

Zustand der deutschen Waldböden

Auswirkungen anthropogener Einflüsse

Barbara Wolff, Winfried Riek und Petra Hennig (Eberswalde)

Die Böden der deutschen Wälder haben sich in den letzten Jahrzehnten deutlich verändert. Vor allem durch hohe Fremdstoffeinträge aus der Atmosphäre ist die Funktionsfähigkeit der Waldböden – regional in unterschiedlichem Ausmaß – beeinträchtigt. Um die Rolle des Bodens im Zusammenhang mit den Immissionsbelastungen der Waldökosysteme regional differenziert beurteilen zu können, wurde im Zeitraum von 1987-1993 eine bundesweite Bodenzustandserhebung im Wald (BZE) durchgeführt. Durch die anschließende Zusammenführung ausgewählter Inventurdaten konnte an der Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft (BFH) erstmalig eine nach einheitlichen Kriterien erhobene nationale Datenbasis über den Waldbodenzustand und die Ernährungssituation der Waldbäume aufgebaut werden.

WALDBÖDEN SIND LEBENDIG

Etwa 4.000 bis 5.000 gut sichtbare Bodentiere (> 2 mm) wurden in Waldbodenfallen je Quadratmeter pro Jahr gefangen (vgl. Abb. 1). Rechnet man noch die mit bloßem Auge unsichtbaren Lebewesen hinzu, ergeben sich sogar Individuenzahlen in Größenordnungen von Billionen (10^{12}). Für diese Lebewesen stellt der Waldboden den notwendigen Lebensraum dar.

Gleichzeitig sind die Waldbodenlebewesen aber auch für das Zustandekommen der Böden und den Erhalt der Bodenfruchtbarkeit eine unabdingbare Voraussetzung. Sie ernähren sich von der alljährlich anfallenden Blattstreu und wandeln dabei (manchmal erst nach mehreren „Fraß-Hierarchien“) die in den pflanzlichen Resten gespeicherten Nährstoffe in pflanzenverfügbare Stoffe (Mineralien) um.

Abhängig von den Standortbedingungen geschieht dieser Abbau unterschiedlich schnell. Etwa fünf Jahre dauert es zum Beispiel, bis in

einem typischen Buchenwald die Blattstrukturen in der Bodenstreu weitgehend zerstört sind, und erst nach weiteren fünf Jahren entstehen mineralische Substanzen und lösliche Humusstoffe, welche die



Abb. 1: Anzahl von Waldbodentieren pro Quadratmeter und Jahr. Durchschnittliche Fangsummen aus 24 in vier Waldgebieten aufgestellten Bodenfallen (Photoelektoren) (Graphik: U. Schulz)





schwarze Färbung der obersten Mineralbodenschicht verursachen (vgl. Abb. 2). In einem Auwald wird dagegen die Streu bereits in einem Jahr abgebaut.

Im Verlauf der Evolution haben sich unterschiedliche Waldökosystemtypen an die verschiedensten Standortverhältnisse angepaßt, immer jedoch ist der Boden die Schaltstelle für den Stoffkreislauf in Wäldern. Hier findet das ökologische Zusammenspiel von biologischen (Tiere, Pflanzen), chemischen (z. B. Nährelementvorräte, Schadstoffkon-



Abb. 2: Der Bohrkern zeigt die obersten Bodenschichten mit Blattstreu, zunehmender Zersetzung des organischen Materials und schwarzer Humusschicht

zentrationen) und physikalischen (z. B. Wasser, Luft) Faktoren statt, dessen Ergebnis in der Bodenfruchtbarkeit zum Ausdruck kommt. Obwohl die im Boden wirksamen Regelmechanismen längst noch nicht alle erforscht sind, haben die Erfahrungen der Vergangenheit gezeigt, daß massive oder langanhaltende Eingriffe in dieses biologische Regelsystem gravierende Auswirkungen auch auf das Waldwachstum haben.

