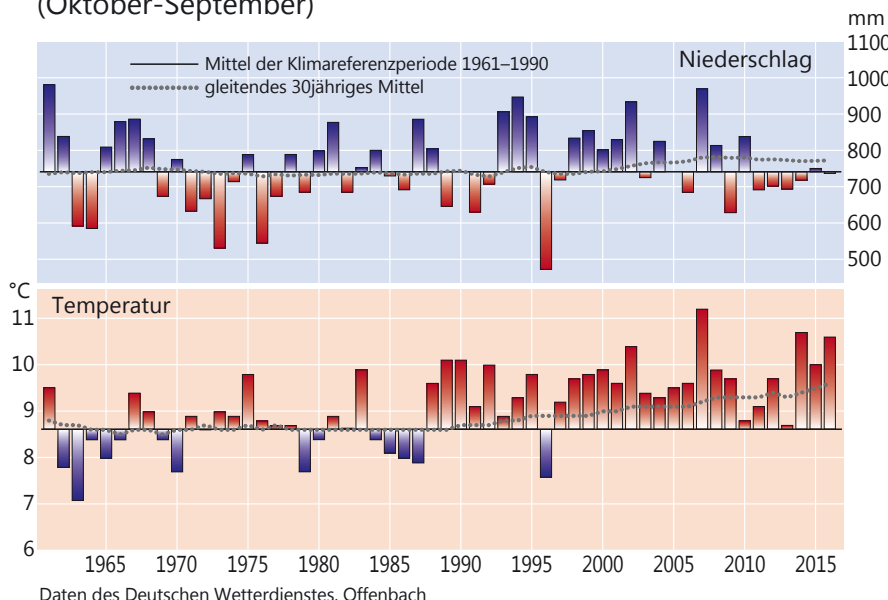


Foto: J. Evers

mit überdurchschnittlich hohen Niederschlägen wechseln mit trockenen Perioden ab, so dass keine einheitliche Tendenz festgestellt werden kann. Seit Beginn der 1990er Jahre wurde abgesehen von wenigen Ausnahmen das Niederschlagssoll häufig deutlich übertroffen. Seit 2011 weichen die Jahresniederschlagssummen jedoch nur wenig vom langjährigen Mittel ab.

In der Vegetationszeit (Mai bis September) wurde die Mitteltemperatur von 14,8 °C mit 16,9 °C deutlich überschritten und auch die Temperatur in der Nichtvegetationszeit (Oktober bis April) lag mit 6,2 °C signifikant über dem Mittelwert der Referenzperiode (4,2 °C). Während die Niederschlagssumme in der Nichtvegetationsperiode mit 452 mm rund 10 % über dem langjährigen Mittelwert lag, fielen in der Vegetationsperiode nur 84 % (285 mm) der üblichen Niederschlagsmenge (Abbildungen Seite 17).

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



# Witterung und Klima

## Witterungsverlauf von Oktober 2015 bis September 2016

Im Vegetationsjahr 2015/2016 wurden in Niedersachsen fast durchgehend positive Temperaturabweichungen gemessen. Dabei waren 7 Monate mehr als 1,5 °C wärmer als die langjährigen Monatsmittelwerte. Während das Vegetationsjahr noch mit einem unterkühlten Oktober startete, folgten ein warmer November und ein rekordwarmer Dezember. Trotz kurzer winterlicher Episoden lagen die Monatsmitteltemperaturen von Januar bis April zwischen +0,5 °C und +1,0 °C über den langjährigen Mittelwerten. Der Februar 2016 war mit einer Abweichung von +2,4 °C sogar deutlich zu warm. Auch im weiteren Jahresverlauf lagen die Monatsmitteltemperaturen durchweg über den Werten der Referenzperiode 1961-1990, wobei von Mai bis August die Abweichungen +1,0 °C bis +2,0 °C betragen. Das Vegetationsjahr endete mit einer ungewöhnlichen Hitzeperiode im September, wobei an vielen Messstationen des DWD in Niedersachsen neue Rekordwerte gemessen wurden.

Obwohl die Niederschlagssumme fast dem langjährigem Mittelwert entspricht, waren 8 von 12 Monaten im Vegetationsjahr 2015/2016 zu trocken. Nur durch die überdurchschnittlich hohen Niederschläge im November 2015 sowie im Februar und Juni 2016, die jeweils 150 % bis knapp 200 % des langjährigen Niederschlagsolls betragen, konnte das Niederschlagsdefizit der übrigen Monate ausgeglichen werden. Eine erste Trockenperiode, die mit kurzen Unterbrechungen von März bis Mai andauerte, wirkte sich aufgrund der vorausgegangenen hohen Niederschläge im Herbst und Winter nicht negativ auf die Vitalität und das Wachstum der Bäume aus. Nach einem nassen Juni mit heftigen

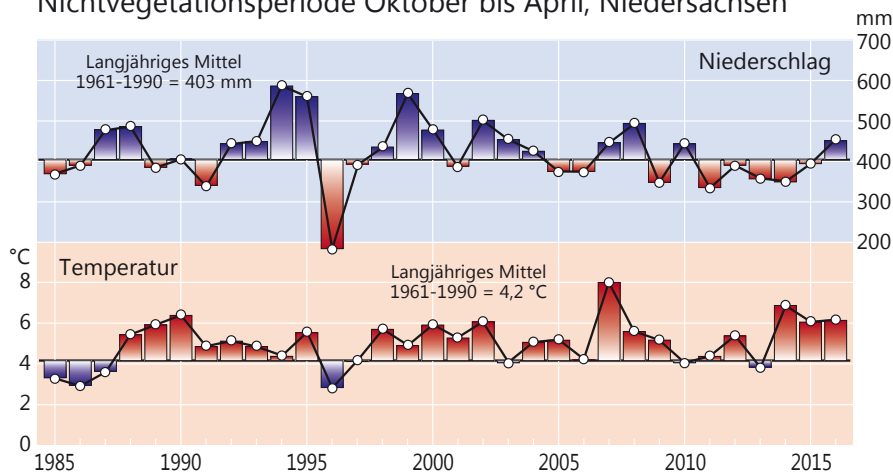
Gewittern und lokalen Starkregenereignissen setzte im Juli eine Trockenperiode ein, die nur von wenigen Niederschlagsereignissen bis zum Ende des Vegetationsjahres im September 2016 andauerte. Aufgrund der Trockenheit setzte insbesondere bei der Buche auf exponierten und schlecht wasserversorgten Standorten im August eine verfrühte Laubfärbung und Laubfall ein.

Ähnlich wie im Vorjahr war die Temperaturabweichung in der Nichtvegetationsperiode im Harz und in Teilen des Niedersächsischen Berglandes mit >+2,5 °C am größten. In weiten Bereichen des Tieflandes wichen die Temperaturen mit <+2,0 °C weniger stark vom Mittelwert der Klimanormalperiode ab. In der Vegetationsperiode 2016 zeichnet sich ein ähnliches Muster ab, wobei der Nordwest-Südost-Gradient noch stärker ausgeprägt war. Während an der Nordseeküste die Temperaturanomalie bei rund +1,5 °C lag, wurden im Südosten und Osten des Landes Temperaturabweichungen von verbreitet +2,0 °C bis +2,5 °C gemessen, regional im Harz sogar bis zu +3,0 °C.

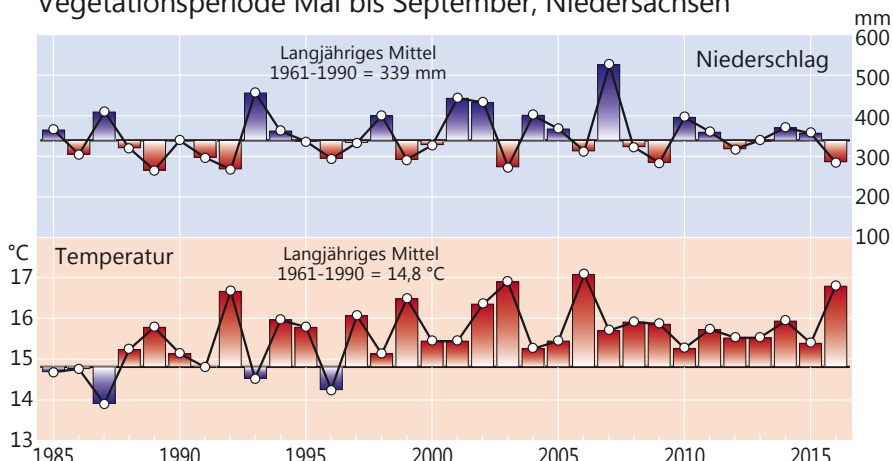
Die Nichtvegetationszeit war im Niedersächsischen Tiefland fast flächendeckend zu nass. Teilweise fielen in den westlichen Landesteilen bis zu 30 % mehr als das Niederschlagsoll. Im Niedersächsischen Bergland entsprach die Niederschlagssumme weitgehend den langjährigen Werten. Im Harz dagegen betrug das Niederschlagsdefizit bis zu -30 %. Die Trockenheit setzte sich in der Vegetationszeit fort, so dass flächendeckend im Harz nur die Hälfte bis zu Zweidrittel der sonst üblichen Niederschlagsmenge fielen. Auch im Niedersächsischen Bergland und in Teilen des Tieflandes betrug das Niederschlagsdefizit bis zu -30 %. Nur punktuell konnte dieses Defizit durch einzelne Starkregenereignisse ausgeglichen werden. In den nordwestlichen Landesteilen wurde das Niederschlagsoll dagegen weitgehend erreicht bzw. an der Nordseeküste regional auch leicht übertroffen.

Das Vegetationsjahr 2015/2016 (Oktober -September) reiht sich nahtlos in die überdurchschnittlich warmen Jahre der letzten 25 Jahre ein. Es ist mit einer Mitteltemperatur von 10,6 °C ebenso wie 2014 und 2007 eines der wärmsten Jahre seit Messbeginn. Die Temperaturabweichung betrug +2,0 °C. Wie im Vorjahr war es dabei im Osten und Südosten des Landes überdurchschnittlich warm und gleichzeitig zu trocken. Auffällig ist, dass wie im Vegetationsjahr 2014/2015 der Harz mit seinem Umland durch besonders hohe Niederschlagsdefizite und positive Temperaturabweichungen im Vergleich zu den langjährigen Mittelwerten heraussticht.

Langjährige Klimawerte (1985-2016)  
Nichtvegetationsperiode Oktober bis April, Niedersachsen



Langjährige Klimawerte (1985-2016)  
Vegetationsperiode Mai bis September, Niedersachsen



