



# Der Waldzustand 2003 in Nordrhein-Westfalen



## Impressum

Herausgeber:

Landesanstalt für Ökologie, Bodenordnung  
und Forsten Nordrhein-Westfalen (LÖBF)

Castroper Straße 30  
D-45665 Recklinghausen

Telefon 0 23 61. 305-0

Fax 0 23 61. 305-700

Internet [www.loebf.nrw.de](http://www.loebf.nrw.de)

e-mail [dez24@loebf.nrw.de](mailto:dez24@loebf.nrw.de)

Redaktion:

Vorgelegt durch die begleitende Arbeitsgruppe  
zum Ökologischen Umweltmonitoring im Wald:

Dr. Joachim Gehrmann,  
LÖBF Recklinghausen (Leiter d. Arbeitsgruppe)  
Horst Dürholt, HF Rheinland  
Mathias Niesar, LWK Bonn  
Ludwig Radermacher, LUA Essen  
Manfred Stemmer, HF Westfalen-Lippe  
Ronald Steudte-Gaudich, GD Krefeld

Bildnachweis:

Titelbild und Seite 23:  
Martina Wengelinski

Gestaltung und Satz:

LÖBF Recklinghausen  
Dezernat für Presse, Öffentlichkeitsarbeit  
Drucktechnik und Bibliothek  
Ulrike Vollmer

# Inhaltsverzeichnis

<b>0</b>	<b>Zusammenfassung</b>	
	J. GEHRMANN Das Wichtigste in Kürze	4
<b>1</b>	<b>Vitalität der Waldbäume</b>	
	L. FALKENRIED Kronenzustand der Waldbäume im Jahr 2003	7
	M. NIESAR Pilzliche und tierische Organismen und deren Auswirkungen auf die Vitalität der Waldbäume	11
<b>2</b>	<b>Umwelteinflüsse mit unmittelbarer Wirkung</b>	
	J. HEGERFELD UND J. GEHRMANN Die Wetterlage zum Waldzustandsbericht	14
	L. RADERMACHER UND J. GEIGER Zeitliche Entwicklung der Luftschadstoffkonzentrationen in Waldbeständen im Zeitraum 1993-2002/03	18
<b>3</b>	<b>Umwelteinflüsse mit Langzeitwirkung</b>	
	J. GEHRMANN, R. BECKER UND T. SPRANGER Neue Grundlagen für die Berechnung von Critical Loads und deren Überschreitung durch Stoffeinträge	24
	R. BECKER UND J. GEHRMANN Folgenabschätzung von Luftreinhaltemaßnahmen mit Hilfe des dynamischen Stoffhaushaltmodells SAFE	29

# Das Wichtigste in Kürze

DR. JOACHIM GEHRMANN, LÖBF RECKLINGHAUSEN

Die Einschätzung vieler Beobachter, dass die seit zwei Jahren zunehmende Vitalität des Waldes hauptsächlich durch günstige Witterungseinflüsse begründet war, die Waldökosysteme jedoch in einem labilen Zustand verharren, hat sich in diesem Jahr bestätigt. Hierzu liefert der Bericht über den ökologischen Zustand des Waldes 2003 die wichtigen Eckdaten und fachliche Wertungen.

## Stagnation nach zwei Jahren Erholung – deutlich weniger gesunde Bäume

Die *Hauptergebnisse der Waldzustandsinventur* beruhen auf der Schadansprache von fast 10.000 Baumkronen in einem systematischen Inventurnetz mit einer räumlichen Auflösung von 4x4km. Danach sind die deutlichen Schäden (24%) im nordrhein-westfälischen Wald unverändert geblieben. Die schwachen Schäden haben um 6% zugenommen, während sich der Anteil der Bäume ohne Schadmerkmale um 6% vermindert hat. In 20 Jahren hat sich der Anteil gesunder Bäume mehr als halbiert. Erstmals sind damit Bäume mit deutlichen Schäden nahezu ebenso häufig im Wald anzutreffen wie vollständig belaubte Bäume (27%). Gleichzeitig steigt der Anteil schwacher Schäden, die sog. Warnstufe, auf 49%. Besonders hart hat es in diesem Jahr wieder die Eichen getroffen.

Die Ursache für die Zunahme schwacher Schäden ist beim außergewöhnlich heißen Sommerwetter und den Folgewirkungen von Vorbelastungen zu suchen. Eindeutige Hinweise darauf ermöglichen sowohl die aktuellen Messdaten und Beobachtungen aus dem forstlichen Umweltmonitoring als auch die 20jährige Inventurreihe zum Kronenzustand (vgl. Abbildung 1), in dessen Kontext die diesjährige Waldzustandserhebung zu sehen ist.

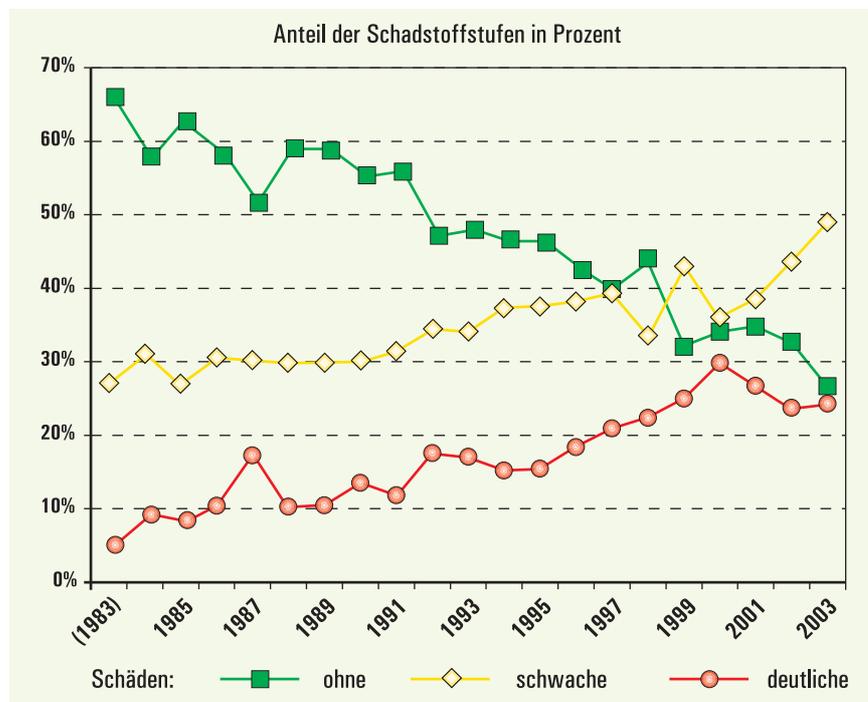


Abb. 1: Belaubungszustand der Baumkronen in den Jahren 1984 -2003 auf der Waldfläche des Landes Nordrhein-Westfalen.

### DIE ERGEBNISSE DER KRONEN-ZUSTANDSERHEBUNG IM EINZELNEN:

Unter den Nadelbäumen hat sich der Zustand der *Fichten* am wenigsten verändert. Die deutlichen Schäden sind nur schwach (+1%) angestiegen, während die deutlichen Schäden bei der *Kiefer* um 5% zugenommen haben. Bei beiden Baumarten liegt der Anteil dieser Schadstufe jetzt bei 20%. Auf die Benadelungsdichte der Kiefern haben sich Feinwurzelschäden in Kombination mit Nadelpilzbefall negativ ausgewirkt. Wahrscheinlich deswegen haben die Kiefern besonders anfällig auf die Trockenheit des Sommers 2003 reagiert.

Bei den Laubbäumen sind in diesem Jahr völlig gegenläufige Entwicklungen festzustellen, die auf Baumarten spezifische Sondereinflüsse zurückzuführen sind. Wie bei der außergewöhnlichen Sommerhitze nicht anders zu erwarten war, haben die *Eichen* hierauf mit starken Laubverlusten reagiert. Auch die deutlichen Schäden sind

sprunghaft um 11% auf nunmehr 40% angestiegen. Damit ist die Eiche wieder die mit Abstand am stärksten geschädigte Baumart. Der extreme Wechsel von Vernässung der Böden im Vorjahr zu ausgeprägter Trockenheit in diesem Jahr hat hauptsächlich der Stieleiche auf flachgründigen Stauwasserböden heftig zugesetzt. Der Trockenstress wurde deshalb zu einer erheblichen Belastung, da die Eichen bereits durch blattfressende Insekten sowie den Eichenprachtkäferbefall in den Vorjahren erheblich geschwächt waren.

Der Rückgang deutlicher Schäden bei der *Buche* um 12% scheint der allgemeinen, durch Trockenstress dominierten Situation nicht zu entsprechen. Da jedoch im letzten Jahr mehr als 60% der Buchen Eckern getragen haben (= mittelstarke Mast), setzte sich bei den über 60 Jahre alten Buchen in diesem Jahr eine deutliche Erholung durch. Es spricht für die Elastizität der Baumart, dass sie zu dieser Gegenreaktion trotz Trockenstress fähig war.

**ZUR URSACHENBEWERTUNG** des aktuellen Kronenzustandes standen in diesem Jahr Ergebnisse der LÖBF von Waldklimastationen, Ozonmessungen des LUA im Wald und Informationen der Pflanzenschutzdienste der LWK's zur Verfügung:

► Im Herbst und Winter 2002 hatte es viel geregnet, so dass in den Waldböden zu Beginn der Vegetationszeit 2003 ein ausreichender Wasservorrat für den Aufbau neuer Blattmasse zur Verfügung stand.

Von Juni bis August traten *sehr hohe Lufttemperaturen* auf. In den höheren Lagen der Mittelgebirge herrschten im Juni Temperaturverhältnisse wie im Tiefland. Im August wurden örtlich die höchsten Werte seit Beginn der Wetteraufzeichnung gemessen. Die Niederschläge lagen im Tiefland im Juni und August um 40% bzw. 55% unter ihrem langjährigen Mittel. So stellte sich schon im Juni auf leichten und flachgründigen Böden die erste Trockenheit ein. Nach ergiebigen Niederschlägen in der zweiten Julihälfte verschärfte sich im August die *Trockenheit* erheblich und ließ die meisten Böden, jetzt auch in größerer Tiefe austrocknen.

► Der trockenheiße Sommer setzte eine *Borkenkäfermassenvermehrung* in Gang. Besonders stark wurden Fichtenbestände vom Buchdrucker besiedelt. Wegen der Ausbildung von bis zu drei Generationen und der Anlage von Geschwisterbruten hat sich hier ein hohes Gefährdungspotential aufgebaut. In südwestlich exponierten Fichtenbeständen trat außerdem massiver, bestandesbedrohender Kupferstecherbefall auf. Obwohl dieser Borkenkäferbefall keinen Einfluss auf das landesweite Ergebnis der Waldzustandserhebung gehabt hat, muss im nächsten Frühjahr mit einem sehr starken Käferflug und landesweit mit einem Schadhölzanfall im sechsstelligen fm-

Bereich gerechnet werden. Unter den *pilzliche Erkrankungen* zeigte der im Boden lebende Hallimasch an geschwächten Eichen und Fichten eine hohe Virulenz. Die befallenen Fichten waren dadurch für den Borkenkäferbefall zusätzlich disponiert. Wie nach vorangegangenen heißen Jahren (z.B. 1959) steht im übrigen auch für 2004 wieder die Ausbreitung der Buchenrindennekrose (Buchenschleimfluss) und damit eine deutliche Zunahme von Buchenschäden zu befürchten. Insofern dürfte die Verbesserung der Buche nur von kurzer Dauer sein.

► Die Beobachtung der Luftqualität an Waldstandorten in Mittelgebirgslagen von Nordrhein-Westfalen zeigt bei *Schwefeldioxid* seit 1998 weitgehend Werte unterhalb der Nachweisgrenze von  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Schwefeldioxid wird daher ab 2003 nicht mehr an den Waldstationen gemessen. Bei den *Stickoxiden* hat sich, bezogen auf  $\text{NO}$ , die Konzentration in den letzten 5 Jahren an quellenfernen Standorten kaum verändert, obschon der Kfz-Verkehr noch weiter zugenommen hat. Vielfach liegen die Werte im Bereich der Nachweisgrenze des Verfahrens von  $7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Die  $\text{NO}_2$ -Konzentration bewegt sich an den Stationen Eifel und Rothaargebirge in den Jahren von 1998 bis 2002 im Bereich von  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Im Eggegebirge liegen die Werte etwas höher.

► Für Ozon, als besonders phytotoxisch wirkender Luftschadstoff, zeigt sich kein eindeutiger Trend, wenn man die Vegetationsmittelwerte der letzten 10 Jahre vergleicht.

In besonders heißen Sommern wie 1994 und 1995 wurden Maximalwerte von nahe  $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$  im Rothaargebirge gemessen. In 2002 sind besonders niedrigste Konzentrationen feststellbar. Die vorläufige Auswertung der *Ozonbelastung des Jahres 2003* zeigt teilweise ähnlich hohe Werte wie in den

Jahren 1994 und 1995. Eine vorläufige Risikobewertung für Laub- und Nadelbäume nach VDI-Richtlinie zeigt, dass die Ozonkonzentrationen an allen betrachteten Stationen, bezogen auf die jeweils höchsten Stundenmittelwerte, in einem Bereich liegen, der keine dauerhaften Schäden befürchten lässt. Der Umstand, dass Bäume ihre Stomata unter Trockenstress geschlossen halten, wäre eine plausible Erklärung dafür, dass sich 2003 akute Schadsymptome trotz hoher Ozonbelastung nur begrenzt ausbilden konnten.

Im Hinblick auf die vorzugsweise ozonempfindlichen Laubgehölze wie Buche bleibt jedoch abzuwarten, ob sich Wechselwirkungen aus hoher Ozonbelastung einerseits und starker Trockenheit andererseits im Jahr 2004 zeigen werden. – Eine abschließende Beurteilung möglicher Wirkungen von Ozon auf Waldbäume kann jedoch erst nach Abschluss der Vegetationszeit und der anschließenden Validierung der Daten erfolgen.

Obwohl das Wetter im Jahr 2003 den entscheidenden Erklärungsbeitrag für den aktuellen Waldzustand geliefert hat, können auch in dieser Situation die *Langzeitwirkungen* von Schadstoffdepositionen aus der Luft nicht vernachlässigt werden.

Dazu gibt es im ökologischen Umweltmonitoring u.a. folgende neue Erkenntnisse:

► In vorangegangenen Projekten wurden die ökologisch unbedenklichen Belastungsschwellen (Critical Loads) für eutrophierenden Stickstoff und für Säureeinträge nach einem einfachen Massenbilanzansatz bestimmt. In einem Folgeprojekt sind jetzt die Critical Loads für den Eintrag von Säurebildnern für die rund 500 Waldstandorte der Bodenzustandserhebung (BZE) nachmodelliert worden. Dabei wurden die Angaben zur Freisetzung basischer Kationen durch Verwitterung, einer zentralen Kenngröße »

zur Abpufferung von Säureinträgen, verbessert. Repräsentative, durch Mineralanalysen abgesicherte *Angaben zur natürlichen Regenerationsfähigkeit der Böden* haben bislang für die Waldfläche des Landes noch nicht vorgelegen. Verwitterungsraten stehen jetzt in einer räumlichen Auflösung von 4x4km für die Waldfläche des Landes zur Verfügung. Aus dieser flächenrepräsentativen Stichprobe ist abzuleiten, dass rund 20% der Waldböden in Nordrhein-Westfalen über hohe, 46,5% über mittlere und 33,5% über eine geringe Regenerationsfähigkeit verfügen.

#### ERGEBNIS DER URSACHENBEWERTUNG

- ▶ 1. Für die Zunahme der Waldschäden in diesem Jahr war der extrem heiße Sommer verantwortlich.
  - ▶ 2. Trockenstress war die entscheidende Ursache der beobachteten Kronenverlichtung.
  - ▶ 3. Die Ozongehalte der Luft hatten in den Sommermonaten ein sehr hohes Gefährdungspotential.
  - ▶ 4. Die akute Schädigung von Ozon auf Pflanzen wurde weitgehend durch Trockenstress überlagert.
  - ▶ 5. Der Eintrag von potentiellen Säuren aus der Luft hat sich in den zurückliegenden Jahren deutlich vermindert. Dies trifft für den Stickstoff, insbesondere für Ammoniak aus der Landwirtschaft, in diesem Ausmaß nicht zu.
  - ▶ 6. Die kritischen Belastungsgrenzen werden auf Waldflächen landesweit nicht eingehalten. Die natürliche Regenerationsfähigkeit der Böden reicht nicht aus, die Säuredepositionen zu neutralisieren. Stickstoff- und Säureinträge sind daher weiter wirkungsrelevant.
  - ▶ 7. Die dargestellten Stressfaktoren verstärken ihre Wirkung gegenseitig und erhöhen das aus der Einzelbetrachtung abgeleitete Risikopotential.
- ▶ Die trockene *Deposition* (Gase und Partikel) wurden bislang von Messnetzen nicht erfasst, weil sie aus methodischen Gründen schwer zu bestimmen ist. Dies ist jedoch der wichtigste Eintragspfad, insbesondere für die Stickstoff- und Säuredeposition. Daher werden erstmals modellierte Depo-

sitionsdaten genutzt, um repräsentative Aussagen für den nordrhein-westfälischen Wald zu ermöglichen. Grundlage ist ein vom Umweltbundesamt geförderter Forschungsvorhaben, das einen aktuellen, räumlich detaillierten und vollständigen Datensatz zu Gesamteinträgen von Luftschadstoffen in Deutschland für den Zeitraum 1990-1999 zur Verfügung stellt. Auf der Waldfläche des Landes verminderte sich der atmosphärische Schwefeleintrag im Beobachtungszeitraum um 64%. Der Eintrag von oxidiertem Stickstoff (NO<sub>y</sub>) ging um 28% zurück. Dagegen blieben die Einträge von reduziertem Stickstoff (NH<sub>x</sub>) fast unverändert.

1999 beträgt der Anteil von Ammoniak/Ammonium an der Stickstoffgesamtdeposition rund 70%. Seitdem trägt Ammoniak/Ammonium allein mehr zur Versauerung der Waldökosysteme bei als Schwefel. Ammoniak aus der landwirtschaftlichen Viehhaltung ist somit der wichtigste versauernde und eutrophierende Luftschadstoff.

▶ Der *Vergleich mit kritischen Belastungsschwellen* (Critical Loads) stellt das Risiko von durch Luftschadstoffe bedingten Schäden für Waldökosysteme dar. An keinem der 500 Inventurpunkte der Waldzustandserhebung werden die Belastungsschwellen durch die Stickstoffdeposition eingehalten.

Im Mittel überschritten die Stickstoffeinträge im Jahr 1999 die kritischen Belastungsschwellen um rund 30kg N je Hektar. Ebenso werden auf fast allen Inventurpunkten die Belastungsschwellen für die Säureinträge überschritten. Dabei zeichnet sich großräumig ein Depositionsgefälle von Nord/West nach Süd/Ost ab, das insbesondere durch die Ammoniak/Ammonium Einträge bestimmt wird. Die natürliche Regenerationsfähigkeit der Böden und die Biomasseproduktion der Bestände reichen nicht aus, die Schadstoffeinträge aus der Luft aufzuspeichern bzw. zu neutralisieren.

**FOLGENABSCHÄTZUNG VON LUFTREINHALTEMAßNAHMEN:** Über die Beobachtung des Waldzustandes hinaus tritt zunehmend der Aspekt in den Vordergrund, wie das

*zukünftige Verhalten gefährdeter Waldökosysteme* zu beurteilen ist. Zur Unterstützung der umwelt- und forstpolitischen Entscheidungsfindung in Nordrhein-Westfalen wird erstmals ein Prognosemodell eingesetzt. Es soll u.a. aufzeigen, wie sich die Schadstoffminderung bis zum Jahr 2010 nach den Plänen der UNECE (Genfer Luftreinhaltkonvention, Göteborg-Protokoll) und der EU (6. Umweltaktionsprogramm) auf die Waldökosysteme auswirkt.

Mit dem letzten Beitrag zum diesjährigen Waldzustandsbericht wird ein erster Blick in die Zukunft gewagt und exemplarisch für einen Waldstandort im Hochsauerland die Bodenentwicklung aufgrund der in Göteborg 1999 vereinbarten Luftreinhaltemaßnahmen sowie nach zwei Bodenschutzkalkungen abgeschätzt.

Wie erste Modellrechnungen zeigen, steigen die Boden-pH Werte aufgrund rückläufiger Säureinträge zwar wieder leicht an. Jedoch würden nur deutliche, über das Göteborg-Protokoll hinausgehende Emissionsminderungen zu einer nachhaltigen Verbesserung führen. Die praxisübliche Waldkalkung ist eine ökologisch sinnvolle Investition in den forstlichen Standort. Sie ist geeignet, den immissionsbedingt kritischen Zustand im Unterboden zu beheben. Im Oberboden werden sich die pH-Werte nach der Kalkung aber wieder relativ rasch verschlechtern.

Neben der Modellierung weiterer Intensivmessflächen des forstlichen Umweltmonitoring sollen die Berechnungen auch auf das landesweit systematische Inventurraster der Waldzustandserhebung ausgedehnt werden, um die exemplarischen Ergebnisse auf ihre Repräsentativität für die Waldfläche des Landes zu untersuchen. ●

#### ▶▶ WEITERE INFORMATIONEN

Der diesjährige Waldzustandsbericht kann ebenso wie die Berichte aus den Vorjahren im Internet auf der Homepage der LÖBF: [www.loebf.nrw.de](http://www.loebf.nrw.de) in der Rubrik »Daten und Fakten« eingesehen und von dort abgerufen werden.

