

# Bodenschutz im Spiegel einer nachhaltigen Forstwirtschaft

Dr. Gerhard Raben  
Sächsisches Landesforstpräsidium

---

Seit etwa 250 Jahren ist das Prinzip der Nachhaltigkeit das zentrale Handlungsprinzip der deutschen Forstwirtschaft. Unter dem Eindruck der damals verbreiteten Übernutzung der Wälder war damit zunächst die Fähigkeit der Forstbetriebe gemeint, dauernd und möglichst gleichmäßig die geforderten Holzerträge nach Qualität und Quantität bereitzustellen. Seitdem wird dauerhaft nicht mehr Holz eingeschlagen als wieder nachwächst. Heute soll eine multifunktionale Forstwirtschaft jedoch alle Waldfunktionen sichern und Waldentwicklungen sind so zu steuern, dass sowohl ökonomische, ökologische und sozioökonomische Ziele erreicht und in Einklang gebracht werden (vgl. Abb. 1).

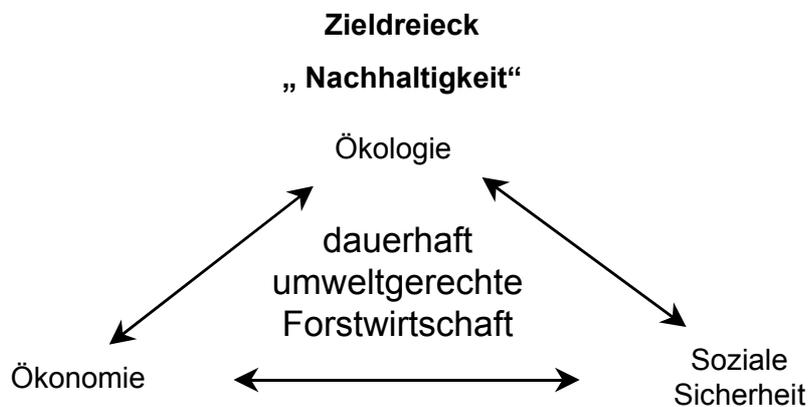


Abb. 1: Zieldreieck eines umfassenden Nachhaltigkeitsprinzips für die Forstwirtschaft

Spätestens seit der „Umweltkonferenz über Umwelt und Entwicklung“ (UNCED) im Jahre 1992 in Rio de Janeiro ist dieser Ansatz weltweit anerkannt, indem die internationale Staatengemeinschaft die Verpflichtung eingegangen ist, nicht nur die forstlichen Ressourcen nachhaltig zu bewirtschaften. Seitdem wurden auf der Grundlage der Rio-Agenda 21 von der „UN-Kommission für Nachhaltige Entwicklung“ (Commission on Sustainable Development, CSD; vgl. Abb. 2) wissenschaftlich abgesicherte Nachhaltigkeitskriterien- und -indikatoren erarbeitet, die es ermöglichen, den Fortschritt in der Entwicklung zu einer weitgehend umfassenden Nachhaltigkeit zu messen bzw. zu bewerten. Dabei wird nach Antriebs-, Zustands- und Maßnahmenindikatoren unterschieden. Nachhaltigkeits- bzw. Umweltindikatoren im Rahmen einer nachhaltigen Waldbewirtschaftung sind letztlich zentrale Grundlage zur Begutachtung für entsprechende Zertifizierungssysteme wie beispielsweise im PEFC (PAN-Europäische Forst-Zertifizierung).

Die Anwendung von Nachhaltigkeitskriterien im Forstbetrieb ist von großer Bedeutung. Wegen der im Vergleich zu anderen Wirtschaftszweigen langen Produktionszeiträume führen bereits die Entscheidungen hinsichtlich des Waldaufbaus zwangsläufig zu langfristige

Wirkungen. Am Waldboden wird zudem deutlich, wie Umweltbelastungen zu langfristigen und oftmals negativen Veränderungen (Beispiel: Bodenversauerung) führen können. Nimmt doch der Boden im Waldökosystem eine zentrale Stellung ein: Der Boden stellt das zentrale Reaktionsgefäß dar, in dem die wesentlichen Stoffflüsse des Ökosystems (Mineralisation, Nährstoff- und Wasserhaushalt) aneinander gekoppelt werden (vgl. Abb. 3). Dementsprechend wirken sich Bodenveränderungen in komplexer Weise auf den Zustand des gesamten Ökosystems aus und der Schutz des Bodens ist folglich von maßgeblicher Bedeutung.