Daten des Deutschen Wetterdienstes, Offenbach



# Witterung und Klima

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

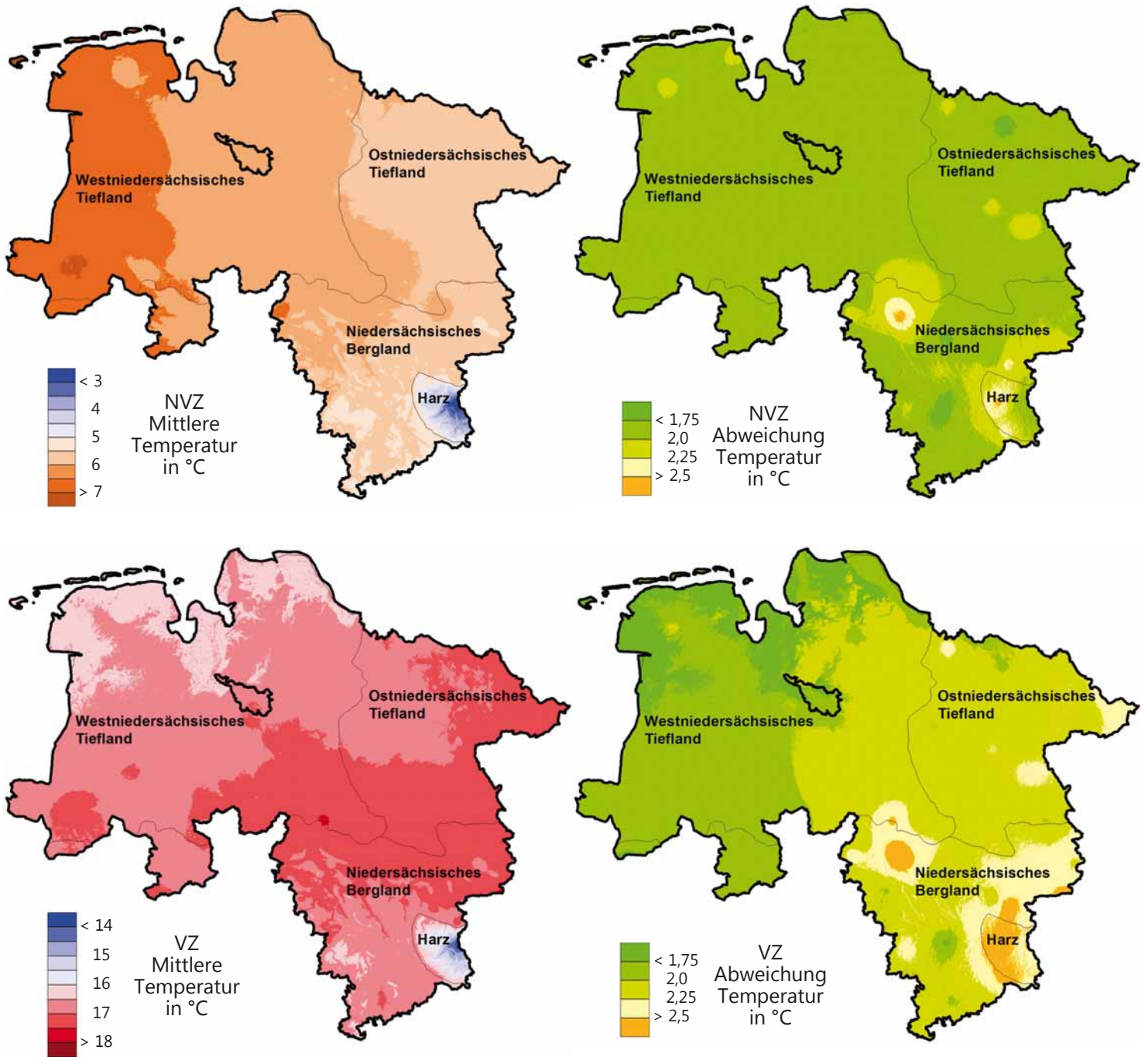
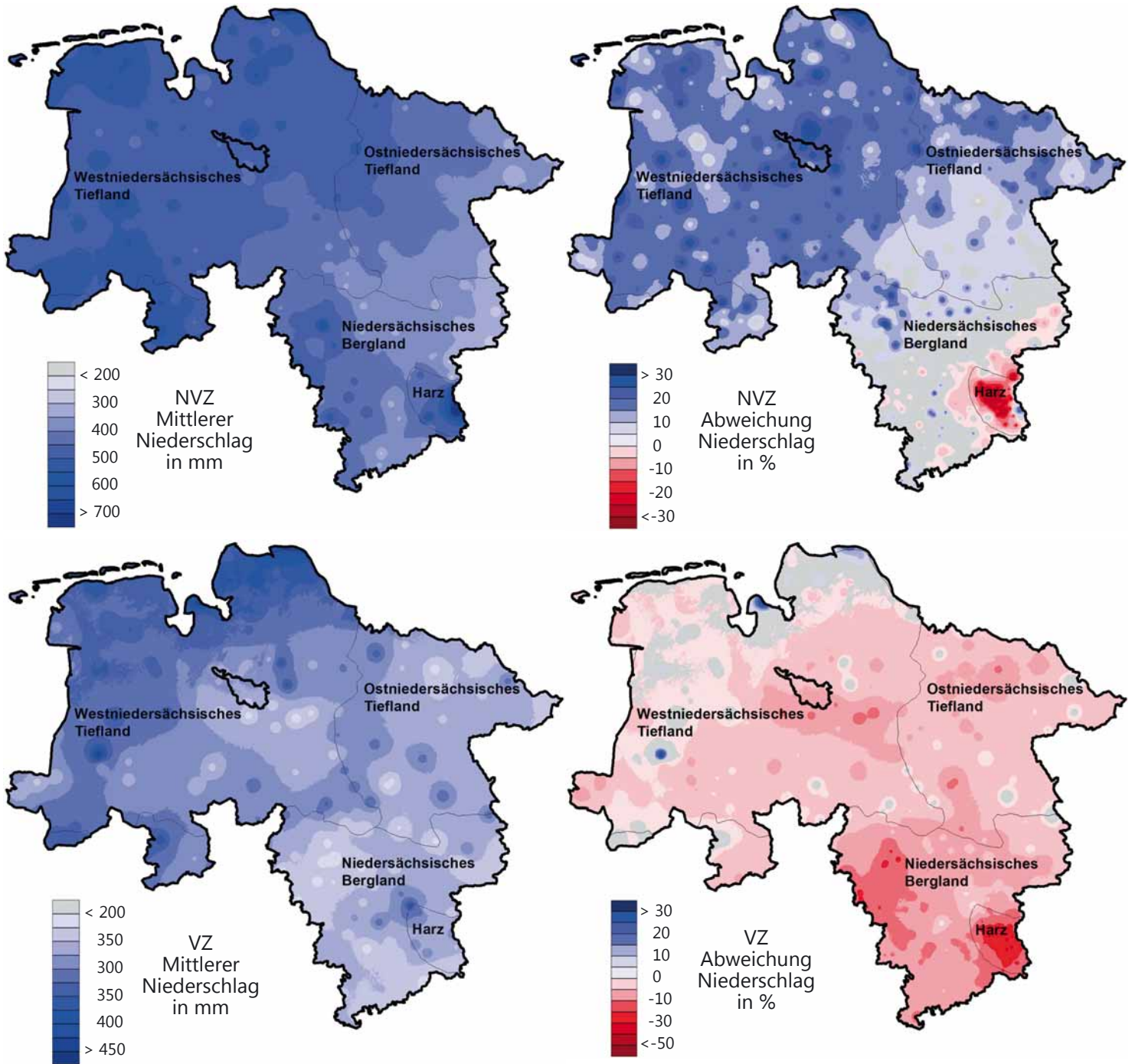


Foto: J. Evers



# Witterung und Klima

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

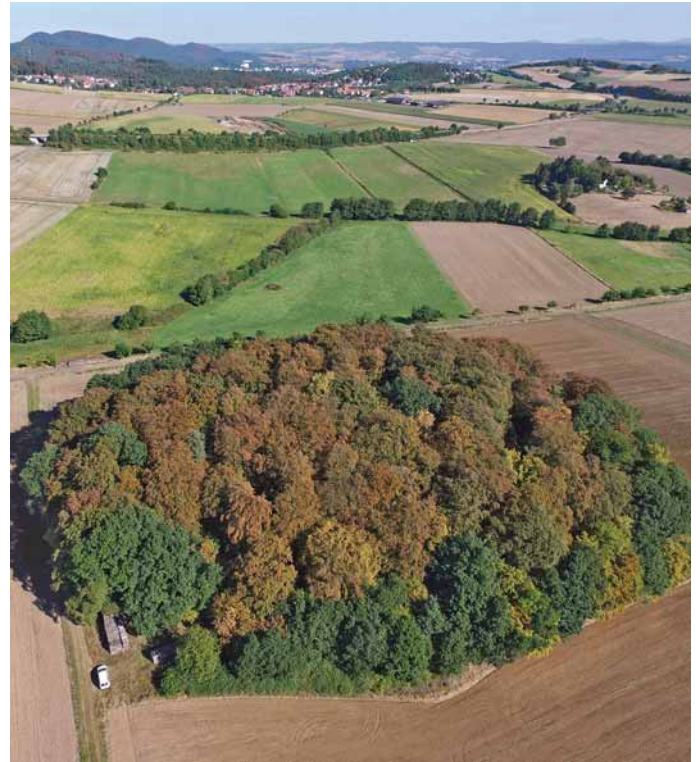




# Bodenwasserhaushalt und Trockenstress

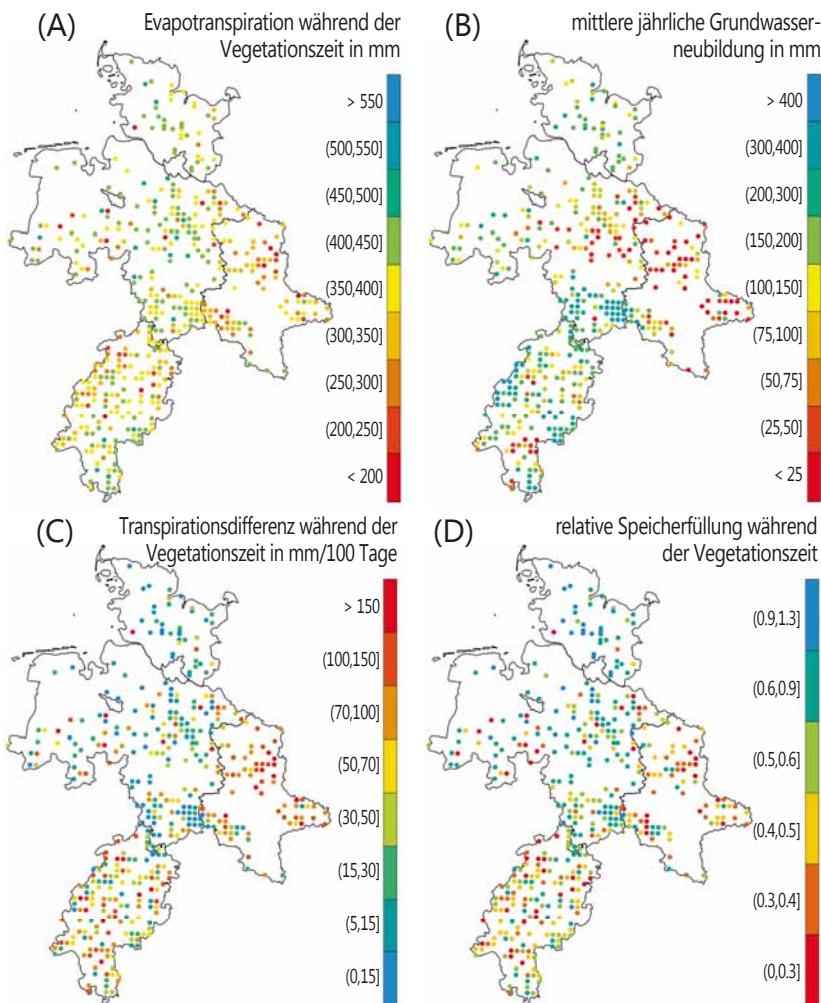
Paul Schmidt-Walter, Bernd Ahrends und Henning Meesenburg