# Der Kronenzustand der Waldbäume 2003

LUTZ FALKENRIED, LÖBF RECKLINGHAUSEN

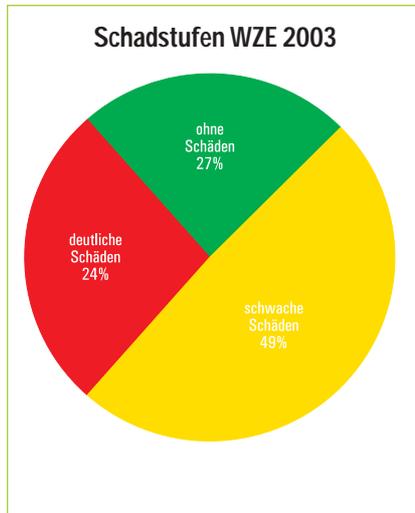


Abb. 1: Prozentual zusammengefaßt für die Summe aller Baumarten in NRW

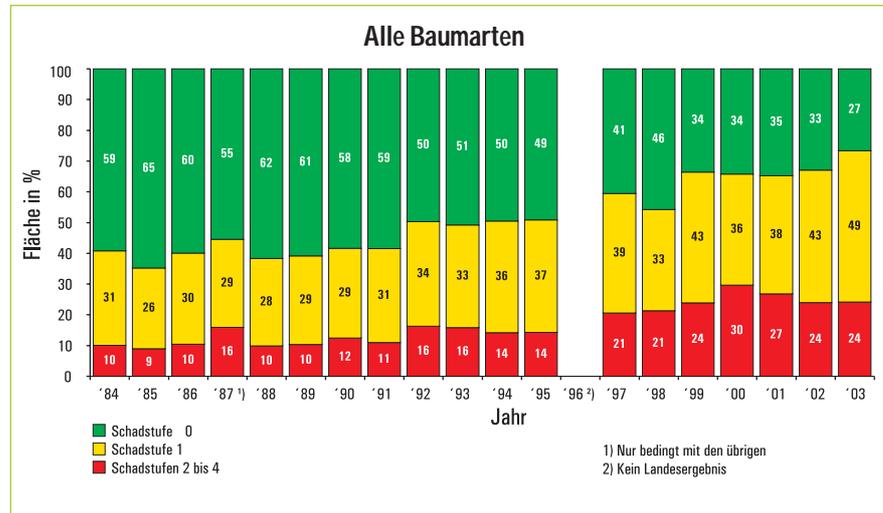


Abb. 2: Entwicklung des Kronenzustandes in NRW von 1984 bis 2003 in Prozent

An den Kronen lässt sich die Vitalität der Waldbäume gut beobachten. Die terrestrische Waldzustandserhebung bewertet neben dem Nadel-/Blattverlust diverse Faktoren, die Einfluss auf das Erscheinungsbild der Baumkronen haben. Dazu zählen besonders Vergilbung, Fruktifikation sowie weitere biotische und abiotische Schadereignisse.

Die Waldzustandserfassung wird in NRW jährlich seit 1984 durchgeführt. 2003 wurden in einem Stichprobenraster von 4 x 4 km an 525 Aufnahmepunkten landesweit fast 10.000 Bäume untersucht.

Die Klassifizierung erfolgt gemäß der nachstehenden bundesweit einheit-

lichen Tabelle. Unter Einbeziehung von Vergilbungsstufen entstehen daraus die kombinierten Schadstufen. In den folgenden Grafiken werden die Schadstufen zur besseren Übersicht gruppiert und in Ampelfarben dargestellt.

### HAUPTERGEBNISSE

In der Summe über alle Baumarten in NRW ergibt sich bei den *deutlichen Schäden* (Schadstufen 2-4) mit 24 %-Punkten keine Änderung zum Wert des Vorjahres.

Anders sieht es jedoch bei den *restlichen Stufen* aus. Die *schwachen Schäden* sind um 6 auf 49 %-Punkte

gestiegen. Dementsprechend ergeben die Bäume *ohne Schadensmerkmale* Werte, die um 6 auf 27 %-Punkte abgesunken sind. Als Fazit lässt sich festhalten, dass bei unveränderten deutlichen Schäden die schwachgeschädigten Bäume um 6 %-Punkte zu Ungunsten der ungeschädigten Bäume zugenommen haben.

Da sich der Kronenzustand bei den verschiedenen Baumarten sehr unterschiedlich entwickelt hat, ist eine summarische Betrachtungsweise allein nicht ausreichend. Die Hauptbaumarten werden deshalb noch einmal getrennt betrachtet.

Die kontinuierliche Abnahme der ungeschädigten Bäume zeigt sich als langjähriger Trend, der sich auch 2003 fortgesetzt hat. Gegenläufig verhalten sich die schwachen Schäden. Mit geringen Schwankungen haben sie bis heute stetig zugenommen. Die seit 2000 begonnen Verbesserung bei den deutlichen Schäden stagniert auf dem Vorjahreswert.

### WITTERUNG

Bevor die Baumarten einzeln betrachtet werden, soll die Auswirkung des Wetters auf die Kronenentwicklung »

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 2-5)
3	61-99%	stark geschädigt	
4	100%	abgestorben	

Tab. 1: Relative Kronenverlichtung in Stufen

Ergebnisse der Waldzustandserhebung 2003 im Lande Nordrhein-Westfalen (in Klammern Vergleichsdaten aus 2002)

Baumart	Baumartenfläche nach Landeswaldinventur in Hektar	Anteile der Schadstufen in Prozent					
		0 ohne Schäden	1 schwache Schäden	2-4 deutliche Schäden	2 mittlere Schäden	3 starke Schäden	4 abgestorben
Fichte	303.100	35 (41)	45 (40)	20 (19)	19,0	0,6	0,1
Kiefer	68.000	19 (28)	61 (57)	20 (15)	19,3	0,2	0,3
sonst. Nadelbäume	44.600	38 (45)	46 (33)	16 (22)	14,6	0,7	0,6
<b>Summe Nadelbäume</b>	<b>415.700</b>	<b>33 (39)</b>	<b>48 (42)</b>	<b>19 (19)</b>	<b>18,6</b>	<b>0,5</b>	<b>0,2</b>
Buche	144.600	22 (23)	53 (40)	25 (37)	23,9	1,1	0,0
Eiche	131.000	18 (26)	43 (45)	40 (29)	37,1	2,2	0,5
sonst. Laubbäume	187.100	22 (31)	54 (48)	24 (21)	21,2	2,1	0,3
<b>Summe Laubbäume</b>	<b>462.700</b>	<b>21 (27)</b>	<b>51 (44)</b>	<b>29 (28)</b>	<b>26,5</b>	<b>1,8</b>	<b>0,3</b>
<b>Summe NRW</b>	<b>878.400</b>	<b>27 (33)</b>	<b>49 (43)</b>	<b>24 (24)</b>	<b>22,8</b>	<b>1,2</b>	<b>0,2</b>

Tab. 2: Schadstufen je Baumartengruppe

behandelt werden. Der Sommer des Jahres 2003 muss als „Jahrhundertsommer“ gelten. Insbesondere in der Zeit der Außenaufnahmen von Ende Juli bis Mitte August herrschten sehr hohe Temperaturen, gepaart mit starker Trockenheit.

Die Auswirkungen auf die Waldzustandserhebung waren jedoch vergleichsweise gering. Der befürchtete trockenheitsbedingte Blattabfall im großen Stil ist weitgehend ausgeblieben bzw. partiell erst nach Abschluss der Erhebungen aufgetreten.

Der Witterungsverlauf 2003 startete mit sehr wenig Niederschlägen in der Zeit von Februar bis April. Der Mai

brachte ergiebigen Regen, so dass die Bäume auf gut wassergesättigten Böden in die Vegetationszeit starten konnten. Der Juni war wiederum von wenig Regen gekennzeichnet, im Juli fielen jedoch vereinzelt stärkere Regengüsse, die lokal recht ungleichmäßig verteilt waren.

Dies alles führte dazu, dass erst zum Ende des Aufnahmezeitraums besonders die Bäume mit dünneren Blättern wie Birke oder Hainbuche vermehrt trockenheitsbedingten Blattabfall zeigten. Dass Beeinträchtigungen der Nadel-/Blattmasse aber doch auftraten, lässt sich an der Zunahme der Schadstufe 1 erkennen. Die Trockenheit hat

dort offensichtlich zu Klassenverschiebungen geführt. Zu berücksichtigen ist aber auch das Wetter des Vorjahres. Dies war gekennzeichnet von extremen Niederschlägen. Das daraus folgende Elbhochwasser sei hier in Erinnerung gerufen. Dieser krasse Unterschied von extremen Niederschlägen in 2002 und starker Trockenheit im Sommer 2003 erzeugte zusätzlichen Wachstumsstress bei unseren Waldbäumen.

**DIE WICHTIGSTEN BAUMARTEN**

Die nachstehende Tabelle lässt einen differenzierten Blick auf die einzelnen Baumarten zu. Dabei sind die Altersgruppen zusammen gefasst. Die fol-

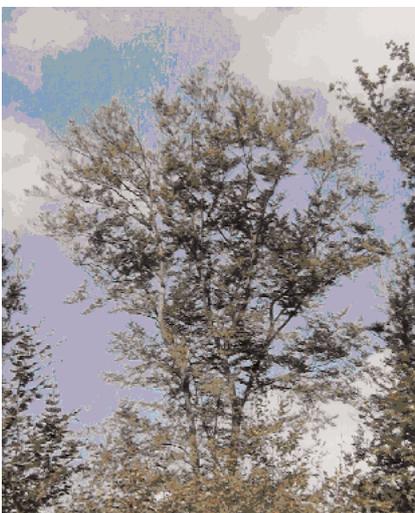


Abb. 3: Stark geschädigte Buche

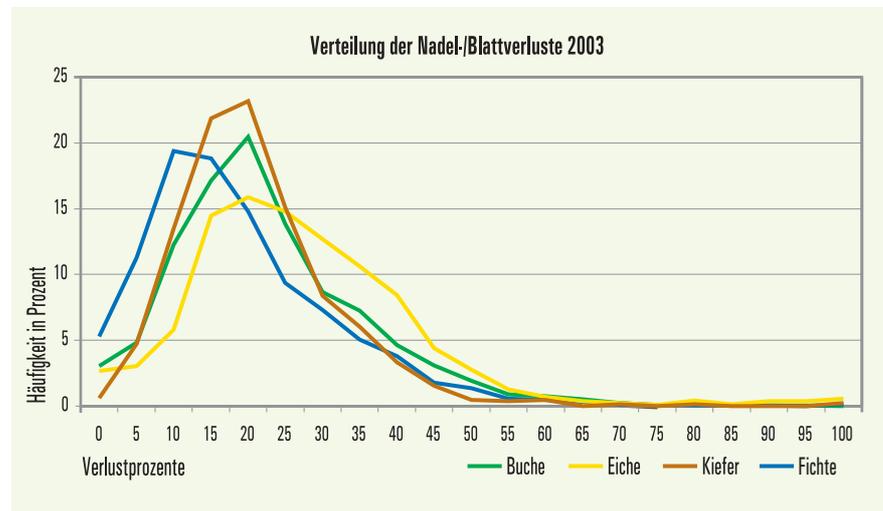


Abb. 4: Häufigkeitsverteilung der Nadel-/Blattverluste bei den Hauptbaumarten 2003

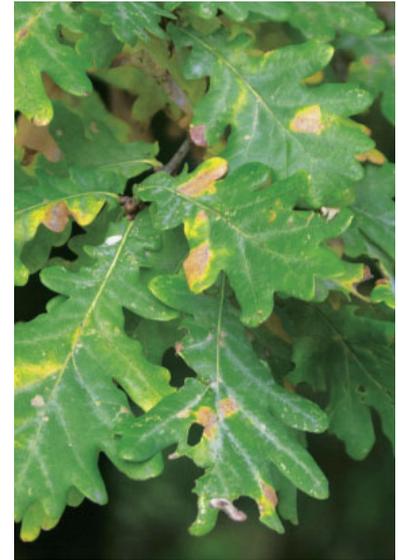
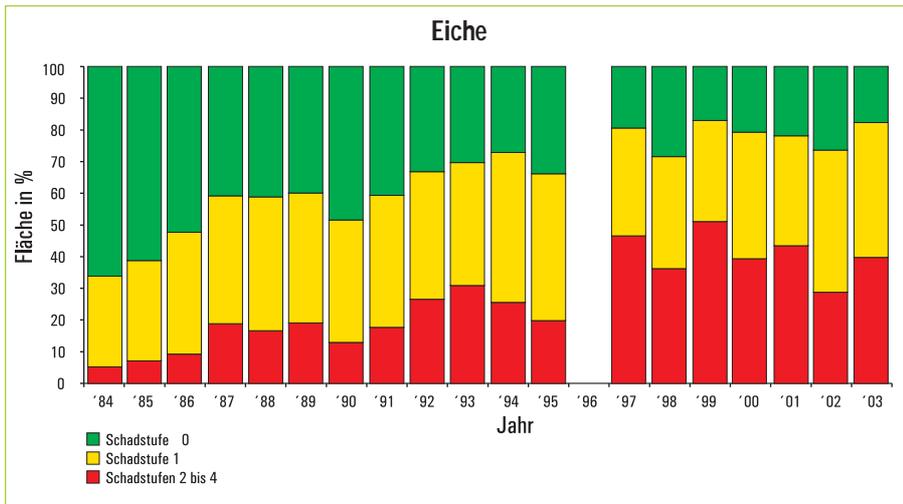


Abb. 5: Prozentuale Entwicklung der Kronenschäden bei Eichen von 1984 bis 2003

gende Wertung der Ergebnisse bezieht sich auf die Veränderung zu den Zahlen des Vorjahres.

#### EICHE

Lediglich 18% der Eichen sind noch ungeschädigt. Diese Schadstufe hat sich von 26%-Punkten um 8 Punkte verschlechtert. Eine leichte 2%ige Verbesserung auf 43%-Punkte konnte bei den schwachen Schäden beobachtet werden. Die deutlichen Schäden haben jedoch rasant von 29 Punkten um 11 auf 40%-Punkte zugenommen.

In NRW stocken die Eichen häufig auf bindigen und pseudovergleyten Böden. Die Vorjahresnässe hat auf solchen Standorten dazu geführt, dass vermehrt das Feinwurzelsystem der Eichen beeinträchtigt worden ist. In Verbindung mit der Trockenheit in 2003 ist es deshalb zu vermehrtem

Wasserstress bei den Eichen gekommen. Zudem dürfte der Befall mit Raupen von Frostspanner und Eichenwickler negativen Einfluss auf die Schadstufen gehabt haben. Insgesamt sind zwar nur 7 % der Eichen stark befallen, jedoch fielen fast 42 % der Eichen mit geringem Befall auf.

Dadurch, dass die Eichen zudem langjährig vorgeschädigt sind, lässt sich die Zunahme der deutlichen Schäden nachvollziehen.

#### BUCHEN

Im Vergleich zum Vorjahr sind die Werte der ungeschädigten Buchen mit 22%-Punkten fast gleich geblieben. Die Buche ist die einzige Baumart, bei der sich die deutlichen Schäden mit 12 %? Punkten erheblich gebessert haben. Sie verbesserte sich von 37 auf 25%-Punkte. Gründe für diesen gegen-

läufigen Trend sind wiederum im Vorjahr zu finden.

Die Buchen haben 2002 stark fruktifiziert, was die gesamte Baumart unter Stress gesetzt hatte. 2003 befinden sich die Buchen in einer Regenerationsphase, die den Kronenzustand häufig von den deutlichen in die schwachen Schäden aufsteigen lässt. Letztere haben mit einer Steigerungsrate von 13 auf 53 %-Punkte kräftig zugenommen.

Der Befall mit Buchenspringgrüslern hält sich mit ca. 6 % stark befallenen Bäumen in Grenzen.

#### FICHTE

Bei der Fichte sind die deutlichen Schäden fast gleich geblieben. Wie bei den meisten anderen Baumarten hat jedoch die Anzahl der gesunden Bäume um 6 % markant abgenommen. Die

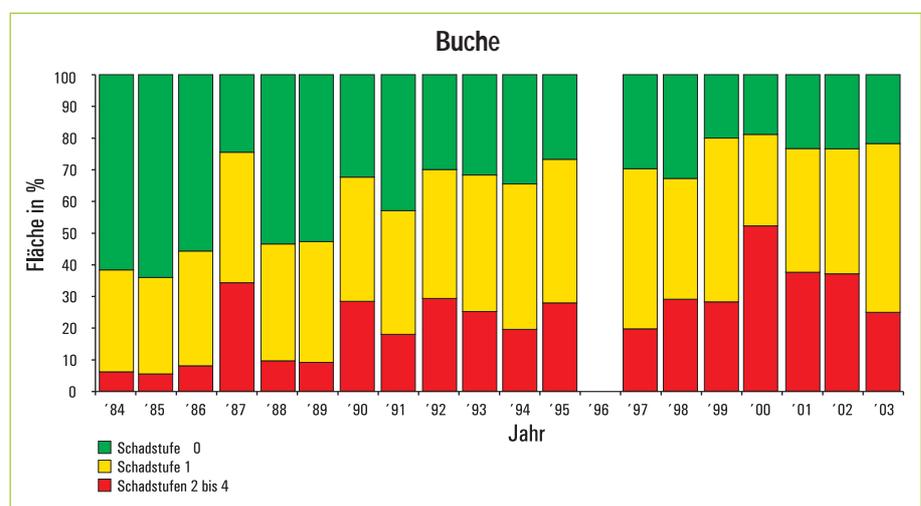


Abb. 6: Prozentuale Entwicklung der Kronenschäden bei Buchen von 1984 bis 2003

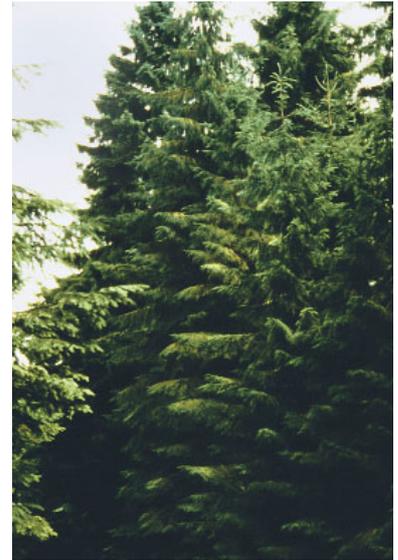
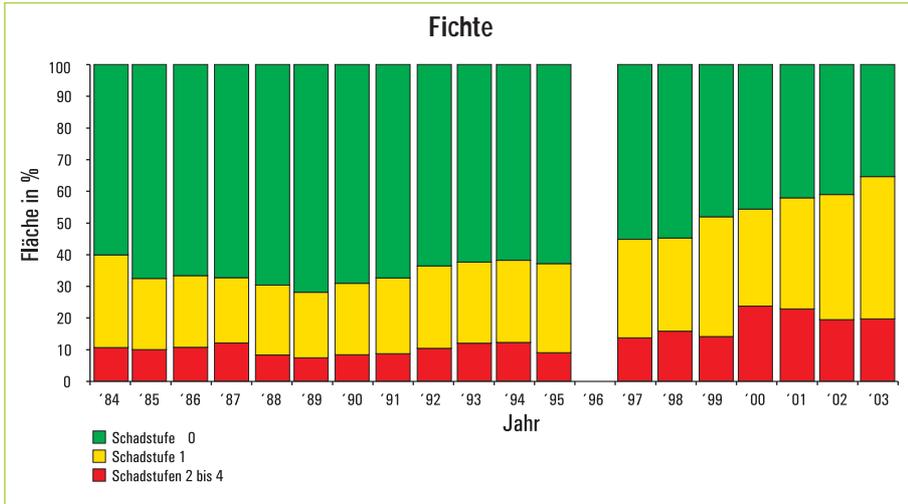


Abb. 7: Prozentuale Entwicklung der Kronenschäden bei Fichten von 1984 bis 2003

Warnstufe erreicht 2003 45 %-Punkte. Der Befall mit Borkenkäfern ist zum Zeitpunkt der Aufnahmen noch recht gering gewesen. »

Der trockene Sommer ist den Borkenkäfern sehr entgegengekommen. Bis zu drei Generationen konnten sogar z.T. mit Geschwisterbruten ausschlüpfen. Das wahre Ausmaß der Schädigung durch Borkenkäfer wird sich vermutlich erst im Herbst sowie im nächsten Jahr zeigen. Für die Schadaufnahmen der diesjährigen Waldzustandserhebung sind die Borkenkäfer aber noch nicht besonders in Erscheinung getreten.

**KIEFER**

Die Werte der Kiefer haben sich durchweg bemerkenswert geändert. So konnte eine Zunahme von 5 auf ins-

gesamt 20%-Punkte bei den deutlichen Schäden beobachtet. Die mit 57% schon 2002 recht hohe Warnstufe ist 2003 noch einmal um 4 auf 61%-Punkte gestiegen. Die Bäume ohne Schadensmerkmale sind um 9 auf 19%-Punkte gesunken.

Der diesjährige trockene Sommer und die hohen Temperaturen sollten der Kiefer eigentlich nicht so stark geschadet haben. Bei der Entwicklung des Kronenzustandes muss aber auch unbedingt das Vorjahr berücksichtigt werden. Dies war durch extreme Niederschläge und langandauernde Feuchtigkeit gekennzeichnet. Als Folge davon haben sich pilzliche Schaderreger gut entwickeln und die Kiefern früh beeinträchtigen können. Vereinzelt Nadeln wurden bereits im Frühjahr 2003 beobachtet. Partielle Frostrock-

nis hat das Abfallen von Nadeln noch verstärkt. Hinzu kommen pilzbedingte Schädigungen am Feinwurzelsystem.

**FAZIT BEI DEN HAUPTBAUMARTEN**

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass bei Eiche, Kiefer und Fichte die deutlichen Schäden 2003 zugenommen haben. Die ungeschädigten Bäume haben hingegen z.T. erheblich abgenommen. Als Folge davon stiegen die schwachen Schäden an.