WALDBÖDEN SIND SAUER

Unter natürlichen Bedingungen wird Säure bei mikrobiellen Stoffumwandlungsprozessen, bei der Atmung der Wurzeln und der Festlegung von Nährelementen in der Biomasse gebildet. Auch periodische Störungen, wie etwa das Zusam-

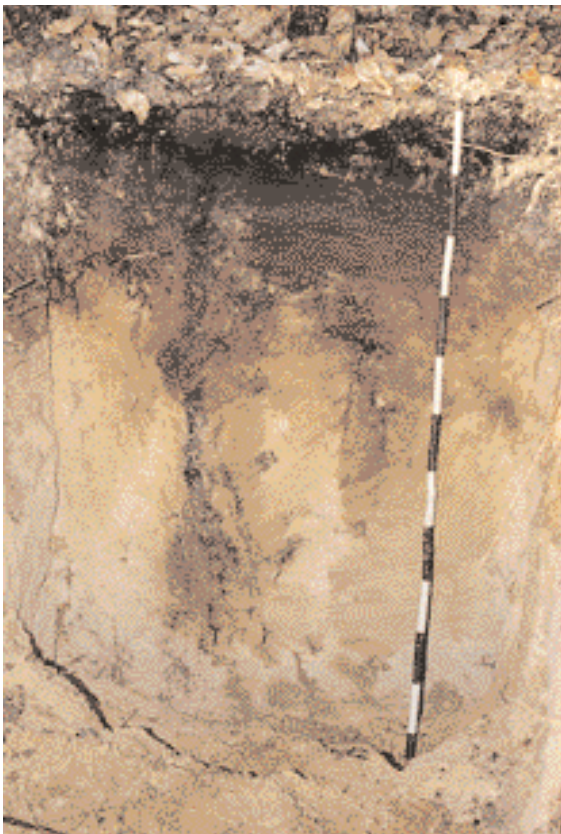


Abb. 3: Bodenprofil in einem Buchenmischwald: Der Bodentyp ist ein Sandbraun-Podsol; die vertikale Störung rührt von einem alten Wurzelkanal her

menbrechen alter Waldbestände, können aufgrund der dann beschleunigt ablaufenden Mineralisierung der Humusschicht eine Erhöhung der Bodenacidität bewirken. Waldböden sind daher von Natur aus stets saurer als Ackerböden. Allerdings stellt diese natürliche Säurelast kein Problem für die Wälder dar: Die Waldböden können im Normalfall darauf mit chemischen Reaktionen reagieren, das heißt, sie

sind in der Lage, die Säure abzupuffern.

WALDBÖDEN WERDEN BEOBACHTET

Untersuchungen aus den letzten 20 Jahren in verschiedenen Waldökosystemen zeigen ernsthafte und außergewöhnlich schnell ablaufende Veränderungen des chemischen Waldbodenzustandes – verursacht durch Fremdstoffeinträge aus der Atmosphäre.

Überdies kamen viele interdisziplinäre Forschungsprogramme zu dem Ergebnis, daß auch die seit Mitte der 70er Jahre in Deutschland großflächig auftretenden Waldschäden (Kronenverlichtungen) vielerorts auf Luftschadstoffe, die in den Boden eingetragen wurden, zurückzuführen sind. Von dem Filter-, Puffer- und Stoffumwandlungsvermögen der Waldböden hängt es nämlich letztlich ab, ob die im Laufe der Jahre angesammelten Fremdstoffe zu ernsthaften Störungen der Lebensgemeinschaft Wald führen.

BUNDESWEITE BODENZUSTANDSERHEBUNG IM WALD (BZE)

Um die Rolle des Bodens im Zusammenhang mit den Immissionsbelastungen der Waldökosysteme regional differenziert beurteilen zu können, wurde von 1987 bis 1993 eine bundesweite Bodenzustandserhebung im Wald (BZE) durchgeführt. Dies geschah in Ergänzung zur jährlichen Waldzustandserhebung.

Über ganz Deutschland wurde dafür ein regelmäßiges Gitternetz mit einer Maschenweite von 8x8 km gelegt. Jeder Gitternetzschneidpunkt stellt heute einen BZE-Stichprobenpunkt dar: Genau dort bzw. in der nahen Umgebung dieses Punktes wurde ein Bodenprofil gegraben (Abb. 3), Bodenproben und Humus-