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



Vorzeitige Blattverfärbung der Buche im August 2016

Foto: J. Weymar



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

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

## Gesamtverdunstungsmenge

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



# Bodenwasserhaushalt und Trockenstress

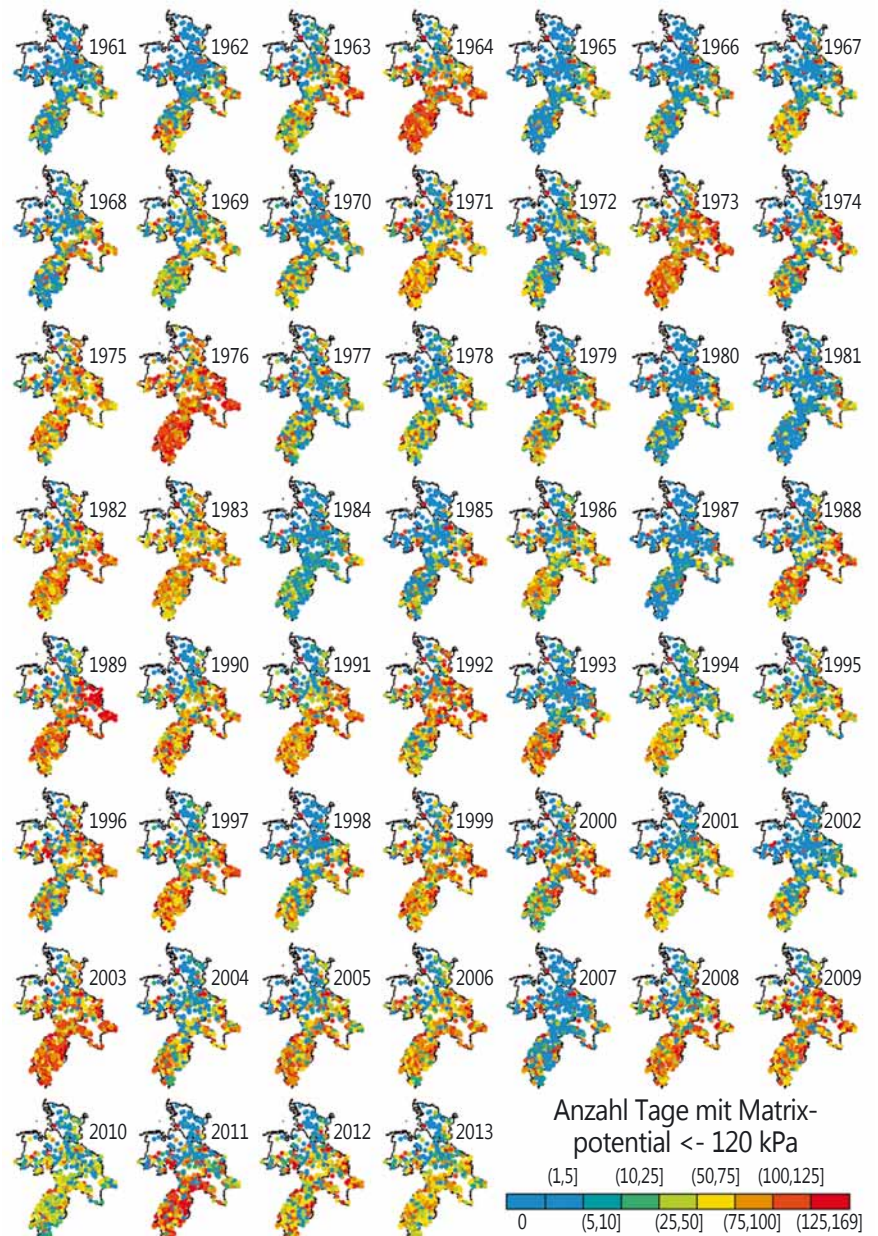
## Grundwasserneubildung

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

## Transpirationsdifferenz und relative Bodenwasserspeicherfüllung

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

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



*Dynamik der Bodenaustrocknung in Nordwestdeutschland von 1961 bis 2013*

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

## Räumliche und zeitliche Dynamik

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



# Bodenwasserhaushalt und Trockenstress

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



Trinkwassergewinnungsgebiete liegen häufig im Wald

Foto: M. Spielmann

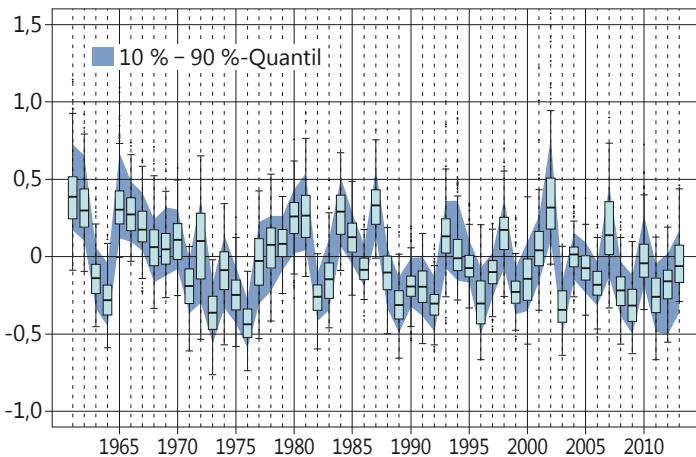
## Feuchte und trockene Vegetationsperioden in Niedersachsen

Die langfristige Entwicklung von Wassermangelperioden in Niedersachsen wird aus der Abbildung links ersichtlich, in der die zeitliche Entwicklung der pflanzenverfügbaren Bodenwasserspeicherfüllung im Wurzelraum als Verteilung der relativen Abweichungen zum Referenzzeitraum 1961-1990 dargestellt ist. So können Jahre identifiziert werden, die in der Vegetationsperiode gegenüber dem Referenzzeitraum überdurchschnittlich feucht oder trocken waren. In den extremen Trockenjahren 1976 und 2003 zeigen fast 75 % der BZE-Punkte eine um mindestens 25 % niedrigere mittlere Speicherfüllung. Insgesamt zeigt sich auch hier, dass Jahre mit unterdurchschnittlicher Wasserversorgung während der Vegetationsperiode seit dem Ende der 1980er Jahre zugenommen haben. In den meisten Jahren seit 1989 liegt der Median unter 0, woraus ersichtlich wird, dass hier für die Mehrzahl der BZE-Punkte im Vergleich zu 1961-1990 unterdurchschnittliche Speicherfüllungen verzeichnet wurden. Diese Abnahme ist statistisch signifikant und auf die Zunahme der Temperaturen bei gleichbleibenden Niederschlagsverhältnissen zurückzuführen.

## Fazit

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

### Relative Abweichung der Speicherfüllung



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



Boden mit hohem Skelettanteil und geringer Wasserspeicherkapazität

Foto: NW-FVA

# Insekten und Pilze

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

## Witterung

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

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

## Borkenkäfer

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

## Eichenfraßgesellschaft

In den letzten vier Jahren befanden sich die Populationsdichten des Kleinen und des Großen Frostspanners in der Latenz. Die Ergebnisse der Überwachung mit Leimringen aus dem Herbst/Winter 2015 und das Fraßgeschehen in Eichenbeständen in diesem Jahr belegen dies.

Im Jahr 2016 wurden lediglich aus den Bereichen Wolfenbüttel und Gartow stärkere Schäden durch den Eichenprozessionsspinner gemeldet. Weitere kleinflächige Schäden wurden darüber hinaus in der Südostheide registriert.

## Fraßgeschehen an Alteichen auf Beobachtungsflächen

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

der Kronenstruktur wird alle 2-3 Jahre im Winter durchgeführt. Im Frühjahr 2016 war auf allen Flächen nur unbedeutender Fraß durch die Eichenfraßgesellschaft zu verzeichnen (im Mittel unter 1 %). Selten waren an einzelnen Eichen Verlichtungen von 10 % oder 20 % durch Fraß zu erkennen.

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

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

## Kieferngrößschädlinge

Die Ergebnisse der Überwachung des Falterfluges der Forleule mit Pheromonfallen zeigen, dass sich die Forleule trotz lokalen Anstiegs der Fangergebnisse weiterhin in der Latenz befindet. Die Warnschwelle wurde lediglich im Raum Uelzen überschritten.

Im September 2016 wurden in den Bereichen Südostheide und Unterlüß starke Fraßschäden durch die zweite Generation der Kiefernbuschhornblattwespe (*Diprion pini* L.) gemeldet. Daraufhin erfolgte eine chemische Bekämpfung mit Helikoptern auf insgesamt 911 Hektar.



Raupen der Kiefernbuschhornblattwespe

Foto: NW-FVA, Abteilung Waldschutz

## Diplodia-Triebsterben der Kiefer

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

Offenbar hat sich der milde Winter 2015/16 im Zusammenhang mit aktuellen *Diplodia*-Fällen ausgewirkt. Bekannt ist eine „physiologische Schwächung“ der Kiefer durch ausgeprägte Wärmephasen im Hochwinter. Bereits zu Beginn der



# Insekten und Pilze

Vegetationszeit 2016 konnte der Erreger des Triebsterbens mehrfach in geschädigten Kulturen bzw. Naturverjüngungen von Kiefer und Douglasie nachgewiesen werden.

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



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

## Eschentriebsterben

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

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

## Wurzelschwamm

Betroffen sind in Niedersachsen neben der Kiefer u. a. Aufforstungen und Jungwüchse der Douglasie sowie Weißtannenbestände. Gravierende Absterbeerscheinungen wurden zudem in einer Ackererstaufforstung bei sehr wüchsigen Roteichen verzeichnet. Die dort angebaute Hainbuche war in deutlich geringerem Umfang befallen. Örtlich führt der Pilz auch weiterhin zu Absterbeerscheinungen an vorangebauten Douglasien und Roteichen in durchseuchten Kiefernbeständen.

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

## Hallimasch

Absterbeerscheinungen durch Hallimasch (*Armillaria* sp.) wurden im gesamten Zuständigkeitsgebiet beobachtet. Dem Befall geht in der Regel eine Schwächung der Wirtsbäume voraus. Betroffen sind u. a. Buchen- und Douglas-

sienkulturen, Traubeneichen im Zusammenhang mit der Eichenkomplexerkrankung, durch Stauwasser geschädigte Altbuchen mit Wurzelschwammbefall, Fichten mit Wurzelschwammbefall und Tannen, die an der Tannen-Rindennekrose erkrankt waren.



Befall mit Hallimasch (weißes Fächermyzel) am Stammfuß einer stark durch Eschentriebsterben geschädigten Esche  
Foto: NW-FVA, Abteilung Waldschutz

## Tannen-Rindennekrose

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

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

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

# Stoffeinträge

## Birte Scheler

Wald filtert durch seine große Kronenoberfläche stärker als alle anderen Landnutzungsformen gas- und partikelförmige Stoffe aus der Luft. Aufgrund dieses Filtereffektes ist das Ökosystem Wald besonders stark durch anthropogene (durch den Menschen verursachte) Stoffeinträge von Sulfatschwefel und Stickstoff (Nitrat und Ammonium) belastet. Bereits 1968 wurde im Solling auf je einer Buchen- und Fichtenfläche mit der systematischen Erfassung der Stoffeinträge begonnen, um die Wirkungen erhöhter Stoffeinträge und damit verbundener Risiken für Wälder, Waldböden und angrenzende Ökosysteme wie beispielsweise das Grundwasser zu untersuchen. Aktuell wird in Niedersachsen der Stoffeintrag in vier Fichten, drei Buchen- sowie jeweils einem Eichen- und einem Kiefernbestand des Intensiven Forstlichen Umweltmonitorings erfasst. Die Stoffeinträge werden jeweils auf einer Freifläche (Freilandniederschlag) und einer Bestandesmessfläche (Bestandesniederschlag) beobachtet. In Buchenbeständen wird auch der dort quantitativ bedeutsame Stammablauf gemessen. Mittels eines Kronenraumbilanzmodells (Ulrich 1991) werden aus den gemessenen Stoffflüssen Gesamtdepositionsraten bestimmt.



Intensiv-Monitoringfläche Solling, Buche

Foto: M. Spielmann

Die Höhe der Stoffeinträge wird maßgeblich durch verschiedene Faktoren wie Niederschlagsmenge und -verteilung, Windgeschwindigkeit, Baumart, Bestandeshöhe, Kronenrauigkeit oder lokale Emittenten bestimmt. So sind die Stoffeinträge im Bergland (Harz und Solling) auf Grund höherer Niederschlagsmengen höher als im niedersächsischen Tiefland. Beim Vergleich der Baumarten sind Fichten- und Douglasienbestände wegen der ganzjährigen und im Vergleich mit Kiefern dichteren Benadelung stärker durch Stoffeinträge belastet als Buchen-, Eichen und Kiefernbestände. Dieser Baumarteneffekt zeigt sich sehr gut im Solling, wo eine Fichten- und eine Buchenfläche in unmittelbarer Nachbarschaft und somit mit gleichen klimatischen Verhältnissen beobachtet werden.

## Niederschlag

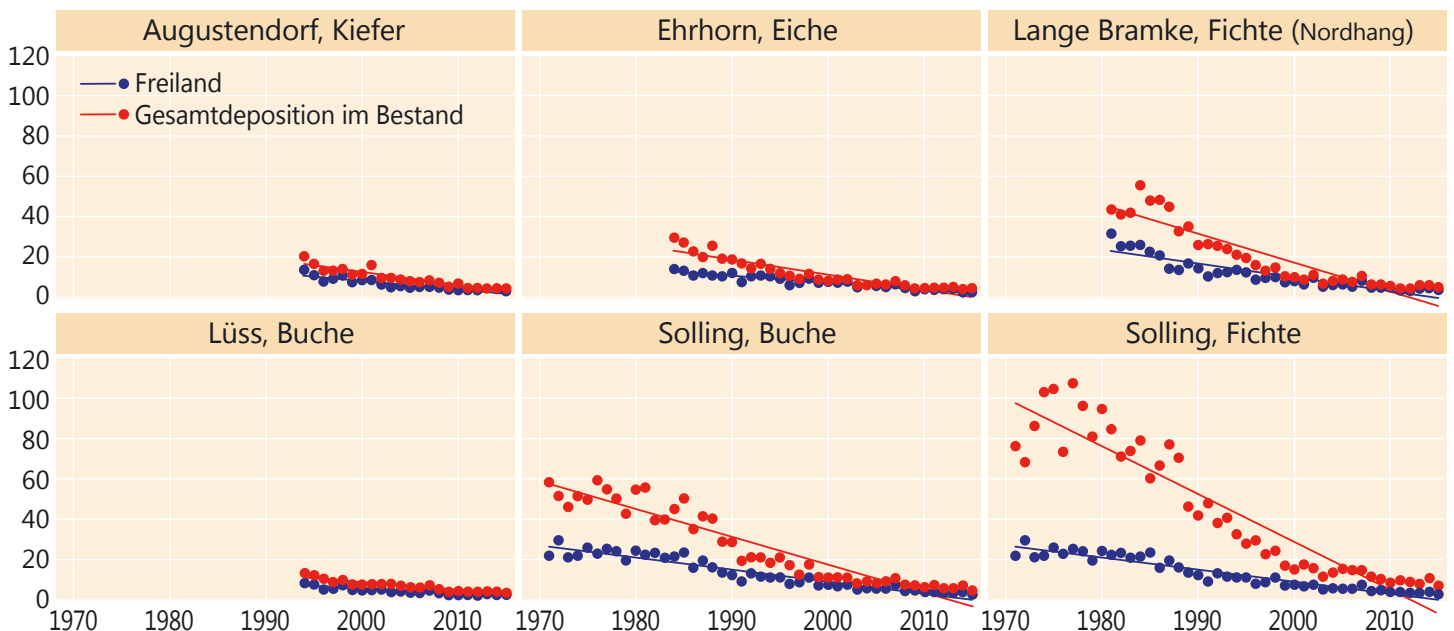
Im Vergleich zum Mittel der Jahre 2010-2014 fielen 2015 auf den Freiland-Messflächen im niedersächsischen Tiefland und im Harz zwischen 11 % und 19 % mehr Niederschlag, während im Solling und Göttinger Wald (Südostniedersachsen) die Niederschlagsmengen dem fünfjährigen Mittel entsprachen.