Die Buche verhält sich jedoch anders. Bei ihr haben die deutlichen Schäden als einziger Baumart gravierend abgenommen. Bei nahezu gleichbleibenden ungeschädigten Bäumen haben die schwachen Schäden der Warnstufe kräftig zugelegt. ●

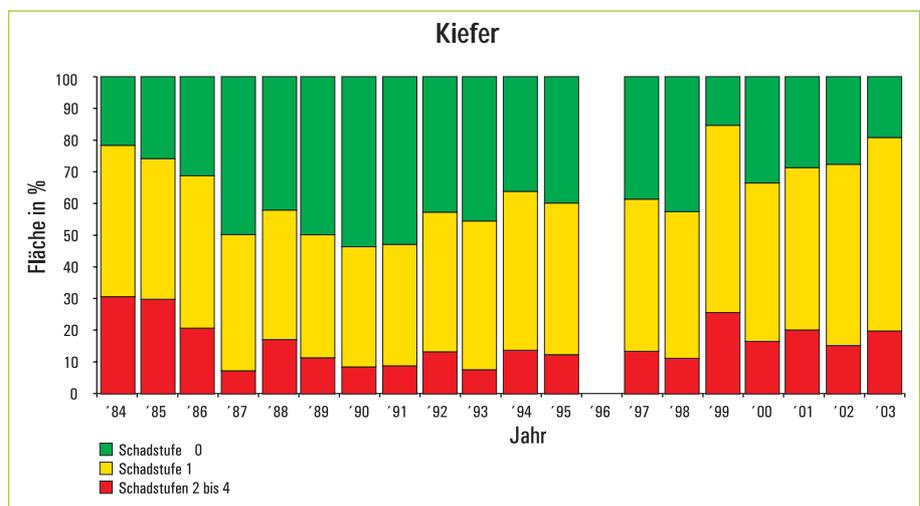


Abb. 8: Prozentuale Entwicklung der Kronenschäden bei Kiefern von 1984 bis 2003

# Pilzliche und tierische Organismen und deren Auswirkungen auf die Vitalität der Waldbäume

MATHIAS NIESAR, LANDWIRTSCHAFTSKAMMER RHEINLAND

Der trockenheiße Sommer entfachte eine *Borkenkäfermassenvermehrung*, die die Forstschutzsituation in 2003 dominierte. Dem Laien zeigten sich die Schäden vielerorts erst im September durch rot verfärbte Fichtenkronen oder durch abblätternde Rinde an den Stämmen. Landesweit ist mit einem Schadholtzanfall im sechsstelligen FM-Bereich zu rechnen.

Durch die nachhaltig hohen Temperaturen und Strahlungssummen wurden mehrfach die für Pflanzen kritischen *Ozonkonzentrationen* in der Luft überschritten. Erste Untersuchungsergebnisse deuten darauf hin, dass jüngere Pflanzen stärker geschädigt wurden als Altbäume. Die Auswertungen hierzu dauern noch an.

Der im Boden lebende Pilz *Hallimasch* verursachte lokal in Eichen- und Fichtenbaumhölzern, die durch die Trockenheit für Pilzinfektionen anfälliger geworden waren, stärkere Schäden. Die Raupen des Eichenwicklers fraßen in der Westfälischen Bucht wieder verstärkt Eichenbestände kahl. Aufgrund der Trockenheit diesen Jahres, muss bei der Buche mit dem Beginn einer *Buchensterbenswelle* in 2004 gerechnet werden.

## Borkenkäfer auf dem Vormarsch, einzelne Bestände in ihrer Existenz bedroht

In Süddeutschland und in Österreich muss in Folge des heißen Sommers mit einem Anfall von mehreren Millionen FM „Borkenkäferschadholtz“ gerechnet werden. In NRW ist der Anfall von „Käferholz“ in 2003 naturräumlich und standörtlich in unterschiedlicher Intensität verlaufen. In der nordrhein-westfälischen „Weinbauregion“, im Raum Bonn, ist die Situation besorgniserregend.

Hier disponierten die nachhaltig hohen Temperaturen des langen Sommers Fichten für einen Borkenkäferbefall besonders stark. Neben der Ausbildung von bis zu drei Generationen führte vor allem die Anlage von Geschwisterbruten zu einem steilen Anstieg der Populationsdichte des *Buchdruckers* (*Ips typographus*) die noch im Mai/Juni im Rahmen durchgeführter Überwachungsmaßnahmen als gering anzusprechen war.

Der hohe Befallsdruck wurde durch die unmittelbare Besiedelung eingeschlagener, gesunder Fichten deutlich. Das durch Buchdrucker erzeugte *Schadbild* ist in fortgeschrittenem Zustand von weitem durch abblätternde Rinde am Stamm, bei grüner Krone zu erkennen.

Weiterhin treten aber auch von der Oberkrone beginnende, rote Nadelverfärbungen letal geschädigter Altfichten auf, die keinerlei Rindenverluste zeigen. Ein klares Zeichen für Aktivitäten des *Kupferstechers* (*Pityogenes chalcographus*), einem kleinen Bruder des Buchdruckers.

Beide kommen häufig auch zusammen in einem Baum vor. Obwohl in der Eifel, im Sauerland und im Bergischen Land, die Entwicklung der Käfer später einsetzte, ist hier die Situation ebenso als kritisch einzustufen.

### BESONDERE GEFÄHRDUNGSBEREICHE

- ▶ Bereiche von Schneebruch- und Windwurfflächen aus dem Winter 2002/2003
- ▶ Bereiche von Blitz einschlägen aus dem Frühjahr 2003
- ▶ südwestlich exponierte Hänge und Geländekuppen
- ▶ auf pseudovergleyten Standorten
- ▶ an südlich gelegenen Waldrändern



Bild oben: Rindenfraßbild des Buchdruckers mit weißen Larven

Bild unten: erwachsener Buchdrucker (4,2 bis 5,5 mm Größe)

Ab September traten im Oberbergischen Kreis an südwestlich exponierten Fichtenbeständen massiver, bestandesbedrohender Kupferstecherbefall auf.

An länger lagernden Stämmen kommen auch *Holzwespen* (*Sirex* sp.) und *Fichtenbockkäfer* (*Tetropium castaneum*) vor. Die beiden letztgenannten Arten führen als technische Schädlinge, die im Holzkörper Gänge vorantreiben, zu einer erheblichen Entwertung des Holzes. »



Kreisrunde Ausbohrlöcher von Holzwespen; rote Pfeile;



Schatteneffekte sind für Ozonschäden typisch. Hier bleibt der beschattete Bereich (rot umrandet) ohne die symptomatische Bronzefärbung (Buchengertenholz, FA Waldbröl)

### GEGENMAßNAHMEN

Wie uns das Beispiel der nunmehr seit 9 Jahren ungebremsst verlaufenden Borkenkäferkalamität im Nationalpark Bayerischer Wald lehrt, dauert eine durch günstige Temperaturen und ausreichendem Nahrungsangebot einmal entfesselte und sich selbst überlassene Massenvermehrung über Jahre an, bis sie ggf. durch interne (z.B. Krankheiten) und/oder externe (z.B. Extremtemperaturen) Faktoren zusammenbricht. In NRW, befinden sich ca. 70 % des Waldes in privater Hand.

Die Zahl privater Waldbesitzer liegt bei rd. 150.000, bei einer durchschnittlichen Größe je privatem Forstbetrieb von ca. 4 Hektar mit nicht immer arrondierten Besitzverhältnissen.

In der derzeitigen Situation Borkenkäfernester nicht aufzuarbeiten, wäre als äußerst kritisch einzustufen, da hieraus privatrechtliche einforderbare Regressansprüche abgeleitet werden könnten. Borkenkäfer können nämlich bis zu 17 km weit aktiv fliegen (durch Windverdriftung ein Vielfaches weiter) und machen an Flurstücksgrenzen nicht halt.

Die Notwendigkeit zur ggf. erforderlichen Bekämpfung wird öffentlich rechtlich durch die Verpflichtung der Waldbesitzer zur ordnungsgemäßen Forstwirtschaft untermauert (§ 1b, Nr. 1 und 2 LFoG).

### SAUBERE WIRTSCHAFT, WALDÖKOSYSTEMSCHUTZMITTEL

Das „Prinzip der sauberen Wirtschaft“ ist als zentraler Teil einer „Integrierten Borkenkäferbekämpfung“ Grundvoraussetzung für das Gelingen von Gegenmaßnahmen.

Hierzu wird u.a. überall dort wo dies möglich ist, das Holz unverzüglich aus dem Wald abgefahren, die Rinde der Stämme geschält oder die liegenden Stämme mit zugelassenen Pflanzenschutzmitteln, im Sinne von Ökosystemschutzmitteln, behandelt und die im Wald verbleibenden Resthölzer (Erdstammstücke und Kronenholz) durch Kleinschneiden oder Entrinden für Borkenkäfer unbrauchbar gemacht.

### BORKENKÄFERPROGNOSE

Es muss davon ausgegangen werden, dass die Aufarbeitung des Borkenkäferholzes den ganzen Winter andauern wird.

Im nächsten Frühjahr muss mit einem sehr starken Käferflug gerechnet werden. Über die Intensität und Entwicklung des Befallsdruckes in 2004 wird die nicht aufgearbeitete Schadholzmenge, die daraus resultierende Käferbevölkerungsdichte, die Temperatur- und die Niederschlagsverhältnisse in 2004 und ggf. noch bevorstehende Schneebruch oder Windwurfereignisse entscheiden. Landesweit muss mit einem Schadholzanfall im sechsstelligen FM-Bereich gerechnet werden.

## Ozonschäden an Hauptbaumarten

Die hohen Strahlungs- und Temperatursummen von Juli bis August führten gerade in Reinluftgebieten, wo der nächtliche Abbau von Ozon durch geringe Stickstoffmonoxidanteile in der Luft behindert ist, zu einem stetigen Anstieg der Ozonwerte.

Unsere Waldbaumarten zeigen etwa ab Ozonkonzentrationen von 120 ppb, wenn diese länger als ein Tag auf die Pflanzen einwirken, erste Schäden.

Dieser Wert wurde in 2003 häufig überschritten. Bei durchgeführten künstlichen Ozonbegasungen unserer Hauptbaumarten Eiche, Buche, Fichte und Kiefer kristallisierte sich die Buche als die sensibelste Art heraus.

In 2003 wurden deshalb in erster Linie Buchen in den 6 nordrhein-westfälischen Level II Flächen (Umweltmonitoringprogramm der EU) am 27./28. August von Baumsteigern beprobt.

Erste, mit bloßem Auge durchgeführte Bonituren zeigten bei jeder zehnten Probe eindeutige Ozonschäden, 4 % der untersuchten Zweige waren von Buchenspringrüsslerfraß dominiert und die restlichen Proben wurden als Verdachtsfälle eingestuft.

Hier werden zeitaufwendige Untersuchungen, die derzeit noch andauern, eine Klärung der Schadenssituation herbeiführen.



Mikronekrosen, in einer von außen für den Laien als gesund anzusprechenden Buchenrinde



Ein bestens getarnter Schmetterling des grünen Eichenwicklers

## Pilzliche Erkrankungen

An Douglasien trat vor allem im Sauerland vermehrt die Rußige Douglasienschütte (*Phaeocryptopus gaeumannii*) auf, die alle Douglasienvarietäten gleichermaßen befallt.

Pyramidenpappeln, aber auch Schwarzpappeln litten in 2003 in Verbindung mit Frostereignissen in ganz Nordrhein-Westfalen mit unterschiedlicher lokaler Ausprägungsstärke unter dem Pappelrindentod, der durch den Pilz *Dothichiza populea* ausgelöst wird. Vor allem Alleen und Bestandesränder waren betroffen.

Der im Boden lebende und eßbare Pilz *Armillaria mellea*, besser bekannt unter seinem deutschen Namen Hallimasch, verursachte in Eichen- und Fichtenbaumhölzern, die durch die Trockenheit für Pilzinfektionen anfälliger geworden waren, stärkere Schäden. Dabei reichte die Spannweite der Schäden von letaler Wirkung bei einzelnen Bestandesmitgliedern bis hin zu flächigem Befall mit erheblichen Vitalitätseinbußen der betroffenen Fichtenbestände, die dadurch für Borkenkäferbefall disponiert wurden.

Die hohe Virulenz der Pilze, gerade in diesem trockenen Jahr ist erstaunlich, aber dennoch plausibel. Sie kann darauf zurückgeführt werden, dass in 2002, die Pilze durch hohe Niederschlagsereignisse in ihrer Vitalität gestärkt wurden. In 2003 standen die Pilze, bereits in den Bäumen oder an

den Baumwurzeln, quasi „Gewehr bei Fuß“, und nutzten aus ihrer Sicht die Gunst der Stunde und bemächtigten sich der durch Trockenheit geschwächten Baumindividuen.

### BUCHENSCHÄDEN

Die in 2003 weitergeführte Untersuchung zur Rolle des Laubnutzholzborkenkäfers im Ursachenkomplex der Hochlagenerkrankung der Buche konnte die Annahme des letzten Jahres, dass diese holzbewohnenden Käfer nicht primär geworden sind, bestätigen. Nur eine von 15 Buchen wies erfolglos gebliebene Einbohrversuchen der Käfer auf, ohne dass platz- oder bandförmige Rindennekrose vorhanden waren. Da jedoch an dieser Buche zumindest Mikronekrosen nachzuweisen waren, muß auch diese, augenscheinlich gesunde Buchenrinde, als kränkelnd und die Einbohrversuche der Käfer als sekundär eingestuft werden. Die Untersuchungen zur Ursachenkomplex dauern an.

Bei der Abschätzung möglicher Folgen der diesjährigen Hitze auf die Vitalität der Buchen kann die Situation ab dem heißen Jahr 1959 helfen.

Damals litten ein Jahr nach der Hitze bundesweit die Buchen sehr stark unter der Buchenrindennekrose (auch als Buchenschleimfluß bekannt). Der Erkrankung erlagen hunderttausende von FM Buche auf den besten Standorten. Die Krankheitswelle ebte erst Mitte der 1960er Jahre ab.

Für 2004 ist deshalb der Beginn einer neuen Buchensterbenswelle zu befürchten.

### „EPS“ HAT DAS RECHTE RHEINUFER ERREICHT

Der Eichenprozessionsspinner (*Thaumetopoea processionea*), der bisher nur am linksrheinischen Niederrhein zwischen Kevelaer und Geldern auftrat, hat in 2003 das rechte Rheinufer erreicht.

Der Kontakt mit den Tieren ist nicht ungefährlich, da nämlich die Raupenhaaren dieses Schmetterlings pseudoallergische Reaktionen an Schleimhäuten und am ganzen Körper hervorgerufen können. Die mit Widerhaken versehenen, nur ca. 2 bis 3 mm kleinen Gifthaare, die sich leicht von den Räumchen lösen und das Nesselgift Thaumetoporin enthalten, bleiben für Mensch und Tier etwa ein Jahr lang gefährlich.

### EICHENWICKLER

Die Raupen des Eichenwicklers (*Tortix viridana*) fraßen in der Westfälischen Bucht wieder verstärkt Eichenbestände kahl.

Mehrfähriger Kahlfraß wird mit als die wesentlichste Ursache des Eichensterbens angesehen. Der Dauerschädling Eichenwickler ist neben dem Frostspanner, der zyklische Massenvermehrungswechsel durchläuft der zweitwichtigste Vertreter der Eichenfraßgesellschaft. ●

# Die Wetterlage zum Waldzustandsbericht 2003

JAN HEGERFELD UND DR. JOACHIM GEHRMANN, LÖBF RECKLINGHAUSEN

Der Witterungsverlauf in den letzten zwölf Monaten zeichnet sich gegenüber den Vorjahren durch einige Besonderheiten aus.

## LUFTEMPERATUR

Zunächst ist das Winterhalbjahr 2002/2003 deutlich kälter als in den letzten Jahren gewesen. Der erste Frost ( $-1^{\circ}\text{C}$ ) trat an der Waldmessstation Haard (70 m) in der westfälischen Bucht am 10. November, also zu einem Zeitpunkt, als die Vegetationsruhe bereits eingesetzt hatte, auf. Nach kurzer Unterbrechung durch einige Tage mit milder Witterung, an denen nochmals das Tagesmittel der Lufttemperatur von  $10^{\circ}\text{C}$  erreicht bzw. überschritten wurde, setzten sich ab dem 7. Dezember wieder kältere Luftmassen, die auch Frost brachten, durch (vgl. Abb.1).

Abb. 1: Tageswerte der Lufttemperatur für den Zeitraum Januar 2002 bis Juli 2003

Der absolute Kältepunkt des Winters fiel in den Januar. An zehn aufeinander folgenden Tagen gab es, wie aus Abbildung 1 zu erkennen ist, Frost zum Teil mit Temperaturen unter  $-10^{\circ}\text{C}$ . Der tiefste Wert der Lufttemperatur wurde am 10. Januar mit  $14,3^{\circ}\text{C}$  gemessen.

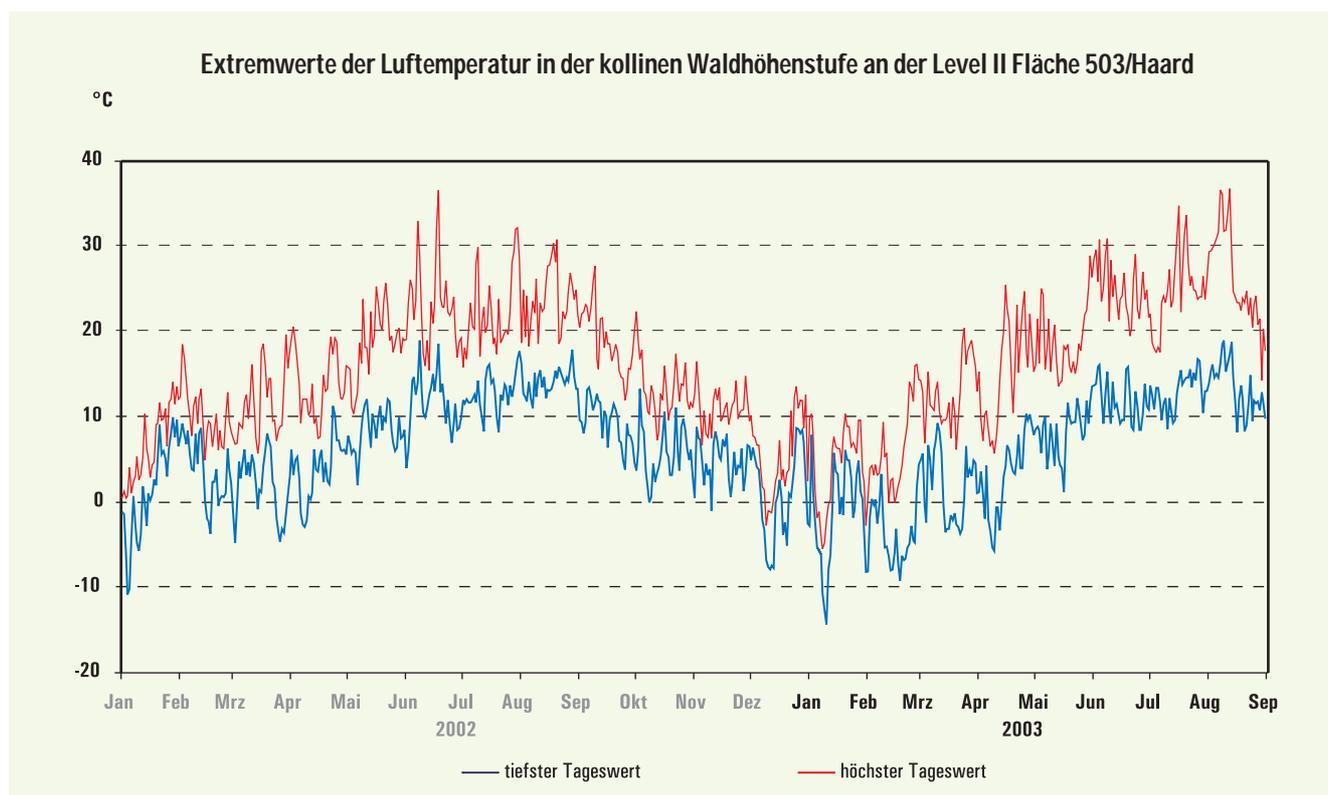
Auch der Februar war ungewöhnlich kalt. An 18 Tagen in Folge gab es Frost. Im Rückblick auf die letzten acht Jahre war dieser Monat mit einer mittleren Lufttemperatur von  $0,7$  bis  $-3,5^{\circ}\text{C}$  der kälteste seit 1996 (vgl. Abbildung 2). Die Tendenz zu immer milderem Wintern wurde somit in diesem Jahr unterbrochen.

Im März übersprang das Tagesmittel der Lufttemperatur erstmals wieder  $10^{\circ}\text{C}$ . Nachhaltig wurde diese für die Lebensvorgänge im Wald wichtige Temperaturschwelle im Tiefland aber erst am 14. April überwunden, nach einem Kälteeinbruch zwischen

dem 06. und 13. April, der die letzten Frostereignisse in diesem Frühjahr brachte. Im höheren Bergland war der meteorologisch abgeleitete Vegetationsbeginn in diesem Jahr am 23. April erreicht.

Im übrigen ist zu beobachten (vgl. Abbildung 3), dass die forstliche Vegetationszeit nach einem kalten Winter, wenn das Tagesmittel der Lufttemperatur nur an wenigen Tagen über  $10^{\circ}\text{C}$  anstieg (1996, 2000 und 2003), im Tiefland früher begann als nach einem milden Winter mit mehreren Tagen über  $10^{\circ}\text{C}$  im Tagesmittel wie in den Jahren 1997, 1998, 1999, 2001 und 2002.