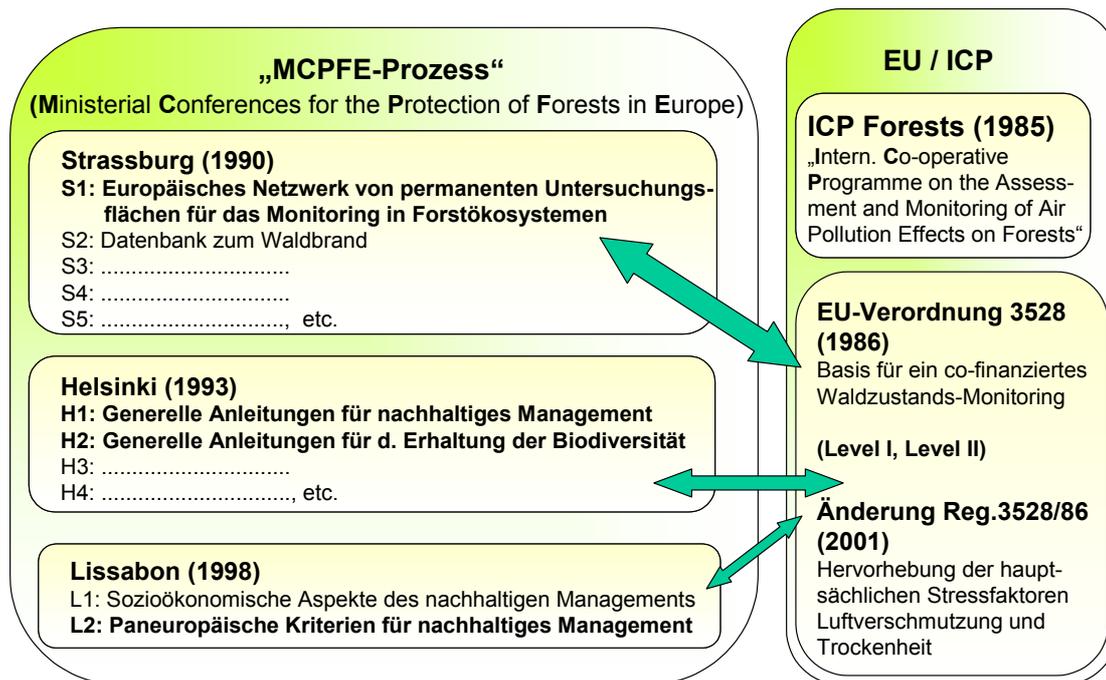
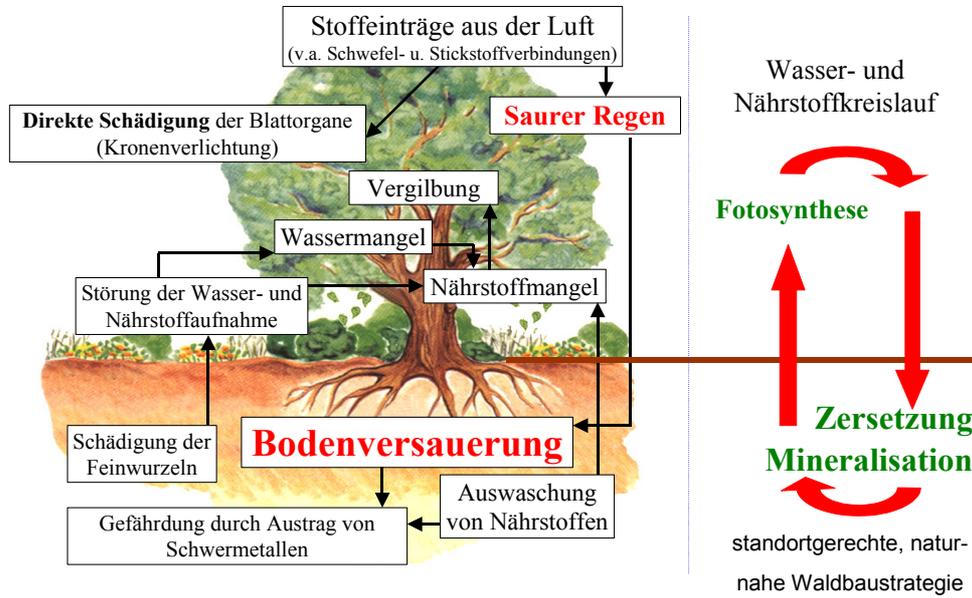


