



# **Waldzustandsbericht 2012**

## **– Langfassung –**

Bericht über den ökologischen  
Zustand des Waldes in NRW

– Nachhaltigkeitsberichterstattung NRW –



## **Inhalt**

- 5 Vorwort
  
- 6 Die Waldzustandserfassung 2012 –  
die wichtigsten Ergebnisse im Überblick
  
- 10 Die Vitalität der Baumkronen 2012
  
- 22 Die Wetterentwicklung vor der Waldzustandserfassung 2012 –  
ein Beitrag zum Klimafolgenmonitoring in Nordrhein-Westfalen
  
- 30 Die Zielsetzung und das Aufnahmeverfahren der Zweiten  
Bodenzustandserhebung im Wald von Nordrhein-Westfalen –  
BZE II (2006–2008)
  
- 36 Ergebnisse der Zweiten Bodenzustandserhebung im Wald –  
BZE II (2006–2008) – zur Bodenversauerung und Waldkalkung
  
- 50 Der Ernährungszustand der Waldbäume aus den Ergebnissen  
der Zweiten Bodenzustandserhebung in Nordrhein-Westfalen
  
- 66 Die Waldschutzsituation der Eichen in Nordrhein-Westfalen
  
- 76 Impressum

### Information

Der Waldzustandsbericht 2012 kann im Internet auf der Homepage des Ministeriums für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (MKULNV) unter **[www.umwelt.nrw.de](http://www.umwelt.nrw.de)** eingesehen und von dort abgerufen werden. Zugleich liegt eine Kurzfassung des Waldzustandsberichtes 2012 als Kleinbroschüre des Ministeriums vor und kann ebenfalls auf der Homepage des MKULNV eingesehen, abgerufen und dort auch bestellt werden.

## Sehr geehrte Damen und Herren!



Die Wälder unseres Landes sind unser wertvolles Naturerbe, das wir erhalten und schützen müssen. Für die meisten Menschen in Nordrhein-Westfalen gehören die Wälder zum guten Leben dazu. Sie sind Orte der Erholung, des Naturerlebens, der Ruhe und Besinnung. Der Wald ist Lebensraum gefährdeter Tier- und Pflanzenarten. Sein Erhalt ist für das Klima, die Luftreinigung, den Wasserhaushalt, die Bodenfruchtbarkeit und das Landschaftsbild äußerst wichtig. Der Wald ist Produktionsstätte des nachwachsenden Rohstoffs Holz und damit Ausgangspunkt einer Wertschöpfungskette, die angesichts des Klimawandels künftig immer wichtiger wird. Die jährliche Waldzustandserhebung, die ein Baustein des forstlichen Umweltmonitorings ist, versorgt uns mit den wichtigsten Informationen über die Stabilität und Gesundheit unserer Waldökosysteme. Sie zeigt uns, wie die Folgen des globalen Klimawandels in NRW konkret aussehen.

Der nordrhein-westfälische Waldzustandsbericht 2012 belegt, dass sich zwar der Zustand der Baumkronen, der auf die Vitalität der Bäume schließen lässt, gegenüber dem Vorjahr insgesamt verbessert hat, aber trotzdem deutliche Schäden bei rund einem Drittel sämtlicher Baumarten zu verzeichnen sind. Das Wetter des vergangenen Jahres hat den Waldbäumen gutgetan. Sowohl die Temperaturen als auch die Wasserversorgung der Waldbestände waren relativ günstig. Während Buche, Fichte und Kiefer sich erholt haben, bleibt die Eiche das Sorgenkind im NRW-Wald. Ihr Gesundheitszustand ist der schlechteste seit Beginn der Waldzustandserhebung vor 30 Jahren.

Die Ergebnisse des Waldzustandsberichtes 2012 werden in die „Waldstrategie 2050“ einfließen, die mein Haus derzeit gemeinsam mit dem Landesbetrieb „Wald und Holz NRW“ und den Naturschutz- und Waldverbänden erarbeitet.

Ich wünsche Ihnen eine informative Lektüre

Ihr

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Johannes Remmel'. The signature is fluid and cursive, with a long horizontal stroke at the end.

Johannes Remmel  
Minister für Klimaschutz, Umwelt,  
Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz  
des Landes Nordrhein-Westfalen



## Die Waldzustandserfassung 2012 – die wichtigsten Ergebnisse im Überblick

Das Vorjahr 2011 war mit außergewöhnlicher Fruktifikation, Trockenheit und weiteren Erschwerissen ein ungewöhnlich belastendes Jahr für den Wald. 2012 hat sich der Kronenzustand wieder auf ein Niveau wie in den Vorjahren eingepegelt. Im Vergleich zum Vorjahr ergibt sich statistisch eine beträchtliche Verbesserung beim Gesamtwald. Insbesondere die Zahl der deutlichen Schäden ist im Durchschnittswert gesunken. Der Anteil der schwachen Schäden hat sich kaum verändert, wohingegen die Fläche der ungeschädigten Bäume zugenommen hat.

Zwar hat sich rechnerisch der Waldzustand gebessert, jedoch muss bedacht werden, dass 2011 ein Extremjahr mit vielen „Ausreißerwerten“ für den Wald gewesen ist und als Vergleichsmaßstab nicht uneingeschränkt herangezogen werden darf. Vergleicht man das diesjährige Ergebnis mit den Jahren der jüngeren Vergangenheit, muss man feststellen, dass sich die Beeinträchtigung des Waldzustands auf einem hohen Level befindet.

Für die Waldbäume ist das Wetter 2012 sehr dienlich gewesen. Sowohl die Temperaturen als auch die Wasserversorgung haben sich im Jahresverlauf als günstig erwiesen.

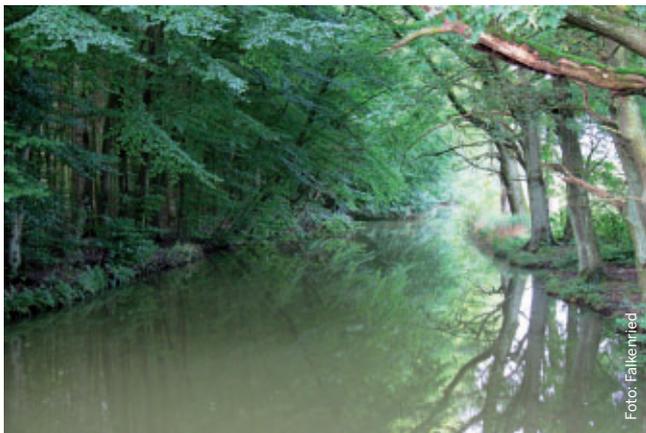
Nach den starken Belastungen des Vorjahres können bei vielen Bäumen nun erste Erholungstendenzen beobachtet werden. Für eine weitergehende Regenerierung wird jedoch ein längerer Zeitraum notwendig sein.

Die **Eiche** hat nicht von den prinzipiell günstigen Rahmenbedingungen profitieren können. Sie ist die einzige Hauptbaumart, die sich sogar noch verschlechtert hat, und bleibt das Sorgenkind in NRW.

Die **Buche** hat sich im Vergleich zum Vorjahr verbessert. Das komplette Ausbleiben von Fruktifikation und anderen Stressfaktoren ist ihr sehr entgegengekommen. Bei ihr wurde in diesem Jahr sichtbar, über welches Regenerationsvermögen Waldbäume verfügen, wenn sie eine Chance zur Erholung haben.

Auch die **Fichte** hat eine Vitalitätssteigerung vorzuweisen. Sowohl der Anteil der deutlichen Schäden als auch der der ungeschädigten Bäume hat sich positiv entwickelt.

Bei der **Kiefer** haben die schwachen Schäden stets den größten Anteil. Ähnlich wie bei der Fichte hat sich ihr Kronenzustand bei den deutlichen Schäden wie auch bei den ungeschädigten Bäumen verbessert. Unter den Hauptbaumarten zeigt sie in diesem Jahr erneut die vergleichsweise besten Messwerte.



Ein träger Bach durchschneidet einen Waldbestand

Charakteristisch für das Klima in unseren Breiten sind u. a. große Wetterschwankungen, die zwischen einzelnen Jahren auftreten können. Nach dem gleichen Muster scheint auch die **Wetterentwicklung** in den 12 Monaten vor der diesjährigen Waldzustandserhebung verlaufen zu sein, allerdings ohne die zerstörerische Kraft neuer Wetterextreme. Blickt man auf den bisherigen Verlauf der forstlichen Vegetationszeit zurück, so ist insbesondere die günstige Wasserversorgung der Waldbestände hervorzuheben. Somit kann Wasserstress für das Frühjahr und den Sommer 2012 mit großer Sicherheit ausgeschlossen werden.

Veranlasst durch die Sorge um eine flächendeckende Nährstoffverarmung und Versauerung der Waldböden infolge des langjährigen Eintrags versauernd wirkender Luftverunreinigungen wurde Anfang der 1990er Jahre

mit der BZE I (Bodenzustandserhebung) das Inventurnetz der WZE (Waldzustandserfassung) und IWE (Immissionsökologische Waldzustandserfassung) erstmals um eine systematische Bodenzustandserhebung im Wald erweitert. Primär sollte die **BZE** den aktuellen Zustand der Waldböden flächenrepräsentativ erfassen. Allerdings können auch forstliche Bewirtschaftungsmaßnahmen und die Bodenschutzkalkung Veränderungen bei der Waldbestockung, der Waldbodenvegetation und beim Bodenzustand verursacht haben. Daher ist es notwendig, bei einer Bodenzustandserhebung im Wald die unterschiedlichen Wechselbeziehungen zu analysieren und neben bodenkundlichen Untersuchungen auch waldbauliche Bestockungs- und pflanzensoziologische Vegetationsaufnahmen mit zu berücksichtigen.

Die BZE soll zuverlässige, flächenrepräsentative und bundesweit vergleichbare Informationen über den aktuellen Zustand der Waldböden und deren Veränderung im Laufe der Zeit liefern und eine Verbindung mit dem aktuellen Kronenzustand der Waldbäume herstellen.



Spechte haben eine „Großbaustelle“ in einer Pappel eingerichtet



Eine Kammfichte mit lamettaartig herabhängenden Seitenästen



Die Stechpalme öffnet ihre spitzen Blätter

Die BZE II umfasst in Nordrhein-Westfalen insgesamt 292 Inventurpunkte, auf denen der Waldzustand und die Bodenverhältnisse zwischen 2006 und 2008 aufgenommen wurden. An den Aufnahmepunkten der BZE werden die Bodenuntersuchungen, die Wald- und Vegetationsaufnahme der BZE, die Nadel-/Blattprobenahme der IWE und die Kronenzustandsansprache der WZE auf einer Kreisfläche mit einem Radius von 30 m um den Mittelpunkt der BZE-Aufnahme zusammengeführt.

Die Wiederholung der BZE in den Wäldern Nordrhein-Westfalens 16 Jahre nach dem ersten Inventurdurchgang hat ergeben, dass in den Waldböden eine langsame Erholung der Puffersysteme eingesetzt hat, nachdem jahrzehntelang überhöhte Säureeinträge auf die Wälder eingewirkt haben. Vor allem in den oberen Schichten des Mineralbodens ist eine deutliche Zunahme von basisch wirkenden Nährstoffkationen zu verzeichnen. Diese Entwicklungen begünstigen die Nährstoffaufnahme der Bäume und die Tiefendurchwurzelung des Waldbodens.

Als treibende Kraft dieser Veränderungen sind die stetig rückläufigen Säureeinträge und die Waldkalkung zu sehen, die zum Schutz der Waldböden seit Mitte der 1980er Jahre durchgeführt wird.

Der Umstand, dass sich die Erholung der Waldböden noch weitgehend auf den Oberboden beschränkt und ein nachhaltig intakter Bodenzustand noch nicht erreicht ist, darf nicht darüber hinwegtäuschen, dass die bisherige Bodenentwicklung für das gesamte Ökosystem bereits einen Stabilitätsgewinn gebracht hat. Hierdurch sind unmittelbar bessere Bedingungen für eine tiefere Durchwurzelung, die Mikroorganismenaktivität, den Nährstoffkreislauf und die Kohlenstoffbindung im Boden entstanden. Allerdings ist nicht zu erwarten, dass von einem besseren Bodenzustand kurzfristige Wirkungen ausgehen.

Im Rahmen der BZE II wurde bundesweit erstmalig die Beprobung von Nadeln und Blättern der bestandesbildenden Hauptbaumarten in die Untersuchungen eingebunden. So soll eine erste bundesweit einheitliche Übersicht der Ernährungsverhältnisse in den Wäldern entstehen. Die Häufigkeit von Ernährungsstörungen und die Darstellung und Klärung von Zusammenhängen zwischen Bodenzustand und Ernährung der Bäume spielen dabei eine wichtige Rolle.

Landesweit ist eine überwiegend mittlere bis gute Nährstoffversorgung der Hauptbaumarten mit den Hauptnährstoffen (N, P, K, Mg und Ca) festzuhalten. Besonders hervorzuheben ist die gute Versorgung der Buchen mit Magnesium sowie der Fichte und Stieleiche mit Kalzium. Demgegenüber stehen allerdings massive Versorgungsengpässe der Kiefer beim Magnesium und leichtere Defizite der Fichte mit Kalium, besonders auf gekalkten Flächen. Auch die Buche zeigt leichte Schwächen bei drei Elementen. Die hohen Stickstoffgehalte bei allen Baumarten weisen auf eine starke Belastung durch Einträge hin und werden zum Teil auch auf Auswirkungen des Sturms Kyrill in 2007 zurückgeführt.

In den letzten 24 Jahren haben die deutlichen Schäden bei der Eiche stetig zugenommen. Als Ursachen sind abiotische und vor allem biotische Stressoren zu nennen. 1996 und 2010 gelten als Initialjahre von beginn-



Der Hallimasch besiedelt einen alten Baumstumpf

den Eichensterbenswellen. Die Dauer des aktuellen, landesweit in unterschiedlichen Intensitäten ablaufenden Eichensterbens ist von den in den Jahren 2011 und 2012 eingeleiteten und in 2013 noch durchzuführenden Maßnahmen abhängig. Zentrale Bedeutung hat dabei die von Eigentümern zu treffende Entscheidung über die Vorgehensweise bei Raupenfraß und Eichenprachtkäferbefall.



Die Roskastanie öffnet im zeitigen Frühjahr noch zögerlich ihre Knospen



## Die Vitalität der Baumkronen 2012

Die Baumkronen (Blätter, Nadeln, Verästelung u. a.) sind ein aussagekräftiger Weiser für den Gesundheitszustand des Waldes. Die Waldzustandserfassung bewertet an ihnen neben dem Nadel-/Blattverlust verschiedenste Indikatoren, die Einfluss auf das Erscheinungsbild der Baumkronen haben. Dazu zählen insbesondere Vergilbung, Fruktifikation sowie weitere biotische und abiotische Faktoren.

Das Kronenmonitoring wird in NRW seit 1984 jährlich durchgeführt. 2012 wurden in einem Stichprobenraster von 4 x 4 km an 525 Aufnahmepunkten landesweit etwa 9.500 Bäume untersucht.

Durch die kontinuierlichen Untersuchungen sind nicht nur Aussagen zum aktuellen Jahr möglich, sondern es können besonders gut die langjährigen Trends bei den einzelnen Baumarten über Zeitreihen dargestellt werden. Diese Erhebungen vermögen zudem wichtige Informationen zur aktuellen Diskussion zu den möglichen Auswirkungen des prognostizierten Klimawandels beizusteuern.

Die Klassifizierung der Kronenverlichtung erfolgt gemäß der nachstehenden bundesweit einheitlichen Tabelle (Tabelle 1). Unter Einbeziehung von Vergilbungsstufen entstehen daraus die kombinierten Schadstufen. In den folgenden Grafiken werden die Schadstufen zur besseren Übersicht gruppiert und in Ampelfarben dargestellt.

Schadstufe	Nadel-/Blattverlust	Bezeichnung	Gruppierung
0	0–10 %	ohne Schadmerkmale	ohne Schadmerkmale
1	11–25 %	schwach geschädigt	schwach geschädigt
2	26–60 %	mittelstark geschädigt	deutlich geschädigt (Zusammenfassung der Stufen)
3	61–99 %	stark geschädigt	
4	100 %	abgestorben	

Tabelle 1: Relative Kronenverlichtung in Stufen

## Hauptergebnisse

Nach dem besonderen Jahr 2011 mit außergewöhnlicher Fruktifikation bei den Waldbäumen hat sich der Kronenzustand wieder auf ein reguläres Niveau eingestellt. Im Vergleich zum Vorjahr ergibt sich statistisch eine Verbesserung beim Gesamtwald. Besonders die deutlichen

Schäden sind als Durchschnittswert markant um 8 %-Punkte auf 25 % gesunken. Die schwachen Schäden haben sich kaum verändert, wohingegen die Fläche der ungeschädigten Bäume um 10 %-Punkte auf 34 % zugenommen hat (Abbildung 1).

### Schadstufen Waldzustandserfassung 2012, zusammengefasst über alle Baumarten und Altersbereiche

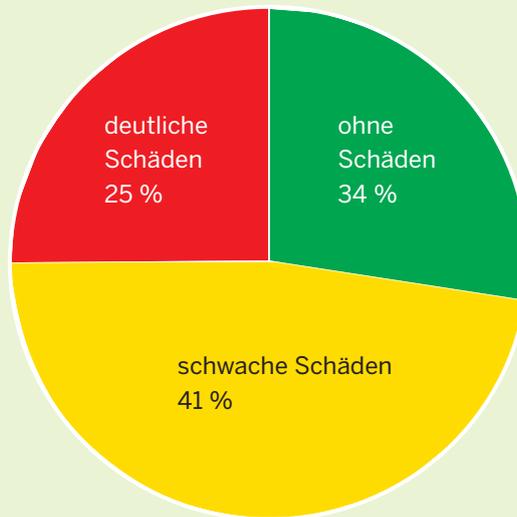


Abbildung 1: Prozentuale Schadstufenverteilung für die Summe aller Baumarten in Nordrhein-Westfalen



Die Distel ist ein häufiger Begleiter der Waldränder

Bei der rechnerischen Verbesserung des Waldzustands muss jedoch bedacht werden, dass 2011 ein Extremjahr mit vielen „Ausreißerwerten“ für den Wald gewesen ist und als Vergleichsmaßstab nicht uneingeschränkt herangezogen werden darf. Im Vergleich mit den Jahren der jüngeren Vergangenheit zeigt sich der Waldzustand 2012 also immer noch auf einem hohen Level (Abbildung 2).

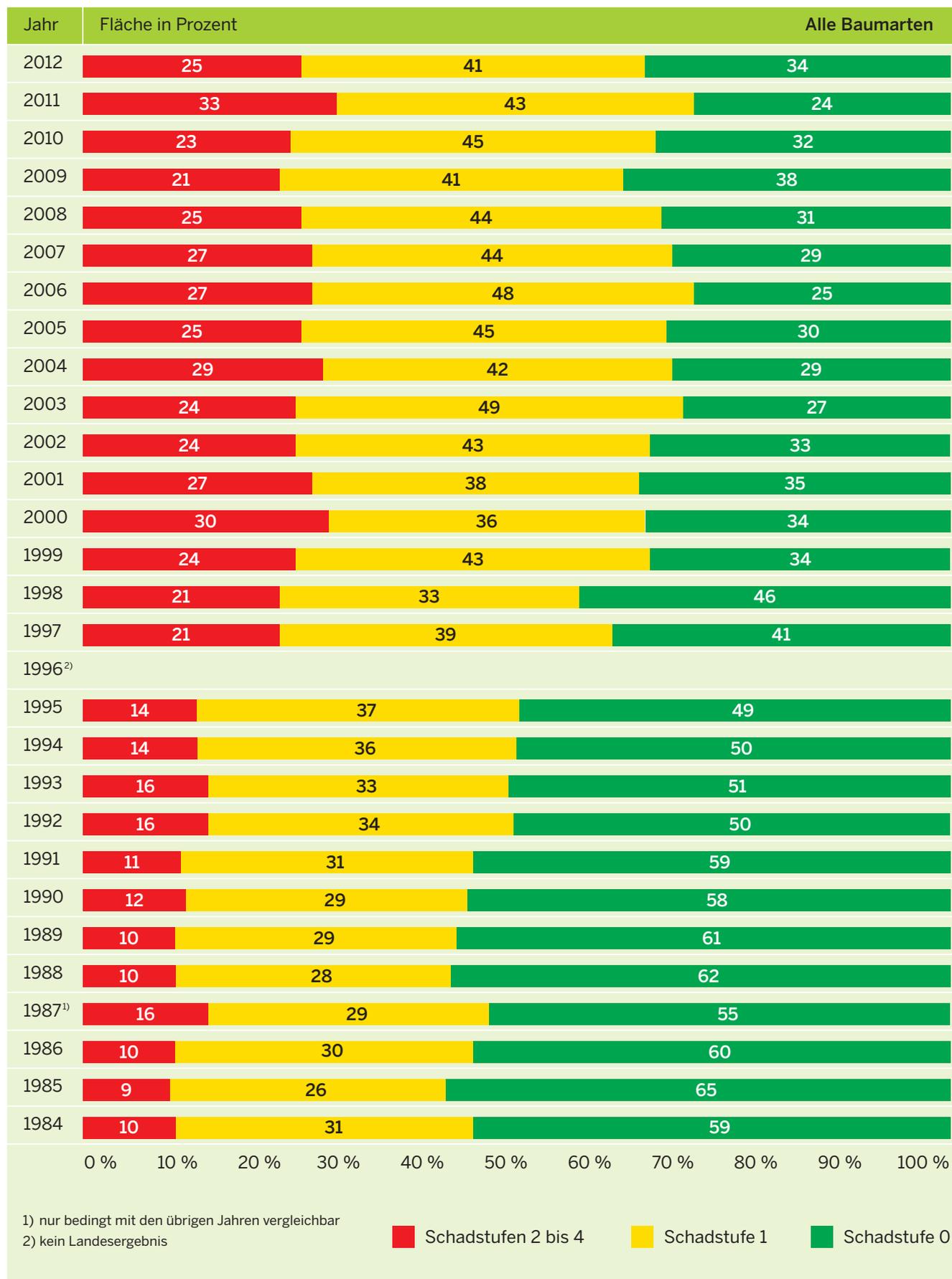


Abbildung 2: Entwicklung des Kronenzustandes in Nordrhein-Westfalen von 1984 bis 2012 in Prozent

Der Kronenzustand der einzelnen Baumarten unterscheidet sich häufig von den summarischen Ergebnissen des

Gesamtwaldes. Deshalb werden die Hauptbaumarten im Folgenden noch einmal getrennt betrachtet.

## Ergebnisse zu den wichtigsten Baumarten

Tabelle 2 lässt einen differenzierten Blick auf die einzelnen Baumarten zu. Dabei sind die Altersgruppen zusammengefasst. Die folgende Wertung der Ergebnisse

bezieht sich auf die Veränderung zu den Zahlen des Vorjahres.

### Ergebnisse der Waldzustandserfassung 2012 in Nordrhein-Westfalen

(in Klammern Vergleichsdaten aus 2011)

Baumart	Baumartenfläche nach Landeswaldinventur in Hektar	Anteile der Schadstufen in Prozent		
		0 ohne Schadensmerkmale	1 schwache Schäden	2-4 deutliche Schäden
<b>Fichte</b>	303.100	37 (31)	42 (43)	21 (26)
<b>Kiefer</b>	68.000	29 (24)	58 (58)	13 (18)
<b>Sonst. Nadelbäume</b>	44.600	48 (36)	39 (36)	13 (28)
<b>Summe Nadelbäume</b>	415.700	37 (30)	44 (45)	19 (25)
<b>Buche</b>	144.600	31 (12)	41 (33)	28 (55)
<b>Eiche</b>	131.000	16 (18)	30 (37)	54 (46)
<b>Sonst. Laubbäume</b>	187.100	40 (25)	45 (50)	15 (25)
<b>Summe Laubbäume</b>	462.700	31 (19)	39 (41)	30 (40)
<b>Summe NRW</b>	878.400	34 (24)	41 (43)	25 (33)

Tabelle 2: Schadstufen je Baumartengruppe

Die Abbildung 3 lässt erkennen, dass die Eiche bei den höheren Verlustprozenten die größten Häufigkeiten aufweist. Sie zeigt besonders im roten Bereich der deutlichen Schäden die stärksten Blattverluste auf. Alle anderen Baumarten haben ihre Maxima im gelben Feld der

schwachen Schäden. Fichte und Buche liegen mit ihren Höchstwerten bei der Häufigkeit sogar nahe an der Klassengrenze zum grünen Bereich der ungeschädigten Bäume.

### Verteilung der Nadel-/Blattverluste 2012

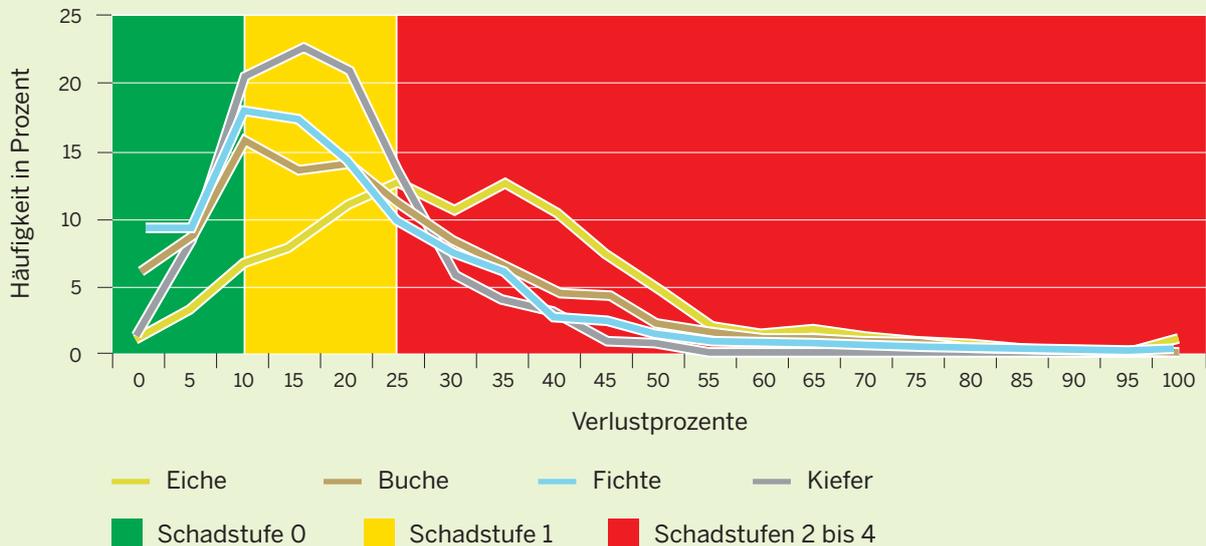


Abbildung 3: Häufigkeitsverteilung der Nadel-/Blattverluste bei den Hauptbaumarten 2012. Die Schadstufen sind farbig markiert.



Foto: Falkenried

Randeichen mit unterschiedlichem Verfärbungsgrad im Herbst

## Eiche

Der Zustand der Eiche hat erneut einen Tiefststand erreicht. Wie auch 2010 zeigen sich die Kronen in einem sehr schlechten Zustand (Abbildung 6). Im Vergleich zum Vorjahr haben sich die deutlichen Schäden um 8 %-Punkte auf 54 % verschlechtert. Damit weist die Eiche in diesem Jahr die mit Abstand schlechtesten Werte unter den Baumarten auf. Insbesondere bei den alten Eichen sind nur noch wenige (8 %) zu finden, die sich 2012 in ihrer Belaubung ungestört entwickeln konnten.

Die Eichen befinden sich seit mehreren Jahren im Dauerstress. Ungünstige Wetterbedingungen, starker Insektenfraß und Pilzbefall, häufige Fruktifikation sowie weitere Faktoren haben den Eichen nachhaltig zugesetzt. Erholungsphasen hat es kaum gegeben. Die über Jahre hinweg reduzierte Blattmasse führte zudem dazu, dass auch weniger Reservestoffe gebildet worden sind und die Energiereserven zunehmend schwinden.

Das Wetter ist 2012 für die Eichen prinzipiell günstig gewesen. Eicheln sind kaum gebildet worden und der Mehltaubefall bewegte sich auf einem normalen Niveau. Trotzdem haben sich die Eichen nur vereinzelt regeneriert.

Der Fraß durch Raupen der Hauptschädlinge Eichenwickler und Frostspanner ist jedoch deutlich zu merken gewesen (Abbildung 4). Mit lokalen Unterschieden war besonders der Eichenwickler aktiv. Stellenweise schwärmten die Falter sehr stark. In den letzten Jahren werden zudem



Foto: Falkenried

Ein Eichenwickler-Falter

gesundheitlich beeinträchtigte Bäume vermehrt durch Prachtkäfer und den Pilz Hallimasch befallen.

In der Abbildung 5 ist die Entwicklung der deutlichen Schäden über eine Zeitreihe von 29 Jahren dargestellt. Obwohl es besonders in den letzten Jahren immer wieder Schwankungen im Belaubungszustand gegeben hat, zeigt der Trend doch eine eindeutige Zunahme der Beeinträchtigungen. Verglichen mit z. B. der Fichte ist die Steigung der Trend-Geraden der Eiche markant steiler und zeigt in den letzten Jahren viel höhere Werte. Zu Beginn der Untersuchungen 1984 bewegten sich die Trendwerte bei beiden Baumarten um ca. 10 %. Bis zum heutigen Zeitpunkt hat sich die Eiche hingegen um das Doppelte verschlechtert.

Insgesamt ist der Zustand der Eichen in NRW besorgniserregend.