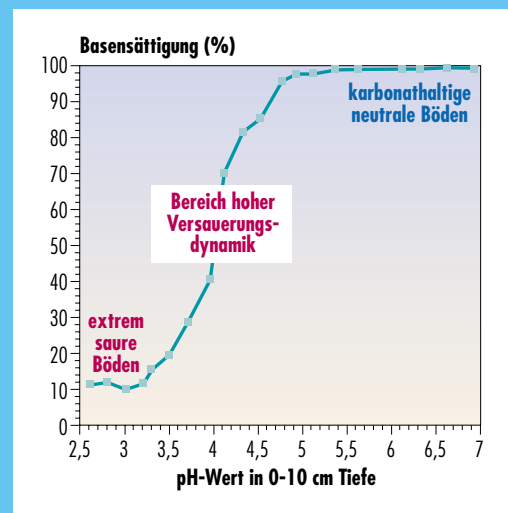
proben entnommen sowie der Waldzustand eingeschätzt. Überdies wurden Nadel-/Blattproben gewonnen, um auch die Ernährungssituation der Waldbäume untersuchen zu können.

Die BZE war Teil des bundesweiten Umweltmonitorings im Wald. Sie erfolgte in Regie der jeweiligen Bundesländer. Ausgewählte Inventurdaten wurden am BFH-Institut für Forstökologie und Walderfassung in Eberswalde zusammengeführt und ausgewertet. Dadurch war es erstmalig möglich, eine nach einheitlichen Kriterien erhobene und nach vergleichbaren Methoden analysierte nationale Datenbasis über den Waldbodenzustand und die Ernährungssituation der Waldbäume aufzubauen.

Die vorliegenden Kennwerte erlauben regional differenzierte Aussagen über:

- das Ausmaß von Bodenversauerung und Basenverarmung,
- die Akkumulation von Schadstoffen,
- Risiken für Grund- und Quellwasser,
- Ungleichgewichte in der Baumernährung.

Abb. 4: Zusammenhang zwischen pH-Wert und Basensättigung. In einem relativ engen Bereich um pH 4 kommt es zu einem starken Umschwung in der Basensättigung





Entnahme einer Bodenprobe

Neben der Dokumentation des aktuellen Waldboden- und Ernährungszustandes liefert die BZE – vor allem im Zusammenhang mit künftigen Folge-Inventuren – Aussagen über Ausmaß, Dynamik und räumliche Verbreitung von Bodenveränderungen.

WALDBÖDEN WERDEN SAURER

Fallstudien haben zu dem Schluß geführt, daß anthropogene, säurebildende Stoffeinträge („Saurer Regen“) die bodeninternen Puffersysteme überfordern können.

Ein Indiz für den Säurezustand des Bodens ist der pH-Wert. Er beschreibt die im Boden vorhandene Säurestärke. Absinkende pH-Werte weisen darauf hin, daß die Säurebelastung die Pufferrate der Böden übersteigt. Ab einem pH unter 4,2 (Aluminium-Pufferbereich) gelangen zunehmend für Lebewesen schädliche Aluminium- (Al^{3+}), Eisen- (Fe^{3+}) und Wasserstoff-Ionen (H^+) in die Bodenlösung. Weil Säureinträge auch zu stofflichen Umwandlungen im Boden führen können, ohne daß sich der pH-Wert merklich ändert, ist der pH-Wert allein noch kein aussagefähiger Kennwert zur Beschreibung von Versauerungserscheinun-

gen. Die Basensättigung – das heißt der Anteil der austauschbar gebundenen basischen Nährelemente – ist dagegen ein guter Weiser für die Säureneutralisationskapazität der Böden. Mit ihr läßt sich bei Berücksichtigung des Ausgangsgesteins die Elastizität gegenüber weiteren Säureinträgen beurteilen (vgl. Abb. 4).

Entsprechend der geochemischen, klimatischen und nutzungsgeschichtlichen Vielfalt der deutschen Waldböden war für den Säure-/Basenzustand eine hohe Variabilität zu erwarten. Gemessen an den erheblichen Unterschieden im Mineralbestand der einzelnen Gesteine (= Substrate) sind die aktuellen substratspezifischen Unterschiede im Oberboden (bis in 30 cm Tiefe) aber ausgesprochen gering. Lediglich die Kalkstandorte sowie Böden auf Basalt bzw. Diabas zeichnen sich durch eine bessere Ausstattung mit Nährelementen sowie höhere pH-Werte aus.