Abb. 2: Prozess der europäischen Ministerkonferenzen zum Schutz des Waldes in Europa bis zur Festlegung paneuropäischer Nachhaltigkeitskriterien und deren jeweiliger Verknüpfung mit dem Level-I- und Level-II-Programm

Abb. 3: Die zentrale Bedeutung des Bodens bzw. der Bodenversauerung im Stoffkreislauf des Ökosystems



Dementsprechend wurden als den Boden indirekt und direkt betreffende Nachhaltigkeitsindikatoren beispielsweise die „Deposition von Luftschadstoffen“ und die „chemischen Bodeneigenschaften“ in die Indikatorenliste zum Nachweis einer nachhaltigen Forstwirtschaft aufgenommen.

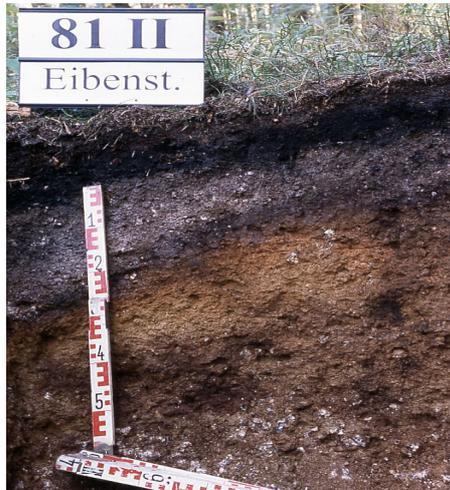
Allgemein bedarf es zum Nachweis der Nachhaltigkeit eines umfassenden Monitorings, um nicht nur Zustände, sondern auch Entwicklungen aufzeigen zu können. Im Folgenden werden einige Ergebnisse aus dem Forstlichen Umweltmonitoring vorgestellt, wie es im Landesforstpräsidium im Rahmen des europaweiten Level-I- und Level-II-Programms oder durch ergänzende Projekte betrieben wird. Sie sollen einen Eindruck von Zustand und Dynamik der genannten bodenchemischen Parameter in Waldökosystemen Sachsens vermitteln.

Zu den im Rahmen der Umweltkonferenzen festgelegten Indikatoren zur Begutachtung chemischer Bodenveränderungen zählen der **pH-Wert** als Weiser für den aktuellen Versauerungsgrad der Bodenlösung und die **Kationenaustauschkapazität (KAK)** als Ausdruck für die austauschbar und pflanzenverfügbar an den Bodenkolloiden angelagerten Kationen. Der entscheidende Indikator einer Bodenversauerung ist die **Basensättigung (BS)**, die den prozentualen Anteil der sogenannten basischen Kationen (Nährelemente  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  und  $\text{K}^+$  sowie  $\text{Na}^+$ ) an den insgesamt austauschbaren Kationen des Feinbodens umfasst.

Offensichtlich sind Veränderungen dieser bodenchemischen Parameter unter dem Druck der Umweltbelastung relativ rasch verlaufen. Dies zeigen vergleichende Untersuchungen an 30 Bodengruben der Standorterkundung, die nach der Ersterhebung aus den 60er und 70er Jahren im Jahr 1999 erneut beprobt wurden (SMUL, 2002 und 2003).