### Eichenwickler/Frostspanner an der Eiche 1989–2012

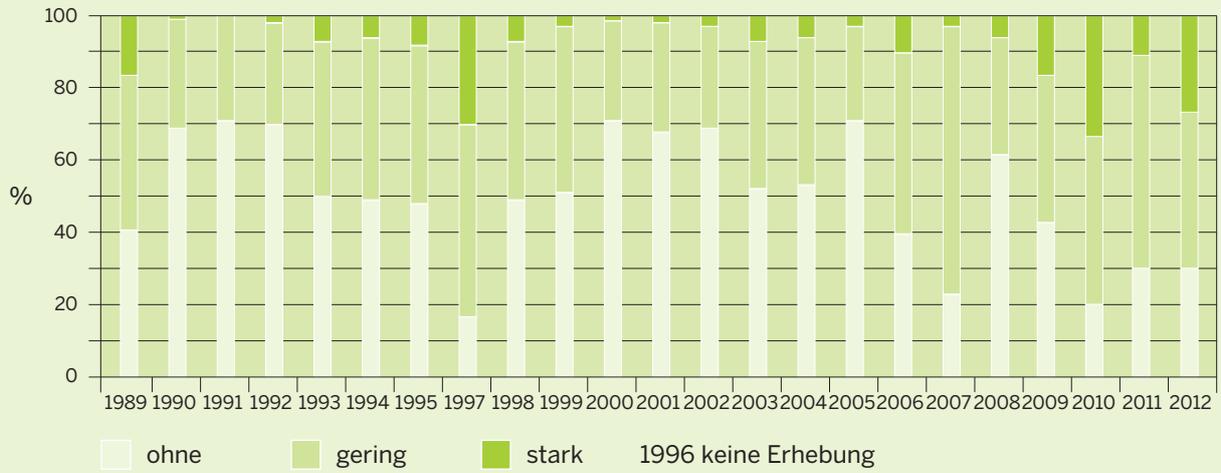
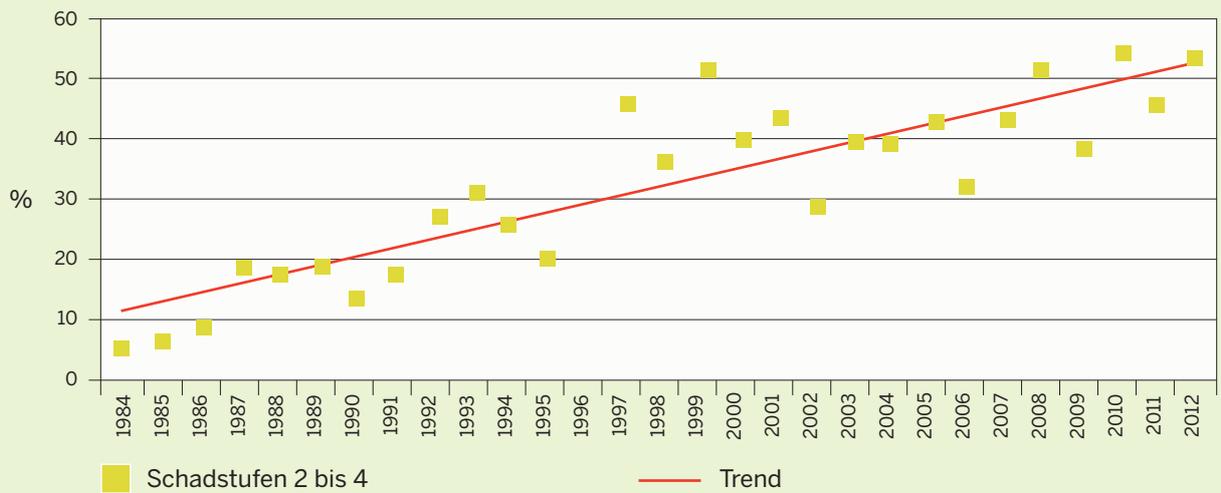


Abbildung 4: Befall der Eichen mit Schmetterlingsraupen

### Eiche – Trend der deutlichen Schäden



### Fichte – Trend der deutlichen Schäden

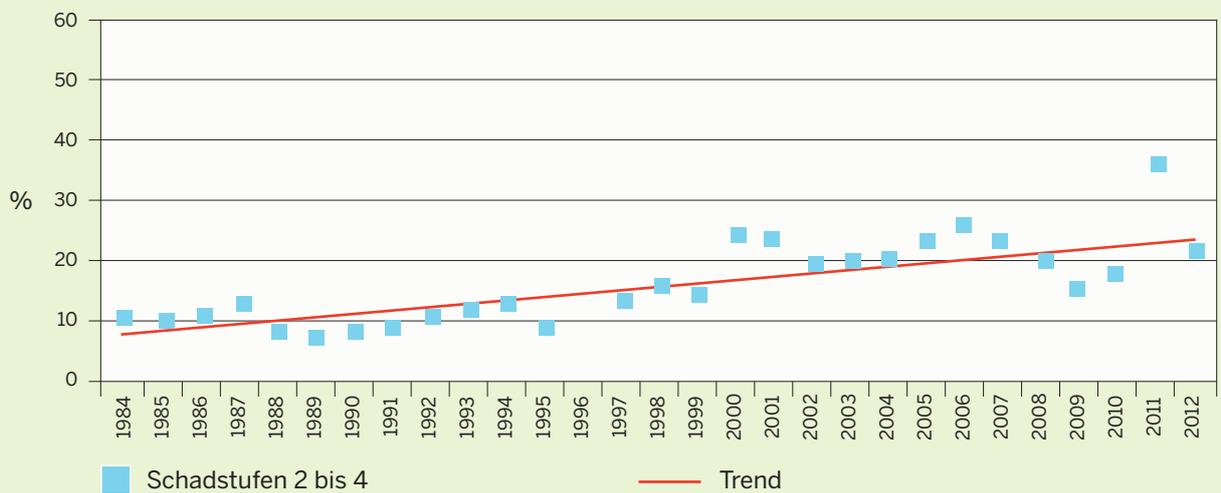


Abbildung 5: Trend der deutlichen Schäden bei der Eiche im Vergleich zur Fichte von 1984 bis 2012

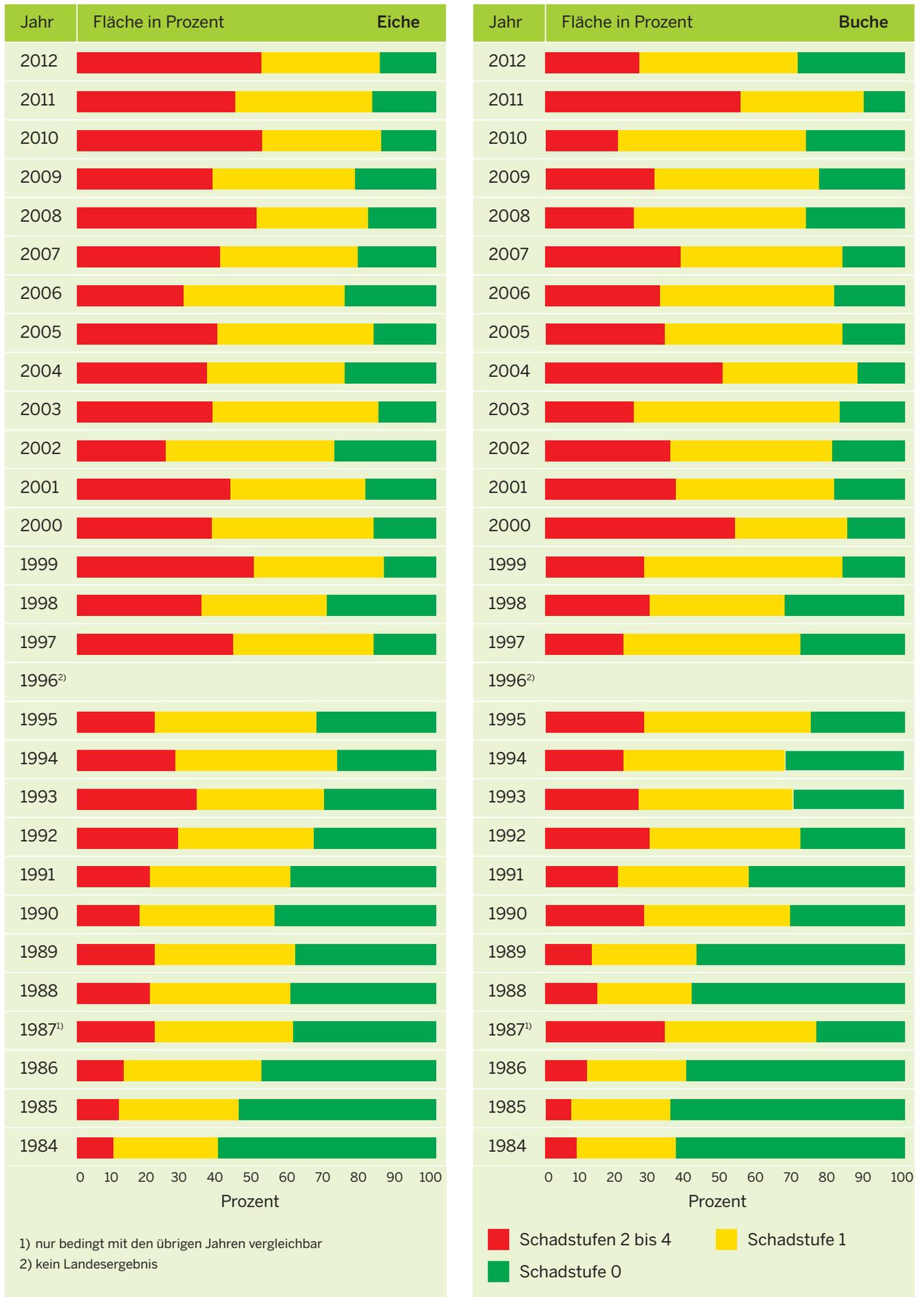


Abbildung 6: Prozentuale Entwicklung der Kronenschäden bei Eichen und Buchen von 1984 bis 2012

# Buche

Im Vergleich zum Vorjahr zeigt die Buche eine fühlbare Verbesserung bei allen Schadstufen. Die deutlichen Schäden haben sich auf 28 % halbiert und auch bei den schwachen Schäden hat es eine Besserung um 8 %-Punkte gegeben (Abbildung 6).

Diese Werte müssen jedoch relativiert werden. 2011 ist für die Buche ein Extremjahr gewesen. Besonders die ungewöhnlich hohe Fruktifikation, kombiniert mit weiteren Beeinträchtigungen, hatte zu sehr hohen Blattverlusten geführt. Blendet man nun das extreme Vorjahr als Vergleichsjahr aus und vergleicht die aktuellen Werte mit den Werten der davor liegenden Jahre, muss man erkennen, dass z. B. die deutlichen Schäden zwar im besseren Bereich liegen, insgesamt aber trotzdem noch hoch sind.

Das nahezu komplette Ausbleiben von Fruchtbildungen ist der Buche sehr zugutegekommen (Abbildung 7). Es konnten sich mehr Blätter bilden und das Fehlen von Bucheckern hat sich auf den Belaubungszustand positiv ausgewirkt.



Buchenwald mit dichtem Jungpflanzenbewuchs im Unterstand

Hinzu kommt, dass die Wetterentwicklung 2012 für den Wald in NRW insgesamt positiv gewesen ist und die Bäume kaum unter Wasser- oder Temperaturstress gesetzt hat. Davon konnte auch die Buche profitieren.

Der Befall durch den Springrüssler-Käfer bewegte sich auf einem normalen Grad. Der Buchenspringrüssler ist beständiger Schädling in unseren Buchenbeständen. Für die Buchen in NRW kann eine gewisse Befallsstärke als normal angesehen werden, die von den Bäumen auch verkraftet wird. Erst bei stärkerem Befall kommt es zu Vitalitätseinbußen.



Unmengen von Samenkapseln aus dem letzten Jahr bedecken den Waldboden. Aus den Bucheckern entwickelten sich in diesem Jahr viele junge Bäume.

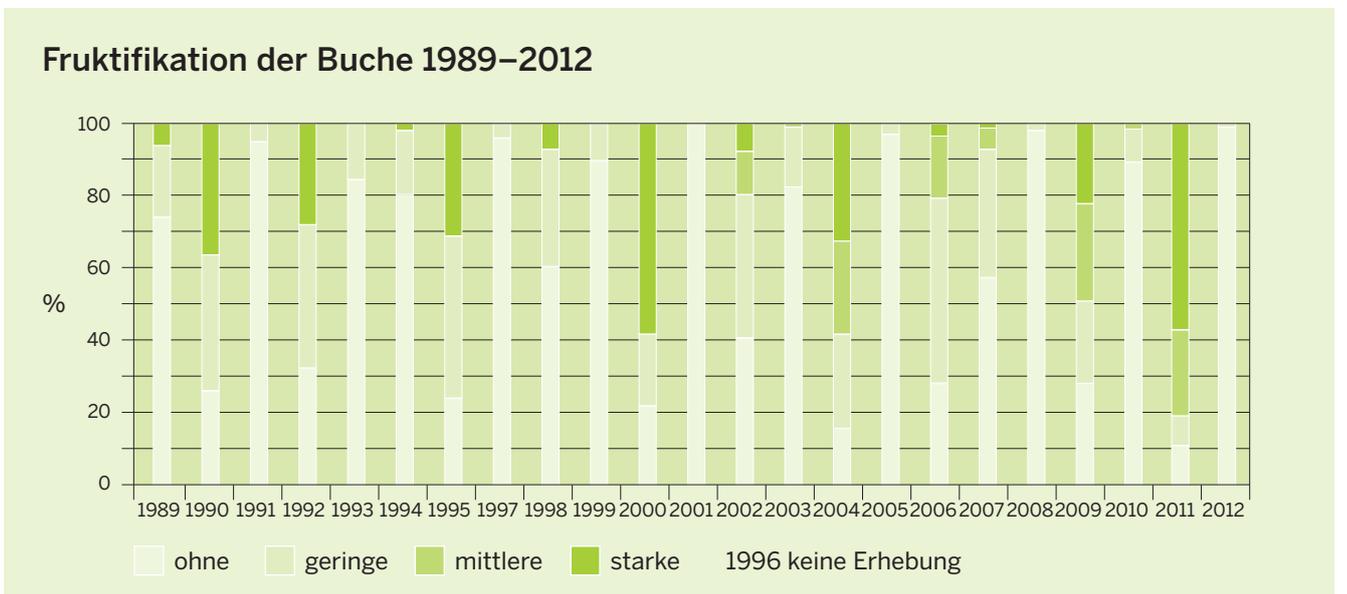


Abbildung 7: Fruchtifikationsstufen bei der Buche

# Fichte

Auch bei der Fichte kann in diesem Jahr eine Verbesserung ihrer Benadelungswerte festgestellt werden. Die deutlichen Schäden sind um 5 %-Punkte auf 21 % gesunken. Bei nahezu gleichbleibenden schwachen Schäden konnten sich die Bäume ohne Schadmerkmale um 6 %-Punkte ebenfalls verbessern (Abbildung 9).

Eine starke Zapfenbildung wie in 2011 ist in diesem Jahr ausgeblieben. Es konnte nur vereinzelt Fruchtausatz bei der Fichte beobachtet werden (Abbildung 8). Dadurch wurde die Nadelbildung an den Triebspitzen gefördert und die Fichten zeigten deutlich bessere Transparenzwerte in den Baumkronen.

Die Bedrohung durch Borkenkäfer spielte in diesem Jahr eine untergeordnete Rolle und bewegte sich auf einem normalen Niveau. Kleinräumigere Befallsherde kamen nur lokal vor.



Ein Waldweg führt durch einen sommerlichen Fichtenwald

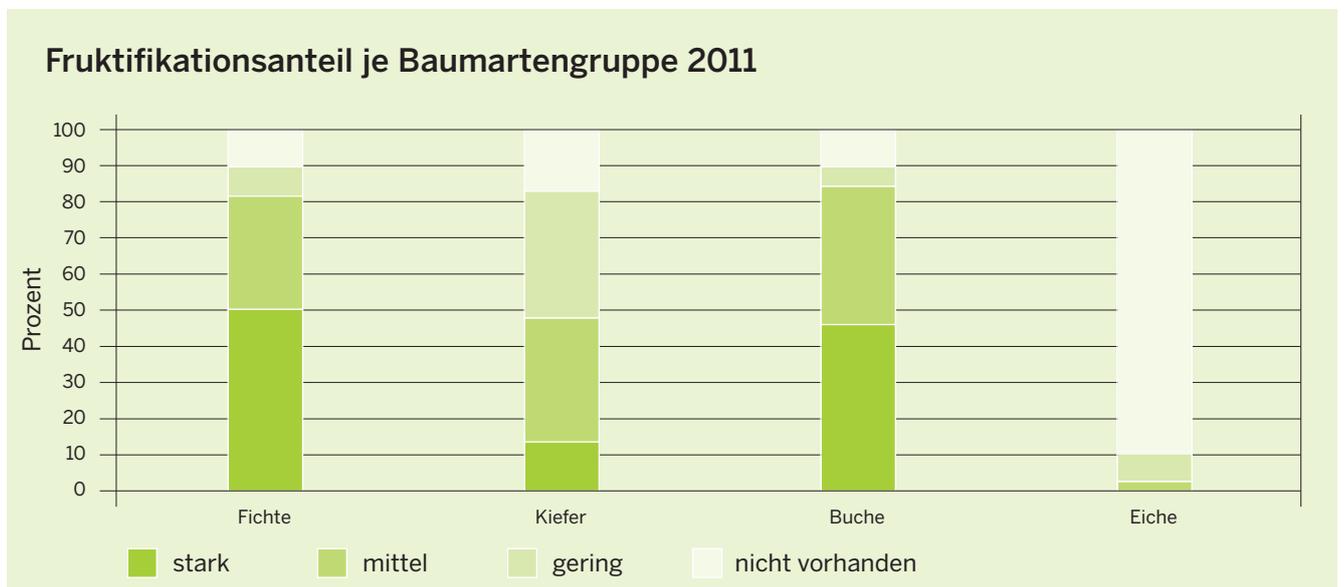
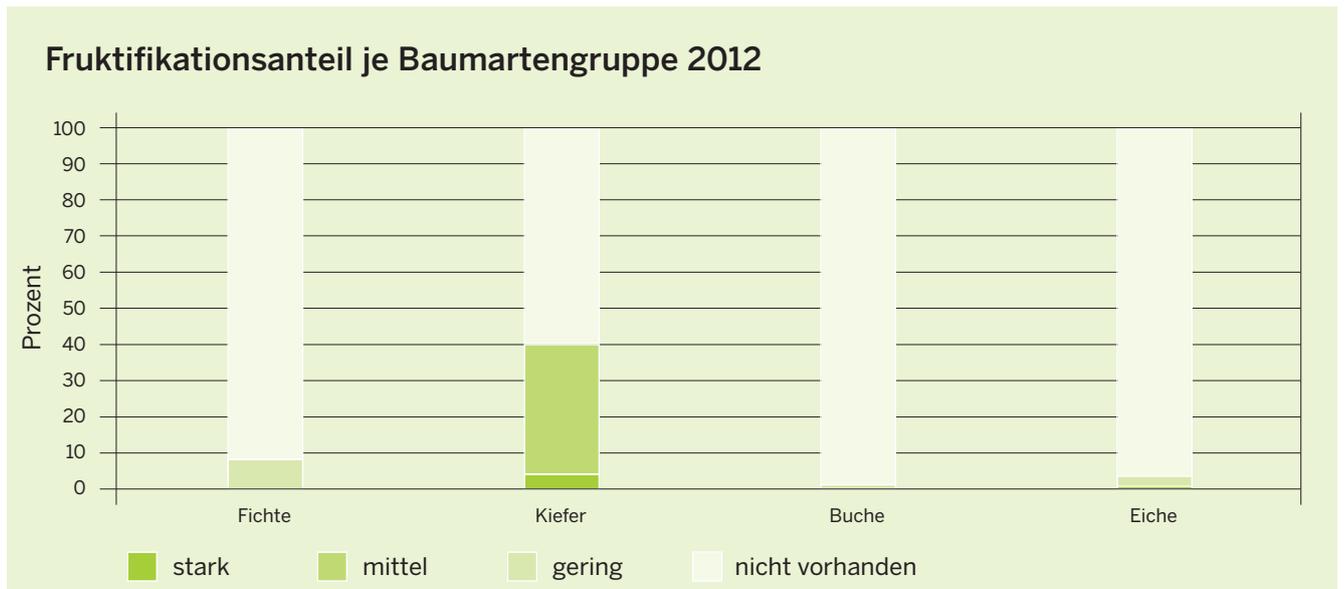


Abbildung 8: Anteil der Fruktifikation je Baumart 2012 im Vergleich mit 2011

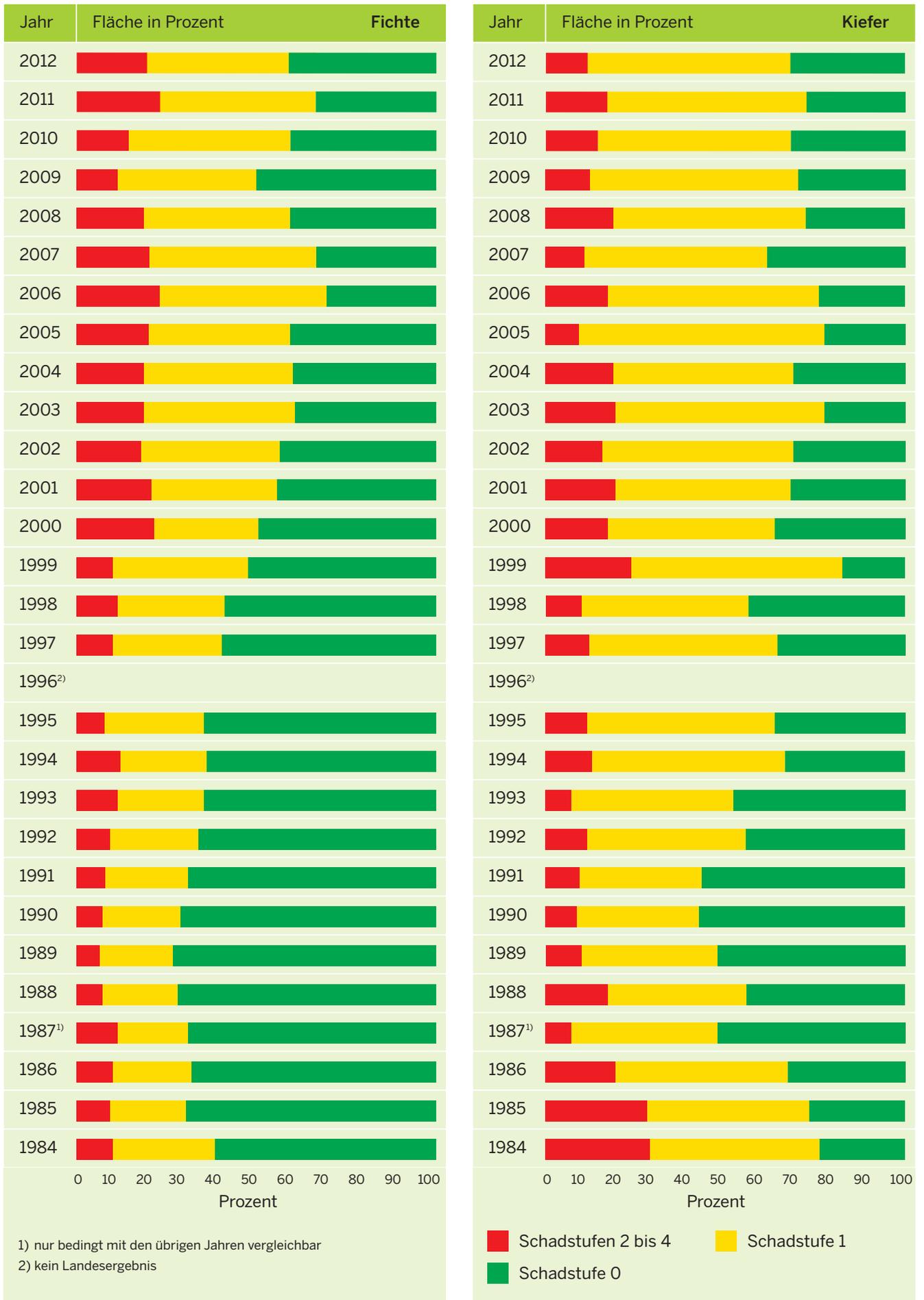
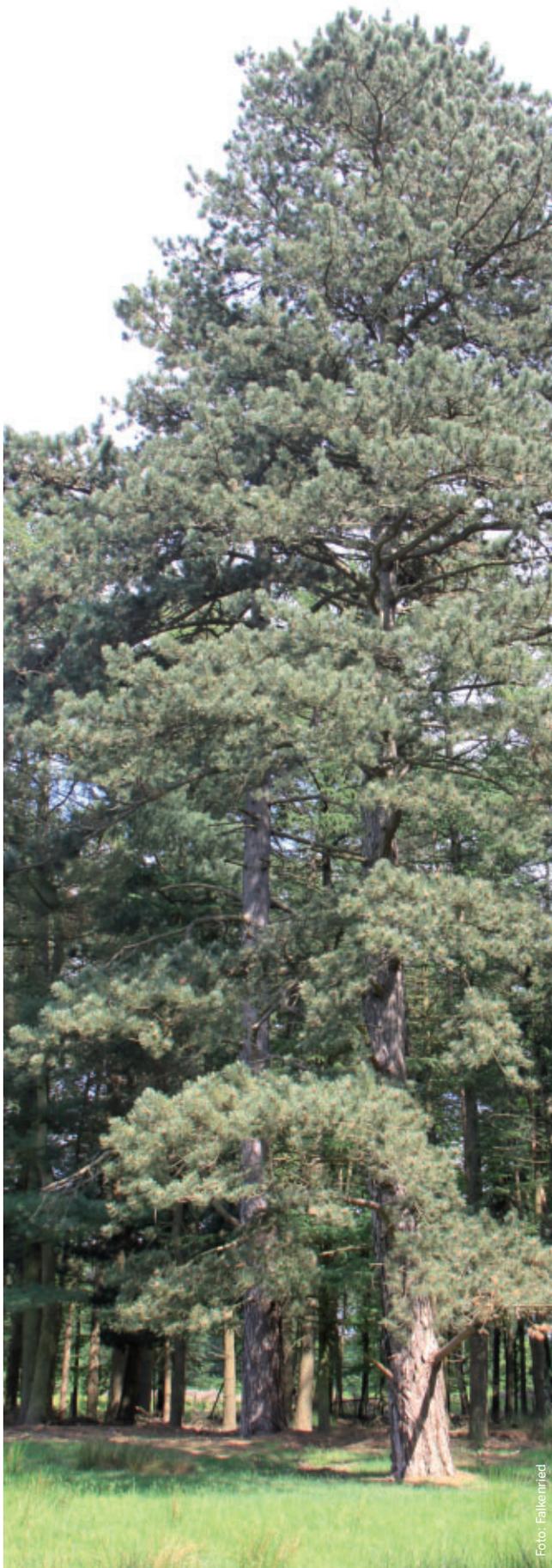


Abbildung 9: Prozentuale Entwicklung der Kronenschäden bei Fichten und Kiefern von 1984 bis 2012



Eine Schwarzkiefer säumt den Waldrand

## Kiefer

Bei der Kiefer nehmen die schwachen Schäden stets den größten Raum ein. Sie sind in diesem Jahr konstant geblieben und belaufen sich auf 58 %. Die deutlichen Schäden haben sich um 5 %-Punkte verbessert. Sie betragen nun 13 % und zeigen damit bei den Hauptbaumarten den besten Wert beim Kronenzustand. Analog dazu haben sich die Kiefern ohne Schadmerkmale um ebenfalls 5 %-Punkte gebessert. Diese Schadstufe beträgt in diesem Jahr 29 % (Abbildung 9).

Wie in den letzten Jahren war die Kiefer auch 2012 die am wenigsten geschädigte Baumart.



Auch Schnecken fühlen sich im Wald wohl



Foto: Falkenried

Die Doldenblüten sind im Sommer stark von Besuchern frequentiert

## Fazit bei den Hauptbaumarten

Das Wetter 2012 ist den Waldbäumen sehr entgegengekommen. Sowohl die Temperaturen als auch die Wasserversorgung sind im Jahresverlauf günstig gewesen. Zu keiner Zeit ist der Wald unter Temperatur- oder Wasserstress geraten. Lediglich der Februar ist stellenweise sehr kalt gewesen, was zu vereinzelt Frostschäden geführt hatte.

Nach den starken Belastungen des Vorjahres können bei vielen Bäumen nun erste Erholungstendenzen beobachtet werden. Für eine weitergehende Regenerierung wird jedoch ein längerer Zeitraum notwendig sein.

- Die **Eiche** ist das Sorgenkind in NRW. Sie hat von den prinzipiell günstigen Rahmenbedingungen nicht profitieren können. Sie ist die einzige Hauptbaumart, die sich weiter verschlechtert hat.
- Das komplette Ausbleiben von Fruktifikation und anderen Stressfaktoren hat der **Buche** sehr gutgetan. Sie hat sich im Vergleich zum Vorjahr verbessert. Bei ihr konnte beobachtet werden, über welches Regenerationsvermögen bestimmte Waldbäume verfügen, wenn sie eine Chance zur Erholung haben.
- Auch bei der **Fichte** konnte eine Vitalitätssteigerung verzeichnet werden. Sowohl der Anteil der deutlichen Schäden als auch der der ungeschädigten Bäume hat sich positiv entwickelt.
- Bei der **Kiefer** nehmen die schwachen Schäden stets den größten Raum ein. Ähnlich wie die Fichte hat sie sich bei den deutlichen Schäden wie auch bei den ungeschädigten Bäumen verbessert. Unter den Hauptbaumarten zeigt sie in diesem Jahr erneut den vergleichsweise besten Kronenzustand.



## Die Wetterentwicklung vor der Waldzustands- erfassung 2012 – ein Beitrag zum Klima- folgenmonitoring in Nordrhein-Westfalen

Charakteristisch für das Klima in unseren Breiten sind u. a. große Wetterschwankungen, die zwischen einzelnen Jahren auftreten können. In fast 30 Jahren, die vom Umweltmonitoring im Wald beobachtet wurden, haben sich die Grenzen der Schwankungsamplitude aufgrund extremer Wetterereignisse immer weiter nach außen verschoben. Die Hitze und Trockenheit in den Jahren 2003 und 2006 sowie das Orkantief Kyrill, das im Januar 2007 große Waldflächen in NRW verwüstet hat, liefern hierfür deutliche Belege.

Nach dem gleichen Muster scheint auch die Wetterentwicklung in den 12 Monaten vor der diesjährigen Waldzustandserhebung verlaufen zu sein, allerdings ohne die zerstörerische Kraft neuer Wetterextreme. Im Folgenden wird der Witterungsverlauf auf der Grundlage von Presseberichten und Daten des Deutschen Wetterdienstes noch einmal nachgezeichnet, mit Messdaten aus dem intensiven Umweltmonitoring des LANUV validiert und im Hinblick auf mögliche Auswirkungen für die Wälder in unserer Region bewertet.

Bezeichnung der Wetterstation	Forstlicher Wuchsbezirk	Höhenlage	Bestockung
502-Kleve	Niederrheinische Höhen	30 m	Eiche/Buche
503-Haard	Westmünsterland	70 m	Buche
508-Schwaney	Egge	380 m	Buche/Eiche/Ahorn/Esche
Lammersdorf/Eifel	Hohes Venn	450 m	Fichte
506-Elberndorf	Rothaargebirge	670 m	Fichte

Tabelle 1: Lage der Wetterstationen des forstlichen Umweltmonitorings im Land Nordrhein-Westfalen

## Flächen und Messeinrichtungen

Derzeit unterhält das LANUV noch fünf Monitoringflächen im Wald, die sich dazu eignen, die Auswirkungen von Luftverunreinigungen und des globalen Klimawandels exemplarisch für häufig in NRW vertretene Waldtypen zu untersuchen. Diese Flächen verteilen sich auf verschiedene Großlandschaften und Wuchsbezirke. Da sie von der planaren bis zur obermontanen Stufe (Tabelle 1) reichen, erfassen sie einen weiten Querschnitt der Wetterverhältnisse im nordrhein-westfälischen Wald.

An jeder Monitoringfläche befinden sich Messeinrichtungen auf einer Freifläche und in einem Waldbestand. Während die Ausstattung auf den Flächen 502, 503, 506 und 508 (core plots) umfassende forsthydrologische Untersuchungen erlaubt, wird auf der Fläche Lammersdorf in der Eifel (standard plot) nur der Niederschlag im Freiland und Waldbestand gemessen. Auf der Freifläche sind an einem Mast in unterschiedlicher Höhe Sensoren zur Messung der Lufttemperatur (2 m), Globalstrahlung (2 m), Windgeschwindigkeit und -richtung (5 m) angebracht. Neben dieser Einrichtung wird die Regenmenge von einer Niederschlagswaage in 1 m Höhe erfasst.

Nicht weit entfernt von der Freifläche finden die waldkundlichen Beobachtungen und Wasserhaushaltsmessungen statt. In einem Waldbestand wird der Niederschlag unterhalb der Baumkronen als Kronentraufe und ggf. auch der Stammablauf gemessen. Als die zentralen Wasserhaushaltsparameter gelten der Wasservorrat im Boden, die Tiefenversickerung und die Verdunstung. Da diese Zielgrößen nicht direkt messbar sind, werden sie aus der Wasserspannung und dem Wassergehalt des Bodens abgeleitet. Die hierfür benötigten Basisdaten

werden von Messsonden geliefert, die sich in unterschiedlichen Tiefen und in mehrfacher Wiederholung im Boden befinden. Außerdem zählt die Aufzeichnung der Bodentemperatur innerhalb des Waldbestandes zur vollständigen Einrichtung einer forsthydrologischen Messstation im intensiven Monitoring.



Münsterländer Parklandschaft

## Rückblick auf das Jahr 2011

Bis zur Jahresmitte war 2011 geprägt durch außergewöhnlich trockenes und sonnenscheinreiches Wetter. Die Frühjahrstrockenheit fiel in eine Zeit, in der das Wachstum voll im Gang war und die Vegetation einen besonders hohen Wasserbedarf hatte. Im Juli stellte sich die Großwetterlage mit zum Teil sintflutartigen Regenfällen um und wechselhaftes Wetter setzte sich durch, das bis in den September anhielt. Darauf folgte ein ungewöhnlich schöner Altweibersommer. Der November war rekordverdächtig trocken mit viel Sonnenschein vor allem im Berg-

land (Abbildung 1). Noch nie seit Beginn der Wetteraufzeichnungen, so berichtete der Deutsche Wetterdienst, wurde derart wenig Niederschlag registriert wie im November 2011. Im Dezember ging das Jahr mit vielen starken Winden und Stürmen sowie großer Nässe zu Ende.

Nach den Auswertungen des DWD gehört 2011 in Deutschland zu den fünfwärmsten Jahren seit 1881. Nur die Jahre 2003 und 1959 waren hierzulande sonnenscheinreicher gewesen.

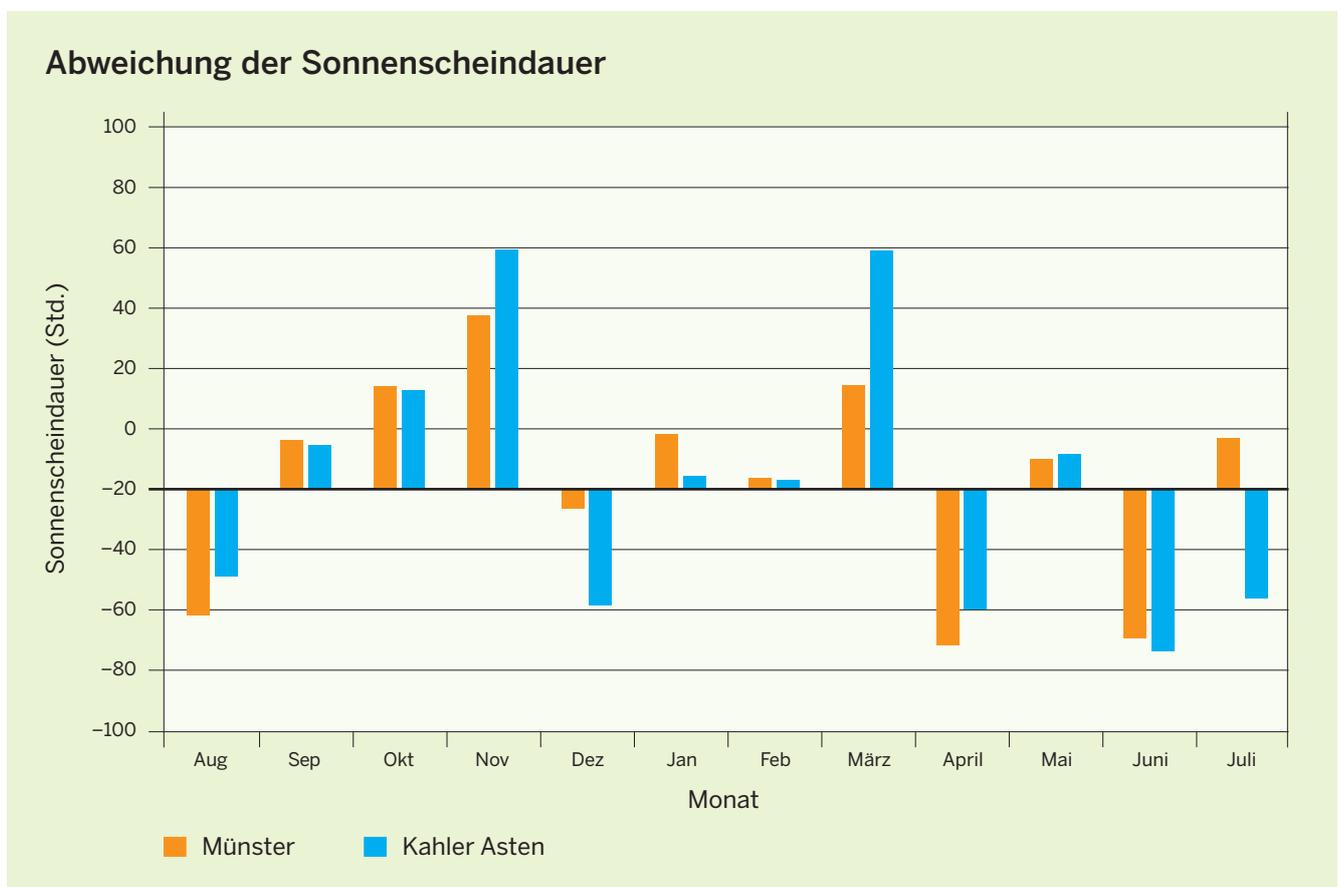


Abbildung 1: Abweichung der monatlichen Sonnenscheindauer 2011 und 2012 von den Durchschnittswerten der Klimanormalperiode 1961–1990 nach Daten des Deutschen Wetterdienstes

## Das Winterhalbjahr 2011/2012

Atlantische Tiefdruckausläufer führten im Dezember und Januar regenreiche Luftmassen nach Nordrhein-Westfalen. In diesen beiden Monaten wurden die langjährigen Durchschnittswerte für den monatlichen Niederschlag deutlich übertroffen (Abb. 4).