Mehr als 80 % der untersuchten carbonatfreien Standorte befinden sich bis in die Tiefe von 30 cm in dem für viele Bodenlebewesen ungünstigen Aluminium- oder Eisenpufferbereich ($pH < 4.2$), mehr als 60 % weisen geringe bis sehr geringe Basensättigungen auf ($BS < 15\%$). Tendenziell höhere pH-Werte, die nicht auf das Substrat zurückgeführt werden können, kennzeichnen das Nordostdeutsche Tiefland (vgl. Abb. 5). Dies wird auf die hier in der Vergangenheit vergleichsweise geringeren Säuredepositionen in Verbindung mit hohen Einträgen basischer Flugaschen zurückgeführt.

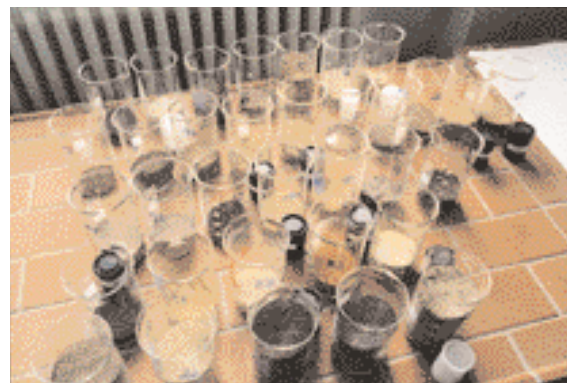
Generell nimmt der Basenanteil mit zunehmender Tiefe zu. Im Unterboden (bis 140 cm Tiefe) weisen noch etwa ein Drittel der BZE-Standorte hohe Pufferreserven auf; insgesamt überwiegen aber geringe bis mäßige Basensättigungsgrade ($BS 5-30\%$).

Die BZE-Stichprobe belegt, daß mit Ausnahme der Kalkstandorte von

einer flächendeckenden, weitgehend substratunabhängigen Versauerung und Basenverarmung im Oberboden ausgegangen werden muß.

DIE BODENFRUCHTBARKEIT LEIDET

Nimmt der pH-Wert ab, können wichtige Bodenlebewesen nicht mehr an der Zersetzung der Bodenstreu teilhaben. Die Streu sammelt sich, und die darin enthaltenen Nährstoffe werden (zumindest vorübergehend) dem Stoffkreislauf entzogen. Die BZE-Auswertung hat gezeigt, daß sich vor allem bei denjenigen Standorten, die schon von Natur aus nährstoffarm sind, derzeit der überwiegende Anteil der kurz- bis mittelfristig verfügbaren Nährele-