Danach ist beispielsweise in einem Fichtenaltbestand auf Eibenstocker Granit (FoA Klingenthal, westl. Erzgebirge ( vgl. Abb. 4) der **pH-Wert** des Unterbodens ab ca. 40 cm Tiefe seit 1978 um etwa 1 bis 1,5 pH-Einheiten zurückgegangen. Dies entspricht einer mehr als 10fachen Zunahme des Säuregehaltes in der Bodenlösung. Demgegenüber ist im Oberboden (inkl. Humusaufgabe) infolge von Kalkungsmaßnahmen eine leichte Verbesserung zu verzeichnen.

## Podsol , Eibenstocker Granit\*



\*RECOGNITION; EU FAIR CT98-4124

Indikator  
pH  
des  
Bodens  
1978/1999

Tonmineral-  
zerstörung

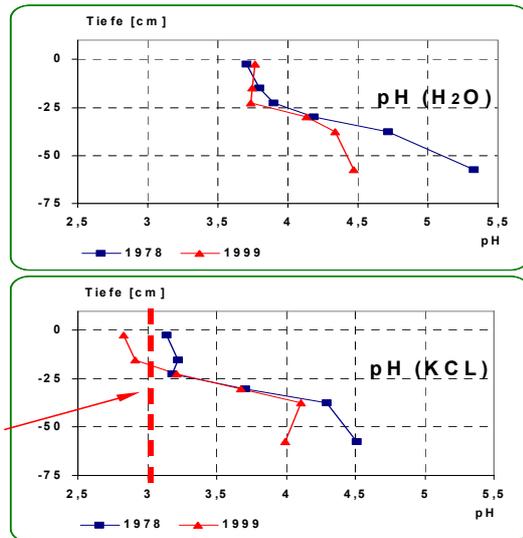


Abb. 4: Bodenprofil und Indikator pH-Wert in einem Bodenprofil auf Eibenstocker Granit (Bodentyp: Podsol) in den Jahren 1978 und 1999

Derweil ist die **Kationenaustauschkapazität (KAK)** dieses Bodens fast unverändert geblieben. Nur im Tiefenbereich zwischen 10 und 20 cm ist eine relativ starke Zunahme zu verzeichnen (vgl. Abb. 5), was mit der Verlagerung von organischer Substanz aus dem obersten Profilabschnitt (A<sub>e</sub>-Horizont = Auswaschungshorizont) und der Aufweitung von Tonmineralen bei gleichzeitiger Schaffung neuer Austauscheroberflächen – die dann allerdings überwiegend mit Al-Ionen belegt sind - zusammenhängen kann.