Der Bestandesniederschlag nahm auf den Flächen Ehrhorn (Eiche), Lange Bramke Nordhang (Fichte) und Lüss (Buche) prozentual um die gleiche Größenordnung zu wie der Freilandniederschlag. Auf allen anderen Flächen fiel die Erhöhung geringer aus als im Freiland bzw. nahm der Bestandesniederschlag bei gleichbleibendem Freilandniederschlag sogar deutlich ab (Solling Fichte: -16 %).

## Schwefel

Durch die konsequente Umsetzung von Maßnahmen zur Luftreinhaltung ist der Schwefeleintrag (jeweils gemessen als Sulfatschwefel  $\text{SO}_4\text{-S}$ ) stark zurückgegangen. Er lag 2015 pro Hektar mit dem Bestandesniederschlag zwischen 3,6 kg (Lüss Buche) und 7,2 kg (Solling Fichte). Im Freiland wurden zwischen 2,0 kg (Ehrhorn) und 3,7 kg (Solling) je Hektar eingetragen.

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





# Stoffeinträge

Obwohl sich die Schwefeleinträge in den letzten Jahren bereits auf einem relativ niedrigen Niveau bewegten, haben sie 2015 im Vergleich zum Mittel der Jahre 2010–2014 auf allen Flächen nochmals deutlich abgenommen und zwar um bis zu 17 % im Freiland (Göttinger Wald) und zwischen 7 % (Ehrhorn Eiche) und 22 % (Solling Buche und Fichte) mit der Gesamtdeposition. Auf sieben von neun Intensiv-Monitoringflächen wurde 2015 der niedrigste Schwefeleintrag seit Beginn der Messungen registriert. Die Säurebelastung des Ökosystems durch Schwefeleinträge sank damit je Hektar unter Fichte auf Werte zwischen 0,23 kmol<sub>c</sub> (Lange Bramke Südhang) und 0,37 kmol<sub>c</sub> (Solling), unter Buche auf Werte zwischen 0,18 kmol<sub>c</sub> (Lüss) und 0,23 kmol<sub>c</sub> (Solling) sowie auf 0,19 kmol<sub>c</sub> unter Eiche (Ehrhorn) und 0,16 kmol<sub>c</sub> unter Kiefer (Augustendorf).

## Stickstoff

Stickstoff, ein Hauptnährstoff der Pflanzen, wird einerseits in oxidierter Form als Nitrat (Quellen: Kfz-Verkehr, Verbrennungsprozesse) andererseits in reduzierter Form als Ammonium (landwirtschaftliche Quellen) in das Ökosystem eingetragen. In Augustendorf (Weser-Ems-Region) betrug der Ammoniumanteil im langjährigen Mittel (1994–2014) 68 % und in Ehrhorn (Lüneburger Heide) 63 %. Auf den anderen Flächen des Intensiven Monitorings lag er zwischen 52 % und 56 %. In dem hohen Ammoniumeintrag in Augustendorf spiegelt sich die intensive Landwirtschaft einschließlich der Intensivtierhaltung dieser Region wider.

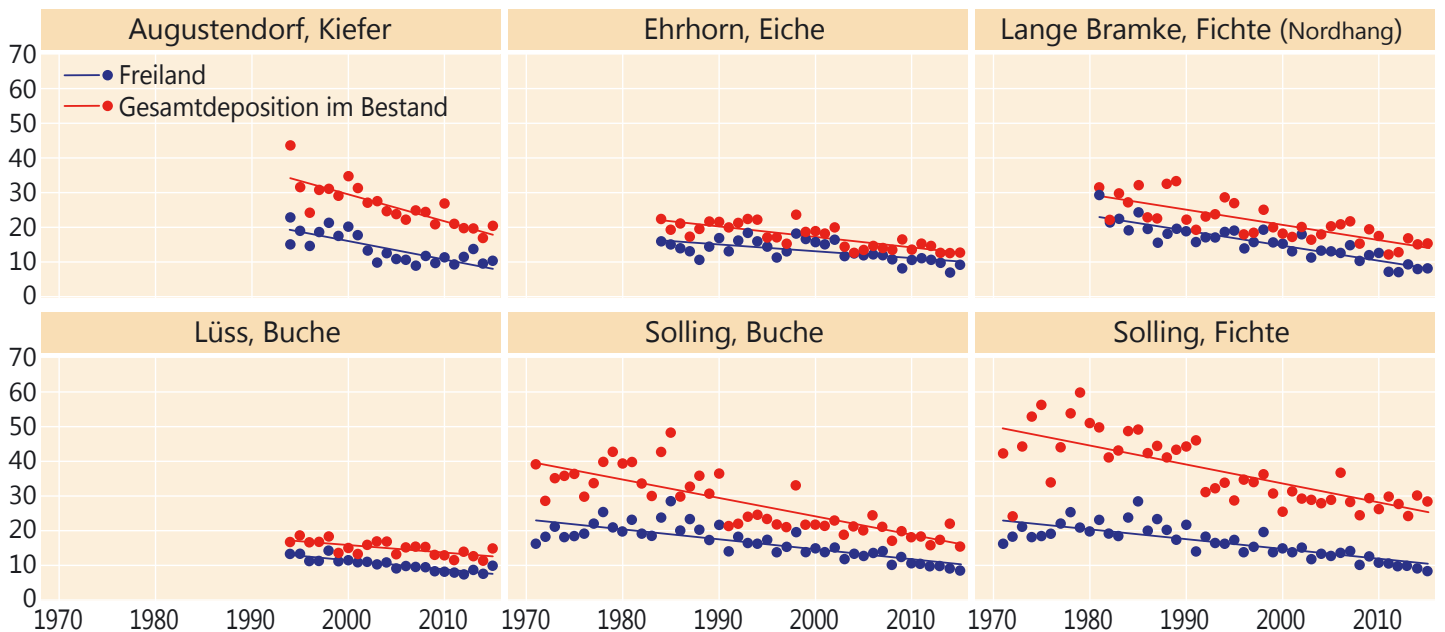
Der Nitratstickstoffeintrag hat im Freiland und in der Gesamtdeposition aller vier Baumarten auf allen untersuchten Flächen seit Untersuchungsbeginn signifikant abgenommen. Er betrug 2015 pro Hektar im Freiland zwischen 2,9 kg (Göttinger Wald) und 3,9 kg (Lange Bramke) und unter Buche (Gesamtdeposition) pro Hektar zwischen 5,2 kg (Lüss) und 7,8 kg (Göttinger Wald). Unter Fichte betrug die Nitratstickstoff-Gesamtdeposition pro Hektar 9,6 kg im Solling und zwischen 6,1 kg und 7,9 kg im Harz. Der Nitratreintrag war damit im vergangenen Jahr um bis zu 22 % geringer als im Vergleich zum Mittel der Jahre 2010–2014.



Intensiv-Monitoringfläche Solling, Fichte

Foto: J. Evers

Stickstoff-Eintrag (NH<sub>4</sub>-N + NO<sub>3</sub>-N) auf ausgewählten Flächen in kg je Hektar und Jahr





# Stoffeinträge

Der Ammoniumstickstoffeintrag hat auf den niedersächsischen Intensiv-Monitoringflächen seit Untersuchungsbeginn ebenfalls signifikant abgenommen. Im Freiland lag er 2015 pro Hektar zwischen 3,1 kg (Göttinger Wald) und 6,6 kg (Augustendorf) und unter Buche zwischen 6,1 kg (Göttinger Wald) und 9,7 kg (Lüss). Unter Fichte betrug er pro Hektar 19 kg im Solling und zwischen 8,3 kg und 10,2 kg in Harz. Auffallend hoch sind die Ammoniumeinträge unter Kiefer mit 14,0 kg je Hektar in Augustendorf, die in der Intensivtierhaltung in dieser Region begründet sind.

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

## Gesamtsäure

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

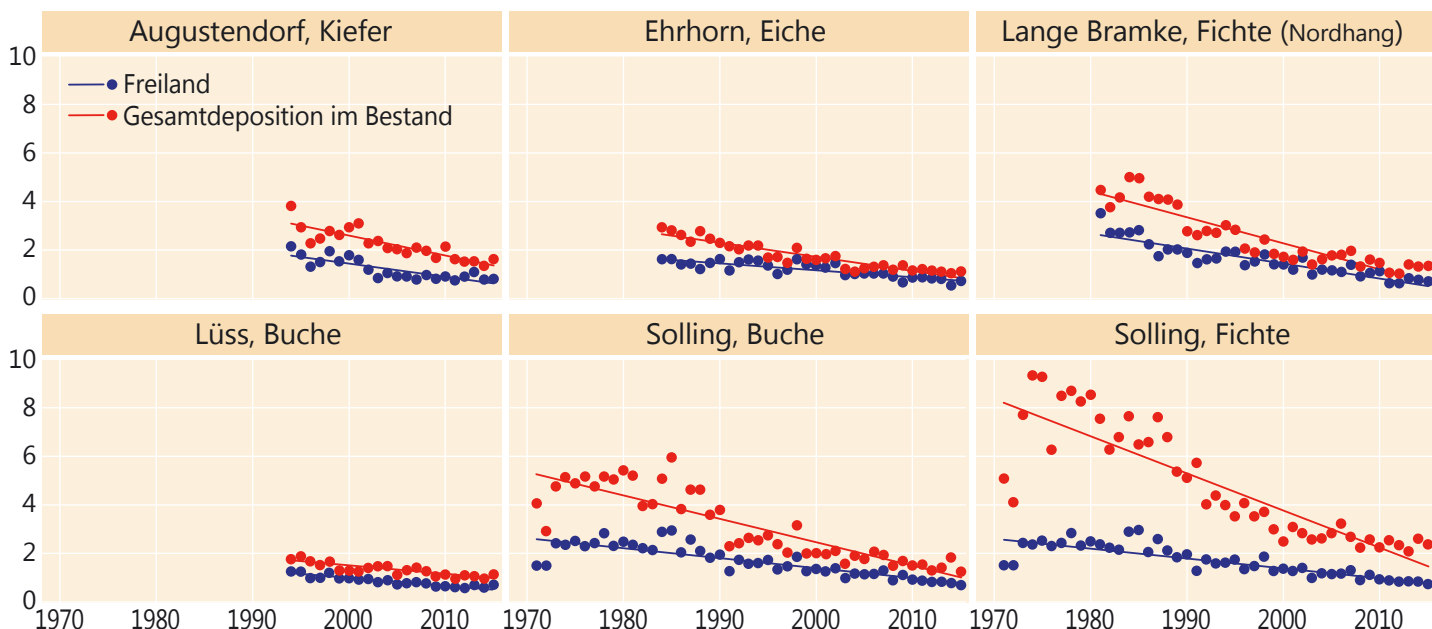
2015 betrug der Gesamtsäureeintrag pro Hektar im Freiland zwischen 0,5 kmol<sub>c</sub> (Lüss) und 0,8 kmol<sub>c</sub> (Augustendorf), unter Buche zwischen 1,1 kmol<sub>c</sub> (Lüss) und 1,3 kmol<sub>c</sub> (Solling) sowie bis zu 2,4 kmol<sub>c</sub> unter Fichte (Solling). Mit 1,6 kmol<sub>c</sub> war der Gesamtsäureeintrag in Augustendorf unter Kiefer höher als auf den Fichtenflächen im Harz. Grund hierfür sind die hohen Ammoniumeinträge auf dieser Fläche.



Intensiv-Monitoringfläche Lüss

Foto: M. Spielmann

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





# Stoffeinträge

## Anteile der Säurebildner

Anhand der sehr langen Beobachtungsreihe im Solling kann eindrucksvoll gezeigt werden, dass sich durch die Reduktion der Schwefeleinträge die Bedeutung der einzelnen Säurebildner am Gesamtsäureeintrag deutlich verschoben hat.

In den 1970er Jahren betrug die jährliche Säurebelastung durch Sulfatschwefel im Solling unter Buche bis zu 3,6 kmol<sub>c</sub> (1976) und unter Fichte bis zu 6,6 kmol<sub>c</sub> je Hektar (1977). Der Anteil von Schwefel am Gesamtsäureeintrag betrug im Mittel der Jahre 1971-1975 unter Buche 53 % bzw. 62 % unter Fichte. 2015 lag der Anteil unter Buche nur noch bei 17 % (0,23 kmol<sub>c</sub>) und unter Fichte bei 15 % (0,37 kmol<sub>c</sub>).