Typisch für atlantische Luftmassen herrschte gleichzeitig eine sehr milde Witterung (Abb. 2), die nach den ersten leichten Frösten im Oktober und November fast acht

Wochen lang für nahezu frostfreies Wetter sorgte. Gegen Ende Januar machten dann nordeuropäische Sturmtiefs den Weg frei für den Zustrom sibirischer Kaltluft, die zwei bis drei Wochen lang für strengen Frost in Nordrhein-Westfalen sorgte. Deutlich zeigt sich dieser Wetterumschwung in den Temperatureaufzeichnungen auf der Monitoringfläche Haard (Abb. 3). Innerhalb einer Woche ist die Lufttemperatur dort von 0 °C auf –15 °C gefallen und hat kurz darauf mit –16,6 °C den niedrigsten Wert des letzten

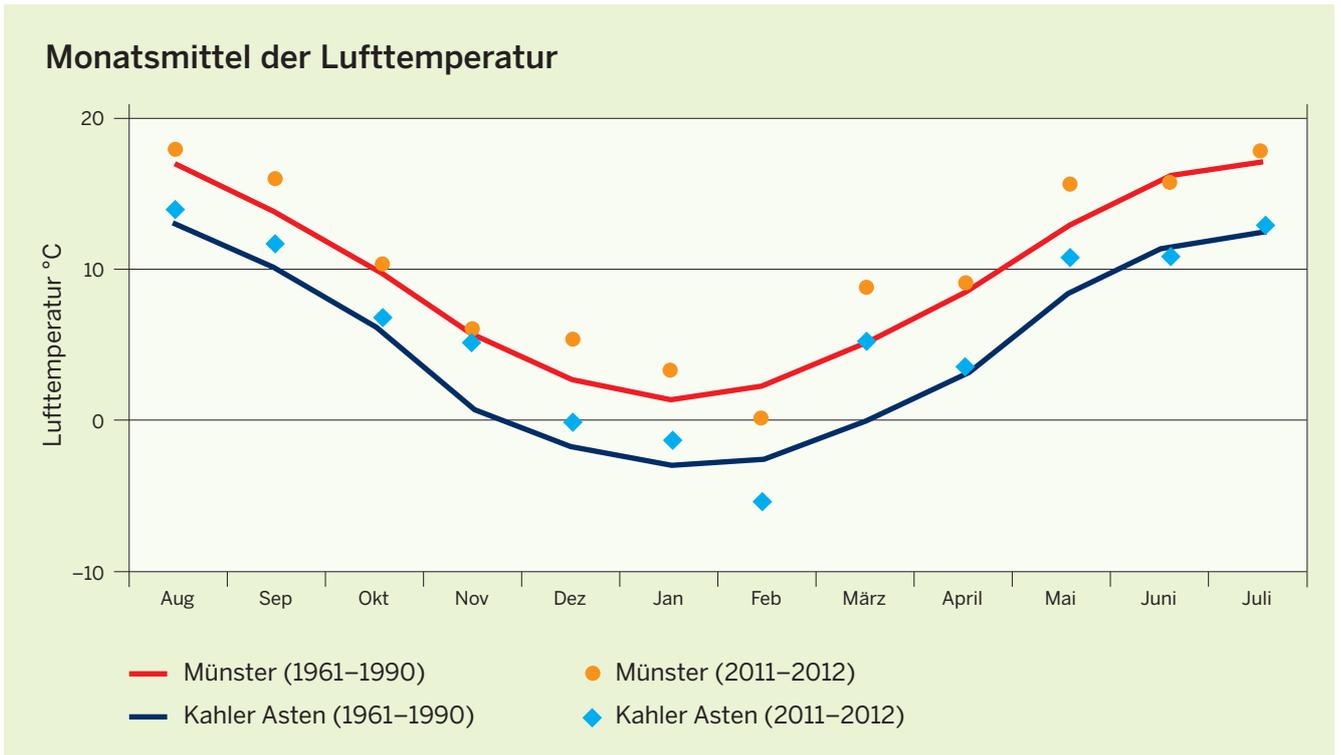


Abbildung 2: Monatsmittel der Lufttemperatur von August 2011 bis Juli 2012 im Vergleich zur Klimanormalperiode 1961–1990 nach Daten des Deutschen Wetterdienstes

Winters erreicht. Im Übrigen war dieser Winter sehr schneearm und im Tiefland fast schneefrei, nachdem im

vorangegangenen Winter ungewöhnlich große Schneemengen gefallen waren.

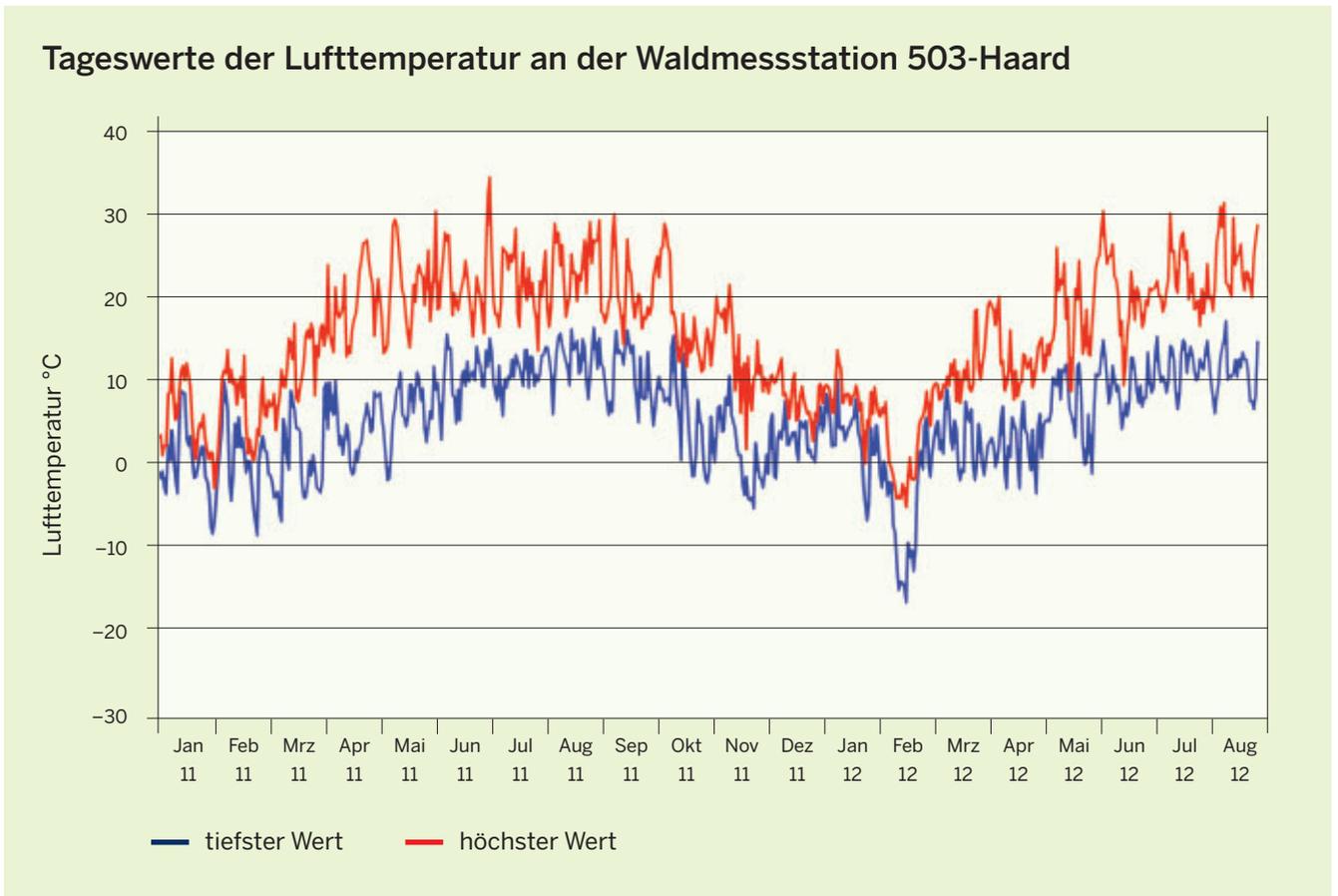


Abbildung 3: Höchster und niedrigster Tageswert der Lufttemperatur an der Waldmessstation 503-Haard in den Jahren 2011 und 2012

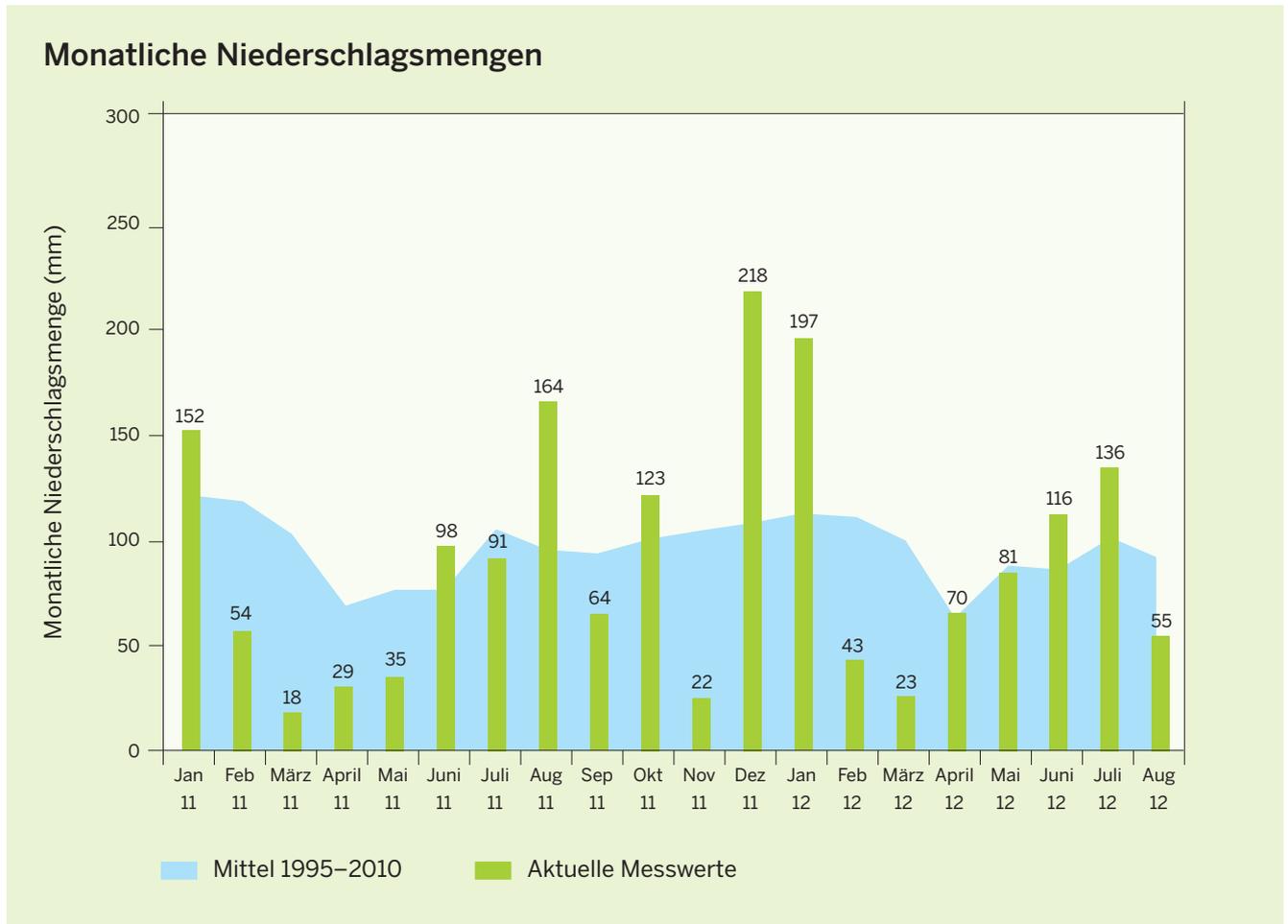


Abbildung 4: Monatssummen für den Niederschlag 2011 und 2012, Mittelwerte der Flächen 503-Haard für das Tiefland und 506-Elberndorf für das Bergland

## Das Wetter im Frühjahr und Sommer 2012

Unmittelbar nach dem Kaltlufteinbruch erwärmten sich die Luftmassen im Februar wieder sehr schnell. Während die Nachttemperaturen noch bis Mitte April am Gefrierpunkt und leicht darüber lagen, stiegen die Tageshöchstwerte der Lufttemperatur im Tiefland an der Fläche Haard bis Ende März von  $-5\text{ °C}$  auf  $+20\text{ °C}$  an. Insgesamt war der März nach Einschätzung des DWD ein Monat mit vielen sonnenscheinreichen und warmen Tagen bei gleichzeitig sehr trockenem Wetter, was auch die Niederschlagsmessungen des LANUV in der Haard und bei Elberndorf im Hochsauerland unterstreichen. Mit 23 mm lagen die gefallenen Niederschläge um 78 % unter dem Mittelwert für diesen Monat der Jahre 1995–2010.

Überwiegend kühle Meeresluft bescherte im April wechselhaftes Wetter, das für den ganzen Monat eine ausgeglichene Monatsbilanz ergab, wobei Nordrhein-Westfalen im bundesweiten Vergleich zu den nassen Regionen zählte.

Der Mai stand wiederum im starken Kontrast zum Vormonat und gab bereits einen Vorgeschmack auf den Sommer. Bei sonnenreichem Wetter lagen allgemein die Lufttemperaturen deutlich über den langjährigen Durchschnittswerten. Die Niederschlagsverteilung wies allerdings große regionale Unterschiede auf, was zum Teil auf schwere, örtlich begrenzte Gewitterschauer zurückzuführen war. Andererseits litt das Münsterland unter akutem Wassermangel. Im Süden des Münsterlandes, an der Monitoringfläche Haard, wurden nur 60 % der sonst üblichen Regenmenge registriert, während gleichzeitig an der Fläche Elberndorf im Hochsauerland 120 % des Durchschnittswertes für diesen Monat gemessen wurden. Wechselhaftes Wetter und immer wieder Gewitter sorgten bei gemäßigten Temperaturen im Juni für äußerst günstige Wuchsbedingungen, die bis in den Juli hinein andauerten.

## Entwicklung der Niederschlagsmengen an der Waldmessstation 503-Haard

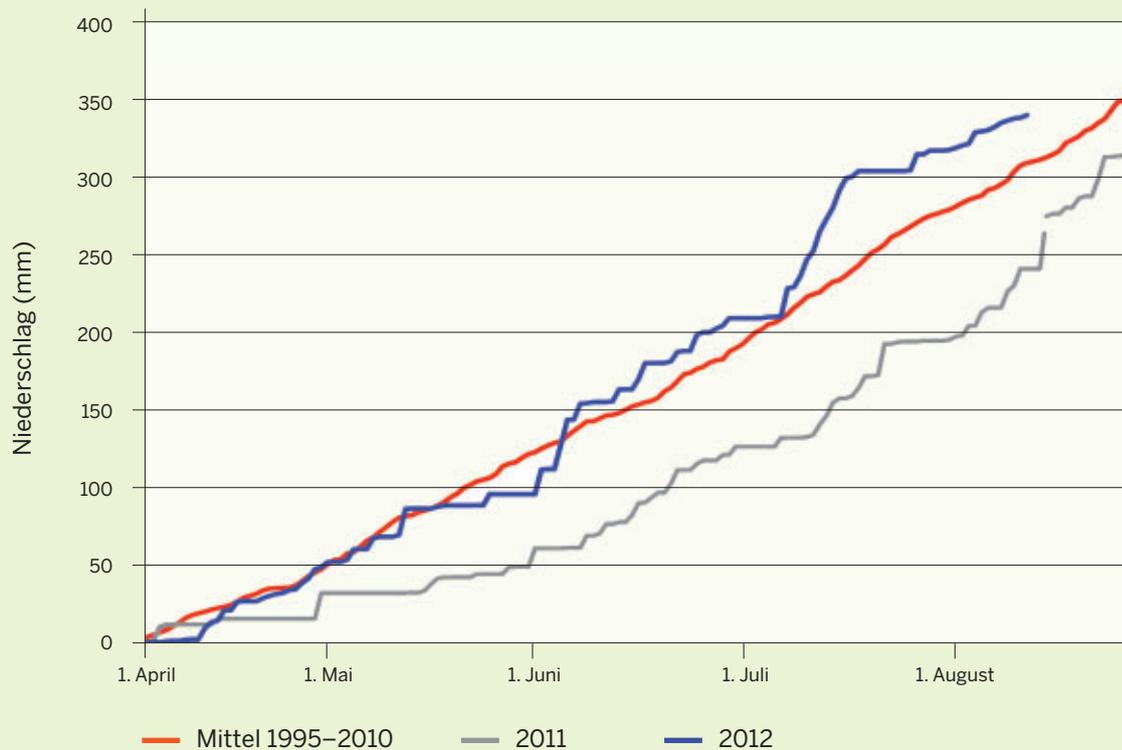


Abbildung 5: Entwicklung der Niederschlagsmengen in der Vegetationszeit an der Waldmessstation 503-Haard im Süden der Westfälischen Bucht

Blickt man auf den bisherigen Verlauf der forstlichen Vegetationszeit zurück, so ist insbesondere die günstige Wasserversorgung der Waldbestände hervorzuheben, die in diesem Jahre nicht nur in den höheren Lagen des Berglandes, sondern auch im Tiefland von Nordrhein-Westfalen geherrscht hat. Wie sich anhand der Regenmengen, die zwischen Anfang April und Ende August gefallen sind

(Abbildung 5), zeigen lässt, verläuft die Summenkurve für das Jahr 2012 nicht nur deutlich oberhalb der entsprechenden Kurve des Vorjahres, das relativ trocken ausfiel, sondern übertraf auch in den Monaten Juni, Juli und August die durchschnittlichen Niederschlagsmengen der Jahre 1995–2010 an dieser Station.

## Beobachtungen zum Bodenwasserhaushalt

Die positive Gesamtbilanz der Wetterverhältnisse spiegelt sich auch im Verlauf der Kennwerte für Wasserstress im Boden wieder. Wie Abbildung 6 zeigt, steigen die Saugspannungswerte in der Regel im Frühjahr deutlich an. Nachdem sie im Winterhalbjahr, wenn vollständige Wassersättigung herrscht, um einen Bereich von 50 hPa schwanken, können sie in einer sandigen Podsol-Braunerde während des Sommers unter Wasserstress durchaus Werte von rund 250 hPa im Unterboden und bis zu 650 hPa in den oberen Bodenschichten annehmen. Fällt jedoch in einem Jahr viel Niederschlag und dieser relativ gleichmäßig verteilt, so bleibt die Wassersättigung im Boden hoch, was an den niedrigen Saugspannungswerten 2007 und wieder 2012 zum Ausdruck kommt.

Vorläufige Berechnungen zum Bodenwasservorrat, die einen Messzeitraum bis Mitte Juli 2012 abbilden (Abbildung 7), kommen für einen Lössstandort am unteren Niederrhein zu einem sehr ähnlichen Ergebnis. Der relative Bodenwasservorrat umfasst in diesem Waldboden einen Schwankungsbereich, der von ca. 350 mm bei optimaler Wassersättigung bis 100 mm in der Vegetationszeit von besonders trockenen Jahren wie 2003 und 2006, aber auch 2009 und 2010 reicht. Im Vergleich zu diesen durchschnittlichen Verhältnissen zeichnen sich die Jahre 2007 und 2012 durch eine hohe Wasserverfügbarkeit während der gesamten Vegetationszeit aus.

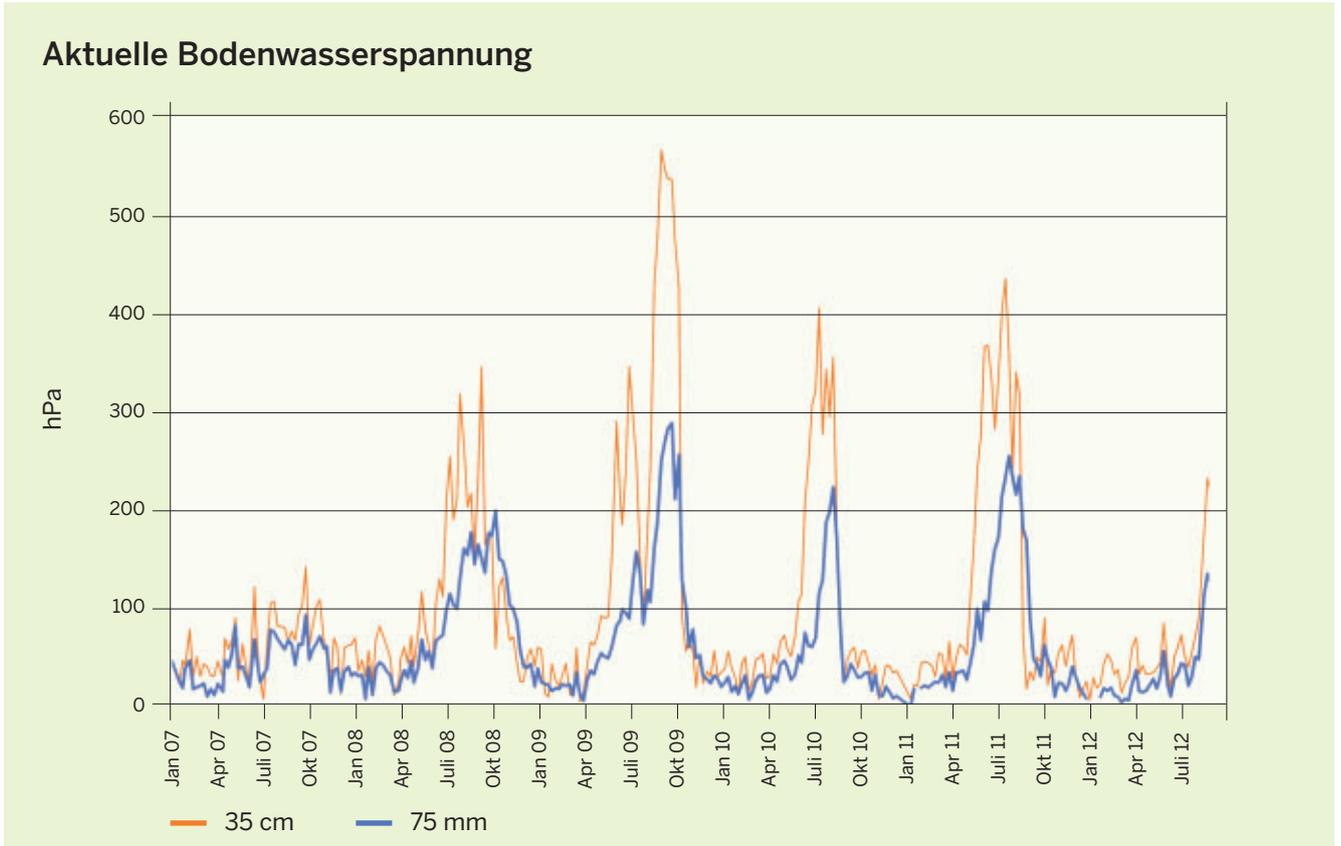


Abbildung 6: Wasserspannung in einer Podsol-Braunerde unter Buchenwald in der Westfälischen Bucht an der Waldmesstation 503-Haard

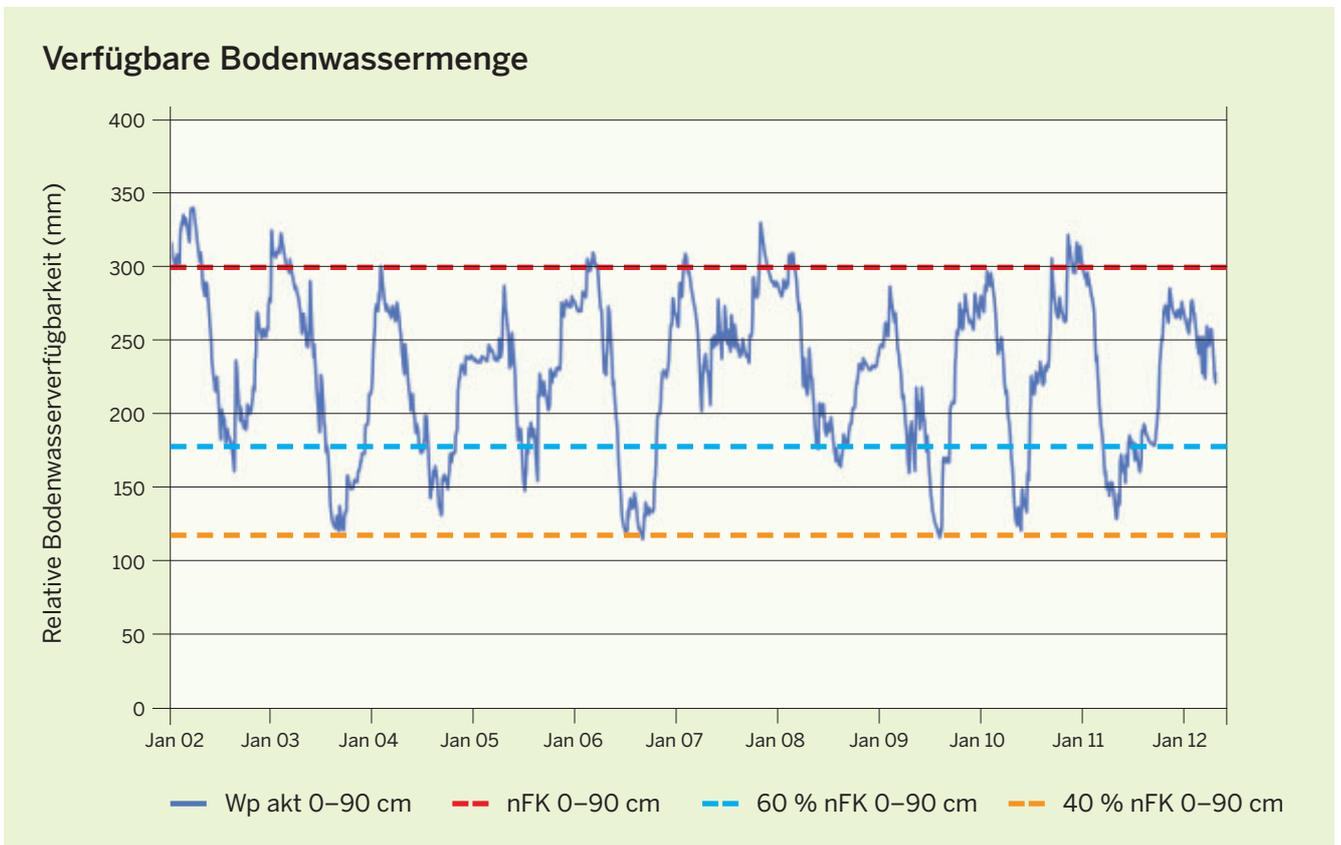


Abbildung 7: Bodenwasservorrat einer Pseudogley-Braunerde im Niederrheinischen Tiefland unter Eichenwald an der Waldmesstation 502-Tannenbusch

## Zusammenfassung und Fazit

Die Vegetationszeit im Vorjahr ging mit einem außergewöhnlich warmen und trockenen November zu Ende. Der folgende Winter war sehr schneearm und im Tiefland fast schneefrei. Nach einigen Wochen feuchter und milder Witterung herrschte zwei bis drei Wochen strenger Frost. Das Frühjahr brachte keine extremen Wetterereignisse. Nachdem der Mai bereits einen Vorgeschmack auf den Sommer gab, zeichneten sich die folgenden Wochen überwiegend durch günstige Wuchsbedingungen mit reichlich Niederschlag aus.

Wasserstress kann für das Frühjahr und den Sommer 2012 mit großer Sicherheit ausgeschlossen werden. Vielmehr lässt sich aus den Wetterdaten und den bodenhydrologischen Messungen eine besonders günstige Wasserversorgung ablesen, die eine gute Ausgangslage für die Erholung der Waldbestände, auch im Tiefland von Nordrhein-Westfalen, geschaffen hat.



Foto: Falkenried

Im lückigen Laubwald gelangt viel Licht auf den Boden



## Die Zielsetzung und das Aufnahmeverfahren der Zweiten Bodenzustandserhebung im Wald von Nordrhein-Westfalen – BZE II (2006–2008)

In der Umweltbeobachtung werden systematische Erhebungen immer dann eingesetzt, wenn zuverlässige Informationen zur Häufigkeit einer Beobachtung und deren Verbreitung benötigt werden. So finden in regelmäßigen Abständen die Forstinventuren LWI (Landeswaldinventur) und BWI (Bundeswaldinventur) statt, die für den Wirtschaftsbetrieb bedeutsame Daten bereitstellen. Mit dem Auftreten der neuartigen Waldschäden Anfang der 1980er Jahre ergab sich die Notwendigkeit, die Vitalität der Waldbäume mithilfe der WZE (Waldzustandserfassung) und deren Ernährungszustand und Schadstoffbelastung mit der IWE (Immissionsökologische Waldzustandserfassung) in den Wäldern Nordrhein-Westfalens systematisch zu erfassen.

Dabei herrschte anfangs die Auffassung vor, dass der schlechte Gesundheitszustand der Wälder primär dem direkten Einfluss von Luftschadstoffen zuzuschreiben sei. Als man jedoch erkannte, dass sich die Vitalität der Baumkronen trotz Rückgang der Schadstoffbelastung nicht wesentlich verbesserte, sondern bei einigen Baumarten noch Jahre später verschlechterte, fanden mögliche Auswirkungen über den Boden stärkere Beachtung und der Annahme wurde nachgegangen, dass sich über den Luftpfad eingetragene Schadstoffe im Boden anreichern und von dort langfristig auf den Zustand der Wälder auswirken könnten.

## Aufgaben und Ziele der BZE

Veranlasst durch die Sorge um eine flächendeckende Nährstoffverarmung und Versauerung der Waldböden infolge des langjährigen Eintrags versauernd wirkender Luftverunreinigungen wurde Anfang der 1990er Jahre mit der BZE I das Inventurnetz der WZE und IWE erstmals um eine systematische Bodenzustandserhebung im Wald erweitert. Primär sollte die BZE den aktuellen Zustand der Waldböden flächenrepräsentativ erfassen. Allerdings können auch forstliche Bewirtschaftungsmaßnahmen und die Bodenschutzkalkung Veränderungen bei der Waldbestockung, der Waldbodenvegetation und beim Bodenzustand verursacht haben. Daher ist es notwendig, bei einer Bodenzustandserhebung im Wald die unterschiedlichen Wechselbeziehungen zu analysieren und neben bodenkundlichen Untersuchungen auch waldbauliche Bestockungs- und pflanzensoziologische Vegetationsaufnahmen mit zu berücksichtigen.

Diesem Anspruch ist in der bundesweiten Arbeitsanleitung zur BZE II (2006), nach der auch in Nordrhein-Westfalen verfahren wurde, folgendermaßen Rechnung getragen worden:

Die BZE soll zuverlässige, flächenrepräsentative und bundesweit vergleichbare Informationen über den aktuellen Zustand der Waldböden und deren Veränderung im Laufe der Zeit liefern und eine Verbindung mit dem aktuellen

Kronenzustand der Waldbäume herstellen. Bei der Auswertung sind insbesondere folgende Aspekte zu berücksichtigen:

- Bodenversauerung
- Schadstoffbelastung
- Kohlenstoffspeicherung
- Wasserhaushalt unter veränderten Klimabedingungen
- Waldböden als natürliche Produktionsgrundlage der Forstwirtschaft

Darüber hinaus soll die BZE Beiträge liefern

- für eine bessere Übertragbarkeit der Ergebnisse der Waldbodenforschung auf größere Waldflächen
- zur Identifizierung von Ursachen der Veränderung des Bodenzustandes sowie des Einflusses von Depositionen
- zur Einschätzung von Gefahren, die sich für den derzeitigen Waldzustand und für die nächste Waldgeneration aus dem Bodenzustand ergeben
- zur Einschätzung von Risiken für die Qualität von Grund-, Quell- und Oberflächenwasser
- zur Planung und Durchführung von notwendigen Maßnahmen zur Erhaltung und Verbesserung des Bodenzustandes sowie des Nährstoffangebotes im Boden und der Nährstoffaufnahme durch die Bäume.

## Untersuchungen am einzelnen Inventurpunkt

An den Aufnahmepunkten der BZE werden die Bodenuntersuchungen, die Wald- und Vegetationsaufnahme der BZE, die Nadel-/Blattprobenahme der IWE und die Kronenzustandsansprache der WZE auf einer Kreisfläche mit einem Radius von 30 m um den Mittelpunkt der BZE-Aufnahme zusammengeführt (siehe Abbildung 1).

Die nachfolgenden Ausführungen sollen die Möglichkeit zu einer groben Orientierung über die Aufnahme- und Probenahmeverfahren an den BZE-Punkten geben. Detaillierte Angaben zu einzelnen Untersuchungsmethoden im Wald und zum laboranalytischen Untersuchungsprogramm können der Arbeitsanleitung für die Außenaufnahmen zur BZE II (2006) entnommen werden. Zusätzlich wurde vom Gutachterausschuss Forstliche Analytik ein Handbuch herausgegeben, das diese Informationen im Hinblick auf die Analytik von Boden-, Humus-, Pflanzen- und Wasserproben im forstlichen Umweltmonitoring weiter vertieft.