### Indikator: **Kationenaustauschkapazität (KAK) / Basensättigung**

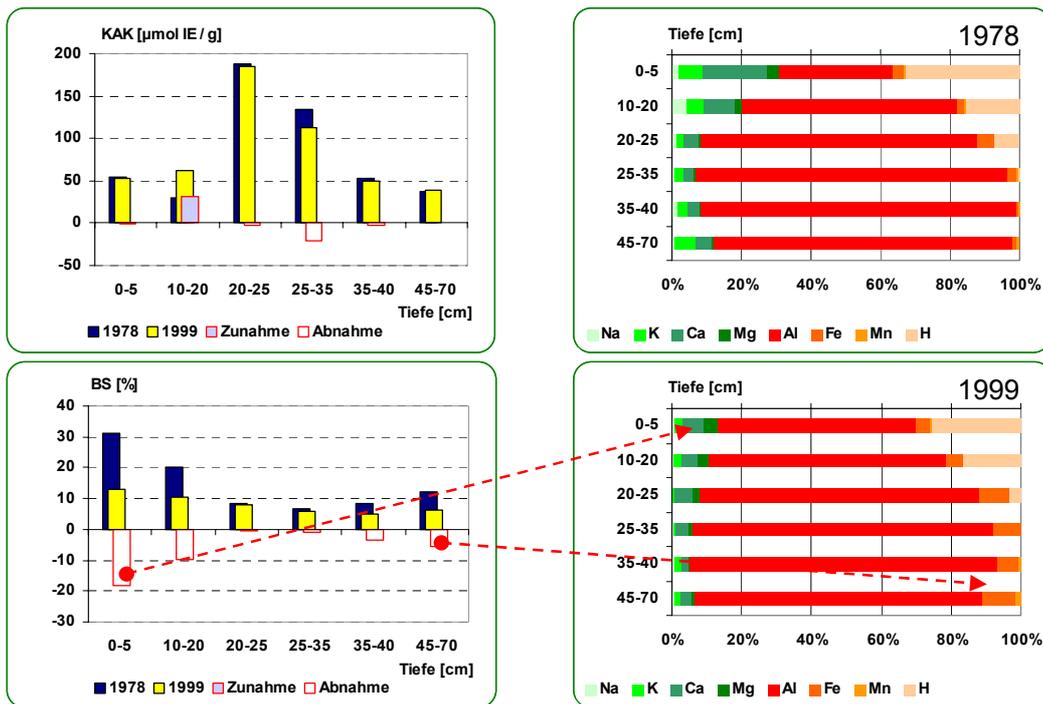


Abb. 5: Indikator Kationenaustauschkapazität (KAK) und Basenanteile (%) bzw. Basensättigung (%) nach Tiefenbereichen in einem Bodenprofil auf Eibenstocker Granit (Bodentyp: Podsol) in den Jahren 1978 und 1999

Bei etwa gleichbleibender Austauschkapazität hat sich demgegenüber die Basensättigung (BS) im Ober- und Unterboden im Verlauf fortschreitender Basenauswaschung und Versauerung speziell zugunsten des Aluminium- und Eisenanteils etwa halbiert (von ca. 20 – 30 % auf etwa 10 % BS im Oberboden bzw. von 10 % auf 5 % BS im Unterboden). Damit spiegelt das Bodenprofil einen verbreiteten chemischen Zustand von versauerten Waldstandorten auf erdalkaliarmen Ausgangssubstraten – beispielsweise Granite, Gneise, Phyllit oder Sandstein - wider, wie er vergleichbar im Rahmen der Bodenzustandserhebung großflächig festgestellt wurde (vgl. RABEN et al. 2000): Bis über 90 % des Kationenaustauschkomplexes sind mit den „sauren“ Kationen ( $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Mn}^{3+}$ ,  $\text{H}^+$ ) belegt!

Eine ähnliche **Abnahme der Basensättigung** betrifft alle Bodensubstrate innerhalb dieser vergleichenden Bodenuntersuchung. Nur selten liegt der Basenanteil noch über dem kritischen Wert von 15 %, so dass die Elastizität der Waldböden gegenüber Säurebelastungen oftmals nur sehr gering ist. Infolgedessen sind die **pH-Werte** des Unterbodens in der betrachteten Zeitspanne um durchschnittlich etwa eine halbe pH-Einheit eingebrochen (vgl. Abb. 6), während das pH-Niveau in der organischen Auflage und dem anschließenden obersten Mineralbodenbereich durch Kalkungsmaßnahmen eher angestiegen ist. Somit wird das chemische Milieu des Unterbodens gegenüber der Erstbeprobung verstärkt durch den sogenannten **Aluminium-Pufferbereich** (pH 4,2 bis 3,8)

bestimmt, in dem zunehmend Aluminium(<sup>3+</sup>)-Ionen in die Bodenlösung transferiert werden. Bei gleichzeitig nur noch geringen Ca- und Mg-Gehalten können diese dann toxisch wirken und speziell das Feinwurzelswachstum und die Bodenlebewesen (z.B. Mikroorganismen) schädigen. Teilweise ist ein Versauerungsgrad des Bodens erreicht, der bereits nachteilige **Veränderungen bei den Tonmineralen** erkennen lässt (SMUL, 2002 und 2003).