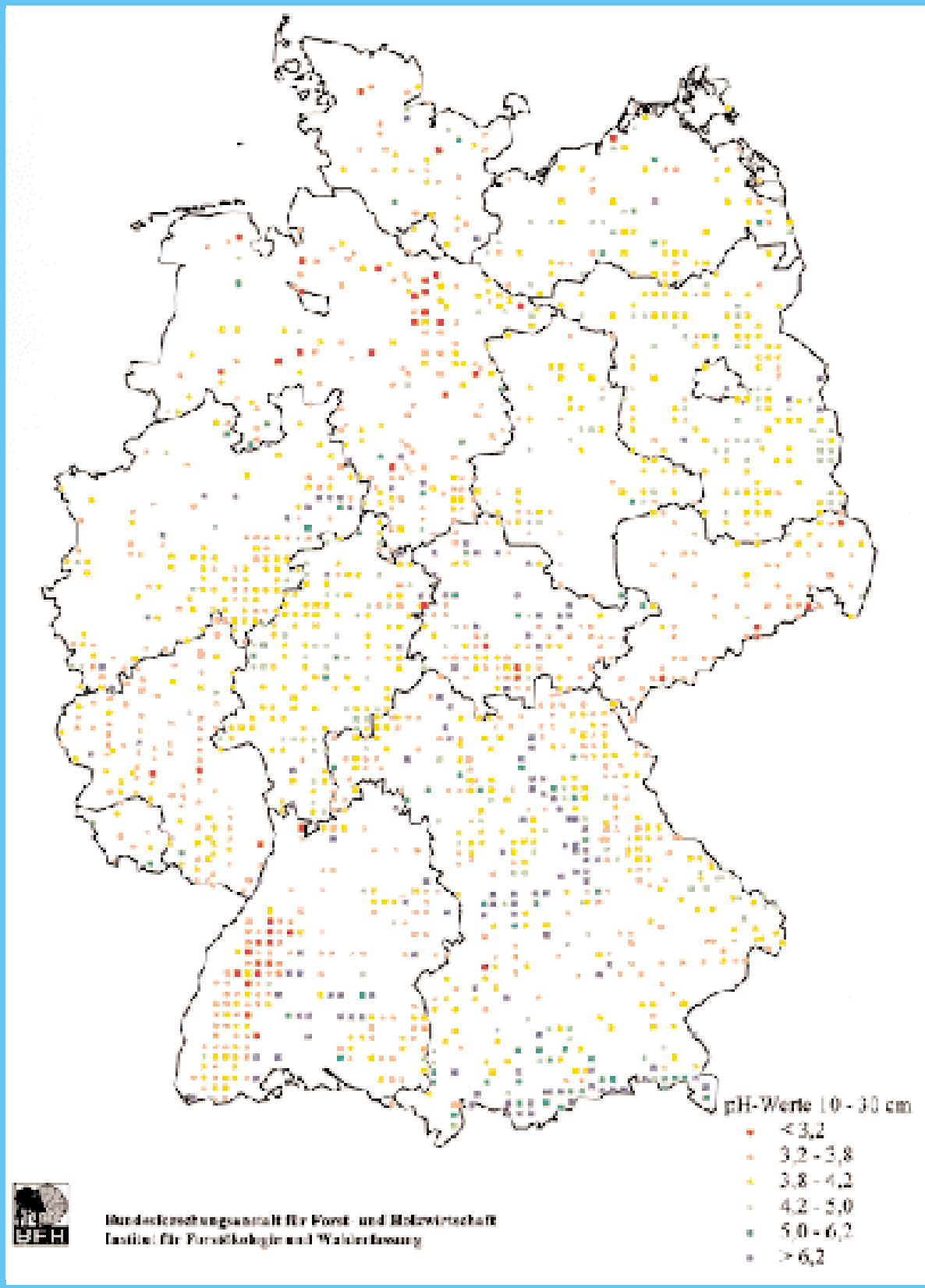


mente in der Humusaufgabe und nicht mehr im Mineralboden befindet. Durch die gleichzeitig zu beobachtende Basenauswaschung aus dem Mineralboden geraten die Waldökosysteme in eine zunehmend instabile Versorgungssituation. Insbesondere für Magnesium stellen sich bereits heute – schwerpunktmäßig in den Mittelgebirgslagen – Mangelsituationen ein.

Bei der Bewertung der Ernährungssituation der Waldbäume anhand der Nadel-/Blattanalysedaten deutet sich überdies vor allem im nördlichen Teil Deutschlands eine Überernährung mit Stickstoff an. Zu-

Bodenproben werden im Labor für die chemische Analyse vorbereitet

Abb. 5: Räumliche Verteilung der pH-Werte (in 10-30 cm Bodentiefe) im deutschen Bundesgebiet



dem weisen alle beprobten Kiefern und Buchen sowie 59 % der Fichten erhöhte Schwefelgehalte auf, so daß von einer flächendeckenden, wenn auch regional unterschiedlich hohen, Schwefel-Immissionseinwirkung auszugehen ist.

Die großräumige Immissionsbelastung der Waldböden zeigt sich auch bei der Betrachtung der Schwermetallgehalte in der Humusaufgabe. Auf 25 % bzw. 38 % der BZE-Standorte wurden Blei- und Kupfergehalte gemessen, die für wichtige Bodenorganismen im Stoffkreislauf der Wälder giftig sind.

DIE WASSERQUALITÄT LEIDET

Waldböden speichern das Niederschlagswasser und geben es nur langsam wieder ab. Im Verlauf der Versickerung durch den Waldboden wird das Niederschlagswasser von Schadstoffen gereinigt. Diese Filterwirkung von Waldstandorten ist für die Trinkwassergewinnung von essentieller Bedeutung.

Heute ist jedoch festzustellen, daß die mit der Bodenversauerung einhergehende Mobilisierung von Aluminium, Eisen und Mangan zu erhöhten Konzentrationen dieser Elemente im abfließenden Sicker- und Oberflächenwasser der Wälder führt.

Überdies stellt die Verlagerung von versauerungsbedingt mobilisierten Schwermetallen ein Gefahrenpotential für die Hydrosphäre dar. Die BZE-Auswertungen legen den Schluß nahe, daß in Belastungsgebieten mit hohen Schwermetalleinträgen aus der Atmosphäre davon auszugehen ist, daß bei den beobachteten niedrigen pH-Werten im Oberboden bereits größere Mengen Zink und Cadmium ausgewaschen worden sind.