Die Anbindung der BZE-Aufnahme an die Kronenzustandsansprache ist auf den Waldflächen der WZE gegeben, indem der Mittelpunkt der BZE-Aufnahme 15 m entfernt von Baum Nr. 1 der mittleren WZE-Baumgruppe angelegt wird. Vor der endgültigen Festlegung des Mittelpunktes wurde eine orientierende Bodenkartierung durchgeführt, um sicherzugehen, dass vergleichbare Bodenverhältnisse an den WZE-Bäumen und auf der BZE-Fläche vorliegen. Beim ersten BZE-Durchgang haben die Bodenkartierer des Geologischen Dienstes NRW eine vollständige Bodenbeschreibung angefertigt, für die am Mittelpunkt der BZE ein größerer Bodeneinschlag angelegt wurde. Die Bodenproben für chemische und physikalische Untersuchungen wurden von Bohrpunkten entnommen, die sich sternförmig in 10 m Abstand vom Mittelpunkt in den Haupt- und Nebenhimmelsrichtungen befinden. An diesen acht Punkten – bei der Erstbeprobung zusätzlich auch am Mittelpunkt der BZE – erfolgte die Beprobung der Humusaufgabe mit Stechrahmen und des

### Schematische Lageskizze eines BZE-Inventurpunktes in Nordrhein-Westfalen

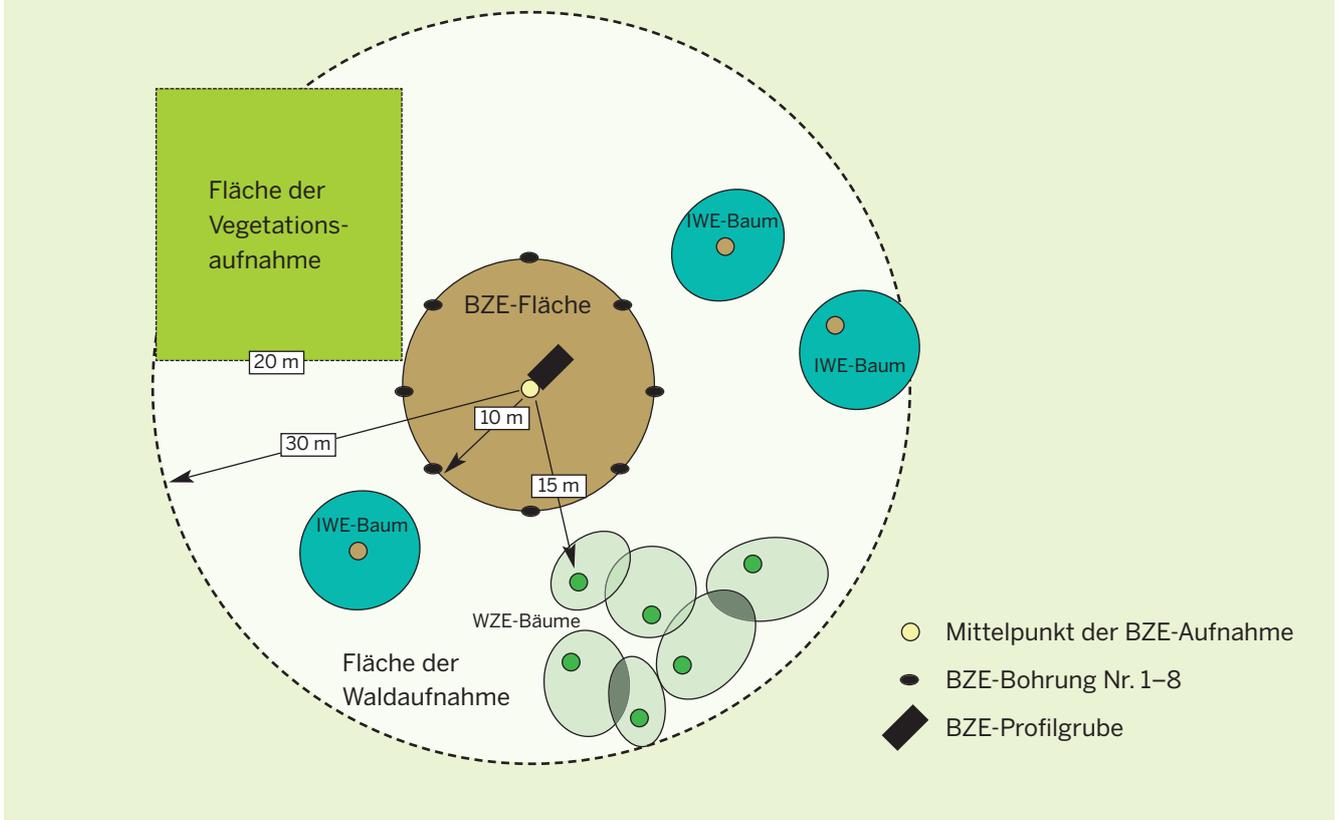


Abbildung 1: Schematische Übersicht der Untersuchungen am BZE-Punkt

Mineralbodens aus Bohrungen bis maximal 200 cm Tiefe. Bei der ersten Wiederholungsinventur (BZE II) wurde der Mineralboden bis maximal 90 cm erbohrt, da unterhalb dieser Tiefe keine messbaren bodenchemischen Veränderungen vermutet wurden. Die Bohrkerns hat man in feste metrische Tiefenstufen unterteilt, bis 90 cm Tiefe in fünf und darunter in weitere zwei Tiefenstufen. Aus diesen wurden Teilproben gebildet und für jede Tiefenstufe zu einer Flächenmischprobe zusammengefasst. Bei der organischen Auflage wurde entsprechend mit den Humuslagen verfahren, wobei standardmäßig die L- und OF-Lagen zu einer Mischprobe vereinigt und die OH-Lage separat beprobt wurden.

Innerhalb des 30-m-Radius um den Mittelpunkt der BZE werden alle Gehölzpflanzen erfasst und der Baumbestand waldbaulich beschrieben. Vorratsreiche Bestände mit einer Oberhöhe von mehr als 8 m wurden nach ertragskundlichen Verfahren aufgenommen, vorratsarme Bestände zumindest im Hinblick auf die vorkommenden Baumarten, das Mischungsverhältnis und die Oberhöhe charakterisiert. Für die Aufnahme der Bestockung wurden, wie auch bei der Bundeswaldinventur üblich, konzentrische Probekreise angelegt, deren Größe sich nach dem Baumdurchmesser richtet.

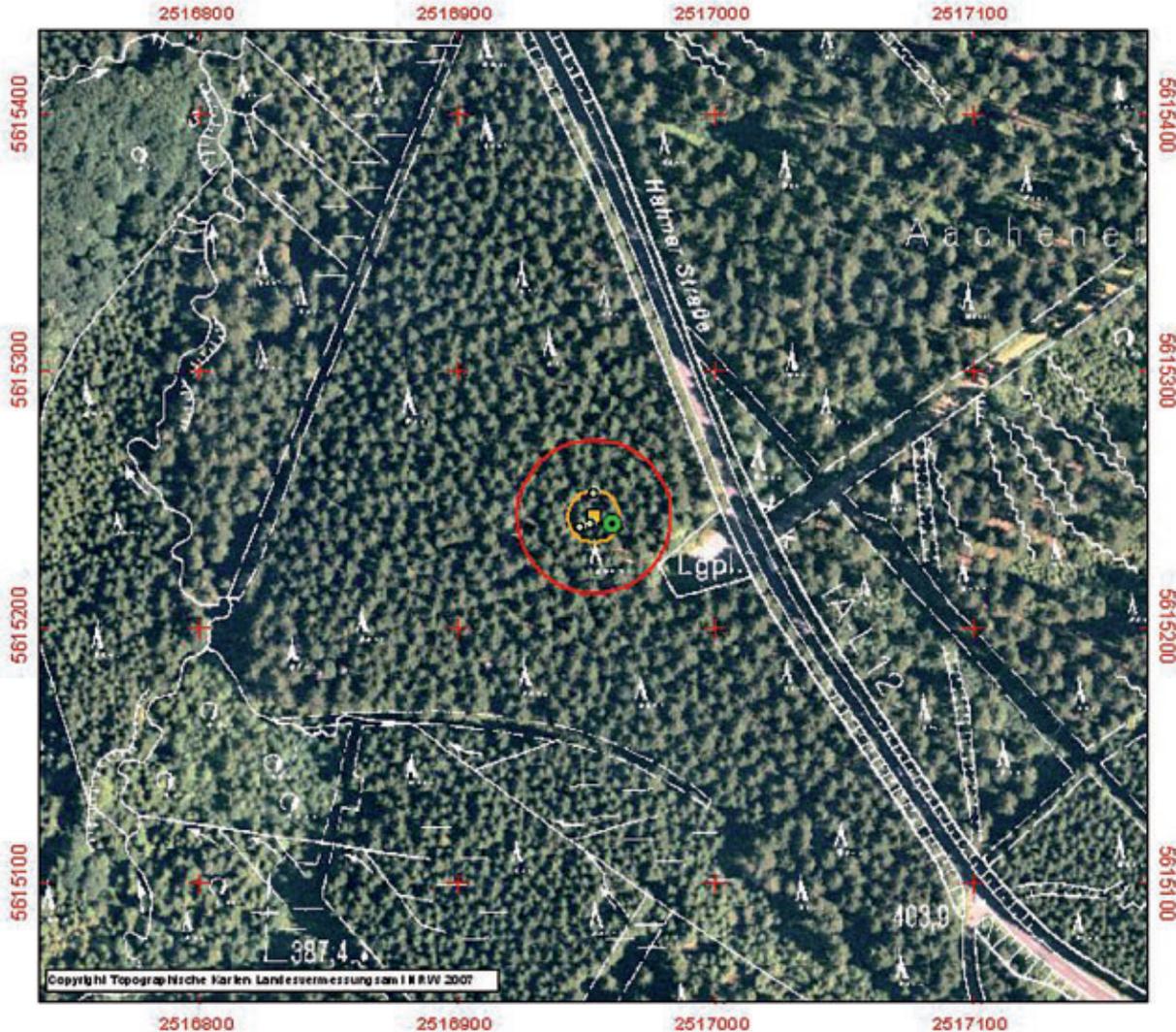


## Umweltmonitoring im Wald

### Landesweite Bodenzustandserhebung - BZE II

#### Lagedaten

<b>Topographische Karte 1 : 25.000</b>	<b>Hoheits-Forstamt</b>	<b>Punktstatus</b>	<b>SMP</b>	<b>BFH</b>
Nr. <b>5303</b> <b>Stellname</b> <b>Roetgen</b>	Nr. <b>06</b> <b>Name</b> <b>Hürtgenwald</b>	<b>NW, D</b>	Nr. <b>16</b>	Nr. <b>50004</b>



Darstellung im Maßstab 1 : 2.500 auf Grundlage digitaler Orthobilder und Deutscher Grundkarte. 0 20 40 60 Meter

Messpunkt	Gauß-Krüger Koordinate		Geografische Koordinate		Einmessung	
	Rechtswert	Hochwert	östliche Länge	nördliche Breite	Methode	Genauigkeit
<b>Sollmesspunkt</b>	2517000.0	5615000.0	6° 14' 25.83"	50° 40' 17.62"		
<b>WZE Baum V-1</b>	2516960.4	5615239.9	6° 14' 23.9"	50° 40' 25.4"	GPS	+/- 3 m
<b>BZE-Grube</b>	2516953.0	5615243.0	6° 14' 23.5"	50° 40' 25.5"	GPS	+/- 3 m

Probestämme 1 - 3 und tlw. 4 - 6 Ohne Lageangabe

Fläche der Bodenprobennahme

Fläche der Waldaufnahme

Bemerkungen/Notizen auf der Rückseite?  ja  nein

Datum	Name	Unterschrift
-------	------	--------------

Abbildung 2: Standardisierte Lagedokumentation am Beispiel eines BZE-Punktes in der Nordeifel

Die Waldbodenvegetation wird auf einer 400 m<sup>2</sup> großen Aufnahme­fläche erfasst. Zusätzlich wird eine Florenliste des umgebenden Waldbestandes erstellt. Die vegetationskundliche Aufnahme­fläche liegt so innerhalb des 30-m-Radius um den BZE-Mittelpunkt, dass sie an die örtlichen Gegebenheiten angepasst und frei von Störungen und Besonderheiten ist. Um ein eindeutiges Wiederfinden der Fläche zu ermöglichen, wurden Winkel und Entfernung zum Mittelpunkt der BZE dokumentiert. Auf der Fläche wurde der Deckungsgrad aller vorkommenden Gefäßpflanzen und Moose schichtweise in Prozentwerten geschätzt. Zusätzlich zum Deckungsgrad erfolgte eine Messung der mittleren oberirdischen Sprosslänge für alle Pflanzenarten mit mehr als 1 % Deckungsgrad, um mit diesen Angaben die Biomasse, die Kohlenstoff- und Nähr­elementvorräte in der Waldbodenvegetation nach Bolte et al. (2002) hochzurechnen.

Im Rahmen der BZE II ist die Beprobung von Nadeln und Blättern der bestandesbildenden Hauptbaumarten wie bei der Immissionsökologischen Waldzustandserhebung

(IWE) vorgesehen, um den Ernährungszustand der Bäume darzustellen und Zusammenhänge mit anderen Einflussfaktoren, v. a. dem Boden, untersuchen zu können. Entscheidend für die Auswertbarkeit der Untersuchungen sind die örtliche Nähe der Bäume zum Ort der Bodenprobenahme und einheitliche Standortverhältnisse. Hierfür wurden drei Bäume aus der herrschenden Baumschicht innerhalb eines 30-m-Radius um den Mittelpunkt der BZE für die Nadel-/Blattprobenahme ausgewählt. Um vergleichbare Standortverhältnisse mit der BZE-Fläche und den WZE-Bäumen sicherzustellen, wurde an jedem IWE-Baum zuvor die Bodeneinheit mit einem Bohrstock überprüft. Die Gewinnung des Probenmaterials aus den Baumkronen erfolgte durch Zapfenpflücker. Hierbei wurden grundsätzlich nur Triebe aus der Lichtkrone entnommen. Laubbäume wurden in der Vegetationszeit, Nadelbäume im Winterhalbjahr beprobt.

Die Ansprache der Verlichtung und Verfärbung der Baumkronen wird im entsprechenden Fachbeitrag über das Ergebnis der jährlichen Waldzustandserhebung erläutert.

## Das landesweite Inventurnetz der BZE II in NRW

Die BZE II umfasst in Nordrhein-Westfalen insgesamt 292 Inventurpunkte, auf denen der Waldzustand und die Bodenverhältnisse zwischen 2006 und 2008 aufgenommen wurden. Hiervon entfallen 146 Punkte auf ein landesweit einheitliches Erhebungsraster von 8 x 8 km; die übrigen 146 Punkte verdichten dieses Raster regional auf 4 x 4 km, damit die weniger dicht bewaldeten Wuchsbezirke im Tiefland und der Wuchsbezirk Egge in der gesamten Stichprobe der BZE II besser vertreten sind. Außerdem sind in der BZE II 39 Punkte im Raster 16 x 16 km enthalten (Abbildung 1), deren Ergebnisse in das europaweite Waldzustandsmonitoring eingebracht werden.

Das Raster der BZE II besteht größtenteils aus Inventurpunkten, die mit der BZE I identisch sind. Im Vergleich zur BZE I, die in den Jahren 1989–1991 auf einem landesweit einheitlichen Raster von 4 x 4 km mit 498 Punkten durchgeführt wurde, hat sich die Stichprobendichte bei der BZE II um rund 40 % verringert. Andererseits sind im Jahr 2001 nach einer Vollständigkeitsüberprüfung dieses Rasters 21 neue Inventurpunkte hinzugekommen, die erstmals bei der BZE II aufgenommen wurden. Ideale Voraussetzungen, um Zustandsänderungen nachzuweisen, liegen immer dann vor, wenn aus beiden Inventurdurchgängen identische Inventurpunkte für paarweise Vergleiche zur Verfügung stehen. Dies ist bei 271 Punkten der BZE gegeben.

Aus statistischer Sicht erfordert es die regionale Verdichtung des Inventurrasters im Tiefland und in der Egge, dass die Gesamtstichprobe der BZE II als eine geschichtete Stichprobe zu behandeln ist. Dies hat zur Folge, dass die Ergebnisse aus der verdichteten Teilstichprobe mit einem Reduktionsfaktor zu versehen sind, um die unterschiedliche Gewichtung der Waldfläche in der Gesamtstichprobe auszugleichen. Alternativ können landesweite Durchschnittswerte auch auf Basis des Rasters von 8 x 8 km berechnet werden. Genauso wie bei der Gesamtstichprobe muss bei Unterstichproben ein Reduktionsfaktor verwendet werden, wenn Inventurpunkte der verdichteten Teilstichprobe mit einbezogen sind. Sofern diese Anforderungen bei der Auswertung berücksichtigt werden, lässt sich das Inventurnetz der BZE II sowohl für landesweit repräsentative Übersichts­auswertungen als auch für die Bearbeitung spezieller Fragestellungen, die eine Stratifizierung der Gesamtstichprobe erfordern, nutzen. Hierzu zählen beispielsweise regionale Aspekte, Vergleiche zwischen Substratgruppen sowie Auswertungen nach unterschiedlichen Bestockungstypen oder nach Waldgesellschaften.

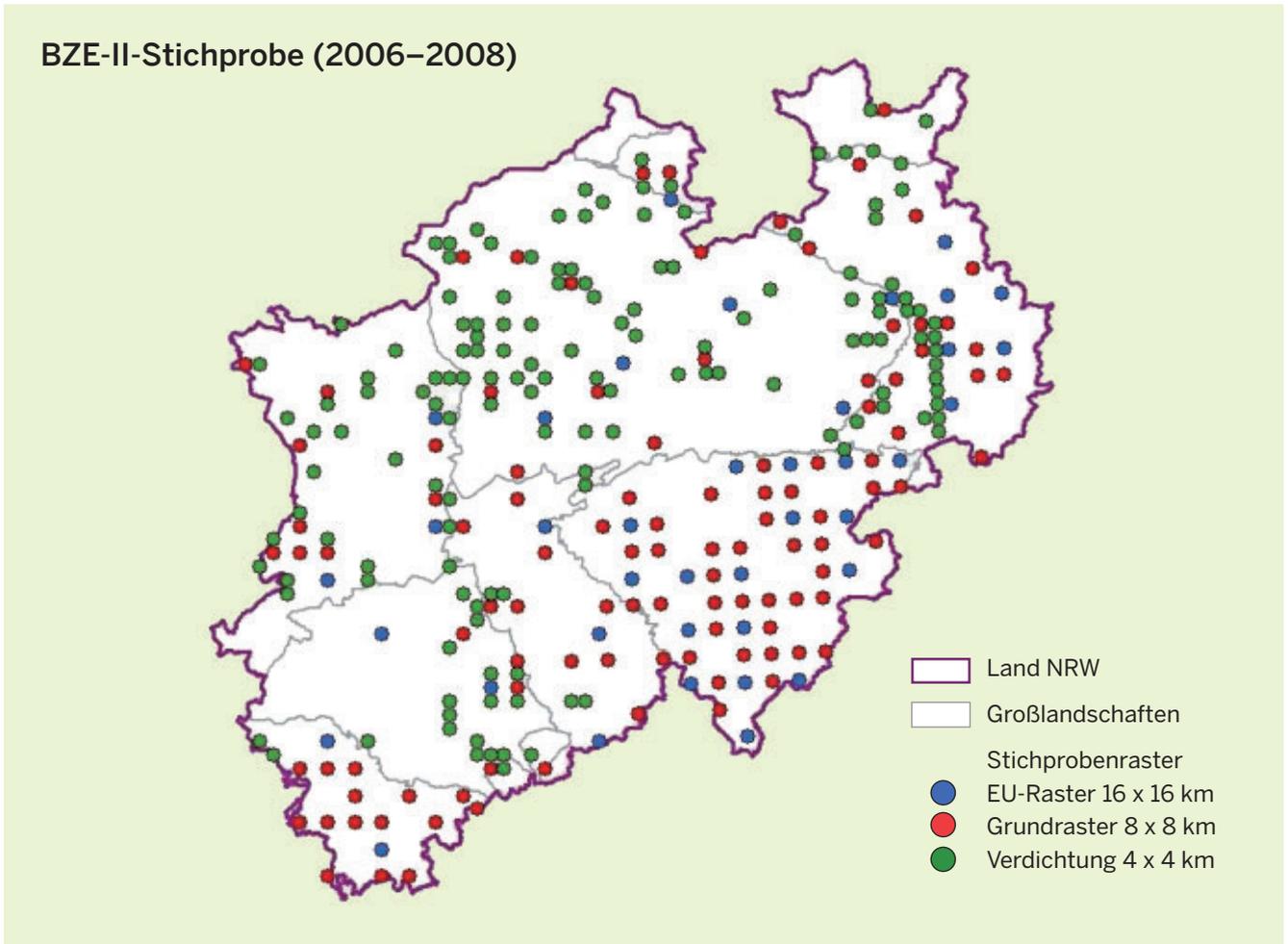


Abbildung 3: Gesamtes Inventurnetz der BZE II in Nordrhein-Westfalen

## Zusammenfassung

Die Bodenzustandserhebung ist eine Großrauminventur, die den Zustand der Waldböden repräsentativ für die Waldfläche des Landes erfasst. Die BZE soll primär über die Veränderung der Bodenverhältnisse aufgrund des Eintrags von Luftverunreinigungen informieren. Hierzu werden am jeweiligen Inventurpunkt Bodenproben aus metrischen Tiefenstufen entnommen, die im Labor nach forstanalytischen Methoden eingehend untersucht werden. Darüber hinaus bietet die BZE die Möglichkeit, Zusammenhänge zwischen Boden- und Waldzustand aufzuzeigen. Zu diesem Zweck finden die Aufnahmen der Waldzustands- (WZE) und der Immissionsökologischen Waldzustandserfassung (IWE) sowie eine Vegetationsaufnahme und eine Waldaufnahme in unmittelbarer räumlicher Nähe zur BZE-Probenahme fläche statt. Während der erste Inventurdurchgang (BZE I) in den Jahren 1989–1991 erfolgte, wurde die zweite Aufnahme (BZE II) in den Jahren 2006–2008 durchgeführt. Aus dem Vergleich der Inventurergebnisse lassen sich neue Erkenntnisse zur Bodenentwicklung gewinnen.



Solitärbäume in der Feldflur bereichern das Landschaftsbild



## Ergebnisse der Zweiten Bodenzustands- erhebung im Wald – BZE II (2006–2008) – zur Bodenversauerung und Waldkalkung

### Bodenversauerung und ihre Ursachen

Das Säure/Basen-Verhältnis in Waldböden spielt für die Waldvegetation eine wichtige Rolle. Einerseits werden Nährstoffkationen wie Kalium, Calcium und Magnesium erst von Säuren aus den Bodenmineralen gelöst und in eine pflanzenverfügbare Form überführt. Andererseits können starke Säuren ( $< \text{pH } 5$ ) auch potenziell toxische Kationen im Boden freisetzen und somit das Wachstum empfindlicher Pflanzen erheblich beeinträchtigen. Allgemein gilt jedoch eine Säurekonzentration in der Bodenlösung zwischen  $\text{pH } 5,0$  und  $6,2$  als günstig für die Nährstoffversorgung der Pflanzen im Wald.

Wie sich aus der nacheiszeitlichen Bodenentwicklung ableiten lässt, ist die natürliche Versauerungsrate, die auf der Bildung von Kohlensäure beruht, mit rund 800 Säureäquivalenten pro Hektar und Jahr anzusetzen. Zu den weiteren Ursachen der natürlichen Bodenversauerung zählen die Bildung von Auflagehumus und saisonal begrenzte Mineralisierungsschübe. Darüber hinaus können anthropogene Ursachen wie eine intensive forstliche Nutzung der Bestände und der Eintrag starker Mineralsäuren aus Schwefel- und Stickstoffverbindungen mit den Niederschlägen die Säurebelastung der Waldböden noch erheblich steigern. Letztere haben in den Wäldern Nordrhein-Westfalens Anfang der 1980er Jahre eine Größenordnung von 3.000 Säureäquivalenten erreicht. Fasst man alle Ursachen zusammen, so ist die Säurebelastung der Waldböden überwiegend vom Menschen verursacht und überschreitet schon jahrzehntelang die Möglichkeit der Waldböden, Säuren durch Kationenaustausch zu puffern. Weil bei der Säurepufferung auch Aluminium und andere potenziell toxische Kationen freigesetzt werden können, hat man die neuartigen Waldschäden in den 1980er und 1990er Jahren ursächlich mit starker Bodenversauerung in Zusammenhang gebracht.

Vor diesem Hintergrund wurde die Notwendigkeit für eine systematische Bodenzustandserhebung (BZE) im Wald gesehen. Diese sollte einen flächenrepräsentativen Überblick liefern, welche Puffersysteme in den Waldböden derzeit aktiv sind und inwieweit die natürlichen Standorteigenschaften durch bodenchemische Drift bereits verändert wurden.

## pH-Wert

Bei den meisten Bodenuntersuchungen wird der pH-Wert gemessen, weil viele Bodeneigenschaften mit diesem Kennwert verknüpft sind. Im Rahmen der BZE wurde der pH-Wert in einer wässrigen Bodensuspension an getrockneten Proben gemessen. Er gibt an, wie stark dissoziiert die säurebildenden Anionen in der Bodenlösung vorliegen

und ermöglicht Rückschlüsse auf die im Boden ablaufenden Prozesse der Säurepufferung. In der nachfolgenden Übersicht sind die wichtigsten Pufferprozesse den pH-Bereichen, in denen die Prozesse vorherrschen, gegenübergestellt.

pH-Wert	Vorherrschender Pufferprozess
6,2–8,3	Carbonatauflösung
5,0–6,2	Kationenfreisetzung aus Silikaten
4,2–5,0	Kationenfreisetzung vom Austauscher
< 4,2	Aluminium-/Eisenfreisetzung, Lösung von Metallhydroxiden

An den Punkten des Rasters von 8 x 8 km der BZE II (n = 146) wurden folgende pH-Werte gemessen:

Tiefenstufe	Kleinster Wert	25 % Perzentil	Median	75 % Perzentil	Größter Wert
Streu (L+OF)	3,5	4,3	4,9	5,3	6,1
Humus (OH)	3,3	3,7	3,9	4,3	6,0
0–5 cm	3,6	4,0	4,2	4,6	7,5
5–10 cm	3,7	4,1	4,3	4,6	7,6
10–30 cm	3,8	4,3	4,5	4,8	8,0
30–60 cm	4,2	4,5	4,6	5,2	8,4
60–90 cm	4,1	4,5	4,7	5,4	8,6

Tabelle 1: pH-Werte (H<sub>2</sub>O) in den Waldböden der BZE II

Aus den Angaben der Tabelle 1 ist zu entnehmen, dass die Säurestärke im Durchschnitt aller Waldböden mit der Bodentiefe abnimmt. Während bis 30 cm Tiefe überwiegend Austauschreaktionen, die Aluminium- und die Eisenfreisetzung an der Säurepufferung beteiligt sind, gewinnt unterhalb dieser Tiefe die Silikatpufferung an Bedeutung. Die vertikale Differenzierung beruht einerseits auf der natürlichen Abfolge von Bodenschichten, die sich nach dem Ausgangssubstrat, der Mineralzusammensetzung und dem Basengehalt unterscheiden. Andererseits werden die geogenen durch äußere Einflüsse wie dem Säure-

eintrag durch Niederschläge, den Bestockungsverhältnissen und der Bewirtschaftung der Wälder überlagert. Wie sich in den pH-Werten andeutet, überwiegt in einigen Fällen eindeutig der Kalkeinfluss, während andere Böden über das ganze Profil tiefgründig versauert sind. Oft sind in den Böden aber auch mehrere Pufferbereiche gleichzeitig aktiv, die keine eindeutige Zuordnung des Bodens möglich machen. Insgesamt vermittelt die große Spannweite der pH-Werte den Eindruck, dass auf der Waldfläche des Landes sehr unterschiedliche bodenökologische Verhältnisse herrschen.

## Basensättigung

Durch Verwitterung und Bodenversauerung werden basische Nährstoffkationen aus der Festphase des Bodens freigesetzt und in die Bodenlösung überführt. Während ein Teil der Nährstoffe dem Boden mit der Wurzelaufnahme entzogen wird, geraten die übrigen Nährstoffe mit dem Sickerwasser in den Stoffaustausch und werden ausgewaschen. Auf diese Weise verliert jeder Boden fortlaufend einen Teil seiner natürlichen Basizität. Die Basensättigung des Bodens gibt an, welcher Anteil aller austauschbar gebundenen Kationen auf die basischen Kationen Na, K, Ca und Mg entfällt. Da sich die Basensättigung unter dem Einfluss des Ausgangssubstrats, der Stärke der Bodenversauerung und der Pflanzenaufnahme herausbildet, stellt dieser Kennwert einen ökologischen Bewertungsmaßstab für den Versauerungsgrad des Bodens dar.

Da die Basensättigung an den BZE-Proben nach standardisierten Methoden bestimmt wird, eignet sich diese Kenngröße dazu, Veränderungen der Bodenversauerung am Tiefenprofil und zwischen den Inventurdurchgängen der BZE zu erfassen sowie die Verbreitung der Bodenversauerung auf der Waldfläche des Landes darzustellen.

Aus Abbildung 1 erkennt man die durchschnittliche Basensättigung der Waldböden zum Zeitpunkt der jeweili-

Auf Grundlage umfangreicher Untersuchungen haben Ulrich et al. (1995) folgende Richtwerte zur Einordnung der Basensättigung in Waldböden vorgeschlagen:

Basensättigung	Einteilung nach der Pufferfähigkeit
< 5 %	sehr gering
5–15 %	gering
15–30 %	ausreichend
30–50 %	hoch
> 50 %	sehr hoch

gen BZE Inventur. In beiden Inventuren nimmt die Basensättigung zunächst im Oberboden mit der Tiefe ab. Die niedrigsten Werte werden in 30–60 cm Tiefe erreicht. In größerer Bodentiefe steigt die Basensättigung wieder an. Es fällt jedoch auf, dass sich die Zone der niedrigsten Basensättigung zwischen den Inventuren im Durchschnitt um eine Tiefenstufe von 10–30 cm auf 30–60 cm nach unten verlagert hat.

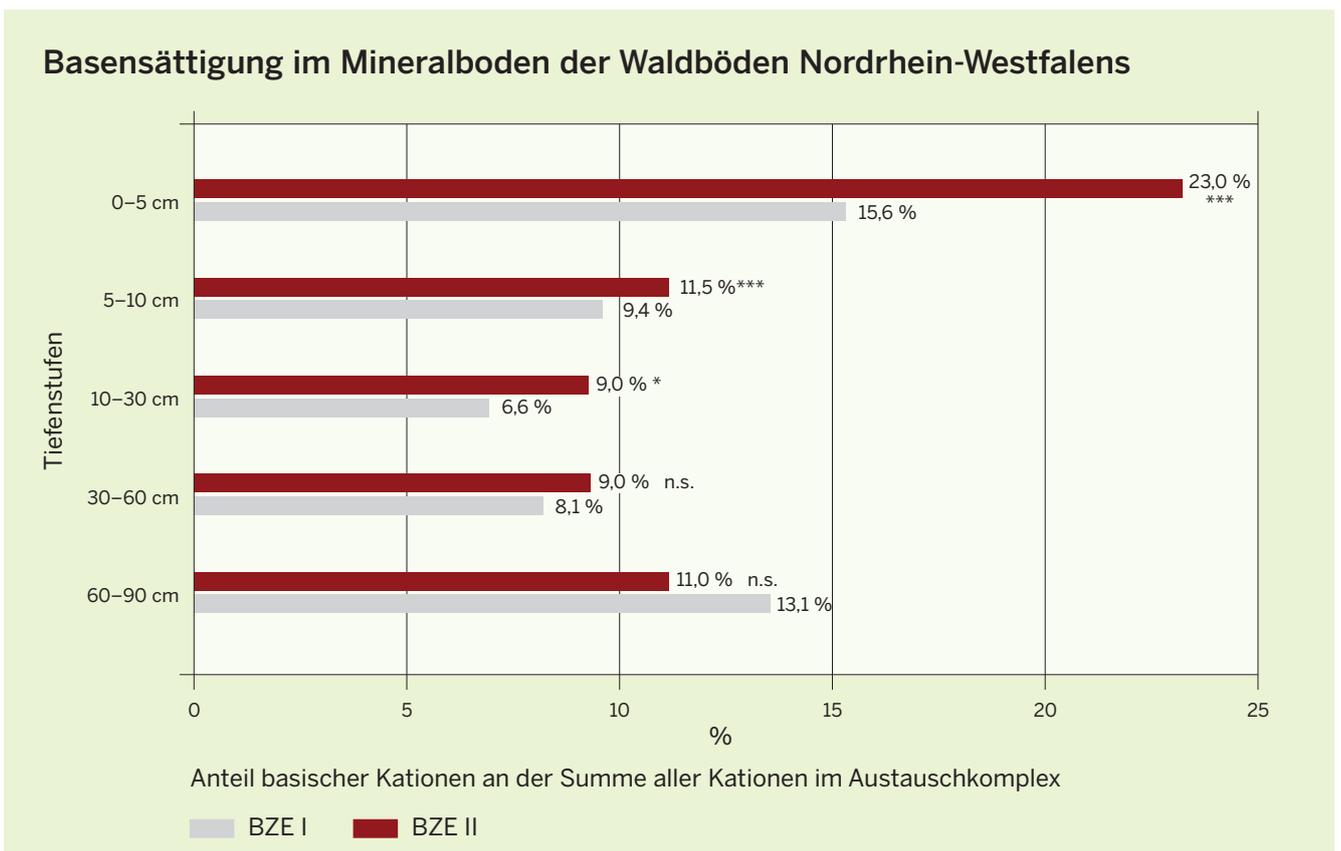


Abbildung 1: Basensättigung im Mineralboden der Waldböden Nordrhein-Westfalens im Raster von 8 x 8 km der BZE [n=140]

Insgesamt ist die Basensättigung der Waldböden zwischen den Inventurdurchgängen der BZE I und BZE II im Mineralboden bis zu einer Tiefe von 60 cm angestiegen. Im Oberboden hat sich die Verbesserung bis 30 cm Tiefe als statistisch signifikant (\*) erwiesen. Am deutlichsten ist die Zunahme in 0–10 cm Tiefe (\*\*\*) ausgefallen, während die Unterschiede in 30–60 cm Tiefe zwar noch nachweisbar, aber nicht mehr statistisch gesichert (n.s.) sind. Gleichzeitig ist die Bodenversauerung in den Unterboden vorgedrungen, wo sich die Basensättigung teilweise weiter verschlechtert hat. Eine Zunahme der Versauerung im Vergleich zur BZE I ist im Unterboden insbesondere bei lehmigen (30–60 cm) und sandigen Substraten (60–90 cm) im Tiefland zu beobachten.