Die Vegetationszeit des Jahres 2003 wird vor allem wegen des heißen Sommers in Erinnerung bleiben. Sie begann im April und Mai ohne Besonderheiten beim Temperaturverlauf. Im Juni wurden hingegen die höchsten Monatsmittelwerte der



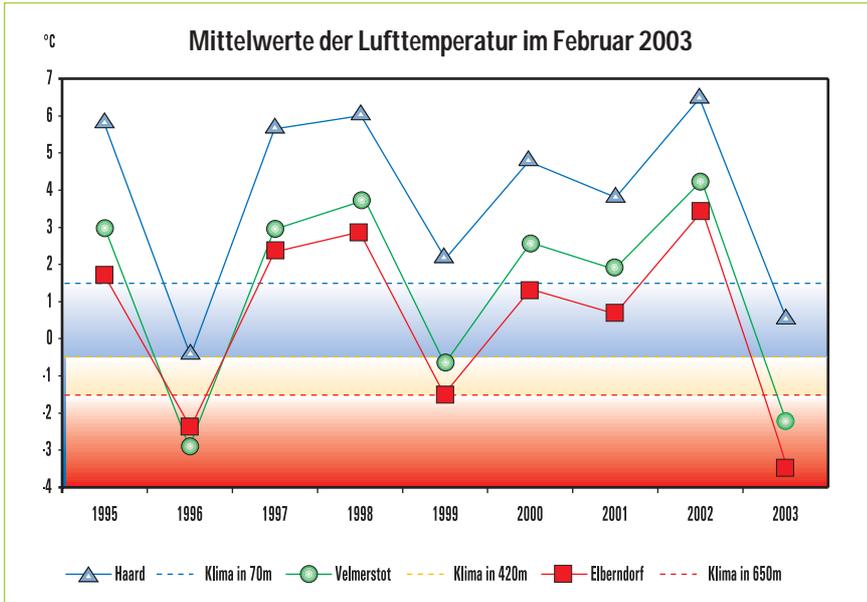
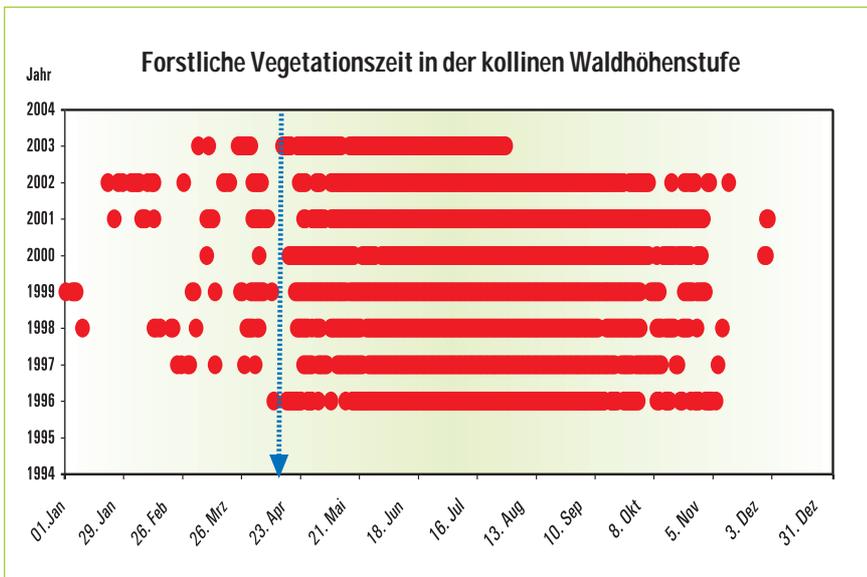


Abb. 2 oben: Monatsmittel der Lufttemperatur im Februar für die Level II Flächen Haard, Velperstot und Elberndorf

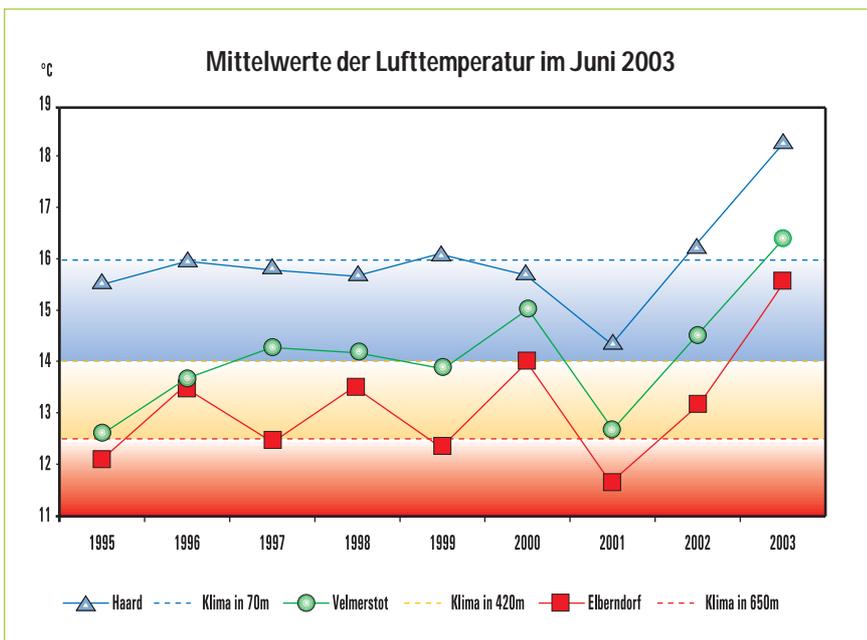
Abb. 3 Mitte: Forstliche Vegetationszeit (Tagesmittel > 10°C) an der Waldmessstation Haard

Abb. 4 unten: Monatsmittel der Lufttemperatur im Juni für die Level II Flächen Haard, Velperstot und Elberndorf



Lufttemperatur (15,5 bis 18,4°C) seit 1995 gemessen. Wie man aus Abbildung 4 erkennt, haben sich die Temperaturverhältnisse in der montanen und obermontanen Höhenstufe deutlich in Richtung Tieflandklima verschoben. Die Julitemperaturen bewegten sich wieder im Rahmen der langjährigen Klimawerte, während der August mit 8 aufeinanderfolgenden Tagen über 30°C und mit 36,8°C am 12. August den absoluten Höhepunkt der sommerlichen Hitze an der Waldmessstation Haard brachte.

Mit einem Temperatursturz von über 20°C innerhalb von zweieinhalb Wochen ging der heiße Sommer 2003 abrupt zu Ende.



**NIEDERSCHLÄGE UND BODENWASSERGEHALT**

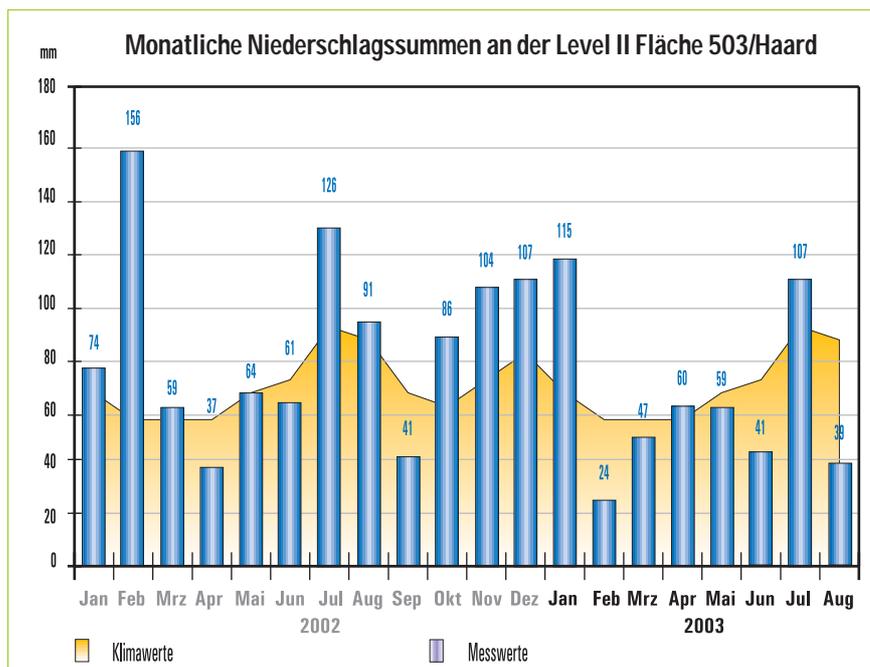
Neben der Lufttemperatur spielen Menge und Verteilung der Niederschläge eine wichtige Rolle, wenn es um die Beurteilung der Wasserversorgung der Waldbestände geht. In Abbildung 5 sind monatliche Niederschlagssummen dargestellt.

Man erkennt, dass die Niederschläge von Oktober 2002 bis zum Januar 2003 in jedem Monat das langjährige Mittel deutlich überschreiten.

Daraus ergibt sich für diesen Zeitraum ein Überschuss von 137 mm, der wesentlich dazu beigetragen hat, dass der nutzbare Bodenwasservorrat bis zum Beginn der Vegetationszeit vollständig aufgefüllt war. Auch wenn die Monatsniederschläge im »

Abb. 5 oben: Monatliche Niederschlags-summen von Januar 2002 bis August 2003 und im langjährigen Mittel in der planaren Waldhöhenstufe der westfälischen Bucht

Abb. 6 unten: Verlauf der Bodensaugspannung auf einer sandigen Braunerde im westfälischen Tiefland

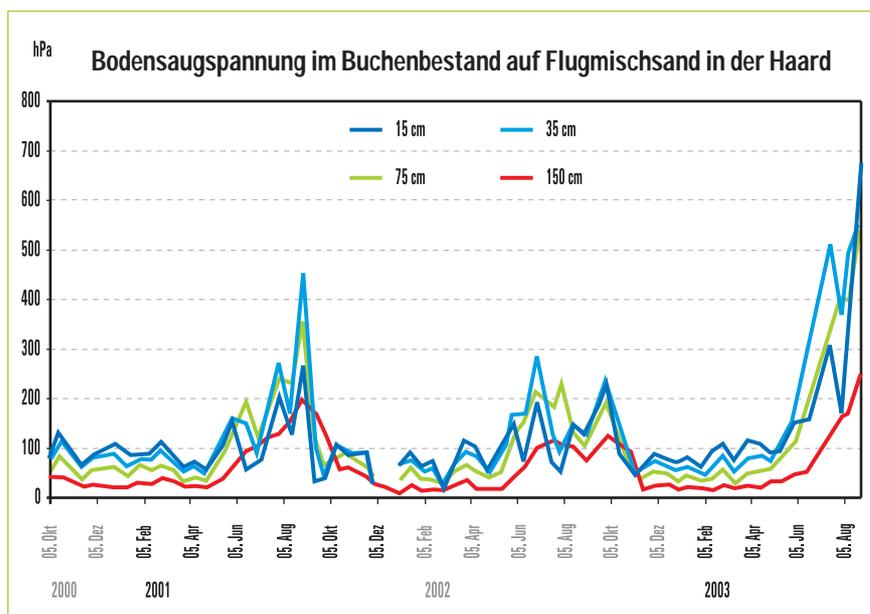


Februar und März hinter den langjährigen Mittelwerten zurückgeblieben sind und 15 aufeinander folgende Tage im April ohne Niederschlag waren, ist mit Blick auf die im Waldboden gemessene Bodensaugspannung (vgl. Abbildung 6) davon auszugehen, dass die Pflanzen für den Aufbau neuer Blattmasse im Frühjahr 2003 ausreichend Wasser zur Verfügung hatten.

Bis Ende April lag die Bodensaugspannung nämlich bei 100 hPa oder darunter. Mit dem Laubaustrieb und beginnender Transpiration stieg die Bodensaugspannung dann – wie zu erwarten war – stark an und erreichte Mitte Juni mit über 500 hPa vorläufig den seit mehreren Jahren höchsten Wert.

Ab 300 hPa beginnen sich die wasserführenden Grobporen zu leeren, so dass bei noch höheren Werten die Pflanzen unter Wasserstress geraten, sofern kein Stauwasser- bzw. Grundwasseranschluss vorhanden ist, der einen kapillaren Wasseraufstieg im Böden ermöglichen würde. Genau diese Situation trat aufgrund der geringen Regenmengen im Juni und August ein.

Die ergiebigen Niederschläge Mitte Juli haben die Wassergehalte nur im Oberboden kurzfristig erhöht. Im Unterboden ist kaum Sickerwasser angekommen. Dort ist die Bodensaugspannung bis Ende August dann auch



auf Werte über 500 hPa anstiegen, so dass der Wald spätestens ab Mitte August wieder starkem Trockenstress ausgesetzt war.

### OZON

Die Vegetationszeit 2003 zeichnete sich nicht nur durch einen heißen und trocken Sommer aus, sondern auch durch hohe Ozonkonzentrationen, die u.a. im Forstamt Recklinghausen südlich der Haard in hoher zeitlicher Auflösung gemessen werden.

Wie aus Kap.2.2 im diesjährigen Waldzustandsbericht hervorgeht, hat

das Landesumweltamt an dieser Station 1h Ozonwerte von über 120  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  an 39 Tagen und einen Spitzenwert von 315  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  am 12. August gemessen.

Da die Entstehung von bodennahem Ozon neben dem Angebot von oxidiertem Stickstoff und luftgetragenen organischen Kohlenwasserstoffen durch starke Sonneneinstrahlung begünstigt wird, lässt sich in diesem Sommer ein enger Zusammenhang zwischen den Tageshöchstwerten der Lufttemperatur und den höchsten 1h Tageswerten für Ozon aufzeigen (vgl. Abbildung 7).

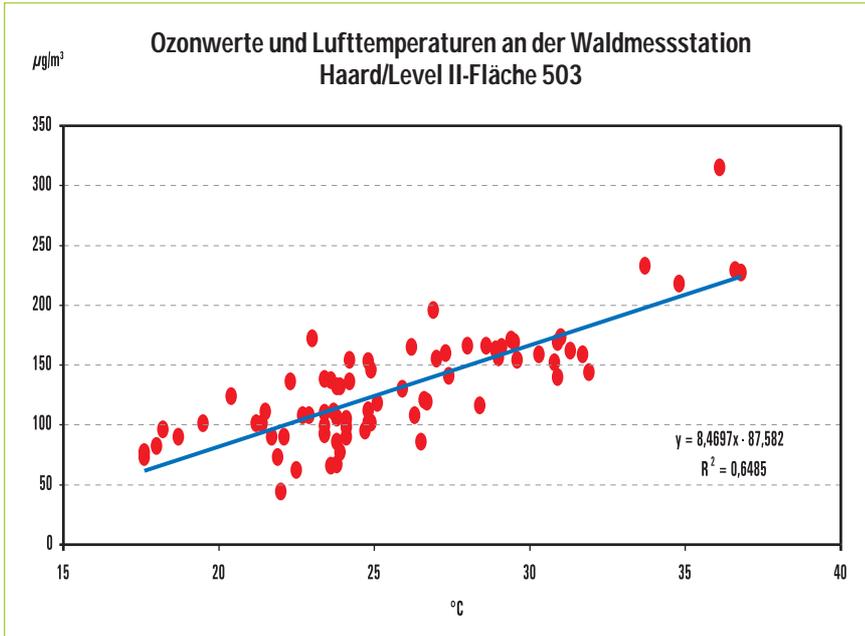


Abb. 7: Maximale 1h Werte für Ozon und maximale Lufttemperaturen pro Tag im westfälischen Tiefland im Zeitraum 01.06. -22.08.2003

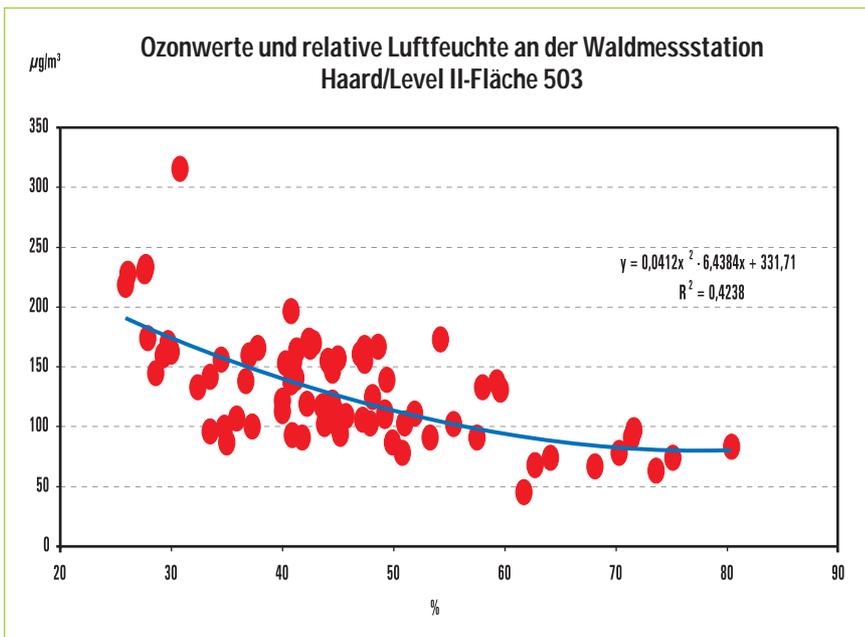


Abb. 8: Maximale 1h Werte für Ozon und niedrigste relative Luftfeuchte pro Tag im westfälischen Tiefland im Zeitraum 01.06. -22.08.2003

Dazu wurden die vom Landesumweltamt veröffentlichten Ozonwerte aus dem Zeitraum 01. Juni bis 22. August verwendet.

Außerdem besteht eine Abhängigkeit zur minimalen Luftfeuchte an diesen Tagen. Deutlich erkennbar traten die höchsten Ozonkonzentrationen an den besonders heißen Tagen bei niedrigen Luftfeuchtigkeitswerten auf (vgl. Abbildung 8).

Der Umstand, dass die Pflanzen bei der extremen Witterungslage gleichzeitig Trockenstress und hoher Ozonbelastung ausgesetzt waren, legt die Vermutung nahe, dass sich das vorhan-

dene, hohe Schadpotenzial von Ozon möglicherweise aufgrund geschlossener Stomata nur begrenzt auswirken konnte.

### Zusammenfassung und Fazit

Der Winter 2002/2003 war im Vergleich zu den Vorjahren insgesamt kühler und zeichnete sich durch längere und tiefere Frostepisoden aus. Warmlufteinbrüche waren im Gegensatz zum letzten Winter kaum zu beobachten.

Zu Beginn der Vegetationszeit 2003 war der Boden ausreichend mit pflanzenverfügbarem Wasser gesättigt.

Der erste Trockenstress trat Anfang Juni auf. Niederschläge im Juli führten zwischenzeitlich zu einer leichten Entspannung, ehe sich die Situation Anfang August wieder verschärfte und der Boden erneut und auch in größerer Tiefe austrocknete.

Aufgrund der Sommertrockenheit ist in diesem Jahr mit unterschiedlichen biologischen Reaktionen im Waldökosystem, u.a. mit einem Rückgang der Volumen- und Höhenwuchsleistung der Bäume zu rechnen. Die hohen Ozonwerte dürften in diesem Jahr durch akuten Trockenstress überlagert worden sein. Im kommenden Jahr können aber durchaus noch Folgeschäden auftreten.

Über weitere und konkretere Beobachtungen zu den biologischen Konsequenzen der außergewöhnlichen Wetterlage und Ozonbelastung des Sommers 2003 wird in den Kapiteln 1.1 zum Kronenzustand der Waldbäume und 1.3 zur Forstschutzsituation berichtet. ●

#### WEITERE INFORMATIONEN

- Kronenzustand der Waldbäume  
siehe „Vitalität der Waldbäume“  
Seite 7
- Forstschutzsituation  
Seite 11

# Zeitliche Entwicklung der Luftschadstoffkonzentrationen in Waldbeständen im Zeitraum 1993 – 2002/03

LUDWIG RADERMACHER UND DR. JUTTA GEIGER, LUA ESSEN

Das Land Nordrhein-Westfalen untersucht seit etwa 20 Jahren die Konzentrationen verschiedener Luftschadstoffe in Waldgebieten. Die Immissionsmessungen werden im Eggegebirge am Velmerstot (EGGE), in der Eifel in Simmerath-Lammersdorf (EIFE) und im Rothaargebirge in Hilchenbach (ROTH) in quellenfernen Gebieten durchgeführt.

Zur Beurteilung der Luftqualität in der Nähe von Emissionsquellen wird als Waldgebiet die Haard, am nördlichen Rand des Ruhrgebietes, in die Erhebungen mit der Messstation Marl-Sickingmühle (SICK) einbezogen.

An den genannten Standorten werden die Konzentrationen von Schwefeldioxid (bis 2002), Stickstoffmonoxid, Stickstoffdioxid, Ozon und Schwebstaub fortlaufend in der Umgebungsluft bestimmt. Die Daten für die nachfolgenden Auswertungen sind dem LUQS-Messnetz (Luftqualitätsüberwachungssystem des Landes Nordrhein-Westfalen) entnommen, das vom Landesumweltamt betrieben wird. Die Datenbasis sind Halbstunden- bzw. Stundenwerte.

In dem Bericht werden die Zeitreihen von 1993-2002 betrachtet und im besonderen auf die aktuelle Ozonbelastung im Juli und August des Jahres 2003 eingegangen.

Die Schwefeldioxid Konzentrationen an den ländlichen Stationen sind seit 1998 nahezu unverändert niedrig und die Messwerte liegen teilweise unter der Nachweisgrenze von  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Auf die Wiedergabe der Entwicklung der Schwefeldioxidtrends wird daher verzichtet. Als Konsequenz wurden die Schwefeldioxidmessungen an den Waldstationen Ende 2002 eingestellt.

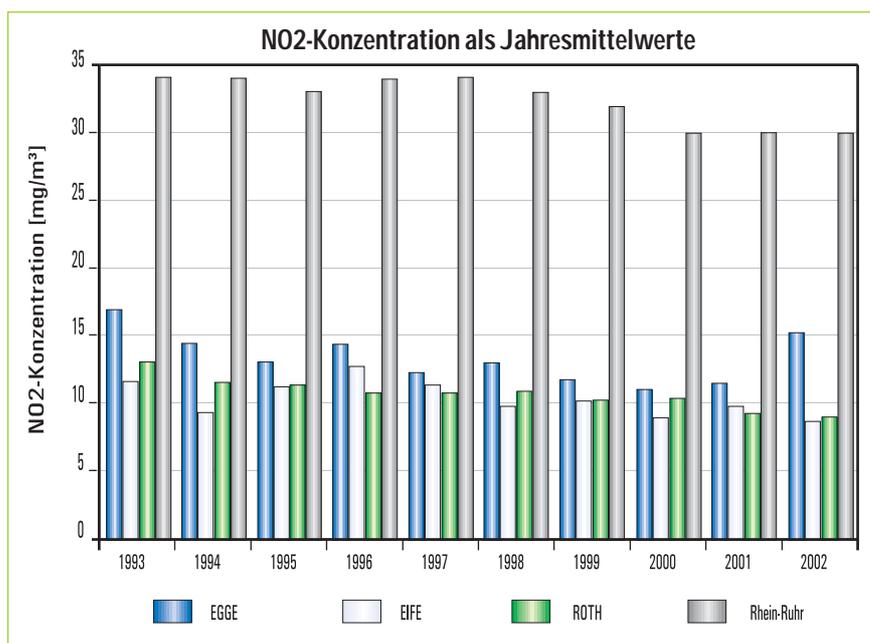
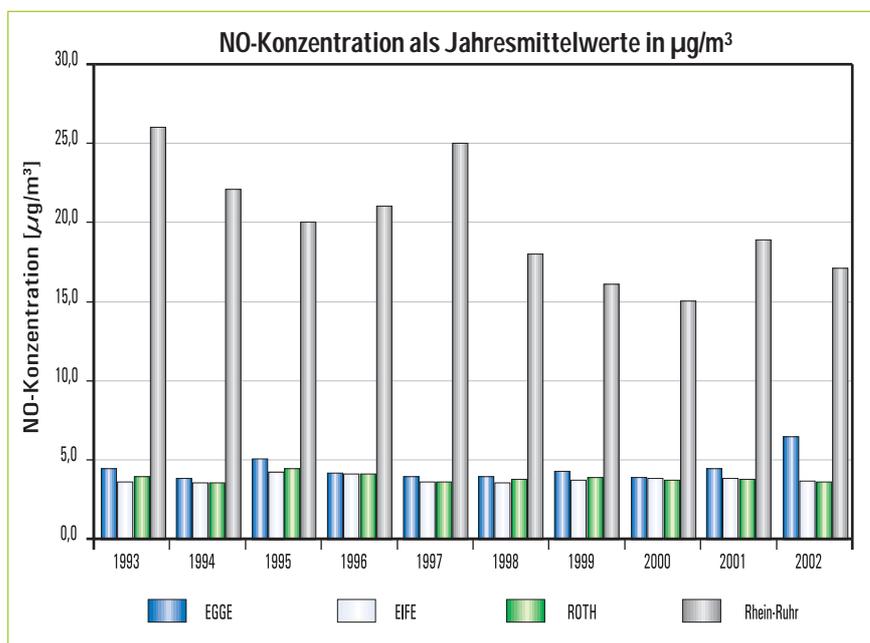


Abb. 1 oben: NO-Jahresmittelwerte (1993-2002), berechnet aus Halbstundenmittelwerten.