Angesichts der bedeutenden luftverfrachteten Stickstoffeinträge in Wälder und der Ansammlung von Stickstoff in den Humusaufgaben der

sauern Waldböden muß außerdem bei einem beschleunigtem Humusvorratsabbau mit erhöhten Nitratausträgern aus den betroffenen Waldökosystemen gerechnet werden.

DIE WALDÖKOLOGIE SIND GESTÖRT

Wie die bundesweite Bodenzustandserhebung im Wald (BZE) gezeigt hat, sind die Filter-, Puffer- und Stoffumwandlungseigenschaften der Waldböden in vielen Regionen gestört. Erste integrierende Auswertungen von bodenchemischen und ernährungskundlichen Daten sowie den Ergebnissen der terrestrischen Waldzustandserhebung haben zudem Zusammenhänge zwischen dem Boden Zustand, dem Ernährungszustand und der Vitalität der Waldbäume deutlich werden lassen.

Natürlich sind längst noch nicht alle Wirkungsmechanismen in Waldökosystemen bekannt. Durch die BZE konnte aber bereits jetzt sicher festgestellt werden, daß viele Waldböden ihre Aufgabe in einem funktionierenden Waldökosystem nur noch eingeschränkt wahrnehmen können. Die Selbstregulationsfähigkeit der Wälder ist überschritten, Vitalitätseinbußen der Waldbäume sind die Folge. Nur durch ein konsequentes, aber behutsames, umweltbewusstes Handeln wird es möglich sein, die eingetretenen Schäden teilweise zu beheben.

Für die Forstwirtschaft bedeutet dies, aus standortangepaßten,

möglichst tiefwurzelnden Baumarten stabile und – soweit standörtlich möglich – artenreiche Mischbestände herauszupflegen. Humusschonende Bewirtschaftungsweisen, die Vermeidung von Kahlschlägen sowie die Verringerung überhöhter Wildbestände sind dabei unbedingt zu berücksichtigen.

Allerdings können Waldbewirtschaftungsverfahren – ebenso wie Bodenschutzkalkungen und Ergänzungsdüngungen – die Probleme nur begrenzt entschärfen. Eine weitere Reduzierung von Luftschadstoff



fen und eine konsequente Luftreinhaltepolitik sind daher für die Erhaltung der Waldökosysteme zwingend erforderlich.

Dr. B. Wolff, Dr. W. Riek und P. Hennig, Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft, Institut für Forstökologie und Walderfassung, Postfach 100147, 16201 Eberswalde

Die Bodenversauerung kann Oberflächen-gewässer in Wäldern beeinträchtigen

IMPRESSUM

FORSCHUNGSREPORT
Ernährung – Landwirtschaft – Forsten
2/1998 (Heft 18)

Herausgeber:
Senat der Bundesforschungsanstalten im Geschäftsbereich des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten

Schriftleitung & Redaktion:

Dr. M. Welling
Geschäftsstelle des Senats der Bundesforschungsanstalten c/o Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft, Messeweg 11/12, 38104 Braunschweig
Tel.: 0531 / 299-3396
Fax: 0531 / 299-3001
E-mail: senat@bba.de

Redaktionsbeirat:

Dr. P.W. Wohlens, BBA Braunschweig
Dr. H. Brüning, BAZ Grünbach

Online-Redaktion:

TAKO
Auf dem Äckerchen 11
53343 Wachtberg
Tel.: 0228 / 9323213
E-mail: froberg@tako.de

Konzeption, Satz und Druck:

AgroConcept GmbH
Clemens-August-Str. 12-14
53115 Bonn
Tel.: 0228 / 969426-0
Fax: 0228 / 630311

Internet-Adresse:

<http://www.dainet.de/senat/>

Bildnachweis:

AgroConcept GmbH, Bonn
D. Fraatz, BBA Braunschweig
M. Welling, Braunschweig

Erscheinungsweise:
Der ForschungsReport erscheint zweimal jährlich

Nachdruck, auch auszugsweise, mit Quellenangabe zulässig
(Belegexemplar erbeten)

ISSN 0931-2277

Druck auf chlorfrei gebleichtem Papier