Die gerichtete Entwicklung der Waldböden wird überlagert von einer großen Variabilität auf der Waldfläche des Landes. Nebeneinander finden sich im Raster der BZE Waldböden, die eine Zunahme der Basensättigung aufweisen, und andere, bei denen die Basensättigung abge-

nommen hat. Um den vorherrschenden Trend der Bodenentwicklung noch deutlicher herauszustellen, wurde die Basensättigung einer Häufigkeitsanalyse unterzogen. Das Ergebnis der paarweisen Vergleiche aus BZE I und BZE II bringt die Vielfalt der unterschiedlichen Entwicklungen zum Ausdruck (Abbildung 2). Auch in dieser Hinsicht zeigt sich, dass im Oberboden (0–30 cm) die Zunahme der Basensättigung überwiegt. In der Rhizosphäre kehrt sich dieser Trend um und zwischen 30 und 90 cm Tiefe wird häufiger die Abnahme der Basensättigung beobachtet.

Gestützt durch das Ergebnis der statistischen Analyse kann die Zunahme der Basensättigung in 0–30 cm des Mineralbodens trotz aller Unterschiede zwischen einzelnen Waldböden als sicher gelten. Unterhalb, vor allem in 30–60 cm Tiefe, liegt keine eindeutige Tendenz mehr vor. Allerdings deutet sich in den Daten eine Abnahme der Basensättigung bei den Lehm- und Sandböden des Tieflandes an, die jedoch anhand von vertiefenden Auswertungen noch genauer verifiziert werden muss.

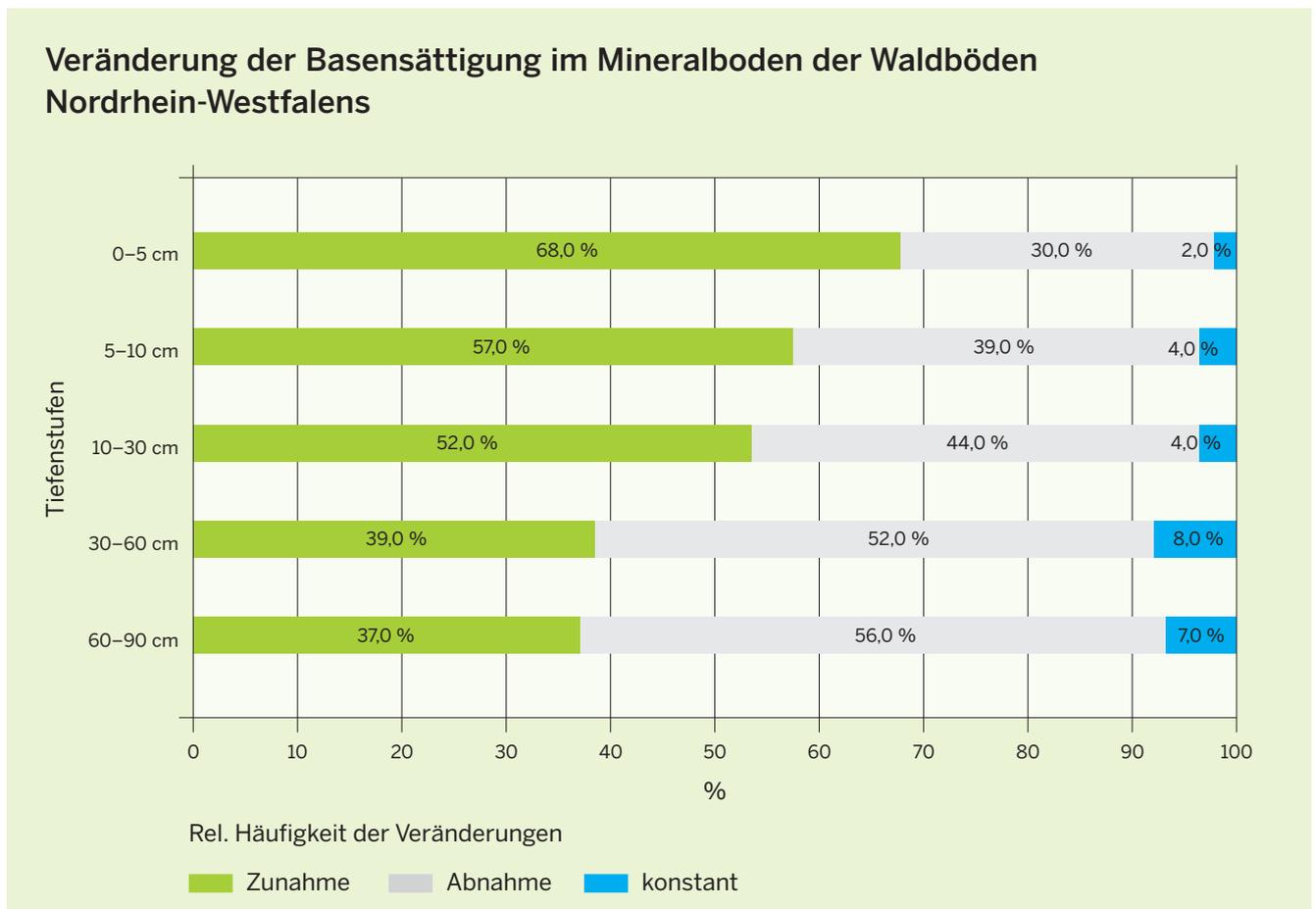


Abbildung 2: Veränderung der Basensättigung im Mineralboden der Waldböden Nordrhein-Westfalens zwischen den Inventurdurchgängen der BZE I und BZE II

## Stresskennwerte in der Bodenlösung

Die chemische Zusammensetzung der Bodenlösung hat unmittelbare Auswirkungen auf das Wachstum und die Funktionalität von Pflanzenwurzeln. Zwar sind die Hauptbaumarten in unseren Wäldern an saure Verhältnisse im Waldboden angepasst. Dennoch können bei stärkerer Bodenversauerung unausgewogene Ionenverhältnisse in der Bodenlösung auftreten, die Wurzelschäden verursachen und die Effektivität der Wasser- und Nährstoffaufnahme herabsetzen.

Wie aus einer Reihe von wissenschaftlichen Untersuchungen zur Wirkung der Bodenversauerung bei Pflanzen bekannt ist, nimmt das Calcium/Aluminium-Verhältnis in der Bodenlösung neben anderen Kennwerten eine Schlüsselstellung ein. So konnte beobachtet werden, dass Wurzelschäden auftreten, sobald das Ca/Al-Verhältnis in der Bodenlösung den Wert 1 unterschreitet.

Allerdings ist zu berücksichtigen, dass Artefakte entstehen können, die zu Fehlinterpretationen führen, wenn die Bodenproben zu viel Humus enthalten. Um dies zu ver-

meiden, wurde der wässrige Extrakt bei der BZE ausschließlich von Bodenproben hergestellt, die weniger als 1 % Kohlenstoff in der Festphase aufweisen. Unter dieser methodischen Randbedingung lässt sich jedoch zeigen, dass sich die nachlassende Bodenversauerung auch auf das Calcium/Aluminium-Verhältnis in der Bodenlösung (Abbildung 3) günstig ausgewirkt hat.

Im Durchschnitt ist das Ca/Al-Verhältnis in der Rhizosphäre von Silikatverwitterungsböden, auf die der überwiegende Anteil aller BZE-Punkte im Raster von 8 x 8 km entfällt, von 1,8 bei der BZE I auf 4,0 bei der BZE II angestiegen. Aus ökologischer Sicht ist bemerkenswert, dass bei der BZE II nur noch 12 % der Beobachtungen unterhalb von diesem pflanzenphysiologischen Schwellenwert liegen, während bei der BZE I noch 27 % der untersuchten Böden ein Ca/Al-Verhältnis kleiner als 1 aufgewiesen haben. Insofern ist eine für die Wurzelentwicklung der Waldbäume relevante Verbesserung der Bodenverhältnisse eingetreten.

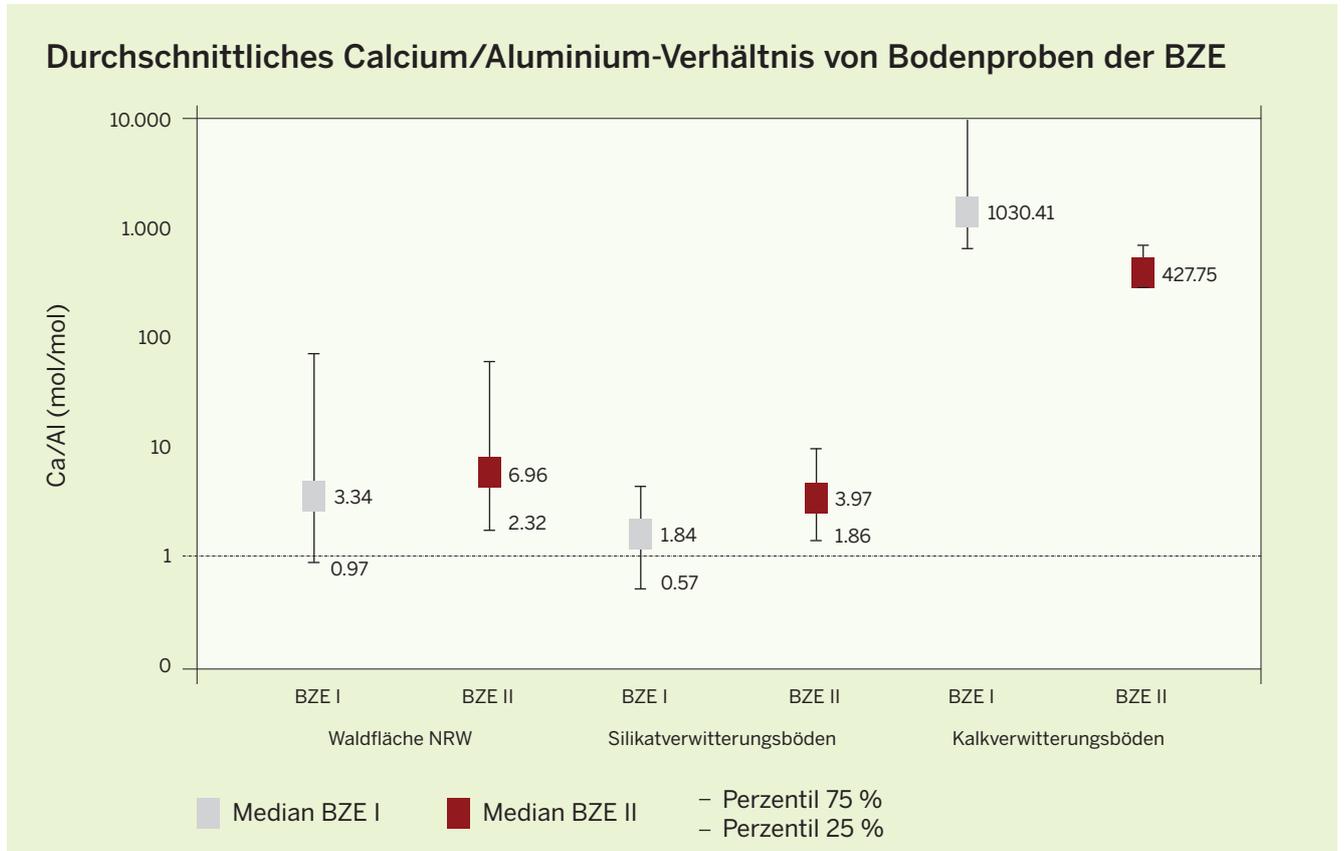


Abbildung 3: Durchschnittliches Calcium/Aluminium-Verhältnis im wässrigen Extrakt aus 30–60 cm Tiefe von Bodenproben der BZE



Entnahme der Humusaufgabe unter Verwendung von Stechrahmen

## Versauerungstypen

Neben dem Tiefengradienten der Basensättigung, der sich aus der Gesamtheit der BZE-Punkte Nordrhein-Westfalens ergibt, weist jeder einzelne Boden ein individuelles Tiefenprofil auf. Vergleicht man diese untereinander, so lassen sich die verschiedenen Muster zu vier Versauerungstypen zusammenfassen.

In Abbildung 4 ist der typische Verlauf der Basensättigung bei diesen Versauerungstypen schematisch dargestellt. Die Verteilung der Versauerungstypen im verdichteten Raster der BZE II ist aus Abbildung 5 ersichtliche.

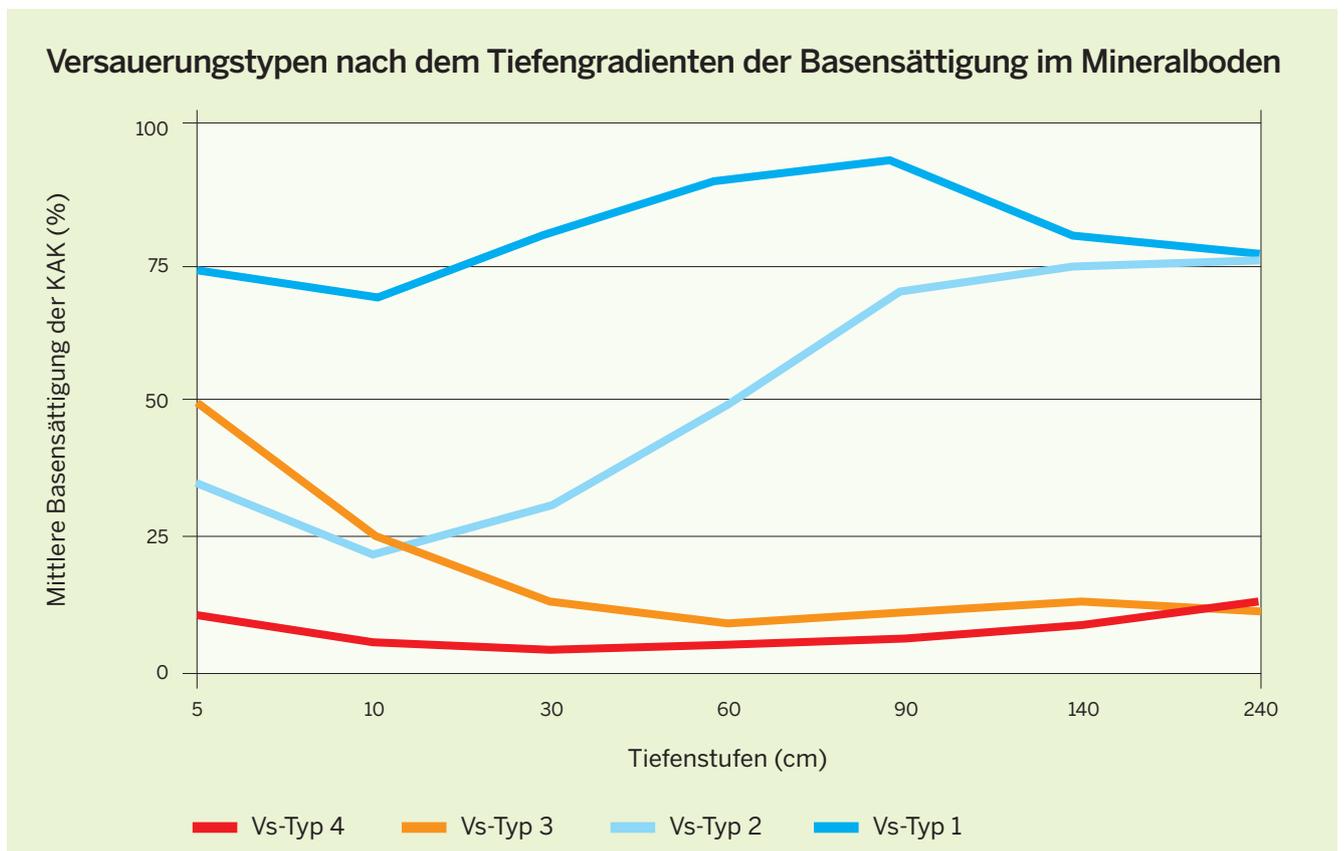


Abbildung 4: Versauerungstypen nach dem Tiefengradienten der Basensättigung im Mineralboden auf Basis der BZE im Wald von NRW

- Typ 1 -> Basenreiche, meistens kalkhaltige Waldböden: Alle Tiefenstufen haben eine sehr hohe Basensättigung. Daher sind die Böden gegenüber Säurebelastungen als äußerst stabil zu bezeichnen. In der Rhizosphäre und im Unterboden steigt die Basensättigung auf Werte über 90 % und erreicht auch im Oberboden meistens noch 75 %. Hauptvertreter dieser Gruppe sind die Kalkverwitterungslehme.
- Typ 2 -> Waldböden mit deutlichen Versauerungsmerkmalen im Oberboden: Basenreiche Böden, die in den oberen Schichten bereits deutlich versauert sind. In 0–30 cm Tiefe liegt die Basensättigung oft unter 20 %. Sie steigt in der Rhizosphäre an und erreicht im Unterboden meistens 50–90 %. Ebenso wie kalkhaltige Substrate sind Lehmböden des Tief- und Hügellandes besonders häufig in dieser Gruppe anzutreffen.
- Typ 3 -> Im Oberboden basenreiche Waldböden: Die Böden zeichnen sich durch eine erhöhte Basensättigung (25–50 %) in den oberen Bodenschichten aus, die häufig anthropogener Ursache ist, während die Rhizosphäre und der Unterboden nachhaltig (Basensättigung 10–20 %) versauert sind. Vereinzelt kommt im Unterboden aber auch eine Basensättigung von 25 % vor. Böden, die diesem Versauerungsmuster entsprechen, wurden im Raster der BZE II schwerpunktmäßig auf sandigen Standorten und im Schiefergebirgslehm angetroffen.
- Typ 4 -> Nachhaltig und tiefgründig versauerte Waldböden: In dieser Gruppe liegt die Basensättigung im gesamten Profil unter 15 %. Meistens schwankt die Basensättigung in der Rhizosphäre und im Unterboden nur um einen Wert von 6 % und steigt erst in 0–5 cm Tiefe, bedingt durch den höheren Humusgehalt im A-Horizont, auf 13 % an. Charakteristisch für diese Gruppe sind Waldböden, die sich im Bergland aus Schiefergebirgslehm entwickelt haben.

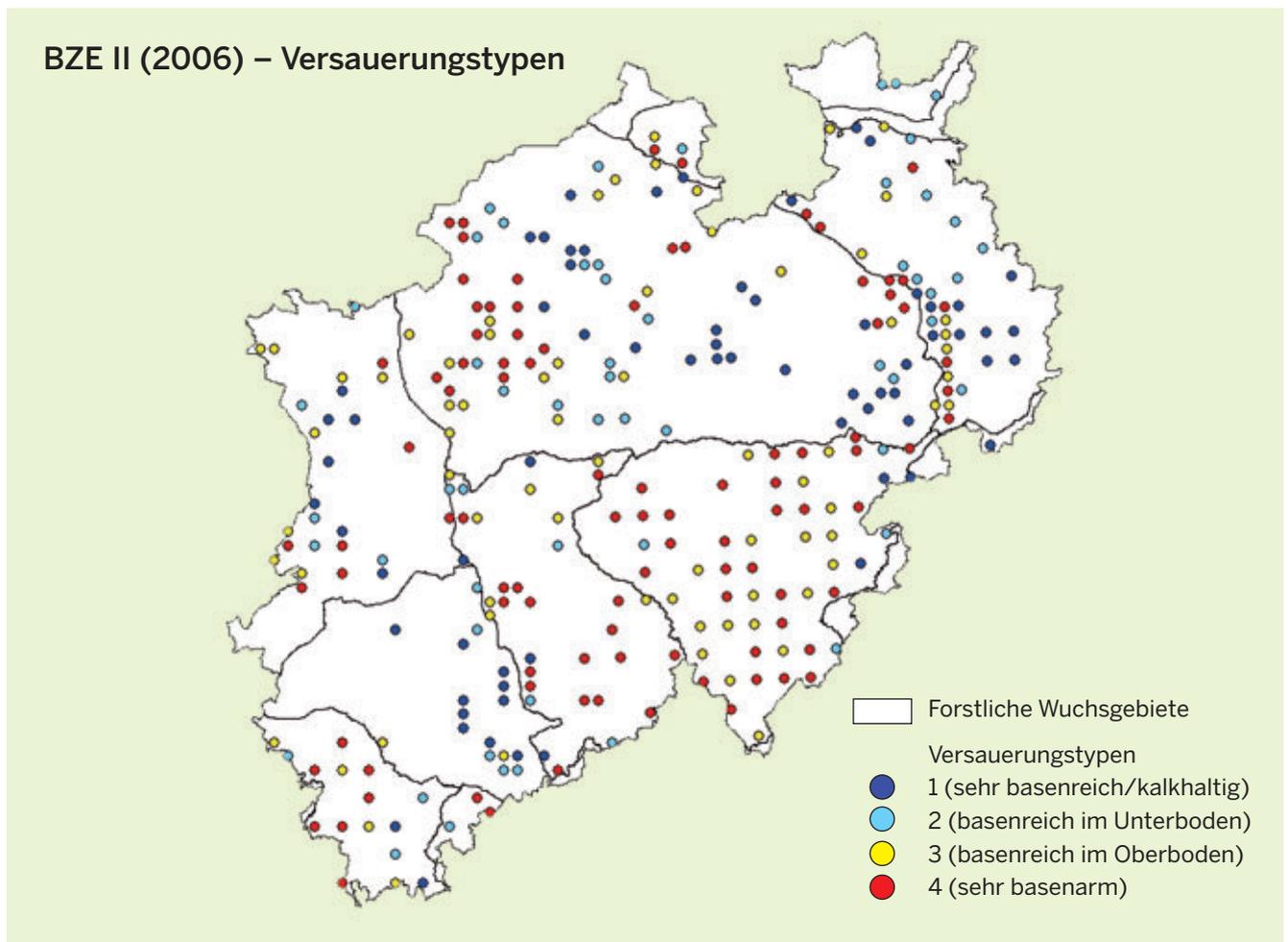


Abbildung 5: Verbreitung der Versauerungstypen 1 bis 4 im verdichteten Raster der BZE II

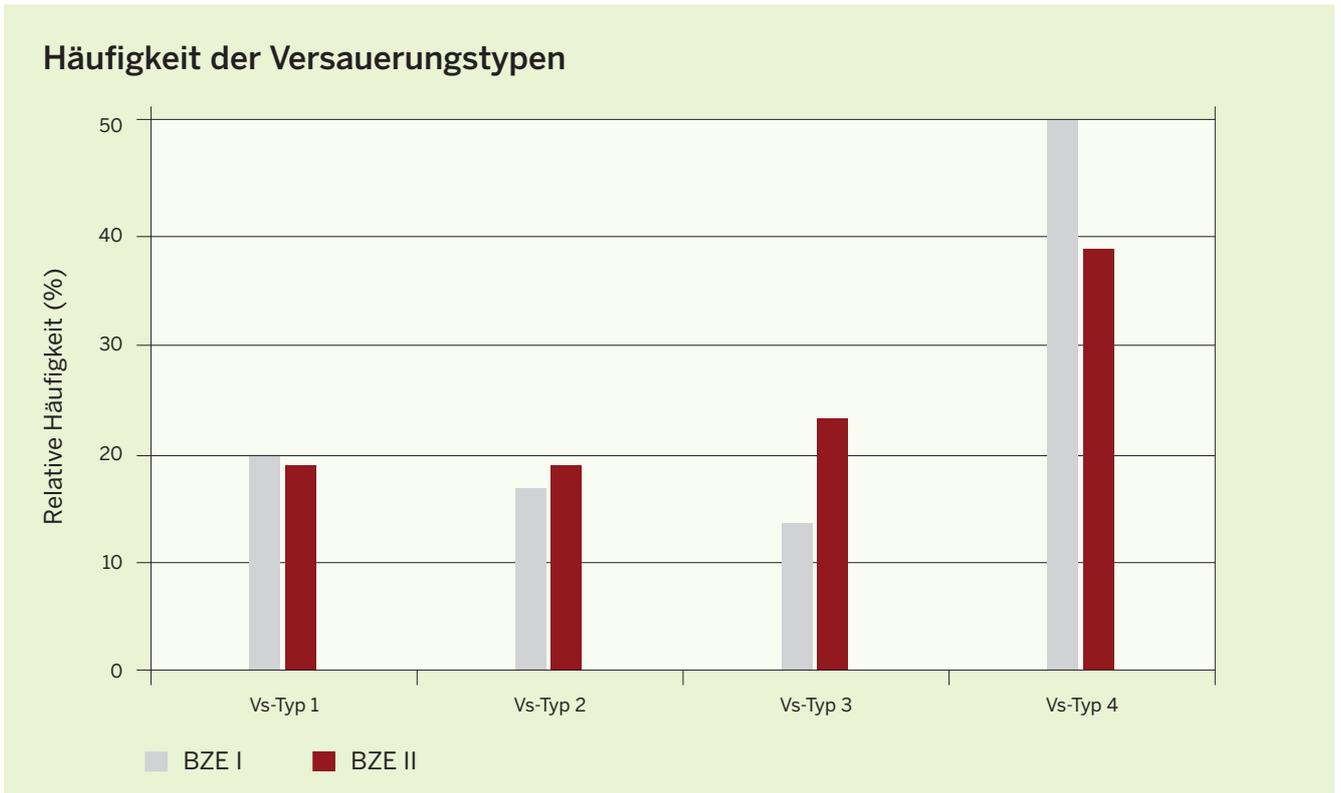


Abbildung 6: Häufigkeit der Versauerungstypen 1 bis 4 im landesweiten Raster von 8 x 8 km der BZE

Es entspricht der rückläufigen Bodenversauerung, die sich hauptsächlich auf den Oberboden beschränkt, dass sich auch die Anteile der Versauerungstypen in den vorangegangenen Jahren verändert haben (Abbildung 6). Zwar entfällt auf die tiefgründig versauerten Böden nach BZE II unverändert der größte Anteil an der Waldfläche des Landes, doch ist ihr Anteil von 50 % bei der BZE I auf nunmehr 39 % zurückgegangen. Gleichzeitig hat der Anteil von Waldböden mit verbesserter Basensättigung in den oberen Schichten zugenommen, während sich die Anteile der Versauerungstypen 1 und 2 kaum verändert haben. Da sich die Zunahme der Basensättigung im Oberboden hauptsächlich auf den Schiefergebirgslehm im Bergland konzentriert und andererseits in den Jahren nach der BZE I bevorzugt Fichtenbestände gekalkt wurden, dürfte die Auswirkung der Waldkalkung für diese Veränderungen maßgeblich sein.



Abgestorbener Biotopbaum

Foto: Falkenried

## Waldkalkung

Parallel zu den Außenaufnahmen der BZE II wurden mit einem Fragebogen Auskünfte bei den Waldbesitzern und örtlich zuständigen Revierbeamten eingeholt, ob die BZE-Bestände nach 1990 gekalkt wurden und welche Art und Menge an Kalk hierbei zur Anwendung kam. Nach dieser Umfrage (Stand 2006) sind Waldkalkungen im landeswei-

ten Raster an 25 % der BZE-Punkte erfolgt und hierbei überwiegend 3 t Carbonat- oder Dolomitkalk je Hektar ausgebracht worden. Die Unterscheidung der gekalkten Bestände nach Hauptbaumarten zeigt (Abbildung 7), dass der Anteil bei Buchen-, Eichen-, Kiefern- und sonstigen Laubholzbeständen zwischen 20 % und 25 % schwankt, während Fichtenbestände offensichtlich bevorzugt gekalkt wurden. Hier liegt der Anteil mit 34 % deutlich über dem landesweiten Durchschnitt.

Spezielle Auswertungen zur Waldkalkung lassen sich mit den BZE-Daten durchführen, wenn in einem Wuchsgebiet an mehreren Inventurpunkten vergleichbare Verhältnisse vorliegen. Nur so können gekalkte und ungekalkte Standorte direkt miteinander verglichen und Aussagen zur Wirkung der Waldkalkung aus den BZE-Daten abgeleitet werden. Gegenüber Versuchsflächen, die speziell zur Kontrolle der Waldkalkung angelegt werden, haben die BZE-Ergebnisse vor allem den Vorteil, dass sie aus normal bewirtschafteten Beständen stammen und damit näher an der forstlichen Praxis liegen.

Zur Untersuchung dieser Fragestellung wurden BZE-Bestände im Sauerland und im Bergischen Land ausgewählt, weil die relativ einheitlichen Bodenverhältnisse auf dem Schiefergebirgslehm hierfür besonders günstige Voraussetzungen bieten. Die Unterstichprobe zur Untersuchung der Waldkalkung umfasst insgesamt 48 Punkte im Raster von 8 x 8 km, von denen 22 Waldbestände nach der BZE I (1989–91) gekalkt worden sind. Im Übrigen hat sich die Waldbestockung an 44 Punkten nach der BZE I nicht mehr verändert.

### Waldkalkungen zwischen der BZE I (1990) und BZE II (2006)

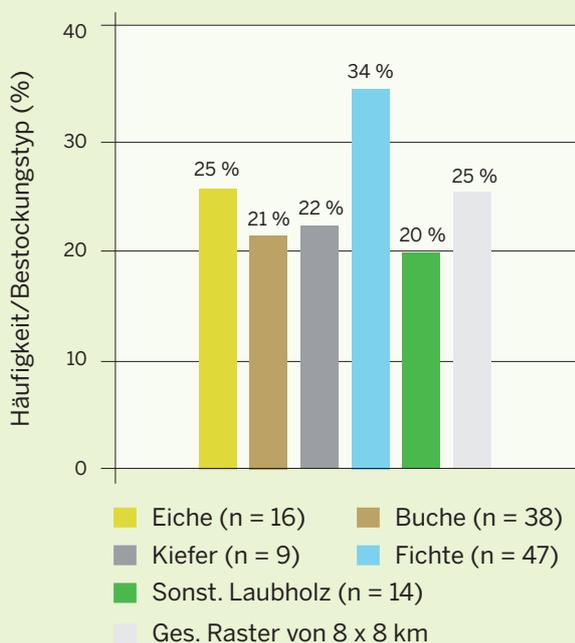


Abbildung 7: Waldkalkungen zwischen der BZE I (1990) und BZE II (2006) im landesweiten Raster von 8 x 8 km



Wildkräuter sind wichtige Bestandteile von Waldlichtungen

## pH-Werte (H<sub>2</sub>O) und Calciumgehalte im Waldhumus auf Schiefergebirgslehm nach Kalkung

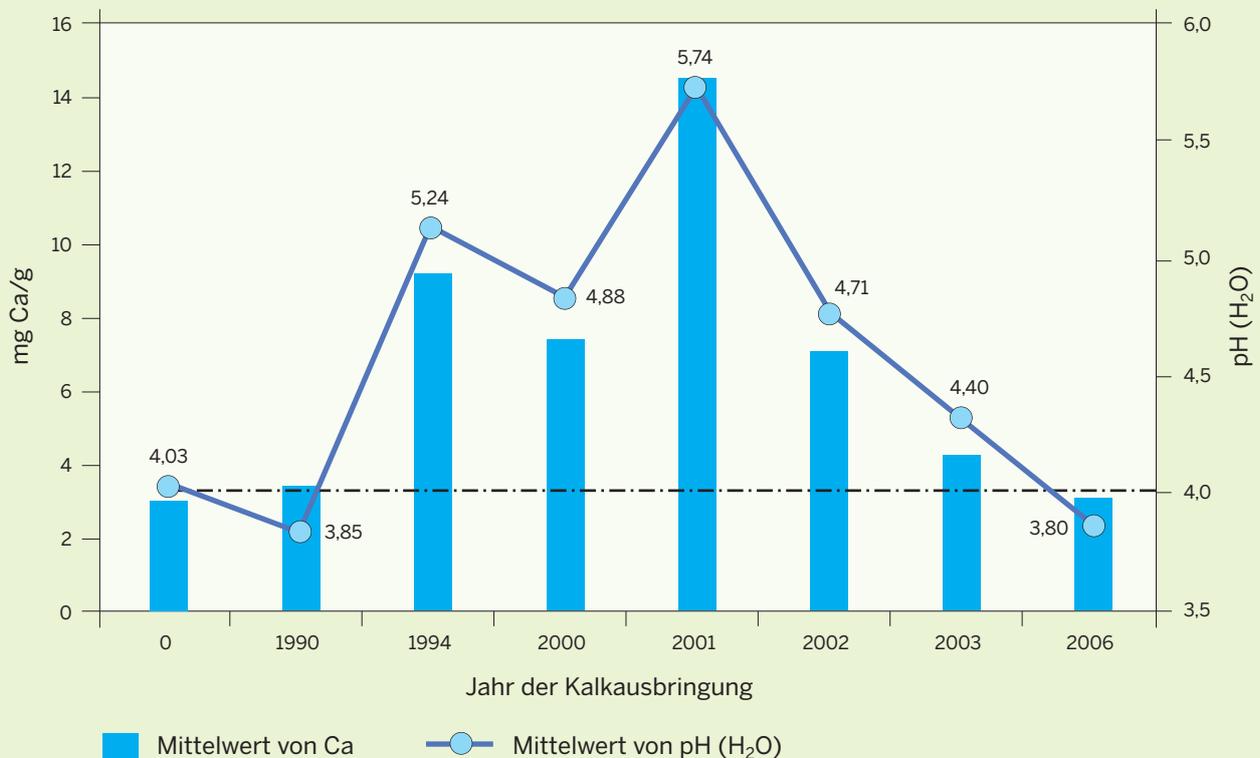


Abbildung 8: pH-Werte (H<sub>2</sub>O) und Calciumgehalte im Waldhumus auf Schiefergebirgslehm nach Kalkung in den Jahren 1990–2006; ohne Kalkung = 0

Das Ergebnis der pH-Messung (H<sub>2</sub>O) und der Ca-Bestimmung in der Humusaufgabe ist in Abbildung 8 dargestellt. Man erkennt, dass die pH-Werte und Ca-Gehalte nicht über den Messwert 4 ansteigen, sofern das Jahr der Waldkalkung mehr als 15 Jahre zurück- oder sehr zeitnah zur Probenahme der BZE II liegt. Dieser Wert ist mit dem entsprechenden Mittelwert von ungekalkten Waldböden (= 0) vergleichbar. Innerhalb dieser Zeitspanne liegen die Werte von gekalkten Waldböden deutlich höher, wobei die höchsten Messwerte im Jahr 2001 erreicht werden. Wie sich aus beiden Parametern ableiten lässt, bleibt die Reaktionsfähigkeit und Löslichkeit der Kalkpartikel nach der Ausbringung im Waldboden offensichtlich rund 12 Jahre erhalten. Die maximale Wirksamkeit entfaltet der Kalk etwa 5–6 Jahre nach der Ausbringung. Vergleichbare Ergebnisse hat die parallele Untersuchung von Mineralbodenproben aus 5–10 cm Tiefe ergeben. Außerdem konnte an dieser Unterstichprobe gezeigt werden, dass sich die Kalkwirkung im Oberboden mit einer einfachen pH-Wertmessung leicht kontrollieren lässt. Eine Calciumbestimmung im Labor kann ebenfalls den Kalknachweis erbringen und damit das Ergebnis der pH-Messung absichern, sofern Werte größer als 4 mg/g ermittelt werden.