Abb. 2 unten: NO2-Jahresmittelwerte (1993-2002), berechnet aus Halbstundenmittelwerten.

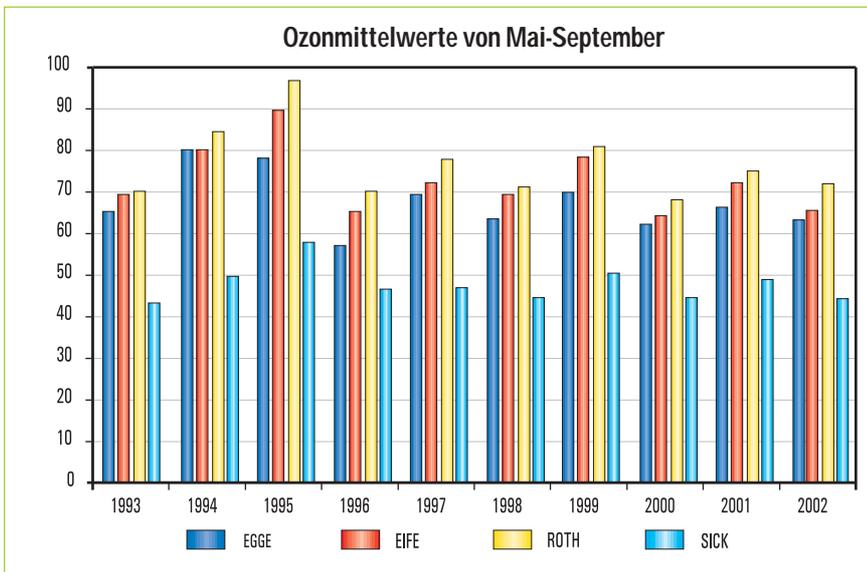
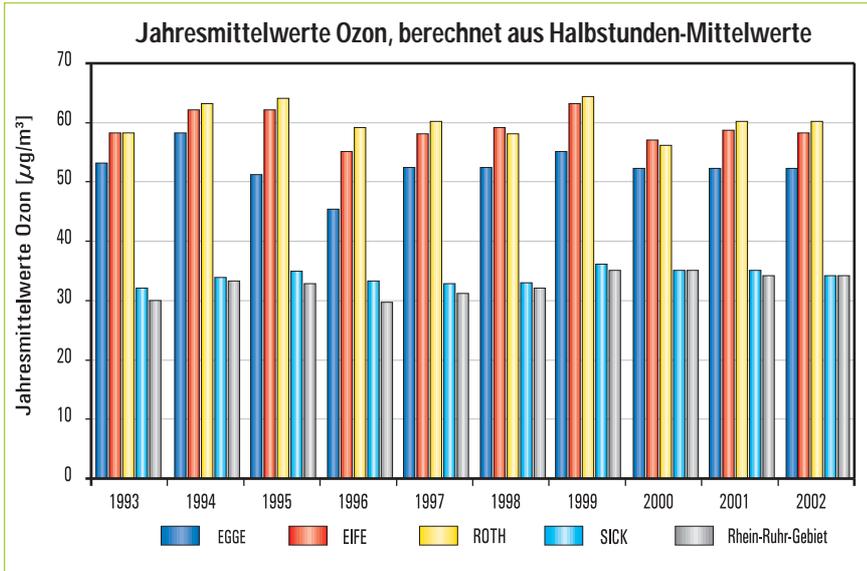


Abb. 3 oben: Ozon-Jahresmittelwerte (1993-2002), berechnet aus Halbstundenmittelwerte

Abb. 4 unten: Ozonmittelwerte (1993-2002) von Mai bis September

Im Vergleich zu Jahresmittelwerten an den Waldstationen von über 35 µg/m<sup>3</sup> Mitte der 80er Jahre belegt dieses Ergebnis eindrucksvoll die Wirkung der Emissionsminderungsmaßnahmen, die in der Industrie ab Mitte der 80er Jahre umgesetzt wurden.

### STICKSTOFFOXIDENTWICKLUNG AN DEN WALDMESSTATIONEN SOWIE IM RHEIN-RUHR-GEBIET

Stickstoffmonoxid entsteht überwiegend bei Verbrennungsprozessen. Die Hauptquelle ist mittlerweile der Kraftfahrzeugverkehr. Während des Transportes in der Atmosphäre wird ein überwiegender Teil zu Stickstoffdioxid oxidiert. Hohe Stickstoffmonoxid-

Konzentrationen werden daher nur in unmittelbarer Nähe von Emittenten gemessen.

Bei den quellenfernen Waldmessstationen liegen die Messwerte während des Betrachtungszeitraumes an allen 3 Orten auf unverändert niedrigem Niveau. Die Jahresmittelwerte bewegen sich im Bereich der Nachweisgrenze (Messwerte unterhalb der Nachweisgrenze von 7 µg/m<sup>3</sup> gehen mit halber Nachweisgrenze in die Berechnung der Jahresmittelwerte ein).

Wie aus Abbildung 1 zu erkennen ist, werden an den im Rhein-Ruhr-Gebiet gelegenen Stationen deutlich höhere Konzentrationen gemessen, wobei ein leichter Rückgang zu erken-

nen ist. Während in den Jahren 1993-1997 Konzentrationen zwischen 21 und 26 µg/m<sup>3</sup> nachgewiesen wurden, lagen die Werte in den letzten 5 Jahren zwischen 15 und 18 µg/m.

Die Entwicklung der Stickstoffdioxid-Konzentrationen in der Luft zeigt während der 10-jährigen Beobachtungszeit nur geringe Schwankungen an den einzelnen Waldmessstationen wie beispielsweise im Eggegebirge mit Werten zwischen 11 und 17 µg/m<sup>3</sup> oder 9 und 13 µg/m<sup>3</sup> in der Eifel bzw. dem Rothaargebirge. In der Eifel und im Rothaargebirge bewegen sich die Messwerte zunehmend im Bereich der Nachweisgrenze von 10 µg/m<sup>3</sup> für den NO<sub>2</sub>-Einzelwert (vgl. Abbildung 2).

Ebenso wie die Stickstoffmonoxidbelastung ist auch die Stickstoffdioxidbelastung im Rhein-Ruhr-Gebiet mit Werten zwischen 30 und 34 µg/m<sup>3</sup> während der letzten 10 Jahre deutlich höher als in den Waldgebieten.

### OZONENTWICKLUNG AN DEN WALDMESSTATIONEN SOWIE IM RHEIN-RUHR-GEBIET

Bodennahes Ozon bildet sich über komplexe photochemische Reaktionen aus Stickstoffoxiden und leichtflüchtigen organischen Verbindungen (VOC). Die Erfassung der Luftqualität soll daher auch eine vertiefende Analyse der Wechselwirkungen zwischen verschiedenen Luftschadstoffen (NO<sub>x</sub>, VOC) und der Bildung von bodennahem Ozon in Abhängigkeit von spezifischen klimatischen Bedingungen ermöglichen.

Seit dem Auftreten der neuartigen Waldschäden in den 80er Jahren wird neben dem Einfluss der sauren Niederschläge auf die Waldböden auch die Wirkung von Ozon dem Ursachenkomplex neuartige Waldschäden zugeordnet. Beide Faktoren werden mittelbar, oder auch bei Vorliegen entsprechender Konzentrationen, unmittelbar für die Schädigungen der Bäume verantwortlich gemacht, wobei Ozon an Nadeln und Blättern u.a. Veränderungen der Stoffwechselaktivität verursacht, die letztlich Vitalitätsschwächen initiieren bzw. verstärken können. Auf diese Weise wird die Empfindlichkeit der Bäume gegenüber biotischen, klima- »

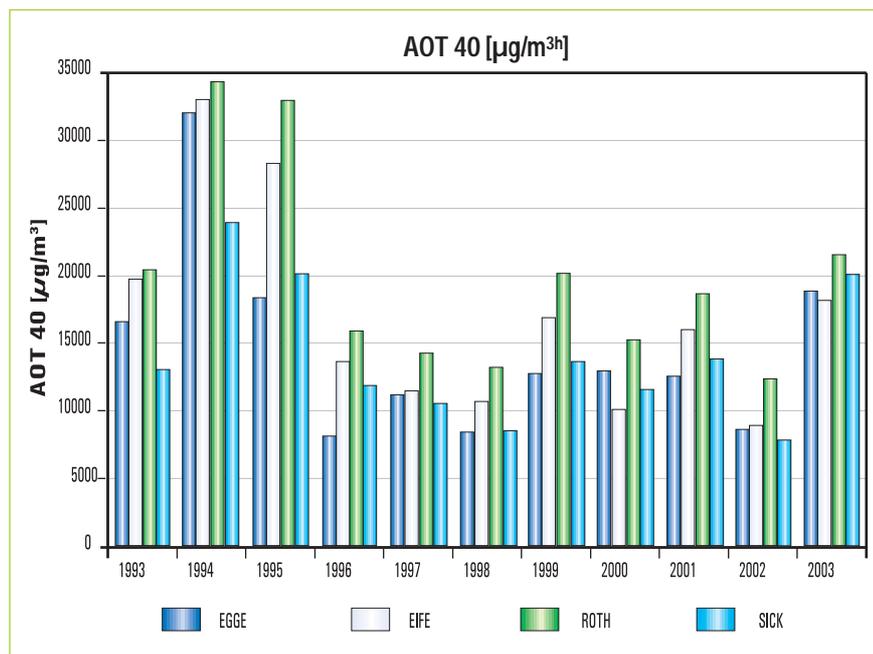


Abb. 5 : AOT 40 (accumulated exposure over a threshold of 40 ppb) in  $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{h}$  (1993-2003)

tischen bzw. edaphischen Faktoren verstärkt. Äußerlich sichtbare Symptome, wie fleckige Aufhellungen bei Nadeln (sogenanntes Mottling) oder dunkle, Stecknadelkopf große Nekrosen auf den Blattoberseiten von Laubbaumblättern sowie bronzeartige Verfärbungen (insbesondere bei Buchen) zählen zu dem Symptomkomplex der Ozonschäden. Die Ausprägung des Symptombildes wechselt jedoch von Baumart zu Baumart und die Diagnose von Ozonschäden ist nicht trivial. Die Web-Seite der UNECE Working Group *Ambient Air Quality*, die im Rahmen von ICP-Forests an der Europa weiten Erfassung von Ozonschäden arbeitet, zeigt diese Vielfalt und Möglichkeiten der Differentialdiagnose.

#### WEITERE INFORMATIONEN

UNECE Working Group  
Ambient Air Quality  
(<http://www.gva.es/ceam/ICP-forets/>)

So führen beispielsweise Trockenheit und Einwirkungen hoher Ozonkonzentrationen zu sehr ähnlichen Symptombildern. – Im Sinne der Nachhaltigkeit ist es daher von großer Bedeutung, die Ozonbelastung in den Waldgebieten Nordrhein-Westfalens zu beobachten. In Abbildung 3 sind die Ozonjahres-

mittelwerte für die Jahre 1993 bis 2002 an den Waldmessstationen, in Marl-Sickingmühle sowie im Vergleich dazu im Rhein-Ruhr-Gebiet aufgeführt.

Im Jahresdurchschnitt liegen die Konzentrationen im Eggegebirge, in der Eifel und im Rothaargebirge auf vergleichbarem Niveau mit Werten zwischen 50-60  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , wobei die höchsten Konzentrationen i.d.R. an der Station Rothaargebirge bzw. Eifel gemessen werden. Vergleichsweise niedrigere Werte treten an der Messstation Eggegebirge auf. Ein einheitlicher Trend ist während des Beobachtungszeitraumes nicht zu erkennen.

In Marl-Sickingmühle, am Rand der Haard sowie im Durchschnitt des Rhein-Ruhr-Gebietes liegen die Ozonkonzentrationen im vergleichbaren Zeitraum zwischen 30 und 35  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Abbildung 3 zeigt, dass während des betrachteten Zeitraumes an allen Stationen nur geringe Schwankungen der Jahresmittelwerte beobachtet werden konnten.

Eine Auswertung der Ozonkonzentration als Mittelwert über die Vegetationszeit zwischen Mai und September führt zu den Ergebnissen die in der Abbildung 4 dargestellt sind. Aus Wirkungsbezogener Sicht liefern diese Ergebnisse ein differenzierteres Bild als die Jahresauswertung. Die Werte streuen über die Jahre zwischen

57  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  an der Station Eggegebirge (1996) und 97  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  an der Station Rothaargebirge (1995). Die höchsten Gehalte werden in den Jahren 1994 und 1995 ermittelt. In diesen beiden Jahren waren die Sommer besonders heiß. An allen drei Waldstationen wurden etwa doppelt so viele Sommertage gezählt wie im langjährigen Durchschnitt (1989-2000).

Im Februar 2002 wurde die EU Tochterrichtlinie über den Ozongehalt der Luft (2002/3/EG) verabschiedet. Sie ist zum September 2003 in nationales Recht umzusetzen. Ähnlich wie in der 1. Tochterrichtlinie zu Schwefeldioxid wird u.a. als Ziel der Richtlinie darauf hingewiesen, dass „...die schädlichen Auswirkungen von Ozon auf die Vegetation, die Ökosysteme und die Umwelt insgesamt zu vermindern...“ sind.

Mit Bezug auf den Gesundheitsschutz wird eine Informationsschwelle von 180  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  als 1h-Wert festgelegt und der bisherige Alarmwert von 360 auf 240  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  abgesenkt. Für den höchsten Achtstundenmittelwert eines Tages hat die EU als Zielwert 120  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  festgelegt. Ab 2010 soll dieses 8h-Tagesmaximum – gemittelt über drei Jahre – an nicht mehr als 25 Tagen in einem Jahr überschritten werden.

Der Schutz der Vegetation wird gemäß der Richtlinie nach dem AOT 40 (accumulated exposure over a threshold of 40 ppb) beurteilt. Der Wert wird über die Summe der Differenz zwischen der stündlichen Ozonkonzentration und dem Schwellenwert von 40 ppb (= 80  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) in der Zeit zwischen 8:00 und 20:00 Uhr ermittelt. Als Beobachtungszeitraum gilt der Teil der Vegetationsperiode zwischen dem 1. Mai und 31. Juli eines Jahres. Als Mittelwert über 5 Jahre wird eine Summe < 18.000  $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{h}$  angegeben, die nicht überschritten werden sollte.

Die Ergebnisse der jährlichen Auswertungen (Mai-Juli) sind in Abbildung 5 aufgeführt. Wie zu erwarten, wurden hohe Werte des AOT 40 in 1994, 1995 sowie in 2003 an den Waldmessstandorten sowie Marl-Sickingmühle ermittelt.

Beurteilt man den AOT-Wert über den von der EU geforderten gemittelten Fünf-Jahreszeitraum, so liegt eine

Überschreitung des Summenwertes von 18.000  $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{h}$  an den Standorten Eifel und Rothaargebirge für den Betrachtungszeitraum 1993-1997 und 1994-1998 vor (vgl. Abbildung 6). Am Standort Rothaargebirge gibt es auch eine Überschreitung des AOT 40 für den Zeitabschnitt 1995-1999. Somit liegt nach den Vorgaben der EU-Ozonrichtlinie eine Überschreitung des „wirksamen Schutzes gegen die Auswirkungen von Ozon auf die Vegetation“ in den vorgenannten Zeiträumen an den entsprechenden Standorten vor. Alle übrigen Auswertungen unterschreiten den Schwellenwert von 18.000  $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{h}$ .

Auf Grund starker methodischer Schwächen des AOT40-Konzeptes wurde für die Ableitung von *Maximale(n) Immissionswerte(n) zum Schutz der Vegetation* in der VDI Richtlinie 2310 Blatt 6 ein anderer Ansatz gewählt. Auf der Grundlage von Publikationen zur Wirkung von Ozon auf Nadel- und Laubbäume, wurden Ozonkonzentrationen und die sie verursachten Kurz- oder Langzeit-Wirkungen mit Bezug auf integrative Parameter (z.B. Wachstum, Biomasse etc) in einer Dosis-Wirkungskurve zusammengefasst und der obere bzw. untere Vertrauensbereich der Kurve berechnet (10%).

Berücksichtigt wurden kontrollierte, freilandnahe und Freiland Experimente der letzten 10 Jahre aus Europa mit europäischen Waldbaumarten. Aus dieser Dosis-Wirkungs-Kurve können für unterschiedliche Expositionszeiträume maximale Immissionskonzentration (MIK) abgeleitet werden wie beispielsweise die Indices: 8 h, 24 h, 7 Tage, 30 Tage, bzw. 6 Monate für den Zeitraum April-September. In der Tabelle 10 dieser Richtlinie sind die maximalen Ozonkonzentrationen zum Schutz europäischer Laub- und Nadelbaumarten als untere Grenzlinie des Vertrauensbereiches als *maximal möglicher Schutz der Bäume* definiert (grüner Bereich). Der Bereich oberhalb der Grenzlinie des Vertrauensbereiches ist so definiert, dass *Überschreitung(en) zu dauerhaften Schäden führ(en)* (roter Bereich). Liegt die MIK innerhalb des Vertrauensbereiches (gelber Bereich), gewährleistet die Einhaltung „weitge-

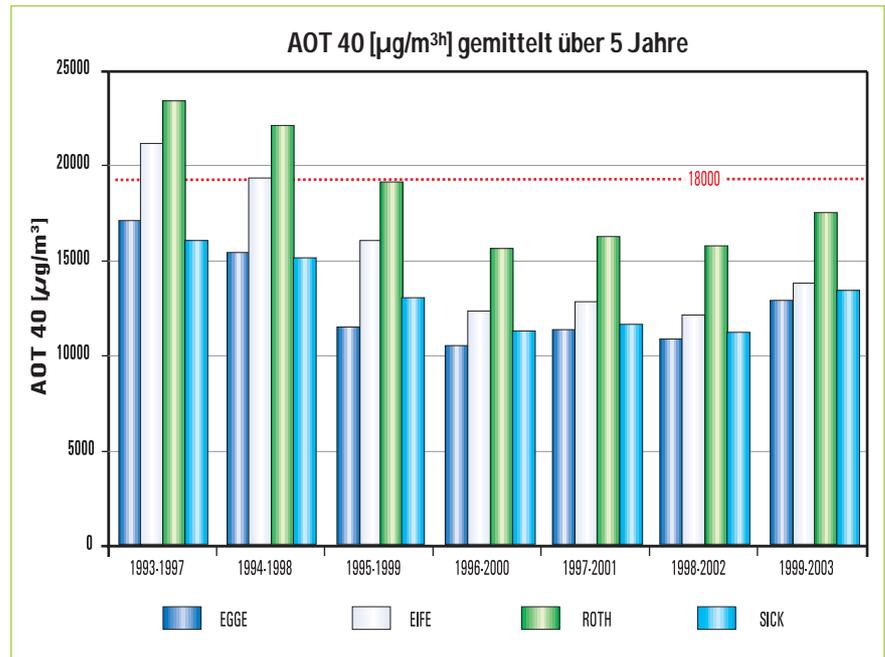


Abb. 6: AOT 40 [µg/m³h] gemittelt über 5 Jahre

henden Schutz“ der Bäume, was nicht ausschließt, dass z. B. nicht auch sichtbare Schäden auftreten können.

Die Werte der Dosis-Wirkungskurve der VDI-Richtlinie beziehen sich auf Ozonkonzentration an der Blattoberfläche. Daher stellt die Luftqualitätsmessung (Messhöhe i.d.R. 3,5 m) für Waldbäume zunächst nur eine Näherung dar. Unterstellt man eine Baumhöhe von 20 m wird ein Faktor von 1,15 diskutiert, um von 3,5 auf 20 m zu extrapolieren.

Zur Gefährdungsabschätzung wird in der VDI 2310 Blatt 6, die im Juni 2002 erschienen ist, ein konservatives Verfahren zur Anwendung vorgeschlagen, das insbesondere die hohen Konzentrationen des i.d.R. episodenhaft auftretenden Ozons berücksichtigt. Hierzu werden die 1h Mittelwerte je Messstation für den Zeitraum vom 1.4. bis 30.09. in absteigender Reihenfolge sortiert und die jeweils höchsten 1h-Werte zu den oben genannten Indices (8h, 24h, 7 Tage usw.) aggregiert. Da die Auswertungen noch nicht abgeschlossen sind, erfolgt die vorläufige Auswertung der Ozonepisode 2003 für den Zeitraum 01.04. bis 18.08.2003 nach VDI 2310 Bl. 6, Anhang B. Das Ergebnis ist in Abbildung 7 für die Messstationen Eggegebirge, Rothaargebirge, Eifel und Marl-Sickingmühle am Rand des Rhein-Ruhr-Gebietes wiedergegeben.