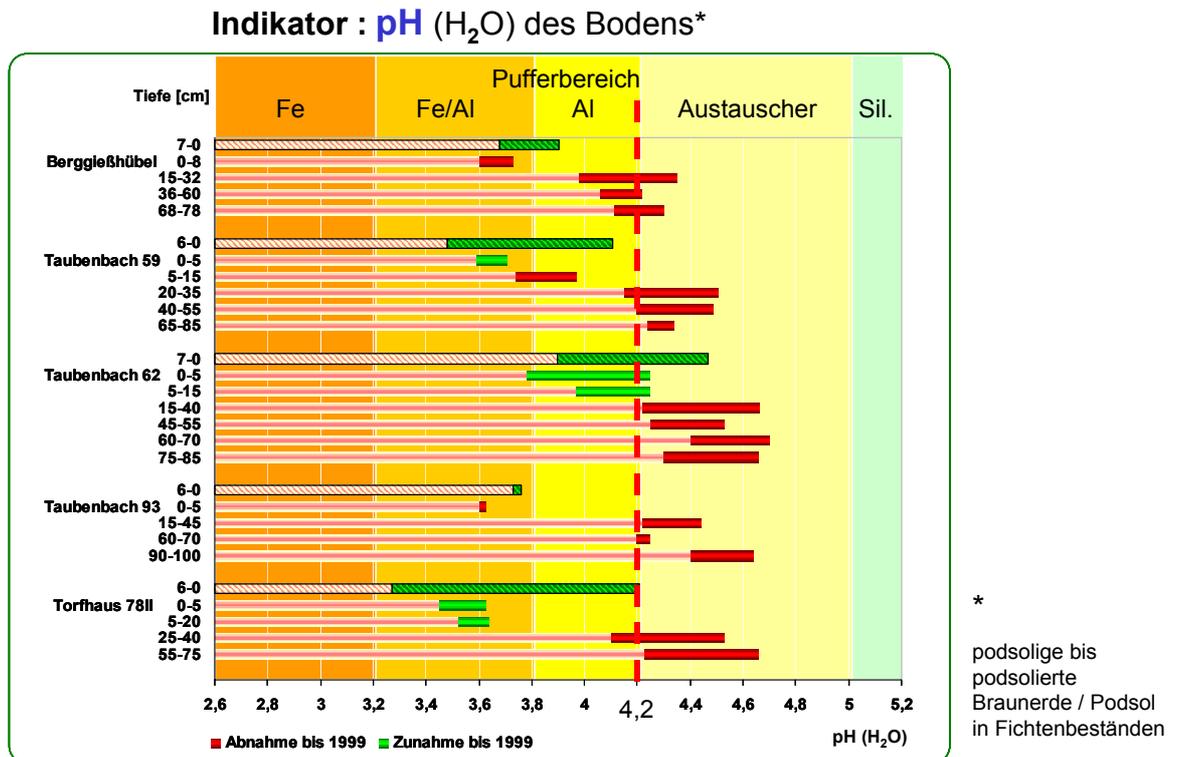


Abb. 6: Veränderung des Indikators pH(H<sub>2</sub>O) in ausgewählten Bodenprofilen

Über die Stoffbelastung und insbesondere die Säurebelastung, die letztlich für die weitere Entwicklung der Bodenversauerung entscheidend ist, geben die Level-II-Flächen Auskunft. Vom Landesforstpräsidium werden z. Zt. 8 für Sachsen typische Waldökosysteme nach den Methoden des europäischen Level-II-Programms intensiv untersucht (vgl. SMUL, 1999 – 2003). Danach zeigen die Schwefeleinträge in den Wäldern seit Mitte der 90er Jahre in Verbindung mit den erheblich verminderten Schwefelemissionen einen ausgeprägten Abwärtstrend (vgl. Abb. 1), so dass sich die Werte seit dem Beginn des Messprogramms im Jahre 1993/94 bei unterschiedlichen regionalen Ausgangsniveaus etwa halbiert haben.