Über die Tiefenwirkung der Waldkalkung auf Schiefergebirgslehm informieren die Abbildungen 9 und 10 anhand der pH-Werte und Calciumgehalte in den Tiefenstufen der BZE. Gleichzeitig ist die Bodenentwicklung an den nicht gekalkten BZE-Punkten aus den Abbildungen zu entnehmen. Zunächst haben sich die Messparameter auf den nicht gekalkten BZE-Punkten ähnlich wie bei anderen Silikatverwitterungsböden im landesweiten BZE-Raster entwickelt. Während sich die Calciumgehalte vor allem in 0–5 cm Tiefe gegenüber der BZE I deutlich erhöht haben, sind die pH-Werte in der Humusaufgabe und im Mineralboden bis in 10 cm Tiefe sichtbar angestiegen. Unterhalb von 10 cm Tiefe verschmelzen die Mittelwerte aus beiden Inventurdurchgängen wieder miteinander, obwohl auch in tieferen Bodenschichten höhere Werte vorkommen.

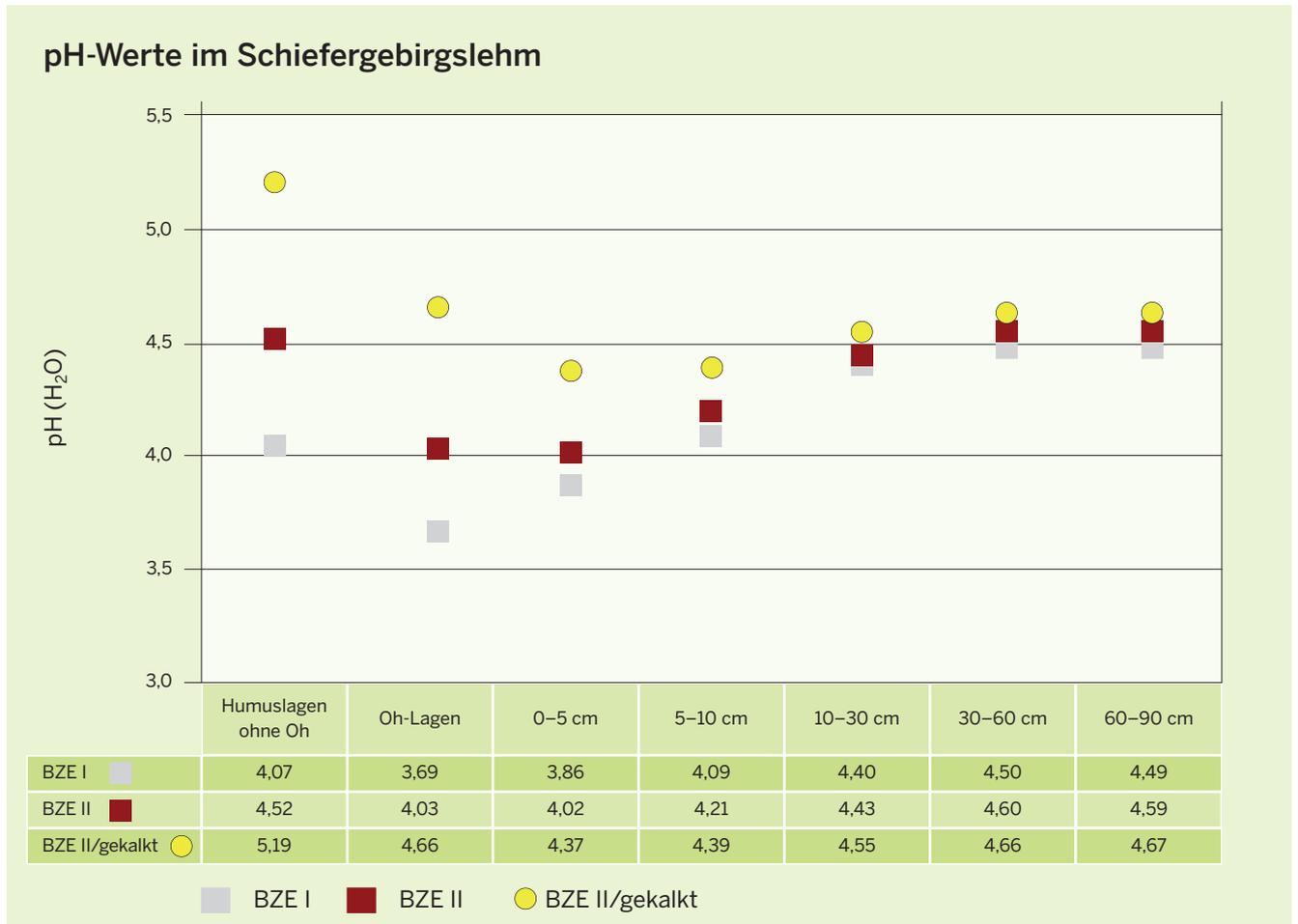


Abbildung 9: Mittlere pH-Werte (H<sub>2</sub>O) an 48 Punkten der BZE I und BZE II im Schiefergebirgslehm, zum Teil nach Kalkung in den Jahren 1990–2006

Im Schiefergebirgslehm ist somit auch ohne Waldkalkung ein leichter Rückgang der Bodenversauerung festzustellen, der sich allerdings nur auf den Oberboden beschränkt. An den übrigen BZE-Punkten, die in den Jahren 1990–2006 gekalkt wurden, konnte eine weitere Verbesserung der Basenausstattung erzielt werden. Die Messwerte haben sich wesentlich deutlicher verändert als auf den nicht gekalkten Waldböden. Die pH-Werte sind

in der Humusaufgabe um rund eine pH-Einheit, im Mineralboden zwischen 0 und 10 cm Tiefe signifikant und bis 90 cm Tiefe immerhin noch messbar angestiegen. Zugleich hat die Kalkung zu einer weiteren Erhöhung der Calciumgehalte bis in 10 cm Tiefe beigetragen. Dagegen haben sich die Calciumgehalte im Hauptwurzelraum und im Unterboden durch die Waldkalkung nicht mehr deutlich verbessert.

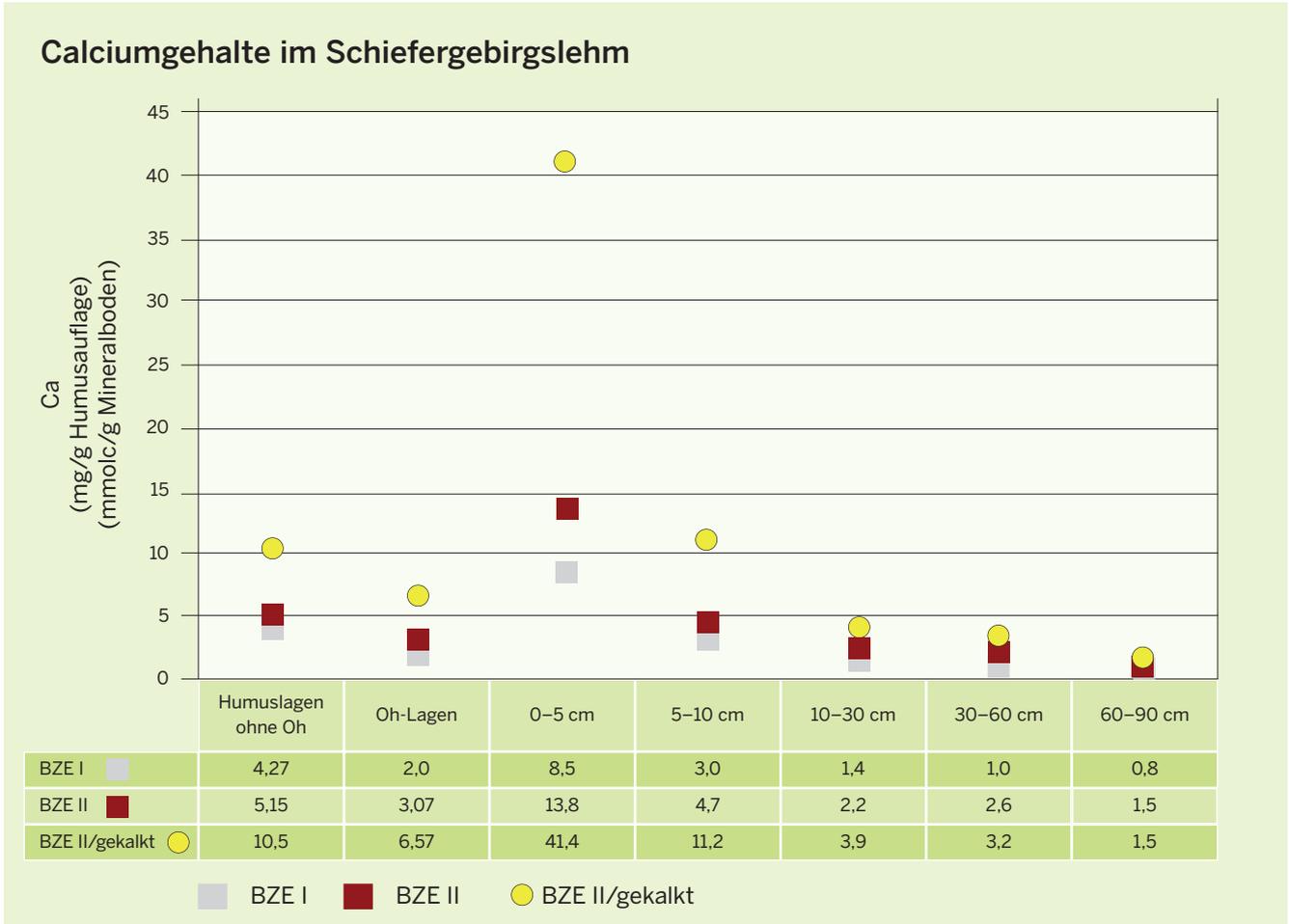


Abbildung 10: Mittlere Calciumgehalte an 48 Punkten der BZE I und BZE II im Schiefergebirgslehm, zum Teil nach Kalkung in den Jahren 1990–2006



Holzersetzende Pilze bei der Arbeit

Foto: Falkentried

## Zusammenfassung und Fazit

Die Wiederholung der BZE in den Wäldern Nordrhein-Westfalens 16 Jahre nach dem ersten Inventurdurchgang hat ergeben, dass in den Waldböden eine langsame Erholung der Puffersysteme eingesetzt hat, nachdem jahrzehntelang überhöhte Säureinträge auf die Wälder eingewirkt haben. Vor allem in den oberen Schichten des Mineralbodens ist eine deutliche Zunahme von basisch wirkenden Nährstoffkationen in der Festphase zu verzeichnen. In der Rhizosphäre hat sich mit dem Calcium/Aluminium-Verhältnis in der Bodenlösung ein weiterer Stressindikator abgeschwächt. Diese Entwicklungen begünstigen die Nährstoffaufnahme der Bäume und die Tiefendurchwurzelung des Waldbodens.

Als treibende Kraft dieser Veränderungen sind die stetig rückläufigen Säureinträge und die Waldkalkung zu sehen, die zum Schutz der Waldböden seit Mitte der 1980er Jahre durchgeführt wird. Wie sich aus Depositionsmessungen im Wald während der vorangegangenen 25 Jahre ableiten lässt, hat sich die atmosphärische Säurebelastung in diesem Zeitraum um rund 22,5 keq/ha verringert. Mit der üblichen Kalkmenge von 3.000 t wird den Waldböden bei jeder Kalkung Basizität von 60 keq/ha zugeführt. In Verbindung mit der natürlichen Basennachlieferung aus der Mineralverwitterung (ca. 20 keq/ha) summiert sich die Pufferkapazität der Waldböden insgesamt auf rund 100 keq/ha, bezogen auf den hier unterstellten Betrachtungszeitraum.

Eine spezielle Auswertung der BZE zur Kalkung an Waldböden aus dem Schiefergebirgslehm im Sauerland und Bergischen Land konnte zeigen, dass sich die Waldkalkung wesentlich stärker auf den Bodenzustand ausgewirkt hat als der Rückgang der Säurebelastung in den vorangegangenen Jahren. Hierzu ordnet Abbildung 11 die am pH-Wert beobachteten Effekte in die allgemeine Wechselbeziehung von Säuren und Basen in der Festphase der Böden ein. Danach sind die pH-Werte im Schiefergebirgslehm zwischen der BZE I und der BZE II zwar leicht angestiegen; dies hat am Verhältnis der basischen Kationen zum Aluminium aber grundsätzlich nichts geändert. Erst die Waldkalkung hat den mittleren pH-Wert in einen Bereich verschoben, bei dem auch Calcium und Magnesium wieder mit einem höheren Prozentsatz am Kationenaustauschkomplex vertreten sind.

Nun zeichnen sich vollständig intakte Böden durch eine Basensättigung aus, die zwischen 15 % und 30 % liegen sollte, und einen Boden-pH von 4,5 bis 5,0. Erst dann, wenn diese Richtwerte auch in mittleren Bodentiefen erreicht sind, können die bodenchemischen Verhältnisse wieder als annähernd stabil bezeichnet werden.



Foto: Falkenried

Eine mehrwipfelige Fichte

### pH-Werte (H<sub>2</sub>O) und Calciumgehalte im Waldhumus auf Schiefergebirgslehm nach Kalkung

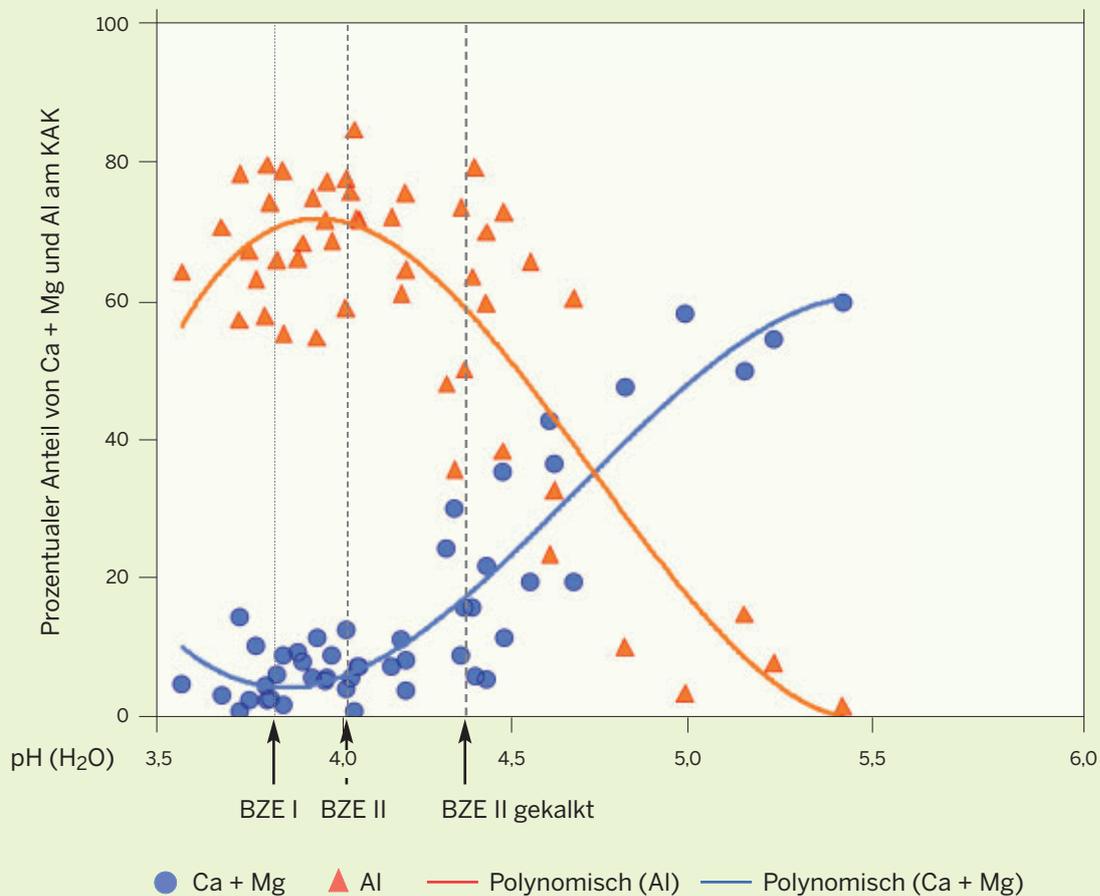


Abbildung 11: Basische Kationen und Aluminium in Abhängigkeit vom pH-Wert des Bodens in 0–5 cm Tiefe von BZE-Proben aus dem Schiefergebirgslehm

Der Umstand, dass sich die Erholung der Waldböden noch weitgehend auf den Oberboden beschränkt und ein nachhaltig intakter Bodenzustand noch nicht erreicht ist, darf nicht darüber hinwegtäuschen, dass die bisherige Bodenentwicklung für das gesamte Ökosystem bereits einen Stabilitätsgewinn gebracht hat. Hierdurch sind unmittelbar bessere Bedingungen für eine tiefere Durchwurzelung, die Mikroorganismenaktivität, den Nährstoffkreislauf und die Kohlenstoffbindung im Boden entstanden. Allerdings ist nicht zu erwarten, dass von einem besseren Bodenzustand kurzfristige Wirkungen ausgehen, wie man es von extremen Witterungsereignissen, massenhaftem Schädlingsbefall oder starker Fruktifikation her kennt. Im Vergleich hierzu werden sich intakte Waldböden eher langfristig positiv auswirken, indem sie die Vitalität der Bäume fördern und den Artenreichtum in Wäldern begünstigen, sodass insgesamt die Widerstandskraft der Waldökosysteme gegenüber äußeren Einflüssen, zu denen auch die Auswirkungen des Klimawandels zählen, zunimmt.



## Der Ernährungszustand der Waldbäume aus den Ergebnissen der Zweiten Bodenzustandserhebung in Nordrhein-Westfalen

Im Rahmen der BZE II wurde bundesweit erstmalig die Beprobung von Nadeln und Blättern der bestandesbildenden Hauptbaumarten in die Untersuchungen eingebunden. So soll eine erste bundesweit einheitliche Übersicht der Ernährungsverhältnisse in den Wäldern entstehen. Die Häufigkeit von Ernährungsstörungen und die Darstellung und Klärung von Zusammenhängen zwischen Bodenzustand und Ernährung der Bäume spielen dabei eine wichtige Rolle.

In Nordrhein-Westfalen existiert seit 1983 die Immissionsökologische Waldzustandserhebung (IWE) als unabhängiges Instrument zur Darstellung landesrepräsentativer Ergebnisse aus Nadel-/Blattanalysen. Seit 1988 wird sie parallel zur WZB/BZE im regelmäßigen Fünfjahresturnus in denselben Rasterbeständen durchgeführt. Die langjährigen Erfahrungen aus der IWE und auch aus den entsprechenden Untersuchungen auf Dauerbeobachtungsflächen in Richtung Einschätzung der Ernährungslage der Hauptbaumarten Buche, Eiche, Fichte und Kiefer und die erfolgreiche Verknüpfung der IWE mit der BZE II versprechen gerade in NRW optimale erhebungsübergreifende Auswertungsmöglichkeiten.

## Methoden und Ergebnisse

### Methoden

Organisatorisch wurden beide Erhebungen verknüpft, indem die Teilerhebung der BZE II zum Ernährungszustand der Bäume in die Routineerhebung der IWE eingebunden wurde. Hierdurch ergab sich zwangsläufig eine Beprobung der verschiedenen Hauptbaumarten in unterschiedlichen Jahren: Kiefer im Jahr 2006, Eiche in 2007, Buche und Fichte in 2008.

Mitte Juli bis Mitte August (Laubholz) und Mitte November bis Mitte Dezember (Nadelholz) der Erhebungsjahre wurden pro Bestand Proben von jeweils drei Bäumen durch Zapfenpflücker gewonnen. Die Proben stammten beim Laubholz aus der Lichtkrone und beim Nadelholz in der Regel vom 7. Astquirl. Nach der Trennung der Proben von den Ästen, der Trocknung und Zerkleinerung (Mahlung) erfolgte die Analyse in den Labors des LANUV mittels der Röntgenfluoreszenzanalyse (z. B. Elemente P, K, Mg und Ca) und Elementaranalyse (Elemente N und C).

Da für die IWE engere Auswahlkriterien der Probebestände gelten als für die BZE II (Baumalter, Mischungsverhältnis und Flächengröße), wurden zusätzlich zu den IWE-Beständen auch Raster-Bestände beprobt, die nur der

BZE II zur Auswertung dienen. Andererseits wird ein Teil der IWE-Bestände nicht zur BZE-II-Auswertung herangezogen, da sie dem BZE-II-Bestandeskollektiv nicht angehören. So sind bei der Buche zwar alle BZE-Nadel-/Blattbeprobungen auch gleichzeitig IWE-Beprobungen, bei der Eiche noch 88 %, bei der Kiefer 67 % und bei der Fichte aber nur 27 %! Dementsprechend können sich Auswertungsergebnisse z. B. bezüglich mittlerer Elementgehalte oder Unterversorgungsprozente beider Erhebungen mehr oder weniger deutlich voneinander unterscheiden. Statistisch signifikante Unterschiede treten allerdings nur bei der Fichte auf (z. B. K-, Mg- und Ca-Gehalte).

Die nachfolgend erläuterten Auswertungsergebnisse der BZE beziehen sich daher nur auf die Daten der BZE-II-Bestände des Rasters von 8 x 8 km (146 Bestände), wenn es um landesrepräsentative Aussagen geht, oder der BZE-II-Gesamterhebung (292 Bestände) zur Beleuchtung grundsätzlicher Zusammenhänge. Für die Einordnung der BZE-II-Ergebnisse in die zeitliche Entwicklung der Ernährungssituation seit der BZE I wird jedoch wegen fehlender Vergleichswerte aus der BZE auf Ergebnisse der IWE-Zeitreihen zurückgegriffen.

### Mittelwerte der Elementgehalte der BZE-II-Probabäume

	N	P	K	Mg	Ca	Anzahl Bäume
Buche	25448	1133	6102	1483	5562	132
Eiche	29199	1364	7020	1439	5937	65
Stieleiche	29793	1426	7259	1489	6529	39
Traubeneiche	28308	1272	6661	1363	5050	26
Fichte	17501	1613	4700	1247	4411	141
Kiefer	21519	1492	5263	989	3234	36

Datenbasis: bundesweites Raster von 8 x 8 km; Beprobung NRW  
Werte in mg/kg Trockensubstanz = ppm (parts per million)

Gute Versorgung

Mittlere Versorgung

Unterversorgung

Tabelle 1: Mittelwerte der Elementgehalte der BZE-II-Probabäume

## Ergebnisse

### Mittlere Nährstoffgehalte und Unter-/Überversorgung

Grundlage der Auswertungen sind Elementgehalte der Blätter aus der Lichtkrone und die jüngsten Nadeln (= 1. Nadeljahrgang) von Ästen des 7. Astquirls. Der Elementgehalt wird nachfolgend immer in der Einheit „mg/kg Trockensubstanz (= TS)“ angegeben, die der englischen Einheit „parts per million“ (= ppm) entspricht. Die Einstufung der Elementgehalte in eine Ernährungsklassifikation erfolgt nach den Vorgaben von Büttner (1998).

Die errechneten mittleren Elementgehalte der Hauptbaumarten in Nordrhein-Westfalen (Tabelle 1) zeigen im landesweit repräsentativen Raster von 8 x 8 km durchweg eine mittlere bis gute Versorgung der Bäume mit den Hauptnährstoffen Stickstoff (N), Phosphor (P), Kalium (K), Magnesium (Mg) und Kalzium (Ca) an. Bei allen 5 Elementen bestehen deutliche artspezifische Unterschiede zwischen den Baumarten. Auch Stieleiche und Traubeneiche unterscheiden sich deutlich, wobei die Stieleiche artspezifisch und auch standörtlich bedingt immer die höheren Gehalte aufweist (siehe auch Waldzustandsbericht 2010, S. 40–49).

Eine gute Nährstoffversorgung ist besonders bei der Buche mit Magnesium sowie bei der Stieleiche und der Fichte mit Kalzium gegeben. Die im Mittel sehr gute Stickstoffversorgung der Buchen, Fichten, Kiefern und teilweise der Eichen muss differenzierter betrachtet werden. Zum einen können hohe Stickstoffgehalte ein besseres Wachstum garantieren, zum anderen weisen sie auf eine gewisse Belastung durch hohe Stickstoffeinträge hin.

Allein die Mittelwerte der Elementgehalte können jedoch nicht als einziges Kriterium zur Einstufung des Ernährungszustandes der Waldbäume herangezogen werden. Der Anteil unter- oder übertersorgter Bäume weist als zusätzliches Kriterium auf Besonderheiten hin, die aus einem Mittelwert nicht abgelesen werden können. So zeigt Tabelle 2 für die Kiefer deutlich, dass sie trotz eines knapp über dem Grenzwert von 900 mg/kg TS liegenden Magnesium-Mittelwertes mit landesweit 53 % unterversorgter Probestämme große Probleme mit der Magnesiumversorgung und etwas geringere mit dem Phosphor hat. Nicht ganz so schwerwiegende, aber doch deutliche Probleme sind bei der Buche mit Phosphor, Kalium und Kalzium und bei der Fichte mit Kalium zu erkennen. Die Eiche und dort besonders die Traubeneiche zeigen ebenfalls einige Versorgungsengpässe beim Phosphor. Positiv stechen die Fichten durch ihre äußerst geringen Defizite beim Magnesium und Kalzium und die Eichen beim Kalium und Kalzium hervor. Insgesamt sind im Raster von 8 x 8 km 8 % aller untersuchten Bäume mit Kalzium unterversorgt, 8 % mit Magnesium, 13 % mit Phosphor und sogar 20 % mit Kalium. Nach Baumarten aufgegliedert sind im Raster 69 % der Kiefern, 51 % der Buchen, 33 % der Fichten und nur 9 % der Eichen mit mindestens einem der Hauptnährstoffe unterversorgt. Eine Unter-versorgung mit Stickstoff kommt so gut wie nicht vor. Eine einzige unterversorgte Buche wurde in den höheren Lagen des Sauerlandes gefunden.

### Prozentanteil der Über- und Unterversorgung der BZE-II-Probestämme

	N	P	K	Mg	Ca
Buche	59 %	28 %	23 %	3 %	22 %
Eiche	37 %	9 %	0 %	2 %	0 %
Stieleiche	41 %	5 %	0 %	0 %	0 %
Traubeneiche	31 %	15 %	0 %	4 %	0 %
Fichte	58 %	0,7 %	28 %	4,3 %	0,7 %
Kiefer	94 %	17 %	8 %	53 %	2,8 %
4 Hauptbaumarten	58 %	13 %	20 %	8 %	8 %

Datenbasis: bundesweites Raster von 8 x 8 km; Beprobung NRW

Extrem überversorgt; unterversorgt

Tabelle 2: Prozentanteil der Über- (N) und Unterversorgung (P, K, Mg und Ca) der BZE-II-Probestämme



Probenbearbeitung im LANUV

Die relativ hohen Stickstoff-Mittelwerte werden durch die Anteile extrem überversorgter Probebäume bestätigt! Dieser Anteil schwankt landesweit zwischen 30 und 60 Prozent. Das Mittel über alle 4 Hauptbaumarten hinweg liegt im Raster von 8 x 8 km bei 58 %. Nur die Kiefer als Baumart, die größtenteils in den stärker stickstoffbelasteten Gebieten im Flachland vorkommt, weist mit 94 % der Bäume einen weit höheren Anteil der Überversorgung auf. Ab einem Wert von mehr als 23.000 mg/kg TS werden bei der Kiefer Wuchsanomalien wie schlechte Verholzung der Spitzentriebe erwartet, die eine Vitalitätsgefährdung z. B. durch Frosteinfluss oder Schadinsekten nach sich ziehen kann. Der Anteil solch gefährdeter Kiefern liegt sogar bei 30 %!

Das Fehlen von Ernährungswerten früherer Jahre aus dem BZE-II-Erhebungskollektiv macht es notwendig, bezüglich der Einordnung des Ernährungsniveaus die Zeitreihe der IWE-Ergebnisse heranzuziehen. Zum Zeitpunkt der BZE II erreichten Buchen und Eichen die niedrigsten Phosphorgehalte der 10 Jahre zuvor begonnenen Zeitreihe, verbunden mit einem starken Anstieg des Anteils entsprechend unterversorgter Bäume. Fichten und Kiefern zeigten in ihren länger zurückreichenden Zeitreihen genau die entgegengesetzte Tendenz. Auch die negative Entwicklung bei den mittleren Kaliumgehalten der Buchen und Eichen ist in Fichten- und Kiefernbeständen nicht zu erkennen. Der Unterversorgungsanteil mit Kalium veränderte sich jedoch bei allen Baumarten kaum.

### Mittelwerte der Hauptnährelemente in Blättern und Nadeln

	N	P	K	Mg	Ca	Anzahl Probeebäume
Buche 2008	25650	1143	6376	1440	5322	354
Buche 2003	23621	1231	6851	1171	6023	
Buche 1998	25260	1309	6369	1328	6742	
Eiche 2007	28987	1354	6711	1548	5781	249
Eiche 2002	24945	1411	7295	1472	5424	
Eiche 1997	28407	1427	7838	1267	6321	
Fichte 2008	17261	1641	4083	1346	3800	180
Fichte 2003	15060	1489	4091	828	3907	
Fichte 1998	14567	1462	3671	1050	3622	
Fichte 1993	15447	1597	4423	990	3244	
Fichte 1988	15469	1445	4819	734	3017	
Kiefer 2006	21755	1601	5518	966	3339	105
Kiefer 2001	16794	1614	4908	776	3250	
Kiefer 1996	18266	1362	5195	701	2565	
Kiefer 1991	19452	1490	5490	760	3039	

Werte in mg/kg Trockensubstanz = ppm (parts per million)

Gute Versorgung
Mittlere Versorgung
Unterversorgung

Tabelle 3: Mittelwerte der Hauptnährelemente in Blättern und Nadeln, Immissionsökologische Waldzustandserfassung

### Prozentanteil der unter- und überversorgten Waldbestände in NRW

	Stickstoff		Phosphor		Kalium		Magnesium		Kalzium	
	0	65	20	0	16	18	2	49	25	3
Buche 2008	0	65	20	0	16	18	2	49	25	3
Buche 2003	1	25	9	0	13	36	13	26	12	7
Buche 1998	0	58	8	2	17	21	9	33	12	16
Eiche 2007	0	37	12	0	0	1	4	0	0	11
Eiche 2002	0	1	4	0	0	2	4	0	0	7
Eiche 1997	0	24	7	1	0	7	7	0	0	10
Fichte 2008	0	50	0	3	27	0	0	23	0	13
Fichte 2003	8	5	7	2	30	0	45	2	0	27
Fichte 1998	3	2	5	0	43	0	7	3	0	12
Fichte 1993	3	7	0	0	18	0	18	3	0	5
Fichte 1988	0	3	2	2	5	0	55	0	0	3
Kiefer 2006	0	97	9	3	3	0	49	0	3	6
Kiefer 2001	5	41	16	3	11	0	81	0	5	0
Kiefer 1996	0	76	19	0	3	0	95	0	16	0
Kiefer 1991	0	81	14	0	0	0	89	0	5	0

Unterversorgt; stark überversorgt, eventuelle schädliche Wirkung nur bei Stickstoff bekannt

Den Anteil „normal“ versorgter Bestände erhält man durch Abzug beider Prozentzahlen von 100 %

Tabelle 4: Prozentanteil der unter- und überversorgten Waldbestände in NRW, Immissionsökologische Waldzustandserfassung (Jahresbericht 2009 LANUV, S. 12)

Zeigte die Buche 2008 den niedrigsten Kalziumgehalt der Zeitreihe bei gleichzeitiger Verdoppelung der Unterversorgung und die Kiefer den höchsten Kalziumgehalt, so änderte sich das Niveau der Eichen und Fichten kaum.

Eine besonders positive Entwicklung nahm der Magnesiumgehalt aller 4 Baumarten, die durchweg die höchsten Werte der Zeitreihe erreichten. Ob und inwieweit Einflüsse der Kompensationskalkung hierbei eine Rolle spielten, muss noch durch weitergehende statistische Auswertungen untersucht werden.