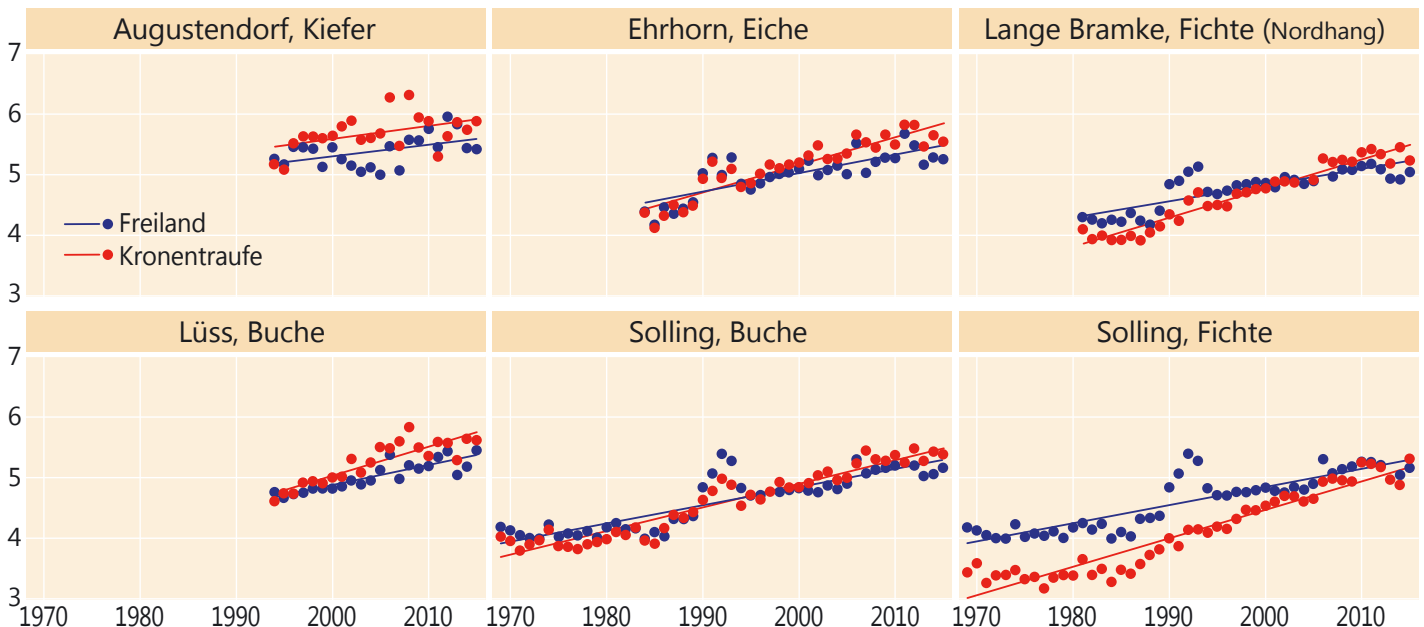
Die Säurebelastung durch Nitrat schwankte unter Buche zwischen maximal 1,6 kmol<sub>c</sub> (1985) und 0,5 kmol<sub>c</sub> (2015) und unter Fichte zwischen 1,7 kmol<sub>c</sub> (1980, 1981) und 0,7 kmol<sub>c</sub> (2015) je Hektar. Der relative Anteil von Nitrat am Gesamtsäureeintrag stieg unter Buche von 17 % (1971-75) auf 36 % (2015) und unter Fichte im selben Zeitraum von 15 % auf 28 % (2015). Ammonium ist heute der bedeutendste Säurebildner. Sein Anteil stieg von 25 % (Buche 1971-1975) bzw. 21 % Fichte (1971-1975) auf 46 % im Jahr 2015 unter Buche und 54 % unter Fichte. Auch unter dem Gesichtspunkt Säurebelastung ist eine weitere Reduzierung der Stickstoffeinträge dringend geboten.

Sofern Bestände auf nährstoffarmen, pufferschwachen Waldböden stocken, ist eine standortsangepasste Bodenschutzkalkung zum Schutz der Waldböden und ihrer Filterfunktion nach wie vor angezeigt.

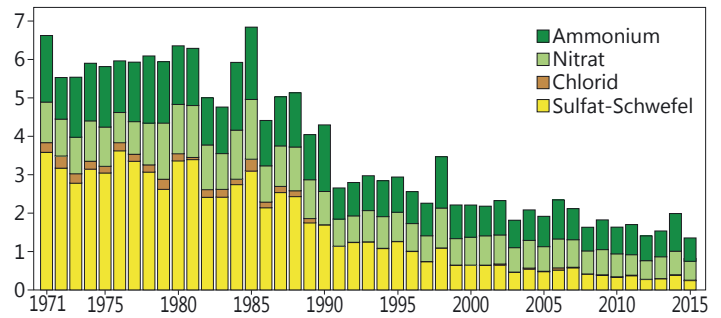
## pH-Wert

Erfreulich ist die Entwicklung des pH-Wertes sowohl im Freilandniederschlag als auch in der Kronentraufe. Lag 1971 der mittlere pH-Wert im Solling unter Fichte bei 3,3, unter Buche bei 3,8 und im Freiland bei 4,0, lag er 2015 im Freiland bei 5,2, unter Buche bei 5,4 und unter Fichte bei 5,3. Er hat sich damit weitgehend dem natürlichen, nur durch Kohlensäure beeinflussten pH-Wert im Niederschlag von 5,6 angenähert.

Entwicklung des pH-Wertes in der Kronentraufe und im Freilandniederschlag auf ausgewählten Flächen



Anteile der Säurebildner am Gesamtsäure-Eintrag (kmol<sub>c</sub> je Hektar und Jahr) im Solling (Buche)



Streufall- und Depositionssammler

Foto: J. Evers

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



# Die Substratgruppe unverlehmter Sand

Jan Evers, Inge Dammann, Thomas Jensen<sup>1</sup> und Uwe Paar

<sup>1</sup>Niedersächsisches Forstplanungsamt

Jeder der 388 BZE II-Punkte in Niedersachsen (mit Bremen), Hessen und Sachsen-Anhalt wurde einer Substratgruppe zugeordnet. Die Generierung der länderübergreifenden Substratgruppen erfolgte nach den Merkmalen Ausgangssubstrat (Ausgangsgestein), Lagerung (Substrat-Lagerung), Bodenart, Bodenmorphologie und Bodenphysik. In Niedersachsen kommen im BZE II-Kollektiv bis auf den Zechstein und Quarzit alle für Nordwestdeutschland definierten 16 Substratgruppen vor. Für 63 BZE-Punkte (36 %) wurde die Substratgruppe „unverlehmter Sand“ ausgewiesen, diese Substratgruppe tritt damit in der BZE II in Niedersachsen am häufigsten auf (Abbildung unten).

Standorte, die durch unverlehmten Sand bestimmt werden, finden sich in Niedersachsen im Altmoränengebiet des Norddeutschen Tieflands. Diese Flachlandschaft zwischen den Einzugsgebieten der Ems, Weser und Elbe wird von unterschiedlich mächtigen eiszeitlichen, durch Wasser und Wind verursachten Ablagerungen des Quartärs bedeckt und bildet neben dem niedersächsischen Bergland den zweiten geologischen Großraum Niedersachsens. Typische Böden sind basenarme podsoliierte Braunerden, Parabraunerden, Podsole, Gleye, Pseudogleye und regional prägend Nieder- und Hochmoore. Unverlehmte Sande kommen hier als Tal- oder Schmelzwassersande, Terrassenablagerungen und Flugsande sowie als holozäne Dünen vor. Flugsanddecken sind als eine Folge der Heidewirtschaft ebenfalls häufig. Starke Winde verwirbelten Staub und Sand aus der damals durch Frost und Eis geprägten Landschaft; der schwere Sand verwehte nur über kurze Distanzen und häufte sich zu Flugsanddecken und Dünenzügen auf. Flugsanddecken zwischen 1-2 m Mächtigkeit liegen häufig auf höher gelegenen Flächen (Geestflächen, Randlagen der Urstromtäler), aber auch in den Urstromtälern, wie z. B. im Allertal. Der



Schwach podsolige Braunerde bei Lingen

Foto: NW-FVA

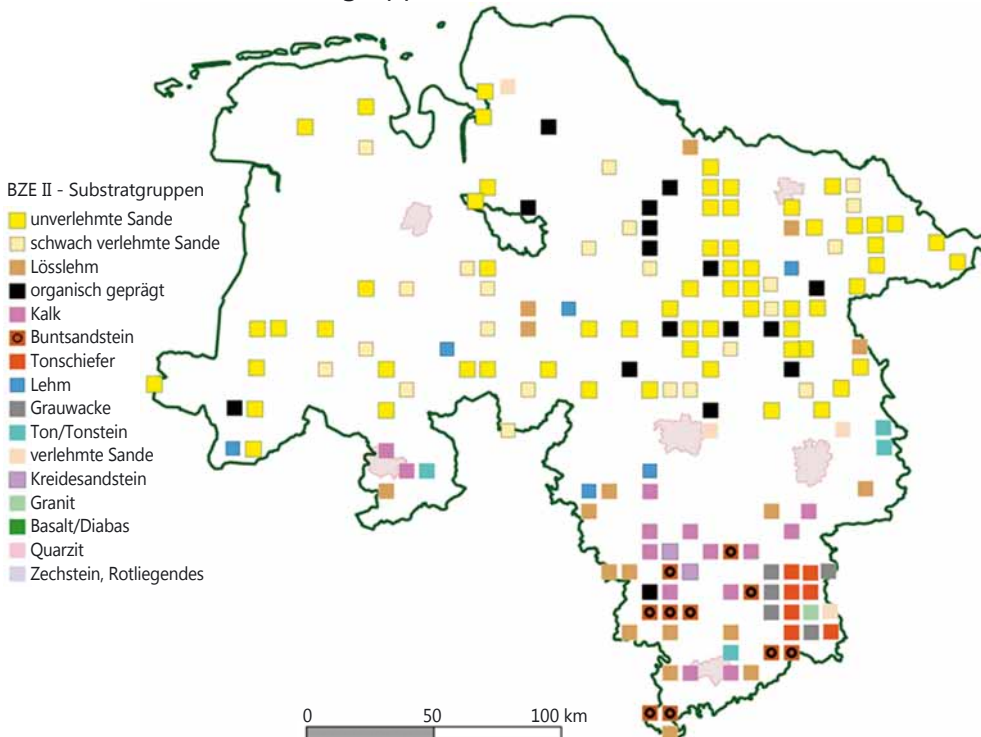
feinere Löss wurde vor allem weiter südlich vor und im Mittelgebirge abgelagert, obwohl Sandlöss, vorwiegend als Lehmsand, auch im Tiefland vorkommen (z. B. Garlstorf, Syke, Uetze). Schmelzwässer bildeten vor dem Eiskörper weitläufige Sand- und Kieskörper, die Sander, vor allem hier kommen unverlehmte Sande regelmäßig vor.

Von den Bodenarten überwiegen in der Substratgruppe unverlehmter Sand die reinen Sande. Häufig kommen sie als schwach schluffige Sande und fein- oder grobsandige

Mittelsande vor. Vereinzelt können in tiefer liegenden Horizonten auch Lehmsande und Lehme auftreten. Die Trockenrohdichten reichen mit 1,1 g/cm<sup>3</sup> im Oberboden vom sehr geringen bis zum mittel-hohen Bereich mit 1,6 g/cm<sup>3</sup> im Unterboden. Die Steingehalte sind mit mittleren 1 % im Oberboden und 4 % im Unterboden i. d. R. niedrig.

Im Wuchsgebiet Ostniedersächsisches Tiefland bilden die teilweise sehr mächtigen, silikatarmen und unverlehmten Schmelzwassersande das bodenbildende Ausgangsmaterial, meist überlagert mit schwach verlehmten, stärker silikathaltigen Geschiebe-Decksanden. Dies sind typische Standorte der Lüneburger Heide. Als Bodentypen treten mehr oder weniger podsoliierte Braunerden bis hin zu Heidepodsolon auf, die häufig durch anthropogene Bodenbearbeitung (Heidedampf-

## Substratgruppen in Niedersachsen



Zuordnung der 173 BZE II-Punkte in Niedersachsen und Bremen zu Substratgruppen

# Die Substratgruppe unverlehmter Sand

pflug, Melioration) umgebrochen wurden. Ein Großteil dieser Böden ist durch historische Entwaldung, lange Freilage, Überweidung und lang ausgeübte Plaggenwirtschaft deutlich verarmt.

Im Wuchsgebiet Niedersächsischer Küstenraum kommen unverlehmte Sande im Schwerpunkt als Flugsanddecken der verwehten, überwiegend drenthestadialen Grundmoräne vor.