In den letzten Jahren sind S-Einträge von verbreitet etwa 15 bis 20 kg S/ha anzutreffen (Stationen Klingenthal, Altenberg, Cunnersdorf und Neukirch/Bautzen); die relativ höchste Schwefelbelastung weist weiterhin der Fichtenbestand der Messfläche Olbernhau mit ca. 25 kg S/ha auf, wobei der stärkste Rückgang allgemein im Erzgebirge zu verzeichnen ist. Die geringste Schwefeldeposition von etwa 6 bis 8 kg S/ha weisen die Messflächen Bad

Schandau im Nationalpark Sächsische Schweiz (Buche), Laußnitz (Kiefer) und Colditz (Eiche) auf.

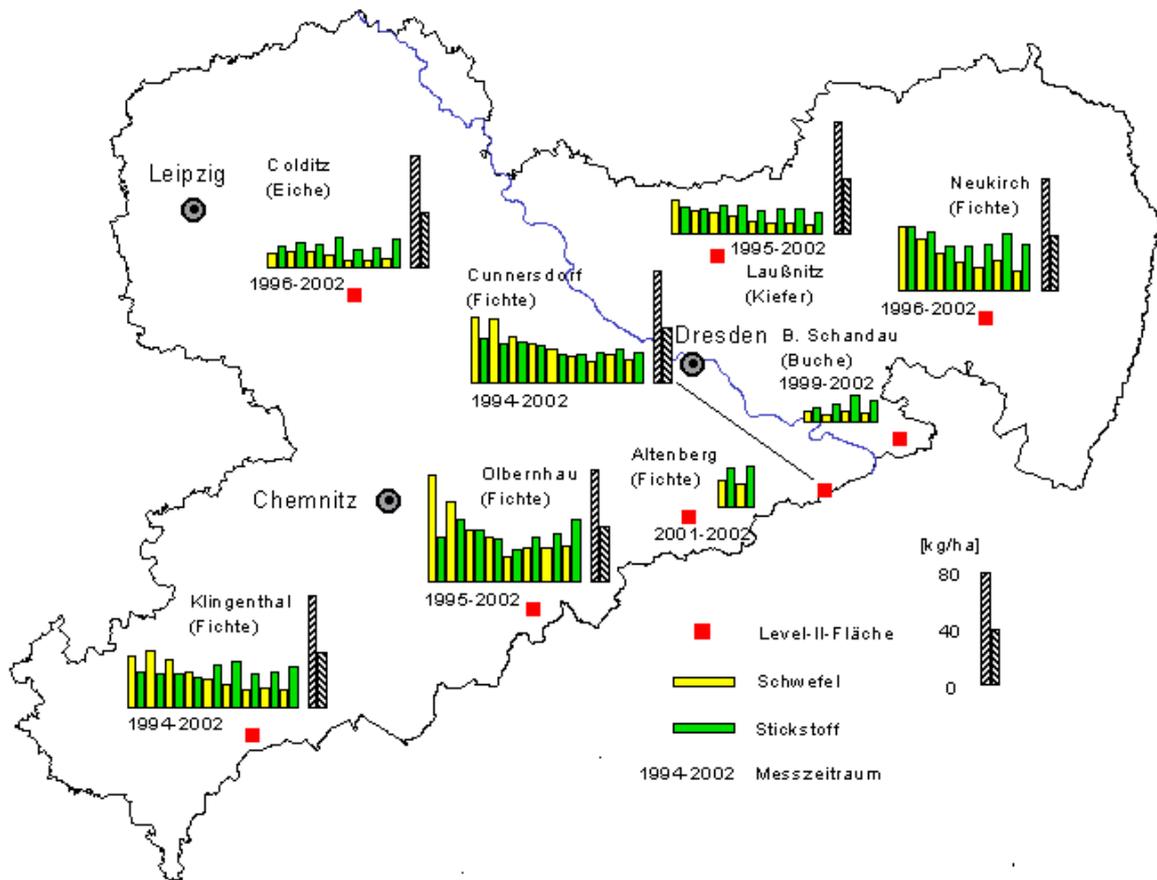


Abb. 1: Jährliche Einträge [kg/ha] von Schwefel (SO<sub>4</sub>-S) und Stickstoff (NH<sub>4</sub>-N + NO<sub>3</sub>-N) im Bestandesniederschlag der Level II-Flächen