Aus der Abbildung lässt sich erkennen, dass alle gewählten Indices (8 h, 24 h, 7 Tage, 30 Tage, bzw. 140 Tage (1.4.-18.8.2003)) für alle Stationen im „gelben Bereich“ liegen und trotz der vergleichsweise hohen Ozonkonzentrationen ein weitgehender Schutz gewährleistet ist. Dies schließt nicht aus, dass an empfindlichen Baumarten und regional unterschiedlich ozonbedingte Blattschäden auftreten können.

Entscheidend bei der Beurteilung von Langzeitwirkungen ist jedoch der 6 Monats Vegetationsmittelwert, der zur Zeit noch nicht verfügbar ist.

In einer weiteren Auswertung für die Stationen Eifel und Eggegebirge wurden die 7 Tages Mittelwerte auf der Basis der 1h Messwerte gleitend für den Zeitraum 01.04.2003 bis 18.08.2003 ausgewertet und in Abbildung 8 wiedergegeben. Auch diese Auswertung zeigt, dass sich keine Überschreitungen des MIK-Wertes von 172  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  Mittelwert über 7 Tage ergeben, allerdings liegen die Werte im Juli und August vor allem an der Station Eifel bemerkenswert hoch.

Auch in diesem Jahr lässt sich feststellen, dass die Ozonkonzentrationen an den Waldmessstationen um 30 % gegenüber der hier herangezogenen Station Marl-Sickingmühle im Rhein-Ruhr-Gebiet höher liegen, wenn man längere Expositionszeiträume vergleicht. Damit ist nach wie vor die »

Belastungssituation für Wälder in den ländlichen Gebieten der Mittelgebirge durch Ozon kritischer zu sehen, als für Wälder in bzw. in der Umgebung von Ballungszonen. Dies hängt mit den spezifischen regionalen Auf- und Abbauprozessen sowie Transportphänomenen von Ozon zusammen.

### FAZIT

Die Beobachtung der Luftqualität an Waldstandorten in Mittelgebirgslagen von NRW zeigt bei Schwefeldioxid seit 1998 weitgehend Werte unterhalb der Nachweisgrenze von  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Schwefeldioxid wird daher seit 2003 nicht mehr an den Waldstationen gemessen.

Bei den Stickoxiden hat sich, bezogen auf  $\text{NO}$ , die Konzentration in den letzten 5 Jahren an quellenfernen Standorten kaum verändert, obschon der Kfz-Verkehr noch weiter zugenommen hat. Vielfach liegen die Werte im Bereich der Nachweisgrenze des Verfahrens von  $7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Die  $\text{NO}_2$ -Konzentration bewegt sich an den Stationen Eifel und Rothaargebirge in den Jahren von 1998 bis 2002 im Bereich von  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Im Eggegebirge liegen die Werte etwas höher.

Für Ozon, als besonders phytotoxisch wirkender Luftschadstoff, zeigt sich kein eindeutiger Trend, wenn man die Vegetationsmittelwerte der letzten 10 Jahre vergleicht. Zwischen 1993 und 2002 werden in den Jahren mit besonders heißen Sommern, wie 1994 und 1995 die höchsten Werte mit einem Maximalwert von nahe  $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$  im Rothaargebirge gemessen. In 2002 sind neben dem Untersuchungsjahr 1993 die niedrigsten Konzentrationen feststellbar.

Eine Beurteilung der Ozonbelastung nach dem AOT 40 der Ozonrichtlinie 2002/3/EG führt, gemittelt über jeweils 5 Jahre, in den Jahren 1993-1997 bzw. 1994-1998 an den Stationen Eifel und Rothaargebirge zu Überschreitungen, sowie in den Jahren 1995-1999 an der Station Rothaargebirge. Dies bedeutet eine Überschreitung des *wirksamen Schutzes gegen die Auswirkungen von Ozon auf die Vegetation*.

Die vorläufigen Auswertungen der Ozonbelastung 2003 zeigen teilweise ähnlich hohe Werte wie in den Jahren

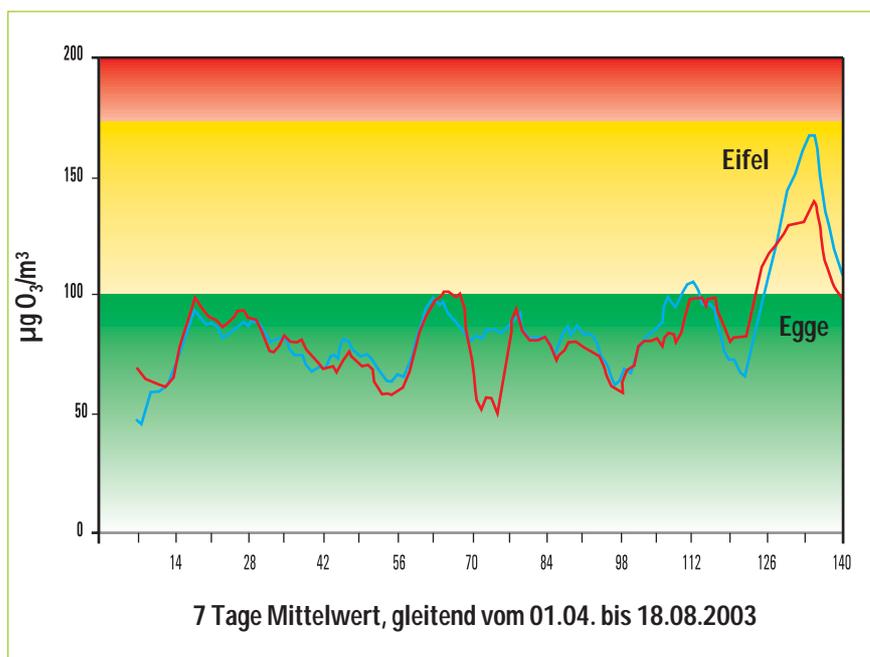
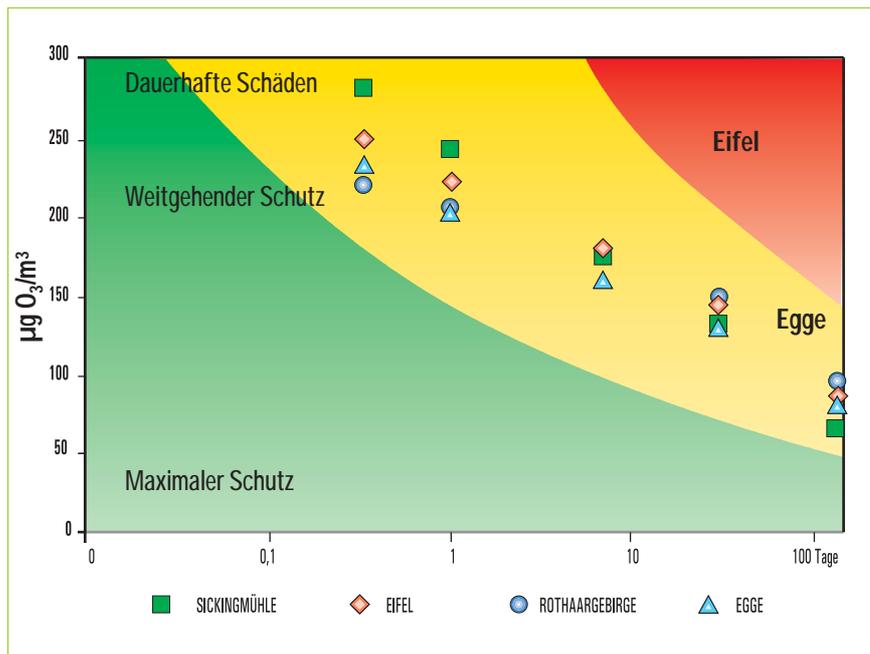


Abb. 7 oben: Abschätzung des Ozon-Gefährdungspotenzials für Laub- und Nadelbäume nach VDI 2310 Bl.6, Anhang B

1994 und 1995. Die höchste Belastung als 8-h-Mittelwert wird in Marl-Sickingmühle ermittelt.

Eine abschließende Beurteilung möglicher Wirkungen von Ozon auf die Waldbäume kann jedoch erst nach Abschluss der Vegetationszeit Ende September und der anschließenden Validierung der Daten erfolgen.

Eine vorläufige Risikobewertung für Laub- und Nadelbäume nach VDI 2306 Blatt 6, Anhang B zeigt, dass die Ozonkonzentrationen an allen be-

Abb. 8 unten: Verlauf der Ozonkonzentration an zwei Waldmessstationen als gleitender Mittelwert.

trachteten Stationen für die Indices 8h-, 24h-, 7 Tage-, 30 Tage- und 140-Mittelwert, bezogen auf die jeweils höchsten Stundenmittelwerte, in einem Bereich liegen, die keine dauerhaften Schäden befürchten lassen. Im Hinblick auf die Vitalität vorzugsweise der ozonempfindlichen Laubgehölze wie *Fagus sylvatica* bleibt jedoch abzuwarten, ob sich Wechselwirkungen aus hoher Ozonbelastung einerseits und starker Trockenheit andererseits im Jahr 2004 zeigen werden. ●



## Umwelteinflüsse mit Langzeitwirkung

Ergänzend zur aktuellen Waldschadenserhebung und der Klärung ihrer unmittelbar wirksamen Ursachen bietet das Critical Loads Konzept eine tragfähige, wissenschaftlich fundierte Grundlage für die Analyse der Langzeitfolgen von Luftschadstoffeinträgen, zumal die Methoden weiterentwickelt und die Datenbasis fortlaufend verbessert und aktualisiert werden.

Diese Arbeiten zielen darauf ab, die Empfindlichkeit unterschiedlicher Ökosysteme zu definieren und die Folgen von Luftreinhalte- sowie forstlicher Managementmaßnahmen aufzuzeigen.

Auf diesem Gebiet werden im internationalen und nationalen Bereich ständig Fortschritte erzielt und neue Erkenntnisse vorgestellt. Diese sollen im Rahmen des ökologischen Umweltmonitoring schrittweise auch auf den nordrhein-westfälischen Wald angewendet werden.

So will das nachfolgende Kapitel 3.1 über eine verbesserte Abschätzung der Freisetzung basischer Kationen durch Verwitterung, eine zentrale Kenngröße im Critical Loads Modell, und eine neue Berechnung der atmosphärischen Stoffdeposition informieren.

In Kapitel 3.2 wird über die Möglichkeit berichtet, die Folgen verschiedener Umweltszenarien am Beispiel ausgewählter Level II- Flächen in Nordrhein-Westfalen mit einem zeitlich dynamischen Stoffhaushaltsmodell abzuschätzen.

# Neue Grundlagen für die Berechnung von Critical Loads und deren Überschreitung durch Stoffeinträge

DR. JOACHIM GEHRMANN, LÖBF RECKLINGHAUSEN,  
DR. ROLF BECKER, ÖKODATA STRAUSBERG UND DR. TILL SPRINGER, UBA BERLIN

## CRITICAL LOADS MODELL PROFILE

PROFILE ist ein steady state Modell, das auf der Basis von Massenbilanzen die betrachteten Ökosysteme im Gleichgewichtszustand abbildet. In ihr werden versauernd wirkende Prozesse wie die Schwefel- und Stickstoffdeposition, die Nettoaufnahme basischer Kationen durch den Bestand sowie die Auswaschung von basischen Kationen mit dem Bodensickerwasser den säurepuffernden Prozessen wie die Basendeposition mit den Niederschlägen, die Basenfreisetzung durch Verwitterung und die Nettostickstoffaufnahme durch den Bestand gegenübergestellt.

PROFILE beschreibt den Zustand eines Waldökosystems und die Auswirkung der atmosphärischen Deposition von Säurebildnern auf die Bodenlösung, welche als Zustandsindikator angesehen wird. Hierzu werden Nährstoffkreisläufe und bodenchemische Prozesse modelliert, welche die Wasserflüsse sowie bestimmte bodenchemische Reaktionen (Bodenlösungsgleichgewicht, Mineralverwitterung, Nitrifikation und Nitrataufnahme) nachbilden.

In vorangegangenen Projekten, deren Ergebnisse aus Berichten über den ökologischen Zustand des Waldes zu entnehmen sind, wurden die ökologisch unbedenklichen Belastungsschwellen (Critical Loads) für eutrophierenden Stickstoff und für Säureinträge nach dem einfachen Massenbilanzansatz (simple mass balance) bestimmt. In einem Folgeprojekt sind jetzt die Critical Loads für den Eintrag von Säurebildnern für die rund 500 Waldstandorte der Bodenzustandserhebung (BZE) mit dem steady state-Modell PROFILE 4.4 nachmodelliert

worden. Gegenüber der einfachen Massenbilanz hat PROFILE insbesondere folgende Vorteile:

### PROFILE VORTEILE

Die kritischen Schwellenwerte der Bodenlösung (Critical Limits) und damit die angestrebten Schutzziele werden standortsspezifisch definiert. Schutzzielrelevant sind folgende Kenngrößen in der Bodenlösung:

- ▶ die Konzentration von Aluminium,
- ▶ das Verhältnis von basischen Kationen zu Aluminium,
- ▶ der pH- Wert und
- ▶ die Säureneutralisationskapazität.

Bestimmte Teilprozesse im Stoffkreislauf des Waldökosystems lassen sich genauer bestimmen.

Dies sind:

- ▶ Die Freisetzung basischer Kationen durch Verwitterung und
- ▶ die Nährstoffaufnahme durch den Bestand.

Der maximal zulässige Stoffeintrag, bei dem die modellierten Kenngrößen der Bodenlösung ihre kritischen Schwellenwerte einhalten, definiert den Critical Load. In dem Maße, wie die kritischen Schwellenwerte der Bodenlösung als Folge überhöhter Stoffeinträge überschritten werden, steigt u.a. das Risiko, dass wichtige Bodenprozesse ausgelenkt werden, sich die natürliche Vielfalt von Pflanzen und Tieren vermindert oder Schäden an der Vegetation eintreten (UN ECE 1991).

Darüber hinaus ermöglicht PROFILE auch eine detaillierte Fehlerabschätzung. Diese zeigt auf, wie stark jede Eingangsgröße das Modellergebnis beeinflusst und wie groß der Gesamtfehler des Critical Load ist. Schließlich ist PROFILE als Vorstufe einer dynamischen Modellierung anzusehen, über die im nachfolgenden Kapitel 3.2 berichtet wird.

### ▶ WEITERE INFORMATIONEN

Näheres zum Modell PROFILE findet sich u.a. in [Warfvinge und Sverdrup \(1995\)](#) sowie unter [www2.chemeng.lth.se](http://www2.chemeng.lth.se) und [www.oekodata.com](http://www.oekodata.com).

## FREISETZUNG BASISCHER KATIONEN

Eine Hauptkomponente in PROFILE stellt die Verwitterung basischer Kationen sowie deren Wechselwirkungen mit den Ionengehalten der Bodenlösung dar. Hierzu wurden erstmals für alle BZE-Punkte im nordrhein-westfälischen Wald Mineralgehalte abgeleitet.

Diese werden benötigt, um mit Hilfe von PROFILE Verwitterungsraten, d.h. die Freisetzung an Kationen pro Zeiteinheit, sowie die zeitliche Entwicklung von Bodenlösungskennwerten mit SAFE zu berechnen.

Mit Hilfe einer Klassifizierung nach geologischen und petrographischen Kriterien, die an allen BZE-Punkten vorgenommen wurde, sowie mineralogischen Analysen von gezielt ausgewählten BZE-Punkten ließ sich die chemische Zusammensetzung von insgesamt 14 Mineralen berechnen und, unter Verwendung idealisierter Formeln aus der Fachliteratur angeben,

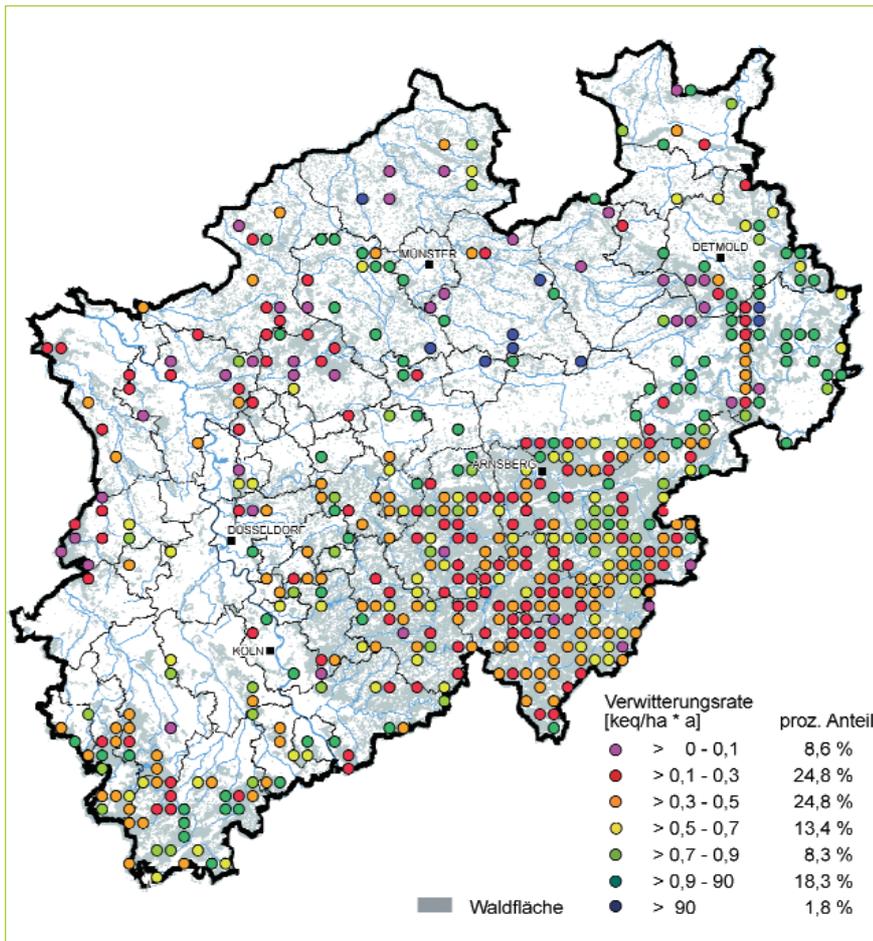


Abb. 1: Freisetzung basischer Kationen durch Verwitterung

wie viel Kationen durch Verwitterung freigesetzt werden.

Das Ergebnis ist in Abbildung 1 als Übersichtskarte und in einer Häufigkeitsverteilung dargestellt. Aus der flächenrepräsentativen BZE-Stichprobe ist abzuleiten, dass rund 20% der Waldböden in Nordrhein-Westfalen mit über  $0,9 \text{ keq ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  über hohe, 46,5% mit  $0,3$  bis  $0,9 \text{ keq ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  über mittlere und 33,5% mit weniger als  $0,3 \text{ keq ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  über geringe Freisetzungsraten basischer Kationen (Ca + Mg + K + Na) verfügen.

Die Böden mit hohen Verwitterungsraten finden sich überwiegend im Münsterländer Kreidebecken, den Muschelkalkgebieten auf der Paderborner Hochfläche, im Eggegebirge (mit Ausnahme des Eggekamms) sowie vereinzelt in den devonischen Kalken der Nordeifel und des Sauerlandes. In der Regel beträgt der Anteil von Calcium an der Verwitterungsrate 75% und mehr. Sofern nur Calcit und Dolomit in den Böden dieser Gruppe enthalten sind, können Nährstoffeng-

pässe auftreten, da die oftmals hohen pH-Werte eine Nachlieferung durch die Verwitterung von Illiten und Feldspäten erschweren.

Im links- und rechtsrheinischen Schiefergebirge sind am häufigsten Böden mit mittleren Verwitterungsraten anzutreffen. Von einem geschlossenen Verbreitungsschwerpunkt kann jedoch nicht gesprochen werden, da Böden mittlerer und geringer Verwitterungsraten in der Eifel, im Bergischen und im Sauerland oft im Wechsel miteinander vorkommen. Charakteristische Minerale in den Böden der genannten Wuchsgebiete sind der Illit sowie die daraus entstandenen Tonminerale. Die Böden der mittleren Verwitterungsgruppe zeichnen sich aufgrund des Mineralvorkommens durch einen relativ hohen Anteil von Kalium und Magnesium aus. Beide Kationen sind zu jeweils 40 bis 50% an den Verwitterungsraten vertreten.

Wie aus Abbildung 1 ebenfalls zu entnehmen ist, verteilen sich die ärmsten bodenbildenden Substrate schwer-

punktmäßig auf das niederrheinische Tiefland und die westliche Münsterländer Bucht. Das Eggegebirge, der Teutoburger Wald und die Senne weisen ebenso wie der zentrale Bereich des Sauerlandes sehr basenarme Substrate auf. Die außerhalb des rheinischen Schiefergebirges abgelagerten Sande bestehen zum größten Teil aus verwitterungsstabilem Quarz. Daneben kommt noch Feldspat vor. Tonminerale treten nur untergeordnet auf. Daher sind die Verwitterungsraten in dieser Verwitterungsgruppe sehr niedrig einzustufen.

Insofern haben die Mineralanalysen neue quantitative Eingangsdaten für das Critical Loads Modell PROFILE geliefert, welches die Freisetzung von Kationen durch Verwitterung für jeden Inventurpunkt der BZE berechnet. Auf standörtlicher Grundlage quantifizierte Angaben zur Mineralverwitterung haben bislang repräsentativ für die Waldfläche des Landes noch nicht vorgelegen.

### TREND DER ATMOSPHERISCHEN STOFFEINTRÄGE

In Dezember 2002 hat das Bundesumweltamt, Berlin mit dem Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben 299 42 210 u.a. flächendeckende, digitale Karten zur Deposition von Luftschadstoffen für die Jahre 1990 - 1999 veröffentlicht. Diese Karten sind der einzige, aktuelle, räumlich detaillierte und vollständige Datensatz zu Gesamteinträgen von versauernden und eutrophierenden Luftschadstoffen in Deutschland. Für die Anwendung auf Landesebene wurden die Lagedaten der 500 BZE- Punkte mit den Depo-»

sitionskarten verschnitten und die modellierte Gesamtdeposition mit einer räumlichen Auflösung von  $1 \times 1 \text{ km}^2$  für jeden Inventurpunkt übernommen. In den Abbildungen 2 und 3 sind mittlere jährliche Stoffeinträge für die Waldfläche des Landes und ihre Entwicklung von 1990 bis 1999 dargestellt. Die einzelnen Depositionsraten wurden hierzu jahrgangsweise landesweit gemittelt.