Die Stickstoff-Gehalte aller vier Hauptbaum- und auch beider Eichenarten stiegen gegenüber den Vorerhebungen der IWE sprunghaft an. Die extreme Überversorgung erreichte zum Zeitpunkt der BZE II nie zuvor beobachtete Anteile. Besonders auffällig war der Anstieg des Überversorgungsprozents von 5 auf 50 bei der Fichte. Während

bei der Kiefer der Anstieg auf die heiße Witterung im Probenahmejahr 2006 zurückgeführt werden kann, scheint für die anderen Baumarten der Einfluss von Kyrill eine wesentliche Rolle gespielt zu haben. Höherer Lichtgenuss nach Sturmschäden im Bestand oder Nachbarbestand haben den Humusumsatz gefördert. Erste Auswertungen von Vegetationsaufnahmen auf Schiefergebirgslehmen (siehe „Natur in NRW“ Heft 2/2008, S. 56) zeigten ebenso einen sprunghaften Anstieg von Stickstoffgeigern in den BZE-Beständen.

Insgesamt gesehen zeigen die Erhebungen der BZE II und der IWE eine meist positive Entwicklung der Ernährungssituation, mit allerdings leichten Abstrichen bei der Buche mit drei Elementen, der Eiche und Fichte mit jeweils einem Element und der Kiefer mit einem immer noch großen Problem beim Magnesium.



Buchen-Eichen-Mischbestand auf Lehm am Niederrhein

## Ernährungssituation und bodenkundliche Einflüsse

In diesem Kapitel soll auf übergeordnete und grundsätzliche Zusammenhänge der Elementgehalte mit Boden-Versauerungstypen und Substratklassen eingegangen werden. Da hier nicht die landesweite Repräsentanz der

Ergebnisse, sondern die fachlichen Zusammenhänge im Vordergrund stehen, basiert die zugrunde liegende Auswertung auf der größeren Datenmenge aller Daten der Gesamterhebung in 292 Untersuchungsbeständen.

### Boden-Versauerungstypen

Die bodenkundlichen Auswertungen der BZE II zeigten eine deutliche Klassifizierungsmöglichkeit aller Böden in vier verschiedene Boden-Versauerungstypen:

- Typ 1: Böden mit hoher Basensättigung im Ober- und Unterboden
- Typ 2: Böden mit geringer Basensättigung im Ober- und hoher Basensättigung im Unterboden
- Typ 3: Böden mit hoher Basensättigung im Ober- und geringerer Basensättigung im Unterboden
- Typ 4: Böden mit geringer Basensättigung im Ober- und Unterboden

Eine detaillierte Beschreibung dieser Boden-Versauerungstypen ist im Artikel „Ergebnisse der Zweiten Bodenzustandserhebung im Wald – BZE II (2006–2008) – zur Bodenversauerung und Waldkalkung“ in diesem Waldzustandsbericht zu finden.

Buchen, Fichten und Kiefern des Erhebungskollektivs sind in allen Boden-Versauerungstypen exzessiv mit Stickstoff überversorgt. Nur die Eichen und besonders die Traubeneichen bleiben zum Teil unter dem für sie geltenden Grenzwert von 30000 mg/kg TS. Die höchsten Stickstoffgehalte werden zumeist beim Boden-Versauerungstyp 1 erreicht. Dort ist auch der höchste Anteil übermäßig versorgter Bäume mit 71 % über alle Baumarten hinweg zu finden. Mitverantwortlich hierfür ist der hohe Anteil der Bäume in diesem Boden-Versauerungstyp, die im Bereich stärker stickstoffbelasteter Regionen stocken.

Alle Baumarten zeigen auf allen Versauerungstypen eine zumindest mittelmäßige Phosphor- und eine meist mittlere bis gute Kalium-, Magnesium- und Kalziumversorgung. Besonders heben sich Buchen beim Magnesium und Fichten bei Magnesium und Kalzium auf fast allen Versauerungstypen durch eine gute Versorgung positiv hervor. Negativ fallen Buchen und Kiefern durch ihren Kalzium- bzw. Magnesium-Mittelwert im Unterversorgungsbereich auf dem Versauerungstyp 3 auf!

Ein stärker differenziertes Bild ergibt sich bei der Betrachtung der Versorgungsengpässe:

Über alle Baumarten hinweg fällt beim Phosphor der am stärksten versauerte Boden-Versauerungstyp 4 durch die geringsten Anteile einer Unterversorgung auf. Die höchsten Ernährungsdefizite zeigen sich bei dem Boden-Versauerungstyp 2. Buchen und Eichen lassen besonders auf dem Versauerungstyp 3 starke Phosphordefizite erkennen.

Beim Kalium zeigt besonders der Boden-Versauerungstyp 1 eine gute Versorgung, während die landesweit sichtbaren Probleme der Buchen und Fichten mit dem Kalium (Tabelle 2) verstärkt auf Böden des Versauerungstyps 4 deutlich werden. Hier sind ein Drittel der Buchen und über die Hälfte der Fichten unterversorgt! Aber auch auf dem Versauerungstyp 3 ist noch jede vierte Buche und Fichte betroffen.



Im Umbau befindlicher Kiefernbestand in der Nordeifel

## Mittelwerte der Nadel-/Blattgehalte auf Böden der 4 Versauerungstypen

	Buche	Eiche	Stieleiche	Traubeneiche	Fichte	Kiefer
Boden-Versauerungstyp	Anzahl Bäume					
1	60	46	41	5	18	15
2	57	38	32	6	39	15
3	48	42	15	27	93	72
4	63	36	22	14	51	48
Boden-Versauerungstyp	N	N	N	N	N	N
1	27100	30820	30642	32274	18189	19293
2	25818	30167	30214	32274	18033	21427
3	25429	27737	29085	26987	17909	22563
4	25579	29424	30210	28189	17227	21679
Boden-Versauerungstyp	P	P	P	P	P	P
1	1197	1401	1397	1437	1801	1600
2	1153	1448	1488	1235	1651	1435
3	1081	1238	1402	1147	1614	1691
4	1147	1466	1551	1332	1669	1663
Boden-Versauerungstyp	K	K	K	K	K	K
1	7254	7988	8136	6770	5947	5292
2	6429	7151	7090	7476	4932	5175
3	5943	5836	6021	5733	4820	5769
4	5944	7143	7574	6466	3687	5689
Boden-Versauerungstyp	Mg	Mg	Mg	Mg	Mg	Mg
1	1470	1493	1530	1194	1277	1278
2	1424	1526	1527	1517	1270	947
3	1126	1288	1410	1221	1108	864
4	1580	1542	1537	1551	1435	1037
Boden-Versauerungstyp	Ca	Ca	Ca	Ca	Ca	Ca
1	6950	7789	7896	6909	7191	3087
2	5665	5841	5724	6464	4977	3545
3	3750	4479	4820	4290	3699	3065
4	5485	5967	6248	5525	4225	3811

Werte in mg/kg Trockensubstanz = ppm (parts per million)

Gute Versorgung (bei N exzessive Überversorgung)

Mittlere Versorgung

Unterversorgung

Tabelle 5: Mittelwerte der Nadel-/Blattgehalte auf Böden der 4 Versauerungstypen der BZE II

Prozentanteile exzessiver Überversorgung (N) und Unterversorgung (P, K, Mg, Ca)							
	Buche	Eiche	Stieleiche	Traubeneiche	Fichte	Kiefer	Alle Hauptbaumarten
Boden-Versauerungstyp	Anz. Bäume	Anz. Bäume	Anz. Bäume	Anz. Bäume	Anz. Bäume	Anz. Bäume	Anz. Bäume
1	60	46	41	5	18	15	139
2	57	38	32	6	39	15	149
3	48	42	15	27	93	72	255
4	63	36	22	14	51	48	198
Boden-Versauerungstyp	N	N	N	N	N	N	N
1	73 %	65 %	63 %	80 %	67 %	87 %	71 %
2	70 %	65 %	52 %	67 %	74 %	100 %	70 %
3	50 %	21 %	40 %	11 %	62 %	100 %	64 %
4	63 %	47 %	64 %	21 %	51 %	98 %	66 %
Boden-Versauerungstyp	P	P	P	P	P	P	P
1	13 %	11 %	10 %	20 %	0 %	13 %	11 %
2	25 %	13 %	3 %	67 %	0 %	33 %	16 %
3	38 %	26 %	7 %	37 %	1 %	4 %	13 %
4	24 %	6 %	5 %	7 %	0 %	2 %	9 %
Boden-Versauerungstyp	K	K	K	K	K	K	K
1	10 %	0 %	0 %	0 %	6 %	7 %	6 %
2	19 %	0 %	0 %	0 %	5 %	20 %	10 %
3	29 %	7 %	0 %	11 %	24 %	0 %	15 %
4	33 %	0 %	0 %	0 %	55 %	0 %	25 %
Boden-Versauerungstyp	Mg	Mg	Mg	Mg	Mg	Mg	Mg
1	2 %	4 %	2 %	20 %	6 %	13 %	4 %
2	4 %	8 %	9 %	0 %	0 %	40 %	7 %
3	13 %	10 %	0 %	15 %	10 %	61 %	25 %
4	10 %	6 %	5 %	7 %	0 %	25 %	10 %
Boden-Versauerungstyp	Ca	Ca	Ca	Ca	Ca	Ca	Ca
1	8 %	0 %	0 %	0 %	0 %	7 %	4 %
2	16 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	6 %
3	65 %	2 %	0 %	4 %	1 %	6 %	15 %
4	19 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	6 %
Anteil exzessiver Überversorgung				Anteil unzureichender Versorgung bis Mangel			
Höchster Wert; niedrigster Wert							

Tabelle 6: Prozentanteile exzessiver Überversorgung (N) und der Unterversorgung (P, K, Mg, Ca) auf Böden der 4 Versauerungstypen der BZE II

Die Buche lässt auf Böden des Versauerungstyps 3 deutliche Schwächen in der Kalziumversorgung erkennen. Hier liegt der mittlere Blattgehalt an Kalzium schon unter dem Grenzwert von 4000 mg/kg TS und der Anteil unterversorgter Bäume bei 65 %. Warum die Buche allerdings auf den deutlich stärker versauerten Böden des Typs 4 ein erheblich besseres Bild abgibt, muss noch genauer untersucht werden.

Der zuvor schon öfters hervorgehobene Boden-Versauerungstyp 3 ist auch bei der Magnesiumversorgung aller

vier Hauptbaumarten sehr auffällig. Dort ist jeder vierte Baum mit Magnesium unterversorgt. Die Kiefer kommt sogar bei 61 % der Bäume nicht über eine Unterversorgung hinaus. Dieses ist insofern erstaunlich, als die Kiefer trotz eines Pfahlwurzelsystems den Hauptanteil ihrer Feinstwurzeln, die maßgeblich für die Nährstoffaufnahme verantwortlich sind, im Oberboden ausbildet, der hier bei diesem Boden-Versauerungstyp basenreich ist! Aber selbst auf den basenreichen Böden des Versauerungstyps 1 weist die Kiefer den höchsten Defizitanteil aller vier Hauptbaumarten auf.

### Mittelwerte der Nadel-/Blattgehalte auf Böden der Substratklassen

	Buche	Eiche	Stieleiche	Traubeneiche	Fichte	Kiefer
	Anz. Bäume	Anz. Bäume	Anz. Bäume	Anz. Bäume	Anz. Bäume	Anz. Bäume
Sand	39	35	29	6	15	114
Lehm	69	51	35	16	51	15
Schiefergebirgslehm	72	39	12	27	105	3
Kalkverwitterungslehm	48	37	34	3	24	9
	N	N	N	N	N	N
Sand	26388	29317	29174	30008	18700	22229
Lehm	25872	28801	29351	27633	18206	20680
Schiefergebirgslehm	25528	28435	30338	27590	17237	23567
Kalkverwitterungslehm	27007	31971	31936	32367	18092	18778
	P	P	P	P	P	P
Sand	1118	1519	1530	1463	1702	1712
Lehm	1162	1333	1361	1273	1724	1388
Schiefergebirgslehm	1125	1209	1506	1129	1565	1052
Kalkverwitterungslehm	1203	1473	1469	1524	1784	1527
	K	K	K	K	K	K
Sand	6551	7177	7222	6959	5969	5766
Lehm	6743	6642	6738	6432	4423	5128
Schiefergebirgslehm	5696	5990	6694	5921	4418	4146
Kalkverwitterungslehm	7117	8413	8583	6491	5596	5437
	Mg	Mg	Mg	Mg	Mg	Mg
Sand	1095	1524	1436	1948	1012	941
Lehm	1469	1467	1486	1427	1307	958
Schiefergebirgslehm	1510	1353	1700	1216	1252	899
Kalkverwitterungslehm	1491	1483	1543	800	1232	1414
	Ca	Ca	Ca	Ca	Ca	Ca
Sand	4240	5730	5740	5678	4915	3274
Lehm	5818	5693	5791	5477	4179	3717
Schiefergebirgslehm	4961	4620	5516	4448	3948	2866
Kalkverwitterungslehm	7574	8271	8274	8238	6566	3675

Werte in mg/kg Trockensubstanz = ppm ( parts per million)

Gute Versorgung (bei N exzessive Überversorgung)    Mittlere Versorgung    Unterversorgung

Tabelle 7: Mittelwerte der Nadel-/Blattgehalte auf Böden der Substratklassen der BZE II

Eine unterschiedliche Nährstoffversorgung auf Flach- und Berglandstandorten in den verschiedenen Boden-Versauerungstypen deutet sich gelegentlich auch bei anderen Nährstoffen als dem Stickstoff an, ist aber nur selten signifikant! Bei Buchen, Eichen und Fichten sind meist die Elementgehalte in Berglandbeständen höher. Die Kiefer zeigt eine gegenteilige Tendenz.

### Substratklassen

Eine bodenabhängige Auswertung der Ernährungssituation der Bäume ist wegen der großen Vielfalt der verschiedensten Bodentypen und Bodensubstrate der BZE II recht schwierig. Zur Vereinfachung wurde daher auf eine grobe Zusammenfassung der Waldböden in 5 Substratklassen zurückgegriffen. Diese Substratklassen kommen zumeist sowohl im Flach- als auch im Bergland vor und bieten den Waldbeständen recht einheitliche Wuchsbedingungen. Die vier Hauptbaumarten stocken zu 28 % auf „Sand“, zu 30 % auf „Lehm“, zu 26 % auf „Schiefergebirgslehm“, zu 15 % auf „Kalkverwitterungslehm“ und zu 1 % auf „Ton“. Wegen der geringen Anzahl von Probanden (6 Buchen) wird auf eine Auswertung zur Substratklasse „Ton“ verzichtet.

„Sand“ kommt stark überwiegend im Flachland vor. Hier werden Sandlöss, Fließerden, Flugsande und fluviatile Sande zusammengefasst.

„Schiefergebirgslehm“ ist ein Berglands substrat mit relativ einheitlichen Wuchsvoraussetzungen.

„Lehm“ ist zu etwas mehr als der Hälfte im Flachland zu finden und umfasst überwiegend Lösslehm, Fließerden und fluviatile Ablagerungen.

„Kalkverwitterungslehm“ ist die nährstoffmäßig reichste Substratklasse, die ähnlich häufig wie der „Lehm“ im Flachland vorkommt. Sie fasst kalkreiche fluviatile Ablagerungen sowie Löss- und Geschiebelehme zusammen.

Ähnlich wie bei den Boden-Versauerungstypen sieht man auch bei den Substratklassen eine von der Klassifizierung unabhängige Verteilung von Stickstoff-Mittelwerten. Diese bewegen sich bei fast allen Hauptbaumarten überwiegend im Bereich der exzessiven Überversorgung. Die Eiche zeigt dieses Niveau allerdings nur auf den „Kalkverwitterungslehmen“, wobei auftretende Unterschiede zwischen Stiel- und Traubeneichen nicht signifikant sind. Unterschiede zwischen Flach- und Berglandstandorten sind außer bei der Fichte auf „Sand“ ebenfalls nicht signifikant.

Die Phosphor-Gehalte der Nadeln und Blätter bewegen sich in allen Substratklassen größtenteils auf einem mittleren Niveau. Buchen und Eichen zeigen besonders auf „Schiefergebirgslehmen“ und „Lehmen“ höhere Unter-versorgungsraten.

Insgesamt sind bei allen Baumarten mindestens mittlere Versorgungsverhältnisse mit Kalium zu erkennen. Während auch beim Kalium die „Schiefergebirgslehme“ bei den Mittelwerten und Defizitraten am schlechtesten abschneiden, liegen „Sande“ und „Kalkverwitterungslehme“ im Durchschnitt vorne. Die Kalium-Probleme der Buchen und Fichten (Tabelle 2) werden besonders deutlich auf den „Schiefergebirgslehmen“, aber auch auf „Sanden“ (Buche) und „Lehmen“ (Fichte).



Lichter Fichtenbestand nach Kyrill auf Schiefergebirgslehm im Sauerland

## Prozentanteile exzessiver Überversorgung (N) und Unterversorgung (P, K, Mg, Ca)

	Buche	Eiche	Stieleiche	Traubeneiche	Fichte	Kiefer	Alle Hauptbaumarten
	Anz. Bäume	Anz. Bäume	Anz. Bäume	Anz. Bäume	Anz. Bäume	Anz. Bäume	Anz. Bäume
Sand	39	35	29	6	15	114	203
Lehm	72	39	12	27	105	3	219
Schiefergebirgslehm	69	51	35	16	51	15	186
Kalkverwitterungslehm	42	37	34	3	24	9	112
	N	N	N	N	N	N	N
Sand	64 %	46 %	45 %	50 %	80 %	99 %	82 %
Lehm	58 %	28 %	50 %	19 %	52 %	100 %	51 %
Schiefergebirgslehm	65 %	35 %	41 %	25 %	75 %	100 %	62 %
Kalkverwitterungslehm	81 %	84 %	85 %	67 %	71 %	78 %	79 %
	P	P	P	P	P	P	P
Sand	21 %	3 %	3 %	0 %	0 %	3 %	6 %
Lehm	35 %	26 %	0 %	37 %	1 %	100 %	18 %
Schiefergebirgslehm	22 %	18 %	14 %	25 %	0 %	13 %	14 %
Kalkverwitterungslehm	12 %	3 %	3 %	0 %	0 %	22 %	7 %
	K	K	K	K	K	K	K
Sand	26 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	5 %
Lehm	29 %	8 %	0 %	11 %	34 %	67 %	28 %
Schiefergebirgslehm	13 %	0 %	0 %	0 %	24 %	7 %	12 %
Kalkverwitterungslehm	10 %	0 %	0 %	0 %	4 %	11 %	5 %
	Mg	Mg	Mg	Mg	Mg	Mg	Mg
Sand	26 %	11 %	14 %	0 %	0 %	46 %	33 %
Lehm	3 %	10 %	0 %	15 %	5 %	33 %	5 %
Schiefergebirgslehm	4 %	8 %	9 %	6 %	8 %	47 %	10 %
Kalkverwitterungslehm	0 %	3 %	0 %	33 %	0 %	11 %	2 %
	Ca	Ca	Ca	Ca	Ca	Ca	Ca
Sand	51 %	0 %	0 %	0 %	0 %	3 %	11 %
Lehm	26 %	3 %	0 %	4 %	1 %	0 %	10 %
Schiefergebirgslehm	13 %	2 %	3 %	0 %	0 %	14 %	6 %
Kalkverwitterungslehm	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %

Anteil exzessiver Überversorgung

Anteil unzureichender Versorgung bis Mangel

Höchster Wert; niedrigster Wert

Tabelle 8: Prozentanteile exzessiver Überversorgung (N) und der Unterversorgung (P, K, Mg, Ca) in den Substratklassen der BZE II

Die Magnesiumversorgung ist in fast allen Substratklassen für Buchen, Eichen und Fichten als überwiegend gut einzustufen. Die Kiefer kommt allerdings nur auf den „Kalkverwitterungslehmen“ auf ein besseres Versorgungsniveau und zeigt auf allen anderen Substraten große Defizite. Erhöhte Unterversorgungsraten sind zum Teil auch bei Buchen und Eichen vorhanden, sodass bei der Beurteilung über alle Baumarten hinweg der „Sand“ mit 33 % Unterversorgung am schlechtesten abschneidet. Die höchsten Unterversorgungsprozente erreicht sie auf „Lehmen“ und „Sanden“.

Besonders die Fichte zeigt in allen Substratklassen ein hohes Niveau der Kalziumversorgung, die anderen Baumarten jedoch nur auf den „Kalkverwitterungslehmen“, wo die Kiefer allerdings nicht ganz das Niveau der anderen Baumarten erreicht. Die Unterversorgungsrate der Eichen, Fichten und Kiefern ist gering bis sehr gering. Einzig die Buche zeigt trotz mittlerer Kalziumgehalte der Blätter doch einige Versorgungsengepässe: Jede zweite Buche auf „Sanden“ und jede vierte auf den „Schiefergebirgslehmen“ ist unterversorgt.

## Kalkungseinfluss auf „Schiefergebirgslehmen“

Erste Auswertungen bezüglich der Kalkungseinflüsse auf das Ernährungsniveau wurden im Bereich der „Schiefergebirgslehme“ als einer bodenkundlich recht homogenen Substratklasse für Buchen und Fichten durchgeführt. Die Auswertungen beruhen auf den Analysedaten aus 30 Fichten- und 18 Buchenbeständen, die auf Schiefergebirgslehmen im Raster von 8 x 8 km stocken.

17 der 30 Fichtenbestände sind ungekalkt, 13 gekalkt. Bei der Buche finden sich 7 ungekalkte gegenüber 8 gekalkten Beständen. Die Schwierigkeit bei der Interpretation der Ergebnisse besteht allerdings darin, dass nur zwei verschiedene Kollektive miteinander verglichen werden können, aber ein Vergleich der Zustände vor und nach einer Kalkung nicht möglich ist.

### Fichte

Die Fichte erreicht nur beim Magnesium auf den gekalkten Flächen deutlich höhere Nadelgehalte als auf den ungekalkten. Allerdings ist dort der Anteil gut versorgter Bäume kaum erhöht. Beim Kalzium zeigt sich ein gegenteiliges Bild, indem die gekalkten Flächen zwar minimal geringere Kalzium-Nadelgehalte aufweisen, aber einen deutlich größeren Anteil gut versorgter Bäume. Als drittes Element, das wegen seines Antagonismus zum Kalzium in der biologischen Substanz bei einer Kalkung interessant

ist, sollte auch das Kalium betrachtet werden. Hier sieht man, dass die Fichtenbestände auf den ungekalkten Böden besser mit Kalium ausgestattet sind. Zusätzlich muss noch erwähnt werden, dass der in Tabellen nicht dargestellte Aluminium-Gehalt der Nadeln auf den ungekalkten Flächen um 9 % höher ist, was auf einen höheren Versauerungsgrad hinweist.

### Mittelwerte und Unter-/Übersorgungsprozente von Fichten

Fichte	N	P	K	Mg	Ca	Anzahl Bäume
alle SMP	17329	1547	4348	1235	3961	90
gekalkt	16941	1521	4055	1319	3949	39
ungekalkt	17625	1567	4572	1170	3970	51
Diff-%, gekalkt/ungekalkt	-4 %	-3 %	-11 %	13 %	-1 %	
gekalkt; Unter-/Übersorgung	46 %	100 %	15 %	46 %	85 %	39
ungekalkt; Unter-/Übersorgung	71 %	100 %	18 %	41 %	65 %	51

Werte in mg/kg Trockensubstanz = ppm (parts per million)

Gute Versorgung (bei N exzessive Übersorgung)

Mittlere Versorgung

Unterversorgung

Tabelle 9: Mittelwerte und Unter-/Übersorgungsprozente von Fichten auf gekalkten und ungekalkten Schiefergebirgslehmen der BZE II

## Buche

Die Buche zeigt auf gekalkten Flächen bei den Elementen Kalzium und Magnesium erheblich und beim Kalium mäßig höhere Werte als auf ungekalkten Flächen. Beim Kalzium stehen 25 % gut versorgter Bäume auf gekalkten Flächen 40 % unterversorgten Bäumen auf ungekalkten Böden gegenüber. Der entsprechende Unterschied beider Kollektive ist beim Magnesium erheblich geringer. Beim Kalium zeigen gekalkte Flächen ein geringeres Defizitprozent als die ungekalkten. Der Versauerungsindikator Aluminium erreicht auf den ungekalkten Flächen 31 % höhere Blattgehalte als auf den gekalkten.

Sowohl Buchen- als auch Fichtenbestände auf Schiefergebirgslehmen zeigen deutliche Unterschiede auf gekalkten und ungekalkten Böden. Kompensationskalkungen mit zumeist magnesiumhaltige Kalken führten häufig zu erhöhten Magnesium- und Kalziumgehalten der Blätter und Nadeln in gekalkten Beständen. Dieses bestätigt die Ergebnisse der IWE-Zeitreihen, wo zumindest bei der

Fichte deutliche positive Auswirkungen der Kalkungen beim Magnesium und Kalzium in Vergleich vor und nach der Kalkung gefunden wurden.

Die unterschiedliche Ernährungssituation der Fichten und Buchen beim Kalium auf gekalkten Standorten lässt sich durch die unterschiedlichen Wurzelsysteme und die bisher gezeigte Tiefenwirkung der Kalkungen erklären. Während die Fichte ihre Feinstwurzeln hauptsächlich in den obersten 30–40 cm der Böden konzentriert, wo durch die Kalkungseinflüsse die Kaliumaufnahme erschwert ist, erreicht die Buche auch tiefer gelegene unbeeinflusste Horizonte, wo sie noch verstärkt Kalium aufnehmen kann. Die ebenfalls in der IWE deutlich gewordenen Probleme der Fichte mit Kalium auf gekalkten Standorten sollten weiterhin beobachtet werden. Konkrete Handlungsempfehlungen lassen sich in diesem Auswertungsstadium noch nicht ableiten.

### Mittelwerte und Unter-/Übersorgungsprozente von Buchen

Buche	N	P	K	Mg	Ca	Anzahl Bäume
alle SMP	25492	1173	5602	1671	5086	54
gekalkt	25800	1130	5884	1898	5803	24
ungekalkt	26119	1200	5737	1346	3852	21
Diff-%, gekalkt/ungekalkt	-1 %	-6 %	3 %	41 %	51 %	
gekalkt; Unter-/Übersorgung	75 %	25 %	25 %	100 %	25 %	24
ungekalkt; Unter-/Übersorgung	40 %	10 %	40 %	90 %	40 %	21
Werte in mg/kg Trockensubstanz = ppm (parts per million)						
Gute Versorgung (bei N exzessive Übersorgung)		Mittlere Versorgung		Unterversorgung		

Tabelle 10: Mittelwerte und Unter-/Übersorgungsprozente von Buchen auf gekalkten und ungekalkten Schiefergebirgslehmen der BZE II



Foto: Genßler

Beprobung mittels baumschonender Seilklettermethode

## Zusammenfassung

Landesweit ist eine überwiegend mittlere bis gute Nährstoffversorgung der Hauptbaumarten mit den Hauptnährstoffen (N, P, K, Mg und Ca) festzuhalten. Besonders hervorzuheben ist die gute Versorgung der Buchen mit Magnesium sowie der Fichte und Stieleiche mit Kalzium. Die hohen Stickstoffgehalte bei allen Baumarten weisen auf eine starke Belastung durch Einträge hin und werden zum Teil auch auf Auswirkungen des Sturms Kyrill in 2007 zurückgeführt. Auffällige Nährstoffengpässe sind besonders in den Kiefernbeständen bei Magnesium zu erkennen. Diese starken Engpässe wurden in fast allen Substratklassen und allen Bodenversauerungstypen gefunden. Die Buchen haben zwar geringere, aber immer noch deutliche Probleme mit Phosphor, Kalium und Kalzium. Hierbei spielen der Boden-Versauerungstyp 3 und die Substratklassen „Schiefergebirgslehm“ und „Sand“ eine große Rolle. Die Ernährungssituation der Fichten hat sich gegenüber den 1980er Jahren bei Magnesium und Kalzium erheblich verbessert. Gleichzeitig entwickelte sich jedoch ein Problem beim Kalium und das besonders auf gekalkten Flächen. Die größte Unterversorgung ist hier auf stark versauerten Böden der Bodensubstrate „Lehm“ und „Schiefergebirgslehm“ zu finden. Die Eichen und besonders die Stieleichen zeigen insgesamt die geringsten Unterversorgungsraten.

Über alle Baumarten hinweg weist der basenreiche Boden-Versauerungstyp 1 die wenigsten Versorgungsempässe auf, während Typ 3 mit stark versauertem Unterboden das Schlusslicht darstellt. Bei den Bodensubstraten zeigt ebenfalls die basenreichste Variante („Kalkverwitterungslehm“) die geringste Unterversorgungsrate. Die „Schiefergebirgslehme“ schneiden hierbei am schlechtesten ab. Gerade dieses Bodensubstrat wurde in Richtung Kalkungseinfluss untersucht und zeigte in Buchen- und Fichtenbeständen deutliche Versorgungsunterschiede zwischen gekalkten und ungekalkten Böden: Bäume auf gekalkten Böden weisen eine eindeutig bessere Magnesium- und Kalziumversorgung auf. Fichten zeigen dort allerdings – anders als die Buchen – Versorgungsprobleme mit Kalium an.

Bundesweit steht der Phosphor bei den BZE-II-Auswertungen im Fokus. In Nordrhein-Westfalen sind ein Viertel der Buchen und jeweils ein Sechstel der Kiefern und Traubeneichen unterversorgt. Höhere Unterversorgungsraten sind besonders auf „Schiefergebirgslehmen“ und „Lehmen“ sowie bei den Versauerungstypen 2 und 3 zu finden. Fichten haben mit diesem Element kein Problem.



Fichtenproben vor und nach Trocknung in LANUV-Labor

## Fazit

Die Nadel- und Blattuntersuchungen der BZE II liefern wertvolle Hinweise auf den Ernährungszustand der Waldbäume und weisen auf die Hintergründe und Zusammenhänge der Baumernährung mit den Bodenressourcen hin. Die vorgestellten ersten Auswertungen auf Grundlage recht grober Klassifizierungen lassen schon einige Zusammenhänge erkennen. Doch wird ebenso deutlich, dass weitergehende intensivere wie z. B. multivariate statistische Auswertungen notwendig sind, um die Zusammenhänge besser beleuchten zu können.

Als wichtigste Ergebnisse der bisherigen Auswertungen für die Praxis sollten die massive Magnesium-Unterversorgung der Kiefern, die Unterversorgung der Buchen mit Phosphor, Kalium und Kalzium und das Kaliumproblem bei Fichten besonders auf Kalkungsflächen festgehalten werden. Hier sind weitere Beobachtungen und eventuell auch gegensteuernde Maßnahmen notwendig.



## Die Waldschutzsituation der Eichen in Nordrhein-Westfalen

### Die Luft ist immer sauberer und die Eichenvitalität immer schlechter geworden

Obwohl sich die Belastung der Wälder durch luftgetragene Schadstoffe, welche für die „neuartigen Waldschäden“ verantwortlich gemacht werden, in den letzten 24 Jahren erheblich verringerte (siehe Abbildung 1), haben die deutlichen Schäden bei der Eiche stetig zugenommen. Die Ursache ist mit hoher Wahrscheinlichkeit in einem ständigen Stress biotischer und abiotischer Faktoren zu suchen. Die Stressoren können aufgrund der unten angeführten Zusammenhänge ihrer Wichtigkeit nach für Nordrhein-Westfalen wie folgt geordnet werden: Blattfraß durch Eichenfraßgesellschaft > Spätfrost > Mehltaubefall > Eichenprachtkäferbefall > Sommertrockenheit/ Hitze oder Vernässungskomplex (Witterungsextreme) > Blattfraß durch Eichenprozessions- und/oder Schwammspinner und ggf. Feinwurzelabriss durch Stürme (siehe Abbildung 2).