Im Wuchsgebiet Mittelwestniedersächsisches Tiefland liegt der Hauptraum der drenthestadialen Vereisung mit aus den Grundmoränen und Endmoränen hervorgegangenen Geestlandschaften, die von Urstromtälern und Schmelzwasserabflussrinnen zerteilt werden. Weder im Warthe-Stadium der Saale-Eiszeit noch in der Weichselkaltzeit wurde dieses Gebiet vereist, sodass es zu starken Abtragungen und Umlagerungen in dieser Rinnenlandschaft kam. Die Geschiebelehmkerne wurden vor allem mit Flugsand überlagert, von Schmelzwassern umgelagert und dann als Terrassensande in den Hauptabflusstälern abgelagert, sodass hier häufiger unverlehmte Sande als bodenbildende Deckschichten vorkommen.

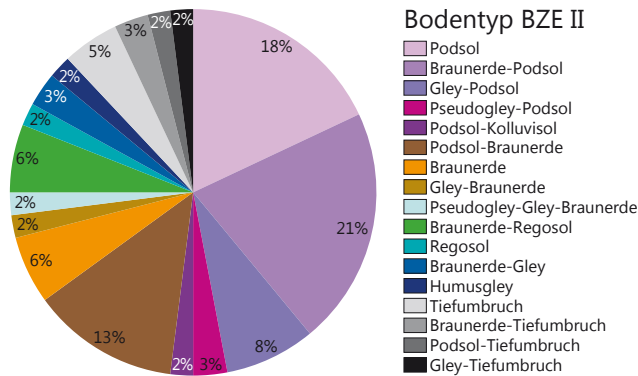
## Bodentypen

In der Abbildung unten wird die Vielfalt der vorkommenden Bodentypen in der Substratgruppe unverlehmter Sand in Niedersachsen deutlich. Die Gruppe der Podsole, die durch gebleichte Bodenschichten aufgrund von Verwitterungs- und Verlagerungsbedingungen im feuchten Klima gekennzeichnet sind, ist mit 50 % am häufigsten vertreten. Die Podsolierung tritt bevorzugt bei sandigen, quarzreichen Substraten auf und ist damit in dieser Region für die Substratgruppe typisch. Eine fortgeschrittene Podsolierung

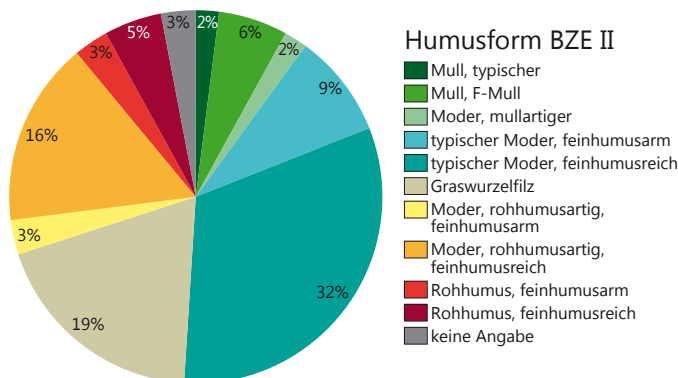


Mäßig podsoliger Braunerde-Regosol zwischen Diepholz und Nienburg Foto: NW-FVA

weist in der Regel auf eine Nährstoffverarmung im Boden hin und geht häufig mit gestörten biologischen Abbaubedingungen und schlechten Humusformen einher. Bei 15 % tritt die Podsolierung als bodenbildender Prozess weiter zurück, ist aber noch mit im Namen des Bodentyps vertreten. Es folgen mit 10 % Braunerden, die ebenfalls wasserbeeinflusst sein können. In den Braunerden sind die Kennzeichen einer Nährstoffverarmung und Verlagerung gegenüber den Podsolen deutlich weniger ausgeprägt. Regosole haben einen Anteil an den unverlehmten Sanden von 8 %. Regosole sind durch einen direkten Übergang vom humosen Oberbodenhorizont in ein Lockersediment wie z. B. Dünen definiert. Mit 5 % folgen die von Grundwasser bestimmten Gleye. Anthropogen stark in ihrer natürlichen Schichtung veränderte Böden, wie z. B. Tiefumbruchböden, haben in Niedersachsen einen historisch bedingten, vergleichsweise recht hohen Anteil von 12 % an der BZE II.



Verteilung der Bodentypen in der Substratgruppe unverlehmter Sand in Niedersachsen (BZE II)



Verteilung der Humusformen in der Substratgruppe unverlehmter Sand in Niedersachsen (BZE II)

## Humusformen

Mit rund 10 % sind in der Substratgruppe unverlehmter Sand mit dem Mull, F-Mull und mullartigem Moder Humusformen (grüne Farben, Abbildung links) vertreten, die eigentlich auf deutlich besser mit Nährstoffen versorgten Substraten zu erwarten wären. Dass diese Humusformen auf unverlehmten Sanden vorkommen, liegt an der häufig durchgeführten Bodenbearbeitung, die als Streifenkultur, Tiefumbruch oder auch als Eschboden die natürliche Lagerung des Auflagehumus im Wald verändert hat. Die typischen Moder-Humusformen (hellblaue Farben) sind mit rund 40 % in dieser Substratgruppe bestimmend. Häufig ist auch der Graswurzelfilz (rund 20 %, ockerfarben), der typischerweise in Verbindung mit Heidelbeere unter Kiefernforsten auftritt. Mit rund 20 %



# Die Substratgruppe unverlehmter Sand

sind schlechtere Moderhumusformen (rohhumusartiger Moder, orange und rote Farben) sowie mit 8 % Rohhumusformen vertreten. Diese deutlich schlechteren Humusformen weisen auf sehr ungünstige Nährstoffversorgungen und sehr arme Waldstandorte hin. An 3 % aller Standorte konnte keine Humusform zugewiesen werden.

## Nährstoffangebot (Trophie)

Die Standorte des unverlehmten Sandes in der BZE II in Niedersachsen sind entweder schwach mesotroph (51 %) oder mesotroph (46 %), vereinzelt finden sich oligotrophe Standorte (z. B. Dünen). Auch gut mesotrophe Standorte, wie z. B. meliorierte Tiefumbruchböden bzw. bei einer Unterlagerung von Lehm oder Ton kommen vor.

## Natürliche Waldgesellschaften und aktuelle Bestockung

Auf den grundwasserfernen Standorten der unverlehmten Sande im Tiefland Niedersachsens ist der artenarme Drahtschmielen-Buchenwald als natürliche Waldgesellschaft anzunehmen. Die Buche setzt sich auch auf diesen Standorten langfristig gegenüber allen anderen Baumarten durch. Im Zuge der Wiederbewaldung von Heideflächen oder auch offener Binnendünen bildet die Kiefer die Pionierbaumart, wird dann aber von Eiche und Buche verdrängt, wenn diese Standorte nicht extrem verarmt sind (Heinken 1995). Die Stieleiche kommt auf den stärker Grundwasser beeinflussten oder vernässten Standorten hinzu und kann dort auch z. B. mit der Birke prägend werden, die Traubeneiche findet sich als Mischbaumart in den trockeneren Regionen. Der Wuchsbezirk Hohe Heide zählt zum Kerngebiet eines natürlichen Fichtenvorkommens im nordwestdeutschen Bereich.

Die heutige Baumartenverteilung im niedersächsischen Tiefland ist stark durch den Menschen geprägt. So gehen die Eichenbeimischungen auf grundwasserfernen Standorten zumeist auf eine historische Förderung der Eichen zurück. Vor rund 200 Jahren wurde auf durch Übernutzung, Streunutzung oder Waldweide entwaldete Flächen die Kiefer als neue Waldgeneration angebaut. Somit bestimmt die Kiefer – oft mit eingemischter Fichte - auf Standorten mit unverlehmten Sanden der BZE II das Waldbild im Tiefland von Niedersachsen wesentlich (Abbildung unten). Die überwiegend reinen Kiefernbestände mit über 70 % Kiefernanteil machen gut 70 % aller BZE II-Standorte dieser Substratgruppe aus. Es folgen in weitem Abstand mit jeweils 6 % Bestände aus überwiegend Fichten oder anderen Na-

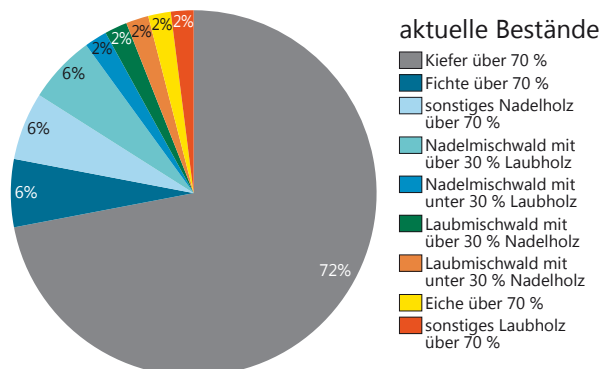
delhölzern, wie z. B. Douglasie, Lärche und Sitkafichte sowie Mischbestände überwiegend mit Nadelholz und Anteilen von Laubholz zwischen 30-70 %. Vereinzelt kommen auch Laubholz-Mischbestände vor, mit Stieleiche, Buche, aber auch Birke und Edellaubholz. Auch in den Kiefernbeständen ist meistens Laubholz eingemischt, das aber insgesamt Anteile von unter 30 % hat.

## Chemische Bodenkenngrößen

### Austauschkapazität

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

Mit rund 300 kmol<sub>c</sub> je Hektar durchschnittlicher Austauschkapazität (summiert bis 90 cm Bodentiefe) fällt die Substratgruppe unverlehmter Sand in Niedersachsen in den mittleren Bewertungsbereich nach der AK-Standortskartierung (2016). Die Spannbreiten sind jedoch recht hoch, sie reichen mit 140 kmol<sub>c</sub> je Hektar vom gering-mittleren Bewertungsbereich bis zum hohen Bewertungsbereich mit über 1000 kmol<sub>c</sub> je Hektar (BZE II). Im Vergleich mit den anderen Waldstandorten in Niedersachsen zählen die unverlehmten Sande zusammen mit den schwach verlehmten Sanden im Mittel zu den Standorten mit den geringsten Austauschkapazitäten. Die verlehmten Sande, Tone und Lösslehme sowie die Standorte des Berglandes (z. B. Buntsandsteine, Tonschiefer, Kalke) weisen deutlich höhere mittlere Austauschkapazitäten auf.



Verteilung der aktuellen Bestände in der Substratgruppe unverlehmter Sand in Niedersachsen (BZE II)



Gley-Podsol bei Jever

Foto: NW-FVA

# Die Substratgruppe unverlehmter Sand

## Basensättigung

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

Bei den unverlehmten Sanden in Niedersachsen ergeben sich zum Zeitpunkt der BZE II auf Profilebene knapp 15 % durchschnittliche Basensättigung, welches eine geringe Basenversorgung anzeigt. Dieser Durchschnitt ist nur halb so hoch wie der für Niedersachsen insgesamt mit 30 %. Die jeweils höchsten Werte in der BZE I und II nach Tiefenstufen finden sich in 0-5 cm Bodentiefe (Abbildung unten), hier ist der Einfluss organischer Substanz und der Waldkalkung noch am höchsten. Mit der Bodentiefe sinken die Werte deutlich ab und liegen zwischen 11 und 20 %. Damit liegt die durchschnittliche Basensättigung der unverlehmten



Podsol-Braunerde im Wendland

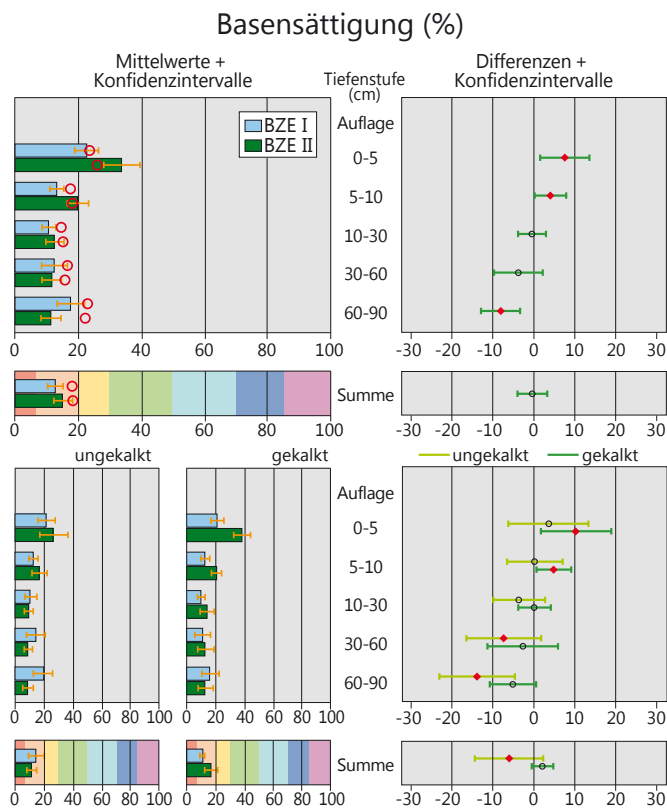
Foto: NW-FVA

Sande in Niedersachsen unter 10 cm Bodentiefe deutlich unter dem Länderdurchschnitt von Niedersachsen, Hessen und Sachsen-Anhalt (rote Kreise, Abbildung links, Teilgrafik links oben).