Danach verminderte sich der atmosphärische Eintrag von Schwefel (ohne Sulfat aus Seesalz) zwischen 1990 und 1999 auf den nordrhein- westfälischen Waldflächen linear um 64%. 1990 lag der mittlere Eintrag bei  $84 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ , 1999 bei  $29 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ . Auch wenn die Deposition bundesweit im Mittel aller Landnutzungen als Folge der besonderen Situation in den ostdeutschen Ländern um 74% abgenommen hat, ist auch an der Schwefeldeposition im Wald von Nordrhein-Westfalen der deutliche Erfolg von Emissionsminderungsmaßnahmen zu erkennen.

Die Stickstoffdeposition ging in Nordrhein-Westfalen als linearer Trend in den 10 Jahren um 23% zurück. Die Einträge haben sich von  $65 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  im Jahr 1990 auf  $47 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  im Jahr 1999 reduziert. Diese Entwicklung beruht hauptsächlich auf den Einträgen vom  $\text{NO}_y$ , die sich von  $25 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  im Jahr 1990 auf  $14 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  im Jahr 1999 bzw. um 28% vermindert haben. Die durchschnittlichen Einträge von  $\text{NH}_x$  blieben fast unverändert (1990:  $39 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ ; 1999:  $34 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ ). Eine lineare Regression der 10 Jahreswerte ergibt eine Abnahme von 10%. Der Anteil von  $\text{NH}_x$  an den Gesamtstickstoffeinträgen stieg somit von etwa 60% (1990) auf 70% (1999).

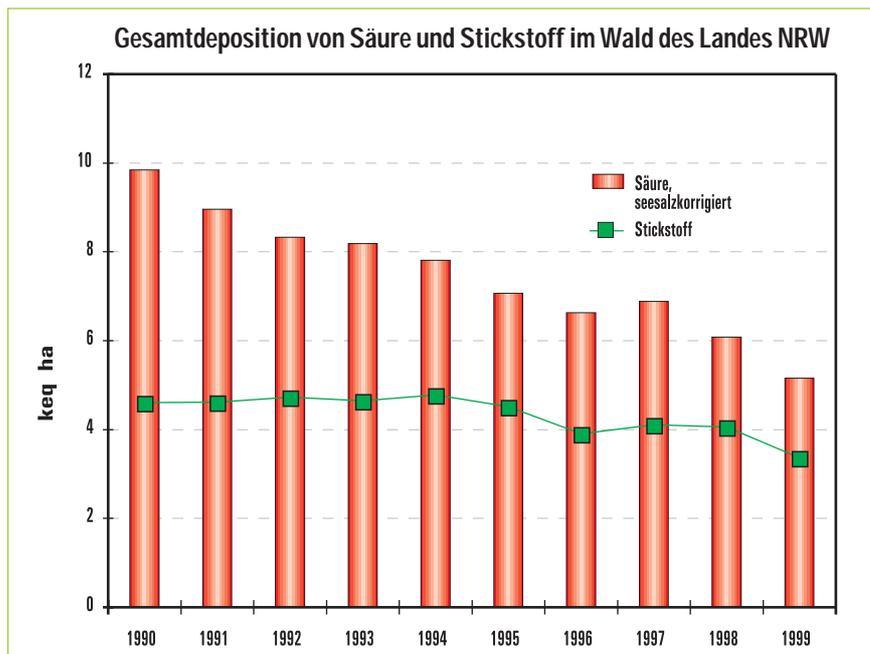
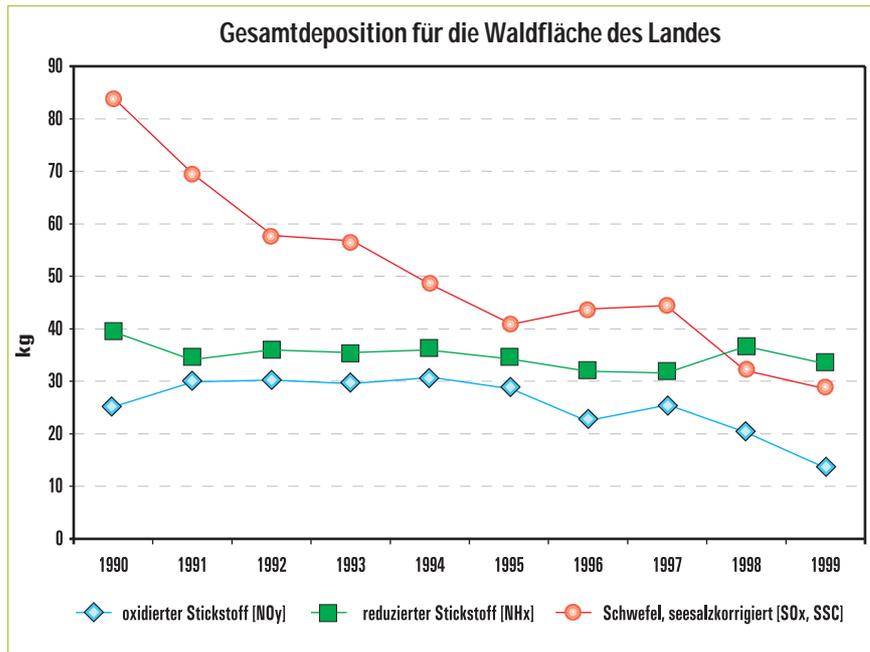


Abb.2 oben: Gesamtdeposition von Schwefel und Stickstoffverbindungen

Abb. 3 unten: Gesamtdeposition von Stickstoff und potentieller Säure

Der Eintrag potentieller Säure wurde berechnet als Summe der Deposition von  $\text{SO}_x$  (seesalzkorrigiert),  $\text{NO}_y$  und  $\text{NH}_x$ . Diese international übliche und im Rahmen von UN/ECE- und EU-Richtlinien verwendete Definition berücksichtigt die langfristige Säurewirksamkeit von  $\text{NH}_x$ -Depositionen, die erst nach einem Austrag als Nitrat aus dem Ökosystem zum Tragen kommt. Der mittlere Eintrag nahm in Nordrhein-Westfalen von 1990 ( $9,8 \text{ keq ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ ) bis 1999 ( $5,6 \text{ keq ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ ) um 43% ab; dies ist wesentlich

durch die Abnahme von Schwefel bedingt. Gegenüber dem nationalen Datensatz, der Säureeinträge von  $5,4 \text{ keq ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  (1990) und  $2,8 \text{ keq ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  (1999) nennt, ist zu berücksichtigen, dass sich die Angaben für Nordrhein-Westfalen einerseits ausschließlich auf Wald beziehen und andererseits davon wahrscheinlich ein großer Flächenanteil höheren Stickstoffeinträgen als in anderen Waldregionen Deutschlands ausgesetzt ist.

Im gesamten Beobachtungszeitraum dominieren die Stickstoffeinträge im

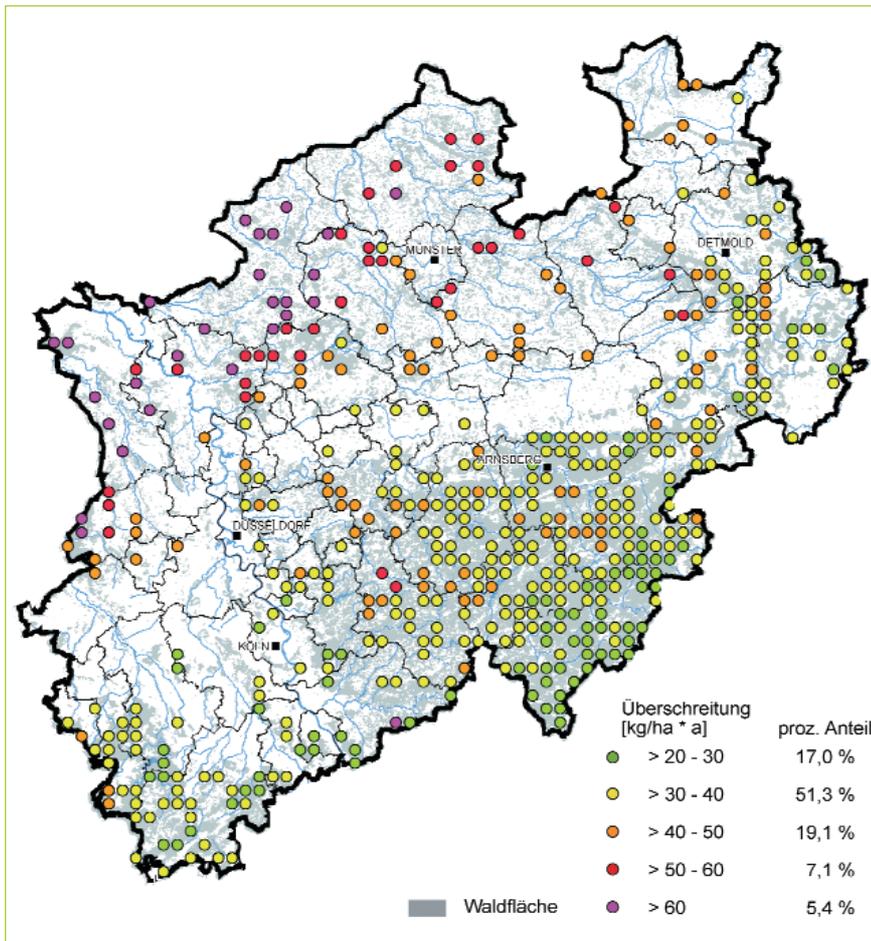


Abb. 4: Überschreitung der kritischen Belastungsgrenzen durch Stickstoffeinträge 1999

nordrhein-westfälischen Wald die Säureeinträge. Ammoniak/Ammonium allein trägt hier seit 1998 mehr zur Versauerung der Waldökosysteme bei als Schwefel. Ammoniak aus der Intensivviehhaltung ist somit der wichtigste versauernde und eutrophierende Luftschadstoff.

Der Vergleich mit den Einträgen, die sich mittels Kronenraumbilanzmodellen aus den Messungen an den Standorten des Forstlichen Umweltmonitoring in Nordrhein-Westfalen berechnen zeigt, dass die modellierten Depositionsraten teilweise erheblich über den standortsbezogenen Messdaten liegen. Relativ gut ist die Übereinstimmung bei den NO<sub>y</sub> Einträgen, während die modellierten Daten für den oxidierten Schwefel und reduzierten Stickstoff wesentlich höhere Depositionsraten ergeben.

Gründe hierfür sind, dass die Gesamtdosition von Schwefel- und insbesondere die von Stickstoff

► durch die Trockendeposition dominiert werden (durchschnittlich 50-70% der Gesamteinträge),

► diese eine hohe räumliche Variabilität aufweist und

► an den Waldmessstationen aus methodischen Gründen nicht bestimmt wird.

Unter Berücksichtigung dieser Gesichtspunkte bleibt festzuhalten, dass die im Rahmen des UBA- Gutachtens modellierten Depositionsraten die derzeit verlässlichste Datengrundlage für einen Vergleich mit den aus Standortdaten der BZE abgeleiteten Critical Loads und für landesweit repräsentative Aussagen sind. Gleichzeitig werden die schon im Waldzustandsbericht 2002 für Nordrhein-Westfalen zum Stickstoff getroffenen Aussagen durch den nationalen Datensatz des UBA zum atmosphärischen Stoffeintrag voll inhaltlich gestützt.

#### ÜBERSCHREITUNG DER CRITICAL LOADS

Der Vergleich mit kritischen Belastungswerten, also die Überschreitung von Critical Loads für Eutrophierung

und Versauerung stellt das Risiko von durch Luftschadstoffe bedingten Schäden dar.

Die kritischen Belastungsgrenzen für den eutrophierenden Stickstoff wurden mit Hilfe des einfachen Massenbilanzmodells berechnet. Sie werden insbesondere durch die Netto-Stickstoffaufnahme und die Stickstoffimmobilisierung bestimmt.

Critical Loads über 10kg ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> werden auf 25% der BZE- Punkte, zumeist von Buchen- und Eichenbeständen erreicht. Diese liegen vorwiegend im Sauerland, Bergischen Land und Teutoburger Wald. Kiefernforste und schwach wüchsige Bestände zeichnen sich durch kritische Belastungsgrenzen unter 6kg ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> aus.

An allen BZE- Punkten und in allen Jahren werden die kritischen Belastungsgrenzen durch die Stickstoffdeposition überschritten. Ein positiver Trend, d.h. eine Abnahme der Stickstoffdeposition und somit der Critical Loads Überschreitungen, ist gegen Ende des Untersuchungszeitraums zu erkennen, nachdem die Depositionsraten von 1990 bis 1994 leicht ansteigen. So war 1994 auf der Hälfte aller BZE-Inventurpunkte noch eine Überschreitung der kritischen Belastungsgrenze von rund 50kg ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> festzustellen, während der Stickstoffeintrag 1999 auf diesen Flächen um ca. 30kg ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> über dem Grenzwert lag. Auch im letzten Jahr der Untersuchung wurde der Critical Load an keiner Fläche eingehalten. Die landesweit höchste Überschreitung wird immerhin noch mit 75kg ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> in einem Kiefernbestand im Reichswald am unteren Niederrhein erreicht. Insgesamt weisen die Standorte des Sauerlandes und »

der Eifel, wie aus Abbildung 4 erkennbar ist, tendenziell gegenüber den anderen Waldregionen des Landes geringere Überschreitungen auf.

Die kritischen Belastungsgrenzen für den potentiellen Säureeintrag beruhen auf dem CL Modell PROFILE 4.4.

Fast alle in Nordrhein-Westfalen untersuchten Waldstandorte zeigen, dass zumindest in den oberen Bodenschichten von 0-10cm Tiefe die pH-Werte der Bodenlösung (üblicherweise pH 4,2) als Kriterium für die kritischen Belastungsgrenzen nicht eingehalten werden. 58% der untersuchten BZE- Standorte weisen, vor allem aufgrund der geringen Freisetzung basischer Kationen durch die Mineralverwitterung, Critical Loads unter  $0,6\text{keq ha}^{-1} \text{a}^{-1}$  auf.

Dabei ist zu berücksichtigen, dass auf basenreichen und Karbonatstandorten (ca. 10% der BZE- Punkte) höhere Werte für den kritischen pH in der Bodenlösung gesetzt wurden, die vergleichsweise niedrige Belastungsgrenzen für den Säureeintrag zur Folge haben. – Fälschlicherweise werden

## Gedanke des Ökosystemschatzes

die Critical Loads immer wieder mit der naturwissenschaftlichen Beschreibung des aktuellen Ökosystemzustandes gleichgesetzt. Beide Ansätze sind zwar begründet und beruhen z.B. bei der Berechnung der Verwitterungsraten auf Angaben zum Mineralbestand. Dem Critical Loads-Ansatz liegt jedoch der Gedanke des Ökosystemschatzes zugrunde, dem

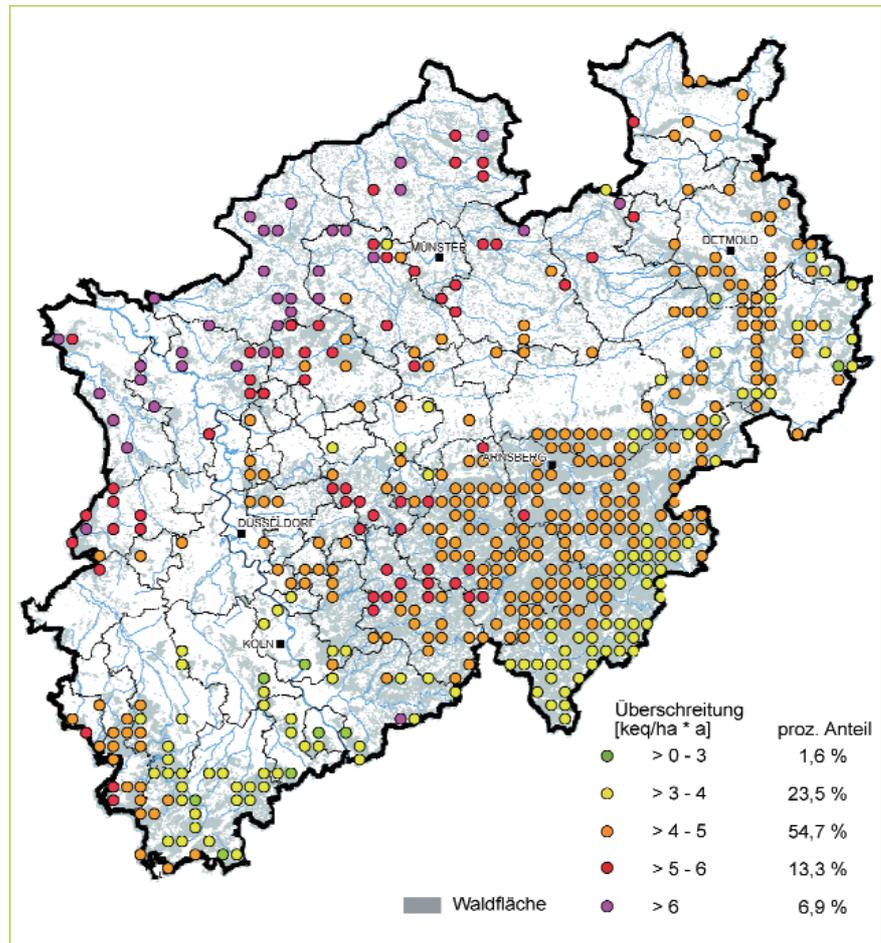


Abb. 5: Überschreitung der kritischen Belastungsgrenzen durch den potentiellen Säureeintrag im Jahr 1999.

dadurch Rechnung getragen wird, dass z.B. an basenreichere Standorte ein höheres Schutzziel d.h. schärfere Critical Limits angesetzt werden. Diese Maßnahme soll verhindern, dass aufgrund unzureichenden Schutzes bessere Standorte ihr ökologisches Potential verlieren und langfristig eine Nivellierung auf niedrigem Level mit gleichzeitigem Verlust an Biodiversität etc. stattfindet.

An fast allen Waldstandorten des BZE-Rasters werden 1999 die kritischen Belastungsgrenzen für Säureeinträge durch die potentielle Säuredeposition überschritten. Deutliche Critical Loads Überschreitungen oberhalb von  $2\text{keq ha}^{-1} \text{a}^{-1}$  treten bis 1998 an allen Standorten auf. Im Jahr 1999 (vgl. Abbildung 5) liegen die Überschreitungen zwischen 0 (2 Standorte) und  $7,5\text{keq ha}^{-1} \text{a}^{-1}$ . Sie sind im Mittel aller BZE- Punkte von  $9,2\text{keq ha}^{-1} \text{a}^{-1}$  im Jahr 1990 auf  $4,5\text{keq ha}^{-1} \text{a}^{-1}$  im Jahr 1999 zurückgegangen. In der ersten Hälfte der

Beobachtungszeit war die Höhe der Überschreitungen weniger durch die Empfindlichkeit der Waldstandorte gegenüber Säurebelastung als vielmehr durch die Höhe der Einträge vor Schwefel und Stickstoff geprägt. Dagegen wirkt sich 1999 allmählich auch das jeweilige Standortspotential aus.

Dennoch ist das großräumige Muster der Critical Loads Überschreitung noch durch ein deutliches Nord/West - Süd/Ost Gefälle gekennzeichnet, das insbesondere durch die Einträge reduzierten Stickstoffs bestimmt wird. ●

# Folgenabschätzung von Luftreinhalte- maßnahmen mit Hilfe des dynamischen Stoffhaushaltmodells SAFE

DR. ROLF BECKER, ÖKO-DATA STRAUSBERG UND DR. JOACHIM GEHMANN, LÖBF RECKLINGHAUSEN

## BEWERTUNGSANSATZ

Wie zuvor erläutert werden Critical Loads als effekt-, ökosystem- und elementspezifische Wirkungsschwellenwerte mit den Depositionen von Schwefel, Stickstoff oder Schwermetallen verglichen, um notwendige Emissionsminderungsmaßnahmen abzuleiten (vgl. Kapitel 3.1).

## Deutliche Erfolge bei der Minderung von Schwefelemissionen

Nach deutlichen Erfolgen bei der Minderung von Schwefelemissionen und in geringerem Umfang auch bei den Stickstoffemissionen, die auf internationale Vereinbarungen im Rahmen der UNECE Convention on Long Range Transboundary Air Pollution (CLRTAP) zurückgehen, tritt zunehmend der Aspekt in den Vordergrund, wie das zukünftige Verhalten gefährdeter Ökosysteme, insbesondere der Waldökosysteme unter veränderten Umweltbedingungen zu beurteilen ist.