Dagegen ist die Belastung der Wälder durch übermäßige Stickstoffeinträge weiterhin sehr hoch und mittlerweile überschreiten diese auf sämtlichen Messflächen erheblich die jeweiligen S-Einträge (vgl. Abb. 7). Die N-Gesamtdosition beträgt in der Hälfte der Messflächen zwischen 25 und 45 kg N/ha (Neukirch/Bautzen, Olbernhau, Klingenthal, Altenberg), während die restlichen Untersuchungsflächen zwischen 15 und 25 kg N/ha aufweisen (Cunnersdorf, Lausnitz, Colditz, Bad Schandau), ohne dass ein allgemeiner Trend sichtbar wird. Damit wird die jeweilige kritische und langfristig tolerierbare Eintragsrate (critical load; vgl. SMUL, 1999) für Stickstoff zumindest in den Fichtenflächen um etwa 100 % überschritten.

Hauptsächlich in Verbindung mit dem starken Rückgang der Schwefelemissionen hat sich ebenfalls die Säuregesamtdeposition bzw. die Gesamtbelastung in den Ökosystemen seit Mitte der 90er Jahre im Durchschnitt zwar etwa halbiert, sie ist aber dennoch erheblich, sodass eine standortgemäß dosierte Waldkalkung zur Kompensierung der Säurebelastung

und damit zur Verhinderung einer fortschreitenden Bodenversauerung weiterhin unverzichtbar erscheint.

Aus den wenigen hier vorgestellten Ergebnissen wird deutlich, dass die Nachhaltigkeit der Bodenfunktion als ein Teilaspekt innerhalb eines umfassenden Nachhaltigkeitsprinzips der Forstwirtschaft weiterhin gefährdet ist. Ergänzend zu den Erfordernissen einer weiteren Reduktion der Schadstoffemission (insbesondere der Stickstoffverbindungen) in der Umwelt und den vorbeugenden Maßnahmen zur weitgehenden Abschottung von Säurebelastungen aus Stoffeinträgen (z.B. Waldkalkung und meliorative Bodenbehandlung im Rahmen von Neuanpflanzungen) muss es das Ziel der Forstwirtschaft sein, im Rahmen einer standortgemäßen Waldbewirtschaftung und nach einem auf großer Fläche erforderlichen Waldumbau langfristig auf die Einhaltung eines möglichst geschlossenen Stoffkreislaufs zu achten. Das bedeutet eine weitgehend naturgemäße Forstwirtschaft mit Dauerwaldcharakter, bei der auf längerfristige interne Versauerungsschübe, wie sie vormals im Rahmen der Reinbestandswirtschaft mit Kahlschlag üblich waren, verzichtet wird.

## Zusammenfassung

- **zuverlässige Daten** zu Nachhaltigkeitsindikatoren des Bodens im Rahmen einer multifunktionalen Forstwirtschaft liegen **aus dem forstlichen Umweltmonitoring** vor
- **neue Waldbaustrategien** erfordert die **Integration von Waldumbauflächen** in das Umweltmonitoring
- einzelne **Indikatoren** sollten **ergänzt** werden
- der Prozess zur Vereinheitlichung von **Standards** und **Definitionen** ist fortzusetzen
- **Notwendigkeit abgestimmter Methoden** zur **Regionalisierung**
- **integrierende Datenauswertung** durch Übergang von der univariaten Betrachtung zu **multivariaten Datenanalysen** zur Berücksichtigung des komplexen Wirkungsgeschehens

### Literatur

RABEN, G., ANDREAE, H., KARST, H., SYMOSSEK, F., LEUBE, F. (2000a):  
*Bodenzustandserhebung (BZE) in den sächsischen Wäldern (1992 – 1997).*  
*Schriftenreihe der Sächsischen Landesanstalt für Forsten, Heft 18, Graupa.*

SMUL (Sächsisches Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft (1999 - 2003):  
*Waldzustandsberichte 1999 - 2003.*