Basensättigungen von unter 20 % zeigen an, dass diese Standorte nicht mehr über das Potential an austauschbaren Nährstoffen verfügen, welches grundsätzlich bei gegebener Austauschkapazität an vergleichbaren, unbelasteten Waldstandorten zur Verfügung stand. In diesem Milieu wird der Austauscher und die Bodenlösung durch das Kation Aluminium geprägt. Calcium, Magnesium, Kalium und Natrium liegen in vergleichsweise geringen Anteilen vor. Für Baumwurzeln kann es schwierig werden, unter diesen Bedingungen ausreichend Nährelemente mit den Wurzeln aufzunehmen. Aluminium wirkt in der Bodenlösung in höheren Konzentrationen zudem toxisch gegenüber Pflanzenwurzeln. In diesen Fällen können Kompensationsmaßnahmen in Form von Waldkalkungen sinnvoll sein. Daher wurden in Niedersachsen rund 60 % der Standorte des unverlehmten Sandes gekalkt.

## Veränderung der Basensättigung

In allen Bodentiefen werden kritische Werte von unter 15 % Basensättigung erreicht: im Oberboden bis 10 cm betrifft dies zwischen 30-40 %, im Unterboden ab 10 cm 70-80 % aller BZE-Punkte des unverlehmten Sandes. Die Basensättigung insgesamt hat jedoch im Oberboden von der BZE I zur BZE II zugenommen, in 0-5 und 5-10 cm Bodentiefe signifikant. Im Unterboden in 60-90 cm Bodentiefe hat sie signifikant abgenommen. Die deutliche Zunahme der Basensättigung im Oberboden ist durch Waldkalkungen begründet, die Abnahme im Unterboden durch eine weitere Bodenversauerung. Im ungekalkten Kollektiv ist die Basensättigung zum Zeitpunkt der BZE II deutlich niedriger als im gekalkten Kollektiv. Damit zeigt sich, dass eine Waldkalkung wirksam



Basensättigung der Substratgruppe unverlehmter Sand ( $n=63$ ) in niedersächsischen 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, jeweils als Gesamtergebnis (obere 4 Grafiken) und nach ungekalkt ( $n=29$ ) / gekalkt ( $n=32$ ) (untere 6 Grafiken); zwei BZE-Punkte entfallen, da der Kalkungsstatus nicht geklärt werden konnte.



# Die Substratgruppe unverlehmter Sand

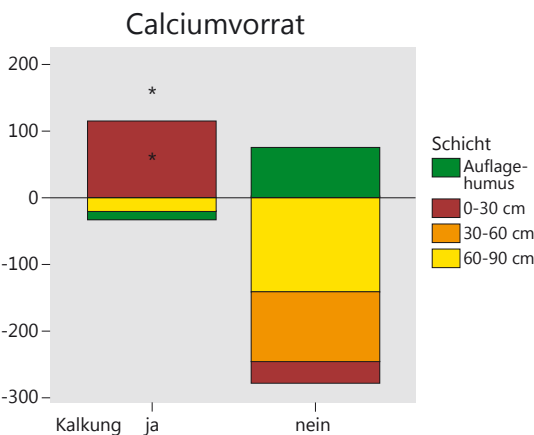
einer weiteren Bodenversauerung entgegenwirkt, die Folgen langjähriger Versauerung im Oberboden abmildert und langfristig einer weiteren Nährstoffverarmung dieser Standorte vorbeugt.

## Veränderung der Calcium- und Magnesiumvorräte

Im gekalkten Kollektiv der unverlehmten Sande kam es zu signifikanten Zunahmen von Calcium im oberen Mineralboden bis 30 cm Bodentiefe und zu leichten, aber kaum relevanten Verlusten im Auflagehumus und Bodenschichten unter 30 cm Bodentiefe (Abbildung unten). Bezogen auf die BZE I erhöhten sich die Calciumvorräte um 30 %. Im ungekalkten Kollektiv dagegen erhöhten sich nur die Calciumvorräte im Auflagehumus, in allen Bodenschichten kam es zu deutlichen Calciumverlusten. Summiert über das Profil sind dies Verluste von 25 % bezogen auf die BZE I. Aufgrund der hohen Streuungen und geringen Stichprobenzahl sind diese Ergebnisse jedoch nicht signifikant.

Die Magnesiumvorräte haben im gekalkten Kollektiv des unverlehmten Sandes auf Profilebene, bezogen auf die Vorräte der BZE I, um 70 % zugenommen, im ungekalkten Kollektiv um 30 % abgenommen. Besonders deutlich und signifikant waren die Zunahmen in 0-30 cm Bodentiefe.

Die Ergebnisse zeigen, dass es trotz des Rückgangs der Säureeinträge auf ungekalkten Standorten der unverlehmten Sande in Niedersachsen zu Calcium- und Magnesiumverlusten aus dem Mineralboden gekommen ist. Auf gekalkten Standorten war dies nicht der Fall. Auf ungekalkten Standorten verringert sich die Basensättigung weiter, auf gekalkten Standorten steigt sie an. Stellvertretend für die silikatarmen Waldstandorte heißt dies, dass Kompensationsmaßnahmen durch Waldkalkungen dringend fortzuführen sind. Grundsätzlich be-



Differenzen der Calciumvorräte (kg je Hektar) der BZE II zur BZE I nach Tiefenstufen der Substratgruppe unverlehmter Sand (gekalkt (n=23) und ungekalkt (n=15) in Niedersachsen

deutet dies ebenfalls, dass auch politisch weiterhin die Verringerung von Säureeinträgen mit Nachdruck verfolgt werden sollte. Für das niedersächsische Tiefland sind dies vor allem die Säureeinträge bedingt durch Stickstoff, hier vor allem von Ammoniak aus der Landwirtschaft.

## Ernährungssituation der Waldbäume

In der Substratgruppe unverlehmter Sand in Niedersachsen ist die Kiefer am häufigsten vertreten (siehe Tabelle unten). Die Bewertung der Ernährungssituation von Kiefer, Fichte, Eiche und Buche erfolgt anhand der Mediane für die Hauptnährstoffe (Stickstoff, Kalium, Phosphor, Calcium und Magnesium) sowie der Stickstoffquotienten zum Zeitpunkt der BZE II (2007).

Im Median befinden sich die Hauptnährelementgehalte der Kiefernadeln im Normalbereich und die Stickstoffquotienten zeigen ausgewogene Verhältnisse an. Die Magnesiumgehalte der Kiefern auf ungekalkten BZE II-Punkten weisen zu 36 % latenten Mangel auf, an den gekalkten BZE II-Punkten sind es dagegen 16 %. Weitere signifikante Effekte der Kalkung sind die verbesserten N/P-, N/Ca- und N/Mg-Verhältnisse der gekalkten gegenüber den ungekalkten BZE II-Punkten.

Auch die Elementgehalte der Fichte auf unverlehmtem Sand entfallen mehrheitlich in den Normalbereich. Die N/K-Verhältnisse allerdings sind unabhängig vom Kalkungsstatus unausgewogen. Zusätzlich sind auf den gekalkten BZE II-Punkten die N/P-Verhältnisse und bei den ungekalkten BZE II-Punkten die N/Ca-Verhältnisse unausgewogen.

Bei der Eiche auf unverlehmtem Sand sind – wie auch auf anderen Substraten – die N/P-Verhältnisse überwiegend unausgewogen. Eichenblätter auf ungekalkten BZE-Punkten zeigen latenten Mangel an Calcium und Magnesium und entsprechend ungünstige Stickstoffquotienten.

Für die Buchen werden ebenfalls normale Elementgehalte, aber unausgewogene Stickstoffquotienten (N/P, N/K, N/Ca) festgestellt.

Insgesamt zeigen die Blatt- und Nadelanalysen der Hauptbaumarten auf unverlehmtem Sand in Niedersachsen hohe Stickstoffgehalte sowie eine gute Versorgung (Normalbereich) mit Phosphor, Kalium, Calcium und Magnesium an. Bei Fichte, Eiche und Buche treten häufig unausgewogene Stickstoffquotienten auf. Nach Kalkung ist eine Verbesserung der Calcium- und Magnesiumversorgung festzustellen.

## Elementgehalte und Stickstoffquotienten

| Baumart   | Kalkungsstatus | Anzahl BZE-Punkte | Elementgehalte (mg/g) |            |          |            |              | Stickstoffquotient |     |      |      |
|-----------|----------------|-------------------|-----------------------|------------|----------|------------|--------------|--------------------|-----|------|------|
|           |                |                   | Stickstoff N          | Phosphor P | Kalium K | Calcium Ca | Magnesium Mg | N/P                | N/K | N/Ca | N/Mg |
| Kiefer    |                | 65                | 18                    | 1,6        | 5,9      | 2,9        | 0,9          | 11,5               | 3,1 | 6,2  | 21,4 |
|           | ja             | 32                | 18                    | 1,6        | 6,0      | 3,2        | 0,9          | 11,4               | 3,1 | 5,5  | 20,3 |
|           | nein           | 33                | 19                    | 1,5        | 5,9      | 2,8        | 0,8          | 12,0               | 3,1 | 6,6  | 22,5 |
| Rotfichte |                | 12                | 18                    | 1,5        | 5,0      | 4,5        | 1,2          | 11,5               | 3,7 | 4,0  | 14,1 |
|           | ja             | 7                 | 18                    | 1,5        | 5,1      | 4,6        | 1,5          | 12,1               | 3,7 | 3,9  | 12,6 |
|           | nein           | 5                 | 17                    | 1,6        | 4,9      | 3,2        | 1,0          | 11,3               | 3,8 | 5,6  | 16,8 |
| Eiche     |                | 10                | 27                    | 1,4        | 7,6      | 5,2        | 1,3          | 20,0               | 3,7 | 5,4  | 20,6 |
|           | ja             | 3                 | 27                    | 1,3        | 7,5      | 5,2        | 1,8          | 22,5               | 3,7 | 5,0  | 16,2 |
|           | nein           | 5                 | 27                    | 1,4        | 7,3      | 4,9        | 1,2          | 21,3               | 3,7 | 5,5  | 22,2 |
| Rotbuche  |                | 4                 | 27                    | 1,2        | 6,3      | 6,6        | 1,4          | 21,2               | 4,4 | 4,0  | 19,9 |

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

Mediane der Elementgehalte und Stickstoffquotienten in Nadeln (1. Nadeljahrgang) und Blättern von Kiefer, Fichte, Eiche und Buche an BZE-Punkten auf unverlehmten Sanden insgesamt und getrennt in gekalkte und ungekalkte BZE-Punkte. Aufgrund der geringen Stichprobenanzahl der Buche wurde hier keine Unterteilung in gekalkte und ungekalkte BZE-Punkte vorgenommen. Bewertung der Elementgehalte nach Göttlein (2015) und der Stickstoffquotienten nach Mellert u. Göttlein (2012)

# Schwermetallbelastung der Wälder

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

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

## Ursprung der Schwermetallbelastung

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

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

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

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

## Schwermetalle in der Umwelt

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

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

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

## Schwermetallmonitoring

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



Frühere Schwermetallquelle für Bleibelastung: Verkehr

Foto: J. Weymar



# Schwermetallbelastung der Wälder

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

## Schwermetalleinträge in Waldökosysteme

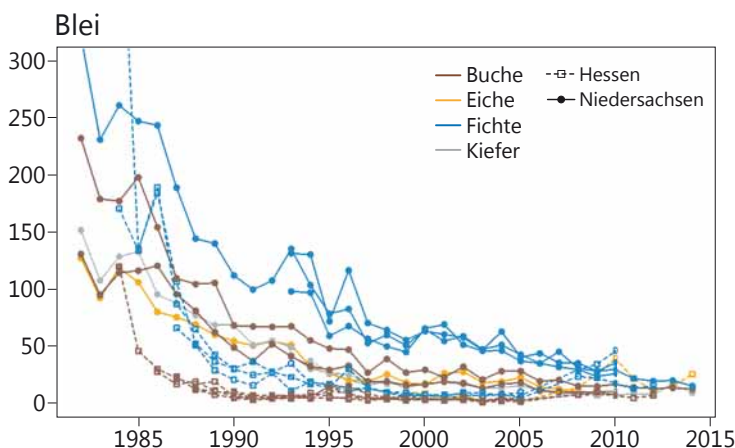
Seit mehr als zwei Jahrzehnten nehmen die Emissionen vor allem in Mitteleuropa und Nordamerika ab, was auf veränderte Produktionstechniken und gesetzliche Vorgaben der jüngsten Vergangenheit zurückzuführen ist. Besonders die dabei angewandten Staubminderungsmaßnahmen und die Stilllegung veralteter Produktionsstätten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