Grundvoraussetzung für das Zustandekommen von „Eichensterben“ ist in der Regel der Frühjahrsblattraß durch Schmetterlingsraupen. In welcher Größenordnung sich die Vitalität von Schmetterlingsraupen in den letzten Jahren erhöhte, ist nicht bekannt. Es kann jedoch davon ausgegangen werden, dass gut mit Stickstoff versorgte Eichenblätter auf der einen Seite eine schnelle und vitale Entwicklung von Schmetterlingsraupen bewirken. Auf der anderen Seite ist anzunehmen, dass, wie bei Pappeln nachgewiesen, dadurch auch bei Eichenblättern der Gehalt an Abwehrstoffen gegen Raupen (Phenole, Tanni-

ne, Phenolglycoside) auf 20 % des möglichen Levels sinken kann<sup>14)</sup>. Durch die Maßnahmen der Luftreinhaltung tendieren zwar die Schwefeleinträge seit Jahren gegen „null“, die Stickstoffeinträge stagnieren allerdings auf hohem Niveau (siehe Abbildung 1). Das ist gut für die Schmetterlingsraupen und schlecht für die Eichen. Aber erst wenn sich neben dem Raupenfraß weitere Faktoren nahezu zeitgleich einstellen, kommt es zum Absterben von Eichen. Dieses sind grundsätzlich: Winter- und Spätfürste, Mehltreibfall und Raupenfraß der wärmeliebenden Eichenprozessions- und Schwammspinner. Sommer-

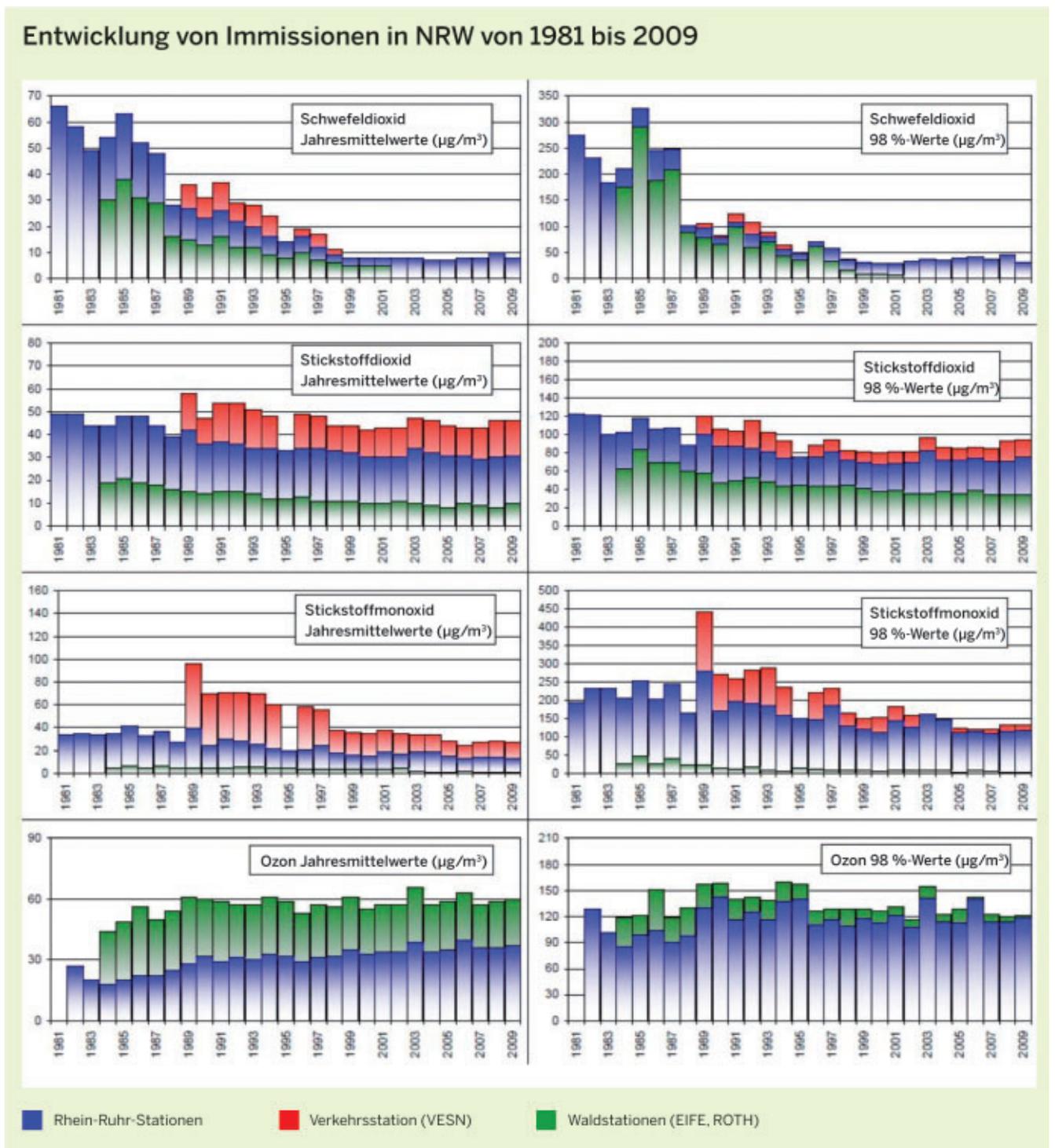


Abbildung 1: Entwicklung von Immissionen in NRW von 1981 bis 2009<sup>8)</sup>

### Abfolgen von Raupenfraß, Mehltau und Witterungsextremen

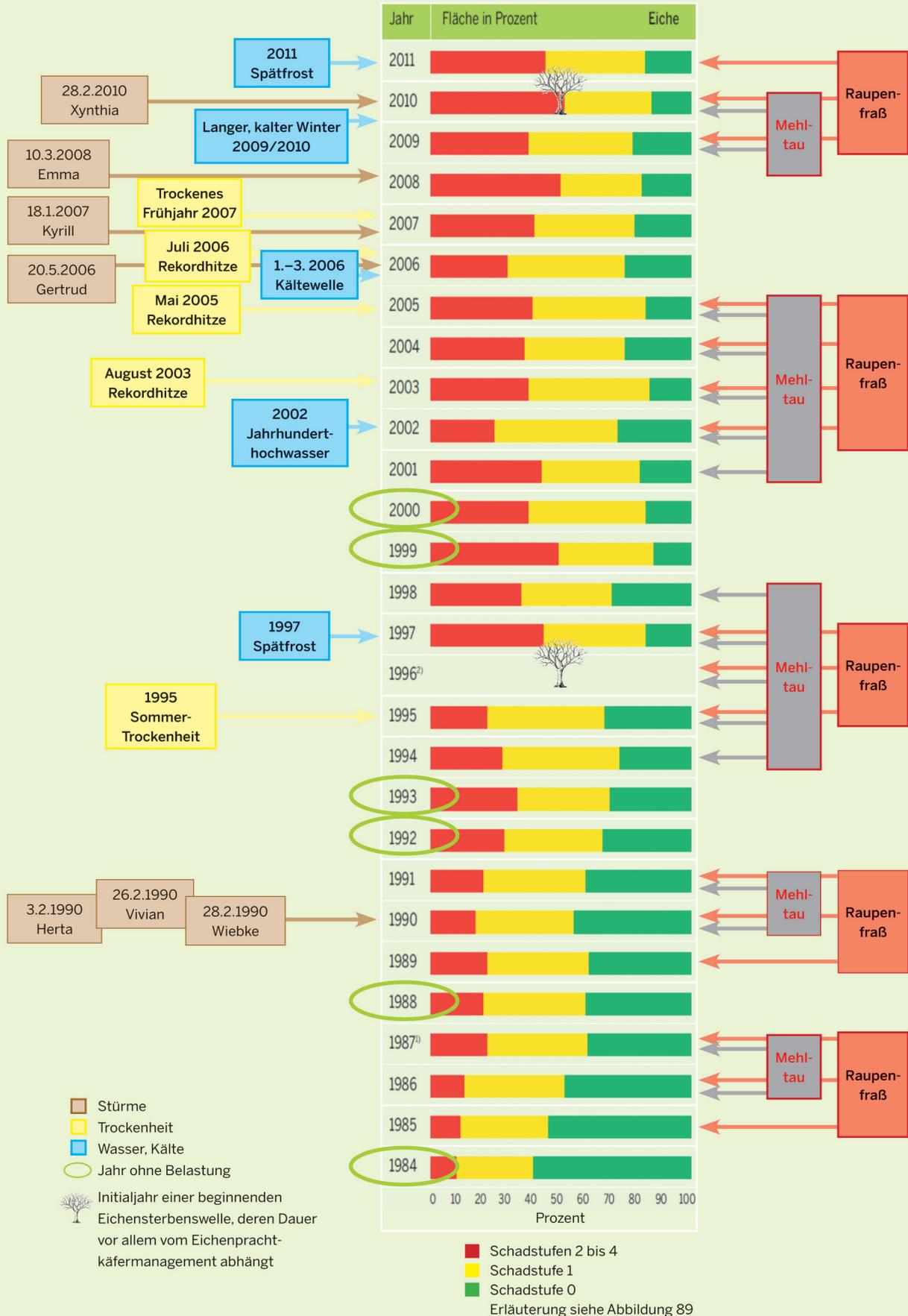


Abbildung 2: Die Eichenvitalitätsentwicklung hat sich in den letzten 24 Jahren ständig verschlechtert. Als Ursachen sind biotische und abiotische Stressoren anzusehen. (5, 10, 15, 16, 17, 18, 19)

trockenheit und vor allem Eichenprachtkäferbefall stellen dabei wichtige verschärfende und beschleunigende Faktoren dar. Etablierter Eichenprachtkäferbefall ruft ohne Gegenmaßnahmen ein über mehrere Jahre währendes, tödlich verlaufendes Siechtum von Eichen hervor. Bei der bisher stärksten nordrhein-westfälischen Eichensterbenswelle in den Jahren 1999 bis 2003 starben insgesamt ca. 60.000 Festmeter (FM) mit einem Jahresmaximum in 2001 mit ca. 18.000 FM ab<sup>11)</sup>. Bei einem landesweit nachhaltigen und jährlichen Eichenhiebsatz von 470.000 FM betrug der Schadholzanfall somit weniger als 6 % und war auf dieser Ebene nicht als Kalamität einzustufen. Bei einzelnen Waldbesitzern lagen allerdings die Schäden über den Hiebsätzen.

Bei wasserbeeinflussten Böden bewirkt Blattfraß und Ausfall von Eichen eine zunehmende Vernässung des Standortes und eine damit einhergehende weitere Devitalisierung der Eichen. Wie kommt es dazu? Eichen entziehen durch die Verdunstung über die Blätter den Böden Wasser. Entfallen diese „Pumpen“, werden die Böden nasser, kälter, sauerstoffärmer und damit für die verbleibenden Eichen schlechter durchwurzelbar. Dies mag die in Abbildung 3 für die letzten zehn Jahre dargestellte höhere Häufigkeit stärkerer Blattverlustprozente bei der vor

allem auf wasserbeeinflussten Standorten wachsenden Stieleiche gegenüber den gesünderen Traubeneichen erklären. Ob eine Vitalitätsabhängigkeit vom Standort besteht, kann wegen der hierfür zu geringen Aufnahmedichte der Waldzustandserhebung nicht abgeleitet werden. Abbildung 3 zeigt zudem die wichtige Bedeutung des Blattfraßes, wo deutliche Vitalitätsunterschiede der beiden Eichenarten vor allem nach den landesweit weit verbreiteten Fraßsituationen vor 2002 und vor 2011 ins Auge springen. Aus dem Bienwald in Rheinland-Pfalz ist bekannt, dass auch massiver Schwammspinnerbefall (1992–1994) in Eichenbeständen auf stark wechselfeuchten Böden (Stagnogleye) in Verbindung mit Vernässung durch die fehlende „Wasserpumpe“, hohen Niederschlägen im Sommer und Sauerstoffarmut im Boden zu 100%igen Ausfallraten führen kann<sup>4)</sup>.

In einem nordrhein-westfälischen Späteeichenbestand, der weitgehend vom Fraß der Eichenfraßgesellschaft (1995–1997) verschont blieb, war kein Eichensterben zu finden<sup>15)</sup>. Bei slawonischen Eichen werden neben dem Fraßgeschehen vor allem Sommertrockenheit, Mehltau und Eichenprachtkäferbefall als auslösende und verstärkende Faktoren des Eichensterbens genannt<sup>15)</sup>.

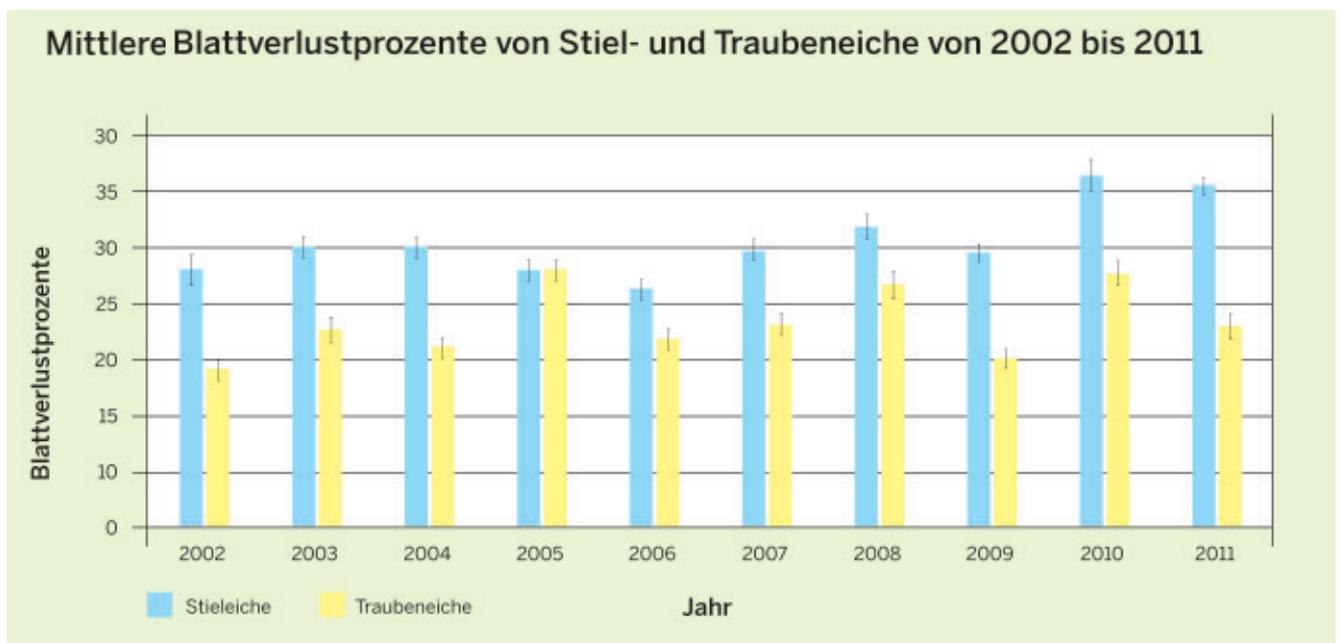
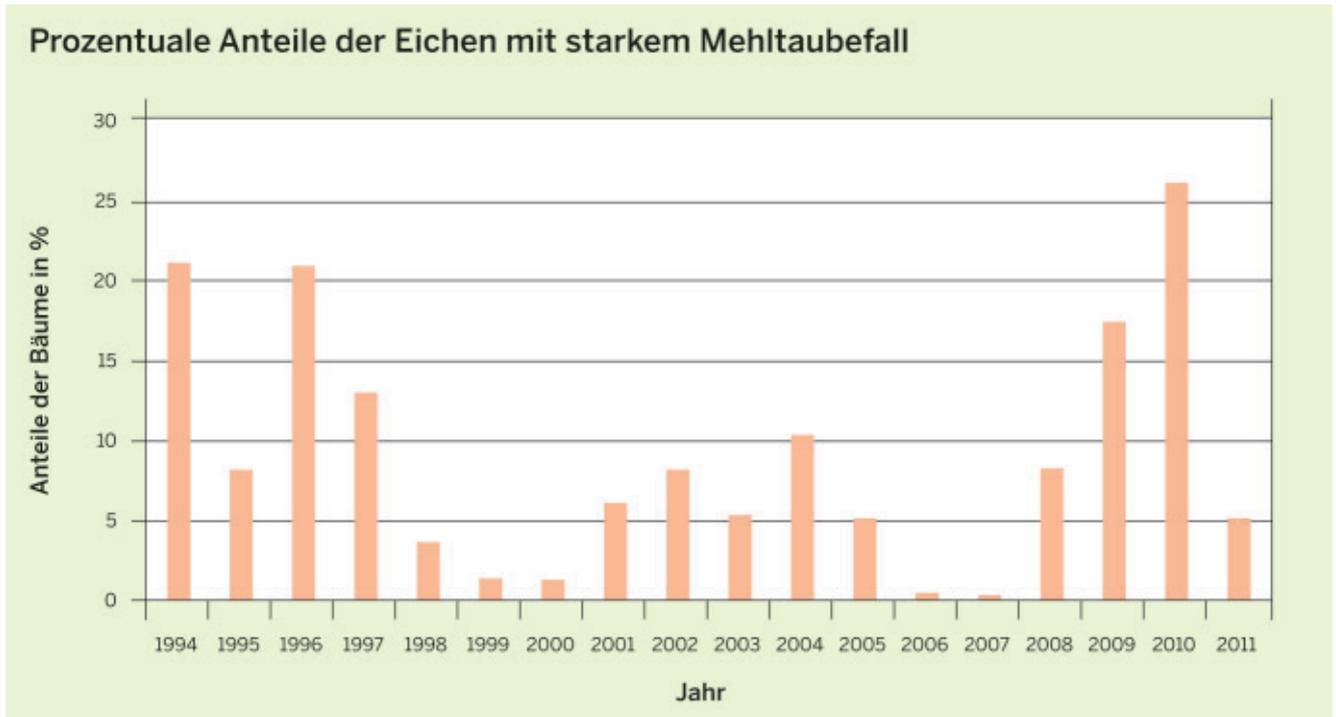


Abbildung 3: Mittlere Blattverlustprozente von Stiel- und Traubeneiche von 2002 bis 2011, aus Daten der Waldzustandserhebungen NRW. Signifikanzniveau: 95 %. <sup>6, erweitert</sup>

Abbildung 4: Mehltaubefall in Eichendauerbeobachtungsflächen NRW<sup>20)</sup>

### Eichensterben entsteht initial durch Energiemangel

Der Schlüssel zum Verständnis der Zusammenhänge bei der Komplexkrankheit „Eichensterben“ liegt im Verbrauch von Kohlehydraten und bei den besonderen Risikofaktoren ringporiger Hölzer<sup>2)</sup>. Eichen legen im Frühjahr bereits vor dem Laubaustrieb das aus großen, sehr leistungsfähigen, ringporigen, ein bis zwei Jahre funktionstüchtigen Wasserleitgefäßen gebildete Frühholz an. Wie dieser Vorgang wird auch der anschließende Laubaustrieb mit den im Vorjahr eingelagerten Reservestoffen bestritten. Werden die Blätter von Raupen vernichtet, treiben schlafende Knospen aus und bilden ebenso aus diesen Reservestoffen einen Regenerationstrieb. Kann die Eiche mit diesen Blättern und auch mit den zusätzlich gebildeten Johannistrieben durch Fotosynthese Traubenzucker herstellen, so kann einerseits Spätholz mit kleinen, etwa drei bis fünf Jahre funktionstüchtigen Wasserleitgefäßen gebildet und können andererseits die Reservespeicher wieder aufgefüllt werden. Auf diese Weise schöpfen Eichen neue Kraft und sterben nicht ab. In den späten 1990er Jahren gelang dies vielen Eichen nicht. Auch in 2010, einem landesweit starken Fraßjahr, waren viele Eichen wegen der sehr starken Infektionen der Regenerations- und der Johannistriebe durch Mehltaupilze (siehe Abbildung 4) nicht in der Lage, die aufgebrauchten Reservespeicher aufzufüllen. Im darauf folgenden Jahr trieben viele Eichen gar nicht oder sehr spärlich aus und starben bereits im Laufe des Jahres ab (Abbildung 5)<sup>12, vergl. 9)</sup>. Wegen des mehrjährigen Raupenfraßes standen in 2011 nur die großen und frostanfälligen Ringporen des Frühholzes für den Wassertransport



Abbildung 5: In 2010/2011 abgestorbene Eiche – Aufnahme Juli 2011

zur Verfügung. Es muss davon ausgegangen werden, dass in 2011<sup>12)</sup> wie auch in 1996<sup>1)</sup> zusätzlich Spätfröste die Wasserleitgefäße des Frühholzes schädigten.

### Jetzt anstehende Maßnahmen

Dem Waldbauern steht als wichtigste Option zur Vereitelung des Eichensterbenskomplexes die Unterbindung des Blattfraßes mittels Pflanzenschutzmitteln zur Verfügung. Neben den Zielorganismen werden dabei stets auch geduldete oder sogar erwünschte Insekten getroffen. Von entscheidender Bedeutung ist demnach eine flächengenaue Ausweisung besonders stark gefährdeter Bestände, um die ökologischen „Nebenwirkungen“ solcher Behandlungen möglichst klein zu halten. Nicht immer führte nämlich starker Kahlfraß in Verbindung mit weiteren Einflüssen zwangsläufig zu Eichensterben<sup>3)</sup>. Stark gefährdete Bestände sind solche, welche im Sommer Blattverlustprozente von mehr als 60 % aufweisen und bei denen der Reservestoffspeicher im Holz nur gering gefüllt ist. Als Maß zur Abschätzung dieses „Speicherfüllstandes“ dient die Regenerationsfähigkeit nach Larvenfraß. Folgende Regel ist bei der Entscheidung einer Befliegung anzuwenden: „Die Gefahr extremer Ausfälle und damit die Notwendigkeit einer Bekämpfung werden nur angenommen, wenn nach Kahlfraß die Regeneration des Laubes stark ‚gestört‘ ist und im Folgejahr erneut erhebliche Fraßschäden drohen.“<sup>3)</sup>

Welche stark gefährdeten Eichenbestände in 2013 gegen Raupenfraß ggf. zu schützen sind, werden die derzeit laufenden Maßnahmen zur Überwachung der Populationen des Kleinen Frostspanners und des Grünen Eichenwicklers zeigen. Nur wenn solche Untersuchungen durchgeführt und die dokumentierten Ergebnisse einem nach neuem Pflanzenschutzrecht nunmehr erforderlichen Antrag hinzugefügt werden, kann der Landesbetrieb Wald und Holz solche Behandlungen genehmigen. Nähere Informationen können den diesbezüglichen Info- und Warnmeldungen des Landesbetriebes Wald und Holz entnommen werden. In Abbildung 7 sind Handlungsnotwendigkeiten zur Überwachung der Vitalitätsentwicklungen von Eichen und von an Eichen vorkommenden Schadorganismen zusammengestellt.

Die zweite Option besteht darin, den Befall mit Eichenprachtkäfern möglichst vollständig zu beseitigen (Prinzip der sauberen Forstwirtschaft). Grundsätzlich steht es dem Waldbesitzer im Rahmen ordnungsgemäßer Forstwirtschaft und unter Berücksichtigung nachbarschafts- und naturschutzrechtlicher Belange jedoch frei, wie er mit solchen Gefährdungssituationen umgeht. Zeigen die Eichen bei Kronenansprachen im August/September Blattverlustprozente von mehr als 75 % und Totastanteile von mehr als 30 %, sind diese wegen der bereits eingestetzten Eichenprachtkäfer unrettbar verloren und scheiden für Pflanzenschutzmittelbehandlungen zum Schutz vor Raupenblattfraß im Folgejahr aus. Je nach Zielsetzung sind dann folgende Handlungsalternativen denkbar:



Abbildung 6, Luftbild: Bei der Eichensterbenswelle in den Jahren 1997 bis 2003 waren in Bereichen ohne forstliche Maßnahmen durch nachfolgenden Eichenprachtkäferbefall hervorgerufene Klumpungseffekte absterbender Alteichen deutlich zu erkennen. Die Eichen wurden mittels GPS eingemessen. (Alt-FA Bonn, FBB Buschhoven, Maßstab 1:5.000)

#### a) Belassen absterbender Eichen als Habitatbäume

Absterbende oder abgestorbene Eichen stellen unter allen Baumarten die wichtigsten Lebensräume für holzbewohnende Käfer dar<sup>13)</sup>. Von 960 in NRW vorkommenden Totholzkäferarten sind 304 an Holz und 175 an Mulm gebunden<sup>7)</sup>. Beim Umsetzen dieses Zieles muss jedoch mit einer über mehrere Jahre anhaltenden Eichensterbenswelle gerechnet werden. Dabei können Absterbenester mit mehreren Eichen auftreten (siehe Abbildung 6) und unter Umständen auf stark stauwasserbeeinflussten Böden (Stagnogleye) und bei zunehmenden sommerlichen Niederschlagssituationen ggf. ganze Bestände absterben (siehe o. a. Beispiel des Bienwaldes).

#### b) Nutzung absterbender Eichen

Beim Umsetzen dieses Zieles waren bereits im Winter 2011/2012 und sind im kommenden Winter 2012/2013 solche Eichen einzuschlagen und die Stämme incl. des Kronenderbholzes bis März aus dem Wald abzufahren, um dem Ausbreiten von Eichenprachtkäfern und damit einem unter a) beschriebenen ggf. lang anhaltenden, chronischen Eichensterben zuvorzukommen. Am stehenden Stamm können gegen Eichenprachtkäfer keine Pflanzenschutzmittel eingesetzt werden. In Beständen mit Hallimaschbefall sind die Stöcke sehr tief nachzuschneiden, um den Pilz zu schwächen.

#### Zusammenfassung

In den letzten 24 Jahren haben die deutlichen Schäden bei der Eiche stetig zugenommen. Als Ursachen sind abiotische und vor allem biotische Stressoren zu nennen. 1996 und 2010 gelten als Initialjahre von beginnenden Eichensterbenswellen. Die Dauer des aktuellen, landesweit in unterschiedlichen Intensitäten ablaufenden Eichensterbens ist von den in den Jahren 2011 und 2012 eingeleiteten und in 2013 noch durchzuführenden Maßnahmen abhängig. Zentrale Bedeutung hat dabei die von Eigentümern zu treffende Entscheidung über die Vorgehensweise bei Raupenfraß und Eichenprachtkäferbefall.

## Eichenvitalitätsüberwachungsmaßnahmen zur Minimierung von „Eichensterben“

	lfd. Nr.	Maßnahme	Maßnahme
jährliches Routinemonitoring	1	Waldzustandserhebung	terrestrische Bonituren des Blattverlustprozentages u. a.
	2	erweiterte Waldzustandserhebung	terrestrische Bonituren
	3	Frostspannermonitoring	<ul style="list-style-type: none"> <li>Leimringkontrollen an Eichenstämmen 1 Probebestand pro 100 HA</li> <li>kritische Zahl = 1 Weibchen/cm Leimring bei vorgeschädigten Beständen -&gt; kritische Zahl = 0,8</li> </ul>
	4	Eichenwicklermonitoring	<ul style="list-style-type: none"> <li>Raupenschlupfkontrollen in Photoelektoren mit Zweigen aus Eichenoberkronen</li> <li>kritische Zahl (Übergang zur Massenvermehrung) = 1e Larve/Knospe</li> </ul>
	5	Eichenprozessionsspinnerbonitur	terrestrische Bonituren: Erfassung des Vorkommens an Bestandesrändern (Rand) und/oder im Bestandesinnern (Bestand)
	6	Schwammspinnermonitoring	mit Pheromonfallen Kritische Zahl = 1.000 Falter/Gesamtflugzeit <ul style="list-style-type: none"> <li>1-3 Fallen/100 ha</li> </ul> <ul style="list-style-type: none"> <li>Anflugzahl/Falle über gesamte Flugzeit bei Überschreiten kritischer Zahlen siehe unten</li> </ul>
	7	Phänologieuntersuchungen	<b>Festhalten des Austriebszeitpunktes der Waldbäume</b>
zu Beginn der Massenvermehrung von <ul style="list-style-type: none"> <li>Frostspanner und Eichenwickler</li> <li>Schwammspinner</li> <li>Eichenprozessionsspinner</li> </ul>	8	jährliches Routinemonitoring	lfd. Nr. 1 bis 7
	9	Fraßbonituren im Frühjahr	terrestrische Bonituren
	10	Regenerationsbonitur nach Frühjahrsfraß von Frostspanner und Eichenwickler	terrestrische Bonituren zur Erfassung devitalisierter Bestände; Kartografische Darstellung zur Vorbereitung einer ggf. erforderlichen aviotechnischen Behandlung im darauffolgenden Frühjahr
	11	Schwammspinner	Eiablageprognose <ul style="list-style-type: none"> <li>Linie oder Probekreis à 10 Bäume</li> <li>1-3 Stichproben à 100 ha</li> </ul> <ul style="list-style-type: none"> <li>durchschnittliche Anzahl neuer Eigelege/Stamm (Sichthöhe) Krit. Zahl = 1 Gelege/Stamm bei Vorschädigung 0,5 Gelege/Stamm</li> </ul>
	12	Eichenprozessionsspinner- Fraßbonitur	terrestrische Bonituren: nur bei Frühjahrsfraß durch Eichenfraßgesellschaft -> Erfassung des Blattverlustprozentages <ul style="list-style-type: none"> <li>bei Lichtfraß ist kritische Grenze erreicht</li> </ul>
	13	Mehltaubefallsbonitur	terrestrische Bonituren: Erfassung des Befallsgrades von Ersatz- und Johannistrieben
Während und nach der Massenvermehrung blattfressender Insekten	14	Sanitärhieb auf Eichen mit Eichenprachtkäferbefall	bis April des Folgejahres Einschlag der befallenen Eichen und Abtransport der Stämme, einschließlich des Kronenrestholz bis Derbholtzgrenze, aus den Beständen

Abbildung 7: Dauerhafte und bei Bedarf aktivierbare Eichenvitalitätsuntersuchungsmaßnahmen zur Verringerung von „Eichensterben“

	Erläuterung	Monate												Ziel
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
	landesweite Aussagen zur Stiel- und Traubeneiche	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-	Weiterführung der Zeitreihe
	regionale und standort-spezifische Aussagen	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-	Finden von Bonitur-verdichtungsbereichen
	regionale Aussagen	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X	X	Kenntnis über Beginn, Verlauf und Ende von Massen-vermehrungen  In Verbindung mit der Regenerationsbonitur (Ifd. Nr. 10) auch zur Festlegung einer aviotechnischen Bekämpfung
	bestandesbezogene Aussagen	-	X	X	X	-	-	-	-	-	-	-	-	
		-	-	-	-	-	-	X	X	-	-	-	-	
		-	-	-	-	-	-	X	X	-	-	-	-	
	regionale Aussagen	-	-	X	X	X	-	-	-	-	-	-	-	Kenntnis über die Verlängerung der Vegetationszeit
	bestandesbezogene Aussagen	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	ggf. Festlegen einer aviotech-nischen Bekämpfung
		-	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-	
		-	-	-	-	-	X	X	-	-	-	-	-	
		-	X	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		-	X-	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-	
		-	-	-	-	-	X	X	-	-	-	-	-	
		X	X	X	X	-	-	-	-	-	X	X	X	Verhinderung der Ausbreitung von Eichenprachtkäfern

#### 74 Die Waldschutzsituation der Eichen in Nordrhein-Westfalen

- 1) Blank, R. und Leuschner, H. H. (2002): Dendroökologische Untersuchungen in Eichenbeständen Norddeutschlands; Gutachten im Auftrag der LÖBF NRW
- 2) Blank, R. (1992): Ringporigkeit des Holzes und häufige Entlaubung durch Insekten als spezifische Risikofaktoren der Eichen, Forst und Holz 9, S. 235–242
- 3) Blank, R. und Hartmann, G. (2004): Möglichkeit der Prognose von „Eichensterben“ extremer Ausprägung; in: Bericht zur Fachtagung: Vitalität und genetische Variabilität der Eiche in Nordrhein-Westfalen, LÖBF NRW
- 4) Delb, H. (1996): Untersuchungen der Folgeschäden nach Fraß durch Schwammspinner (*Lymantria dispar*) im Bienwald 1993/94 – Konzept und erste Ergebnisse; in: Massenvermehrung von Forstschmetterlingen, Mitteil. der BBA, Heft 322
- 5) Falkenried, L. (2011): Waldzustandbericht 2011, Landesbetrieb Wald und Holz NRW
- 6) Falkenried, L. (2012): Gegenüberstellung der Blattverlustprozente von Stiel- und Traubeneiche aus den Daten der Waldzustandserhebungen NRW 2002 bis 2011, unveröffentl.
- 7) Köhler, F. (2000): Tothholzkäfer in Naturwaldzellen des nördlichen Rheinlands; Schriftenreihe der LÖBF/LAFAO NRW, Band 18, S. 1–352
- 8) lanuv.nrw.de (2011)
- 9) Lobinger, G. (1999): Zusammenhänge zwischen Insektenfraß, Witterungsfaktoren und Eichenschäden, LWF Bericht Nr. 19, S. 89
- 10) LWK WL und RL (1985 bis 1997): Jahresberichte der Landwirtschaftskammern Westfalen-Lippe, Münster und Rheinland, Bonn
- 11) Niesar, M. (2004): Die Eiche aus der Sicht des Wald-/Forstschutzes in Nordrhein-Westfalen; in: Bericht zur Fachtagung: Vitalität und genetische Variabilität der Eiche in Nordrhein-Westfalen, LÖBF NRW
- 12) Niesar, M., Geisthoff, N., Wießner, M. (2012): Waldschutzsituation in NRW 2011 von Eichenschäden dominiert, AFZ-Der Wald, S. 29–31
- 13) Palm, T. (1951): Die Holz- und Rindenkäfer der nordschwedischen Laubbäume – Meddelanden fran Statens Skogsforskningsinstitut, Bd. 40, Nr. 2, S. 1–242
- 14) Topp, W., Kulfan, S., Mergel, S., Zach, P. (1998): Massenvermehrung von phyllophagen Schmetterlingen in Laubwäldern des Rheinlandes, anz. Schädlingkde. PflSchutz, Umweltschutz 71, S. 88–93
- 15) Wachter, H. (2011): Die Stieleiche (*Quercus robur* L.) slawonischer Herkunft in Westfalen und am Niederrhein; Verlag Kessel, S. 146
- 16) [www.munichre.com](http://www.munichre.com)
- 17) [www.sturmarchiv.ch](http://www.sturmarchiv.ch)
- 18) [www.wetter-extrem.de](http://www.wetter-extrem.de)
- 19) Ziegler, C. (2009): Einflussfaktoren auf den Kronenzustand und den Zuwachs von Waldbäumen – Auswertung von Daten der Level-II-Flächen in NRW; unveröffentlicht
- 20) Ziegler, C. (2012): Mehлтаubonituren in Eichendauerbeobachtungsflächen NRWs der LANUV NRW, unveröffentlicht

## Broschüre Waldzustandsbericht NRW 2012 – Kurzfassung –



Die Kurzfassung des Waldzustandsberichtes NRW 2012 liegt als Kleinbroschüre des Ministeriums für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz NRW vor und kann auf der Website des Ministeriums [www.umwelt.nrw.de](http://www.umwelt.nrw.de) eingesehen, abgerufen und dort auch bestellt werden.

# Impressum

## Herausgeber

Ministerium für Klimaschutz, Umwelt,  
Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz  
des Landes Nordrhein-Westfalen (MKULNV)  
Referat Öffentlichkeitsarbeit

## Fachredaktion

MKULNV, Referat III-2 Waldbau, Klimawandel im Wald,  
Holzwirtschaft

Landesbetrieb Wald und Holz NRW  
Lehr- und Versuchsforstamt Arnsberger Wald  
Schwerpunkt Waldplanung, Waldinventur, Waldbewertung

## Fachtexte

Landesbetrieb Wald und Holz NRW:  
Lutz Falkenried  
Dr. Mathias Niesar

Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz NRW (LANUV):  
Dr. Joachim Gehrmann  
Lutz Genßler

## Gestaltung

dot.blue – communication & design

## Stand

Oktober 2012



Ministerium für Klimaschutz,  
Umwelt, Landwirtschaft, Natur-  
und Verbraucherschutz des  
Landes Nordrhein-Westfalen  
Schwannstraße 3  
40476 Düsseldorf  
Telefon 02 11 45 66-0  
Telefax 02 11 45 66-3 88  
infoservice@mkulnv.nrw.de  
www.umwelt.nrw.de