Entscheidungshilfen liefern hierzu dynamische Modelle, deren Bedeutung durch Abbildung 1 verdeutlicht werden soll. Werden die Critical Loads durch die Deposition überschritten (linker [grauer] Teil der Graphik, rote [obere] Linie), ist zumindest ein Teil der Ökosysteme zunächst in der Lage, diese Depositionen mehr oder weniger (lange) zu kompensieren. Die chemische (z.B. Verhältnis von Basenkationen zu Aluminium oder pH-Wert der Bodenlösung; blaue [mittlere] Linie) und die biologische (braune [untere] Linie) Reaktion des Ökosystems, die sich in einer Verschlechterung ökosy-

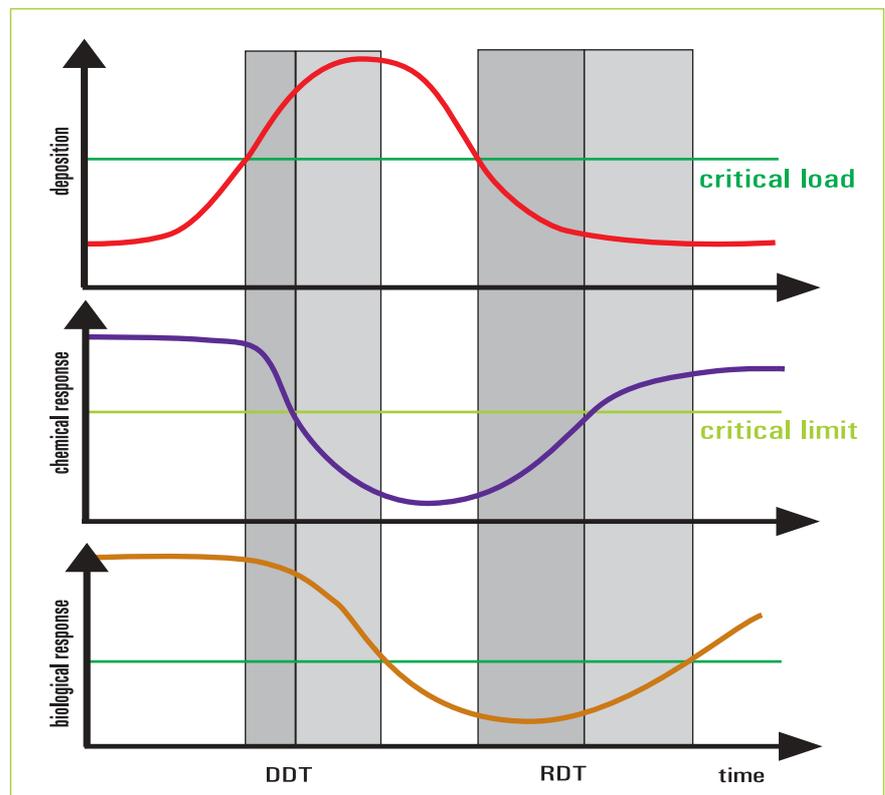


Abb 1: Schematische Darstellung der Wirkung von Luftschadstoffeinträgen (roter Linienzug) auf den Boden und die Bodenlösung (chemical response) und die belebte Umwelt (biological response).

stemarer Kennwerte im Vergleich zu den ökosystem-spezifischen Critical Limits bemerkbar macht, treten erst mit Verzögerung auf. Dieser Zeitversatz (linke graue Balken) wird Damage Delay Time (DDT) genannt.

Sinken die Depositionen infolge von Emissionsminderung wieder unter die Critical Loads (rechter [grauer] Teil der Graphik), wird idealisierend von einer wiederum mit Zeitversatz erfolgenden Erholung der Ökosysteme ausgegangen (Recovery Delay Time (RDT)). Ob dies für nordrhein-westfälische Standorte tatsächlich zutrifft,

soll im Folgenden an einem Fallbeispiel dargelegt werden.

## DAS DYNAMISCHE STOFFHAUSHALTSMODELL SAFE

Zur Prognose zeitabhängiger Reaktionen des Ökosystems auf Emissionsminderungsmaßnahmen – hier ist insbesondere die RDT (Abbildung 1) von Interesse – ist der Einsatz dynamischer Modelle unverzichtbar.

Das im Rahmen des forstlichen Umweltmonitoring für Nordrhein-Westfalen verwendete SAFE stellt ein dynamisches Modell zur Bestim-»

mung der versauernden Wirkungen von atmosphärischen Depositionen auf den Stoffhaushalt – differenziert nach Bodentiefen – an Waldstandorten dar, wobei in SAFE die hierfür notwendigen Prozesse integriert sind:

- ▶ Kationen-Austauschreaktionen
- ▶ Gleichgewichtsreaktionen der Bodenlösung unter Einbeziehung von Kohlendioxid, organischen Säuren und Aluminium
- ▶ Stoffverlagerung mit dem Bodenwasser
- ▶ Mineralverwitterung
- ▶ Deposition von basischen Kationen, Stickstoff, Schwefel und Chlorid
- ▶ Nährstoffkreislauf der Nährelemente Kalzium, Magnesium, Kalium und Stickstoff
- ▶ Netto-Festlegung der zuvor genannten Nährelemente und deren Export von der Fläche durch forstliche Maßnahmen
- ▶ Netto-Mineralisation basischer Kationen, Stickstoffs und Schwefels
- ▶ Nitrifizierung

#### WEITERE INFORMATIONEN

Eine detaillierte Modellbeschreibung findet sich in **ALVETEG (1998)**, **ALVETEG et al. (2002)**, **BECKER et al. (2001)** sowie unter <http://www2.chemeng.lth.se>.

#### DER AUSGEWÄHLTE STANDORT

Die Waldmessstation Elberndorf kann als typisch für viele mit Fichten bestockte Waldflächen in den höheren

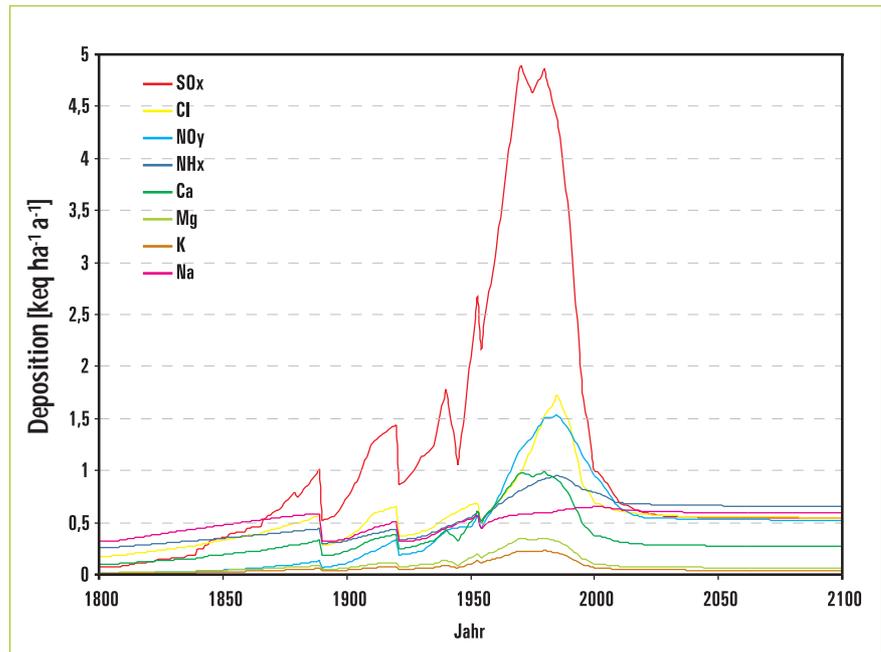


Abb. 2 : Entwicklung der Luftschadstoffeinträge für den Standort Elberndorf auf Basis der Emissionsminderungen nach Göteborg-Protokoll)

Lagen des Rheinischen Schiefergebirges betrachtet werden.

Der Standort ist bedingt durch seine exponierte Lage auf dem Rothaargebirgskamm in besonderer Weise ferntransportierten, säurebildenden Luftverunreinigungen ausgesetzt (vgl. auch Abbildung 2). Aufgrund der Belastungssituation und Vergleichbarkeit mit anderen Waldflächen im Wachstumsgebiet Sauerland wurde hier 1983 eine Waldmessstation des Landes Nordrhein-Westfalen eingerichtet.

Seit 1995 stellt die LÖBF ihre Untersuchungen auf dieser Intensivmessfläche auch der EU und UN/ECE für das europaweite forstliche Umweltmonitoring zur Verfügung.

#### SZENARIO AUF BASIS DER EMISSIONSMINDERUNGEN NACH DEM GÖTEBORG-PROTOKOLL VON 1999

Einen wesentlichen Einfluß auf den Stoffhaushalt haben die Einträge von Schwefel, Stickstoff sowie die von basischen Kationen. Die in Abbildung 2 darlegten Gesamtdepositionsraten beruhen auf von SCHÖPP et al. (2003) erarbeiteten Depositionsreihen für die Jahre 1880 bis 2030, welche an den am Standort Elberndorf gemessenen Depositionsraten sowie der modellierten Biomasse (ALVETEG et al. 2002) skaliert werden.

Bis zum Jahr 1994 wirken auf den Standort sehr hohe Schwefeldepositionen – im Zeitraum von 1968 bis 1984 liegen sie über  $4,5 \text{ keq ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  ( $> 72 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ ) – ein, ab 1995 werden die Schwefel- dann durch die noch immer hohen Stickstoffeinträge übertroffen, die auch nach Umsetzung der im Göteborg-Protokoll vereinbarten Emissionsminderungen das Depositionsgeschehen dominieren (vgl. Kap.3.1 in diesem Bericht).

Als einer der aussagekräftigsten Indikatoren im Hinblick auf die versauernde Wirkung von Luftschadstoffen im Boden kann der in Abbildung 3 dargestellte pH-Wert der Bodenlösung angesehen werden. In den oberen Bodenschichten bis 10 cm Bodentiefe liegen schon zu Beginn des Modellierungszeitraums die pH-Werte der Bodenlösung unterhalb des kritischen Grenzwertes (Critical Limit) von 4,2, unterhalb dessen u.a. negative Auswirkungen auf die Bodenstabilität sowie die Gefahr der Freisetzung von toxischen Aluminiumionen besteht.

Diese niedrigen pH-Werte sind durch die relativ zur Basendeposition hohen Einträge reduzierten Stickstoffs zu erklären. Aufgrund der zunehmenden Schwefeleinträge nehmen auch die pH-Werte insbesondere in den unteren Bodenschichten bis 1890 deutlich ab. Die Nutzung der beiden Vorbestände in

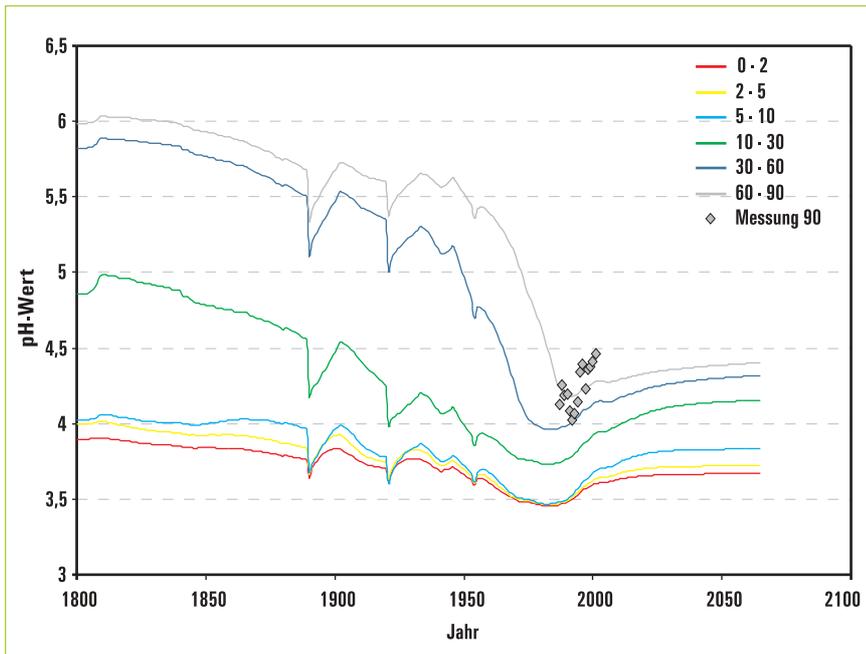


Abb. 3 : Entwicklung des pH-Wertes der Bodenlösung für den Standort Elberndorf auf Basis der Emissionsminderungen nach Göteborg-Protokoll

den Jahren 1890 und 1920 bewirkt eine starke, jedoch nur kurzfristige pH-Absenkung. Durch die stark ansteigenden Säureeinträge verringern sich die pH-Werte der Bodenlösung ab 1950 auch in den Bodenschichten unterhalb von 30 cm Bodentiefe sehr stark. Ab 1985 beginnen die Emissionsminderungen aufgrund der internationalen Vereinbarungen zur Luftreinhaltung (CLRTAP) Wirkung zu zeigen; die pH-Werte steigen wieder leicht an, erreichen jedoch bei weitem nicht die Werte wie zu Beginn des Beobachtungszeitraumes.

Somit erweist sich Elberndorf als ein Standort mit geringem Regenerationspotential. Nur deutliche, über das Göteborg-Protokoll hinausgehende Emissionsminderungen würden zu einem stabileren Ökosystem führen, bei dem die Critical Limits eingehalten würden und das dem Ausgangszustand der Modellierung näher käme.

#### SZENARIO AUF BASIS DER EMISSIONSMINDERUNGEN NACH GÖTEBORG-PROTOKOLL SOWIE VON ZWEI AUFEINANDERFOLGENDEN BODENSCHUTZKALKUNGEN

Die zuvor auf Basis der Emissionsminderungen nach Göteborg-Protokoll prognostizierte Entwicklung des pH-Wertes wirft die Frage auf, inwieweit Bodenschutzkalkungen als Überbrückungshilfe – bis weiterreichende

Maßnahmen zur Luftreinhaltung greifen – wirksam sind und wie stark die pH-Werte in der Bodenlösung der betrachteten Bodenschichten nach den Kalkapplikationen reagieren. Legt man die Richtlinie des MUNLV (2001) zur Waldkalkung zugrunde, ist auf der Fichtenfläche Elberndorf eine Bodenschutzkalkung dringend erforderlich. Daher werden zwei Kalkgaben mit einer Säureneutralisationskapazität von jeweils 58 keq ha<sup>-1</sup> als Szenario angenommen, die im Abstand von 20 Jahren aufeinander folgen. Des Weiteren wird im Modell idealisierend angenommen, dass der oberflächlich ausgebrachte Kalk nach 5 Jahren vollständig in Lösung gegangen ist.

Wie aus Abbildung 4 ersichtlich ist haben die beiden Bodenschutzkalkungen eine deutliche Auswirkung auf die Bodenlösung in den oberen Bodenschichten bis 10 cm Tiefe. Allerdings überlagert der atmosphärische Säureeintrag die Wirkung der Kalkgaben in diesen Schichten wieder relativ rasch. Jedoch ist in den unteren Bodenschichten eine längerfristige Erholung der pH-Werte der Bodenlösung zu erkennen.

#### FAZIT

Die ersten Modellrechnungen mit SAFE haben gezeigt, dass die in der forstlichen Praxis von Nordrhein-

Westfalen eingeführte Bodenkalkung durchaus geeignet ist, immissionsbedingt kritische Zustände, zumindest im Unterboden langfristig zu beheben. Die positive Wirkung der Waldkalkung auf den pH-Wert der Bodenlösung kommt in erster Linie dem Boden- und Gewässerschutz zugute.

Im Oberboden, der in der Regel intensiver als der Unterboden durchwurzelt wird, werden die pH-Werte langfristig wieder unter den Critical Limit absinken, auch wenn die in Göteborg vereinbarten Luftreinhaltemaßnahmen umgesetzt werden. Für die Stabilisierung von Waldökosystemen, die dem Standort Elberndorf gleichen, sind daher noch weiterreichende Umweltschutzmaßnahmen zu ergreifen.

Allerdings ist die Waldkalkung und ihre Wiederholung nach mehreren Jahren, wie es die Kalkdüngungsrichtlinie des MUNLV (2000) vorsieht, eine ökologisch sinnvolle Investition in den forstlichen Standort. Folgt man den Modellprognosen von SAFE, verschafft die Kalkung dem Wald als Lebensraum und für die Produktion des nachwachsenden Rohstoffes Holz langfristig eine stabilere Grundlage. Fortlaufende Kontrolluntersuchungen zur Waldkalkung sind erforderlich, um deren Wirkungen für konkrete Standorte zu verifizieren und die Modellprognosen zu validieren.

#### AUSBLICK

Die Bodenentwicklungsprognose mit Hilfe von SAFE wird, abhängig von den zur Verfügung stehenden Mitteln, zur Unterstützung der umwelt- und forstpolitischen Entscheidungsfindung in Nordrhein-Westfalen fortgeführt. Neben der Modellierung weiterer Intensivmessflächen des forstlichen Umweltmonitoring (Level II- Flächen) sollen die Berechnungen auch auf das landesweit systematische Inventur-»

raster der Bodenzustandserhebung im Wald (Level I- Raster) ausgedehnt werden, um die exemplarischen Ergebnisse der Intensivflächen auf ihre Repräsentativität für die Waldfläche des Landes zu untersuchen.

Dabei sollen folgende inhaltliche Schwerpunkte gesetzt werden:

- ▶ Auswirkungen der Schadstoffminderung bis zum Jahr 2010 nach den Plänen der UNECE (CLRTAP, Göteborg-Protokoll) und der EU (6. Umweltaktionsprogramm, NEC-Richtlinie) auf die Waldökosysteme;
- ▶ Lokalisierung von sensitiven Flächen (erholungsfähige bzw. Risikoflächen) und Ableitung gegebenenfalls weiteren Emissionsminderungsbedarfs
- ▶ Bestimmung des Zeitpunktes bzw. der Bedingungen für den Übergang zur ökologischen Stabilität des Systems (Recovery Delay Time (RDT));
- ▶ Entscheidungshilfe zu Kalkungsmaßnahmen zur Überbrückung ökosystemar-kritischer Zeiträume und Modellierung ihrer Wirkung auf die Regenerationspotentiale;
- ▶ Einfluss des Waldbaus (Erhöhung des Laubholzanteils) und verschiedener Bewirtschaftungsformen (z.B. Kahlschlag) und -intensitäten auf die ökologische Nachhaltigkeit der Waldstandorte. ●

#### ▶ LITERATUR

ALVETEG, M. (1998): Dynamics of Forest Soil Chemistry. Department of Chemical Engineering II, Lund University, Reports in ecology and environmental engineering 3:1998.

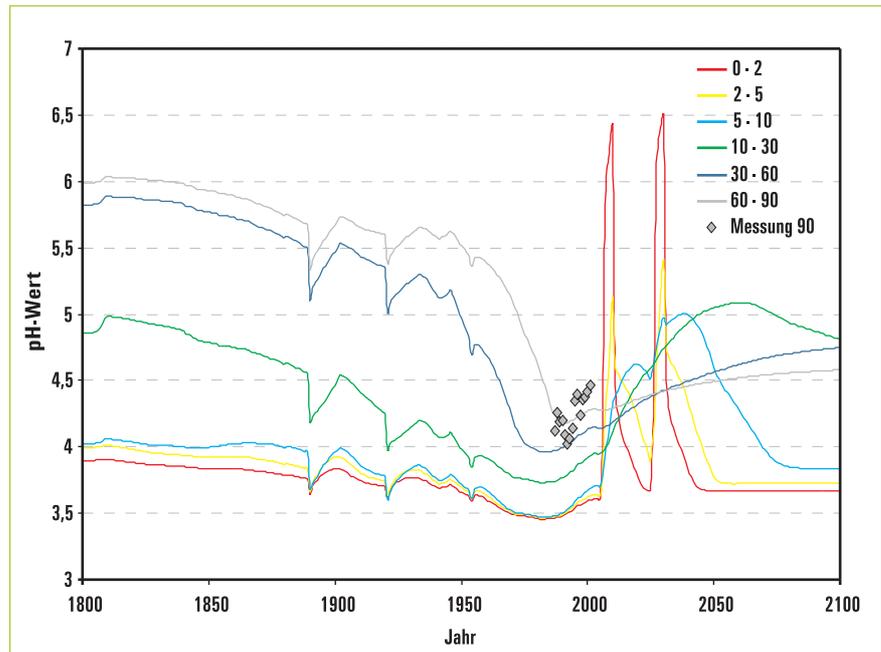


Abb. 4: Entwicklung des pH-Wertes der Bodenlösung für den Standort Elberndorf auf Basis der Emissionsminderungen nach Göteborg-Protokoll sowie von zwei aufeinanderfolgenden Bodenschutzkalkungen von je  $58 \text{ keq ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ .

ALVETEG, M., KURZ, D. und BECKER, R. (2002):

Incorporating nutrient content elasticity in the MAKEDEP model. In: Department of Chemical Engineering II, Lund University: Sustainable Forestry in Temperate Regions. Proceedings of the SUFOR International Workshop April 7-9, 2002 in Lund, Sweden. Reports in ecology and environmental engineering, report 1:2002.

BECKER, R. (2002):

Dynamische Modellierung des Stoffhaushalts der Waldstandorte an den Level II-Standorten Baden-Württembergs. Abschlußbericht zum Werkvertrag, bearbeitet durch ÖKO-DATA im Auftrag der Forstlichen Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg.

BECKER, R., BLOCK, J, SCHIMMING, C.-G., SPRANGER, T. und WELLBROCK, N. (2000):

Critical Loads für Waldökosysteme - Methoden und Ergebnisse des Level II-Programms. Arbeitskreis A der Bund-Länder Arbeitsgruppe Level II. Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (BML), Bonn.

BECKER R., KURZ, D. und ALVETEG, M. (2001)

Ermittlung des Stickstoffsättigungsgrades und des Versauerungsstatus von Böden

empfindlicher Ökosysteme im Vergleich zum Ausmaß der Überschreitung kritischer Belastungswerte mittels dynamischer, prozessorientierter Modellansätze (SAFE), Abschlußbericht zum UBA F + E Vorhaben FKZ 299 84 214.

MURL (Hrsg., 2000):

Ökologisches Umweltmonitoring im Wald. Schriftenreihe des Ministeriums für Umwelt, Raumordnung und Landwirtschaft des Landes Nordrhein-Westfalen.

MUNLV (2001):

Handbuch zur Dienstanweisung über die Bodenschutzkalkung in den Wäldern Nordrhein-Westfalens (Kalk 2000). RdErl. d. Ministeriums für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen v. 24.09.2001, Az. 31-03-00.00.

SCHÖPP, W., POSCH, M. MYLONA, S. und JOHANSSON, M. (2003):

Trends in Acid Deposition (1880-2030) for Sensitive Freshwater Regions in Europe (in Vorbereitung).

SVERDRUP, H. (1990):

The kinetics base of cation release due to chemical weathering. Lund University Press, Lund, Sweden.



Landesanstalt  
für Ökologie,  
Bodenordnung  
und Forsten  
NRW



Leibnizstraße 10  
45659 Recklinghausen  
Telefon 02361.305-0  
Fax 02361.305-700

**Postanschrift**

Postfach 10 10 52  
45610 Recklinghausen

Internet [www.loebf.nrw.de](http://www.loebf.nrw.de)  
e-mail [poststelle@loebf.nrw.de](mailto:poststelle@loebf.nrw.de)

---