In den Abbildungen unten ist die Entwicklung der Blei- und Cadmiumeinträge über die Kronentraufe auf 20 Monitoringflächen in Niedersachsen und Hessen in den letzten 32

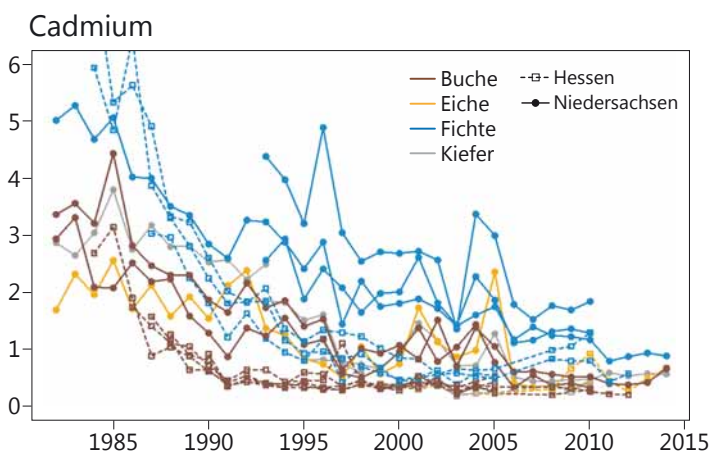
Jahren dargestellt. Es ist deutlich zu erkennen, dass sich die Einträge auf allen Flächen seit den 1980er Jahren teilweise um den Faktor 10 verringert haben. Hauptgründe für diese Reduktion sind die in den 1980er Jahren verordnete Abgasreinigung der großen Kohlekraftwerke und das damals beschlossene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

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

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



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



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



Schwermetallquelle: verbrauchte Batterien

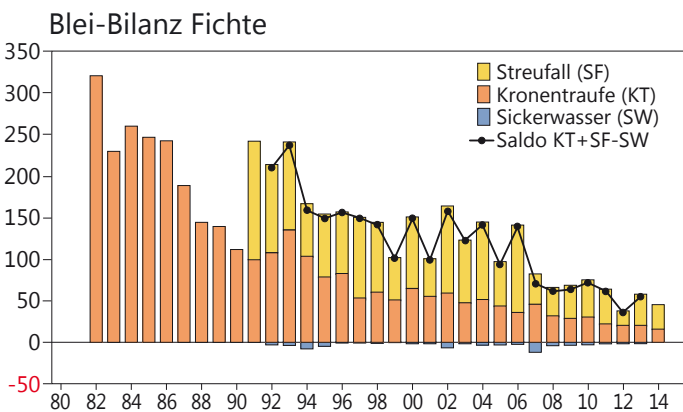
Foto: J. Evers

# Schwermetallbelastung der Wälder

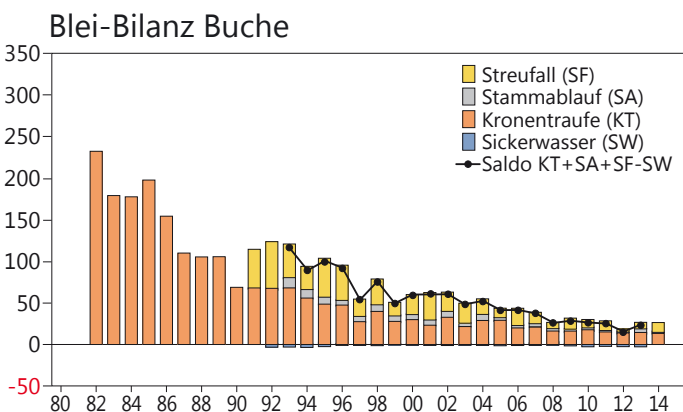
## Schwermetallbilanzen

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

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

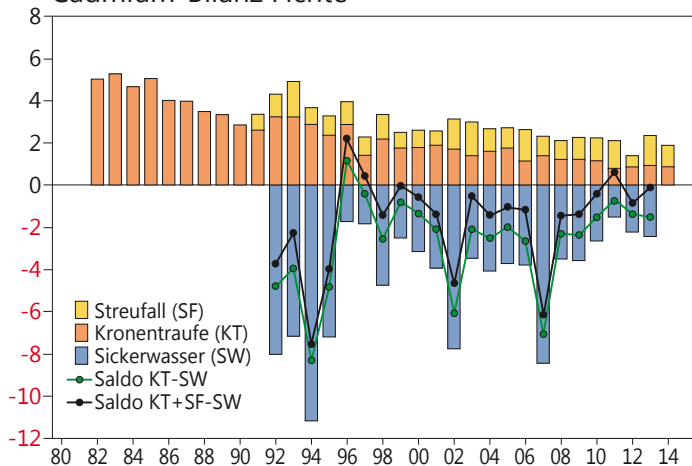


Jährliche Blei-Bilanz und -Salden aus Ein- und Austrägen (g je Hektar) für eine Fichtenfläche im Solling von 1982-2014. Die schwarze Linie entspricht dem Saldo aus Kronentraufe plus Streufall minus Austrag.



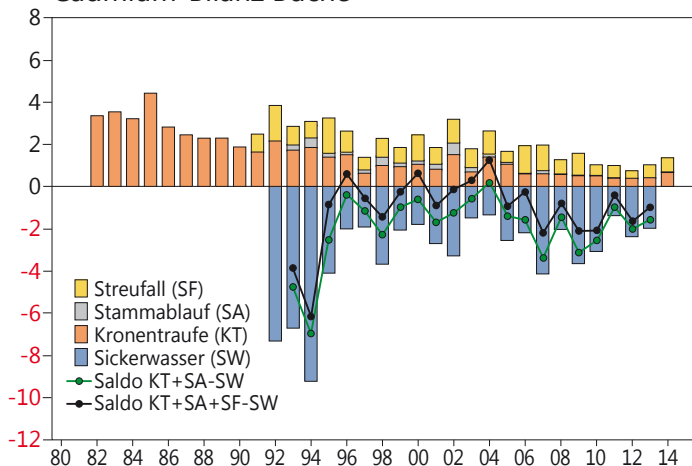
Jährliche Blei-Bilanz und -Salden aus Ein- und Austrägen (g je Hektar) für eine Buchenfläche im Solling von 1982-2014. Die schwarze Linie entspricht dem Saldo aus Kronentraufe plus Stammablauf plus Streufall minus Austrag.

## Cadmium-Bilanz Fichte



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

## Cadmium-Bilanz Buche



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



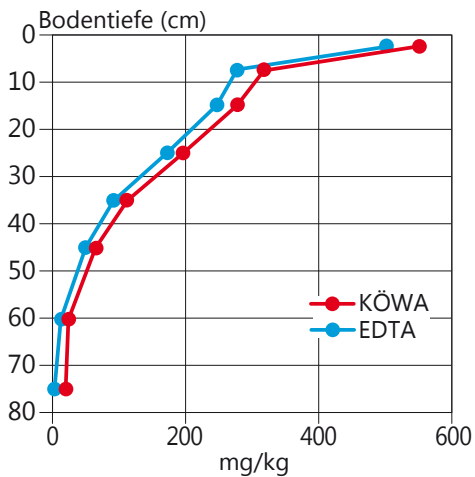
Schwermetallquelle: Computerplatine

Foto: J. Evers



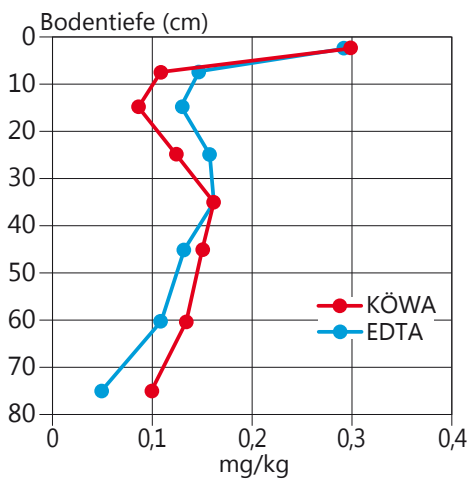
# Schwermetallbelastung der Wälder

Königswasser- und EDTA-extrahierbares Blei



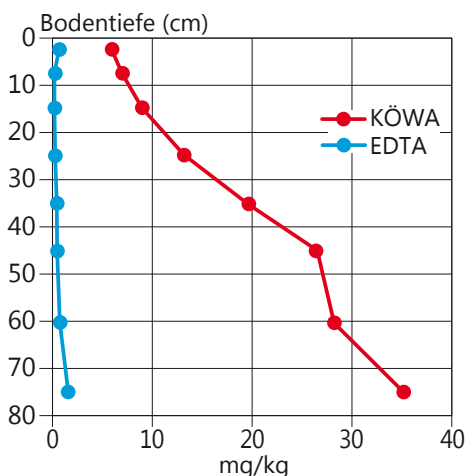
Tiefenprofil der Blei-Gehalte [mg/kg] im Harz (Lange Bramke Kamm) nach unterschiedlichen Extraktionsverfahren

Königswasser- und EDTA-extrahierbares Cadmium



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

Königswasser- und EDTA-extrahierbares Nickel



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

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

## Unterscheidung geogener und anthropogener Schwermetallanteile

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



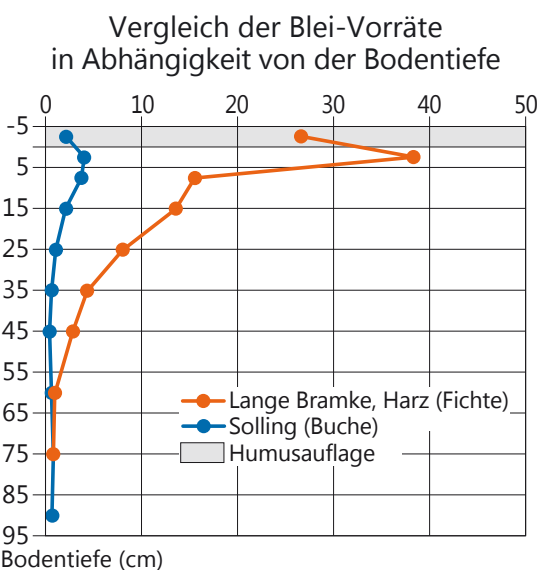
Schwermetallquelle: Kohlekraftwerke

Foto: M. Spielmann



# Schwermetallbelastung der Wälder

in größere Tiefen eingesickert und verteilt sich deshalb gleichmäßiger im Bodenprofil. Nahezu rein geogenen Ursprungs ist hingegen Nickel; hier ist der zusätzliche Eintrag durch den Menschen vernachlässigbar. Der Gesamtgehalt nimmt mit der Tiefe deutlich zu, was gleichfalls auf die Herkunft aus dem Ausgangsgestein hinweist (Abbildung Seite 37 unten). Diese für eine Fichtenfläche im Harz getroffenen Aussagen gelten auch für die meisten anderen Versuchsflächen. Bei Kupfer und Zink stammt nur ein geringer Teil aus anthropogenen Quellen. Kobalt, Nickel und Chrom sind nahezu ausschließlich geogenen Ursprungs.



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



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



Entnahme eines Schwermetall-Sammelgefäßes Foto: NW-FVA

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

## Fazit

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



# Literaturverzeichnis

AK Standortkartierung (2016): Forstliche Standortaufnahme. Arbeitskreis Standortkartierung in der Arbeitsgemeinschaft Forsteinrichtung, 6. Auflage, Eching bei München, 400 S

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

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

Choat B, Jansen S, Brodribb TJ, Cochard H, Delzon S, Bhaskar R, Bucci SJ, Feild TS, Gleason SM, Hacke UG, Jacobsen AL, Lens F, Hafiz Maherali H, 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

Heinken T (1995): Naturnahe Laub- und Nadelwälder grundwasserferner Standorte im niedersächsischen Tiefland: Gliederung, Standortbedingungen, Dynamik. *Dissertationes Botanicae*, Band 239, J. Cramer in der Gebrüder Bornträger Verlagsbuchhandlung. 311 S

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

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

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

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

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



## Impressum:

Ansprechpartner

Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt

Abteilung Umweltkontrolle

Sachgebiet Wald- und Bodenzustand

Grätzelstraße 2, 37079 Göttingen

Tel.: 0551/69401-0

Fax: 0551/69401-160

Zentrale@nw-fva.de

www.nw-fva.de

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

Titelfoto: NW-FVA

Layout: Paar E

Herstellung: Nordwestdeutsche  
Forstliche Versuchsanstalt

Druck: Printec Offset Kassel

Der Waldzustandsbericht 2016  
ist abrufbar unter  
[www.nw-fva.de](http://www.nw-fva.de) und  
[www.ml.niedersachsen.de](http://www.ml.niedersachsen.de) > =>  
Themenbereich Wald, Holz und Jagd

## 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 Niedersächsischen 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.