

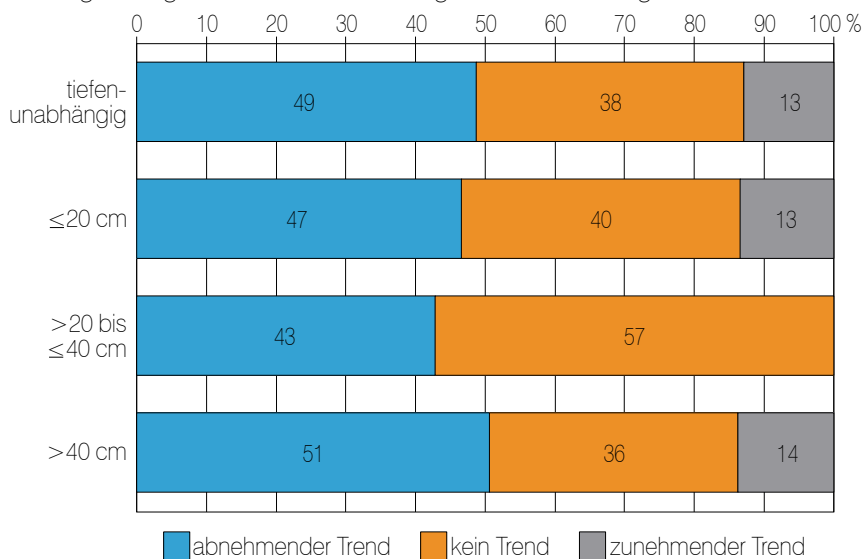
Trends in der Bodenlösung von Waldökosystemen

Die Bodenlösung ist der wichtigste Umsatzraum für Nähr- und Schadstoffe in Wäldern. Sie vermittelt einerseits zwischen den Wurzeln von Bäumen sowie der Bodenvegetation und der festen Bodensubstanz, andererseits werden die meisten Stoffe in gelöster Form in den Waldboden ein- bzw. ausgetragen. Die Zusammensetzung der Bodenlösung ist damit das Resultat des geologischen Ausgangssubstrats, atmosphärischer Einträge, biologischer Prozesse und chemischer Reaktionen. Indikatoren wie das Verhältnis der basischen Kationen Calcium + Kalium + Magnesium zu Aluminium (sogenanntes Bc/Al-Verhältnis) oder die Höhe der Konzentration anorganischer Stickstoffverbindungen (Ammonium + Nitrat + Nitrit) in der Bodenlösung können über die Nährstoffverfügbarkeit an einem Standort und den Zustand des betreffenden Waldökosystems Auskunft geben. Weiterhin kann anhand dieser Indikatoren das Risiko erhöhter Austräge von Aluminium und Nitrat in das Grundwasser abgeschätzt werden.

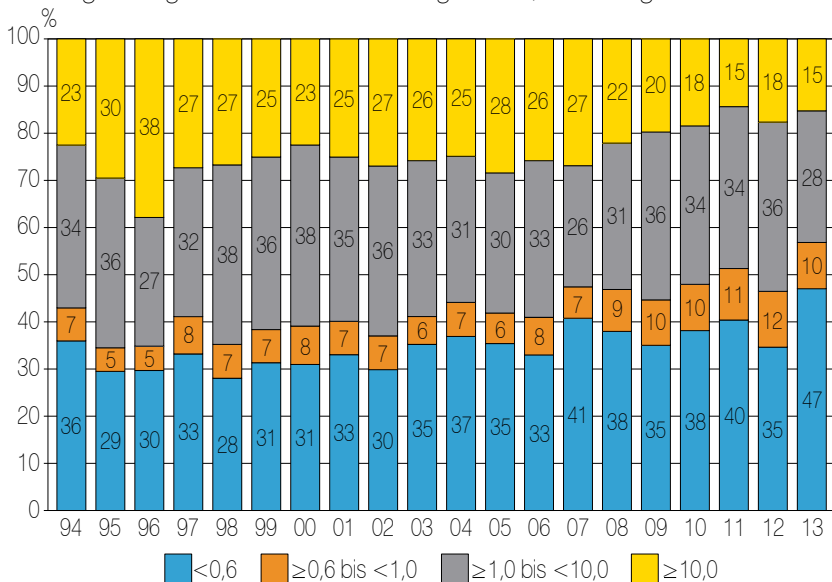
Grundlage der Auswertungen war die chemische Zusammensetzung der Bodenlösung aus den Jahren 1994 bis 2013. Sie stammen von 37 Intensiv-Monitoringflächen der NW-FVA, auf denen Buchen- (18), Douglasien- (1), Eichen- (2), Fichten- (10) oder Kiefern-Bestände (6) stocken und auf denen jeweils in mehreren Tiefenstufen Bodenlösung gewonnen wurde. Zwei dieser Flächen sind in den 1980er Jahren einmalig gekalkt worden. Die Daten wurden auf Plausibilität geprüft und mit dem Ziel der Analyse von a) Trends sowie b) der Häufigkeit der Über- bzw. Unterschreitung von kritischen Grenzwerten ausgewertet. Die Auswahl der Grenzwerte orientierte sich an der Vorgehensweise für die Ableitung von kritischen Belastungsgrenzen für Wälder (Critical Loads).

Für Laubbäume wird bei einem Bc/Al-Verhältnis kleiner 0,6, für Nadelbäume kleiner 1,0 von Alu-

Trend des Bc/Al-Verhältnisses in der Bodenlösung verschiedener Tiefen.
Datengrundlage: 37 Intensiv-Monitoringflächen, Zeitbezug: 1994-2013



Tiefenunabhängiges Bc/Al-Verhältnis in der Bodenlösung.
Datengrundlage: 37 Intensiv-Monitoringflächen, Zeitbezug: 1994-2013

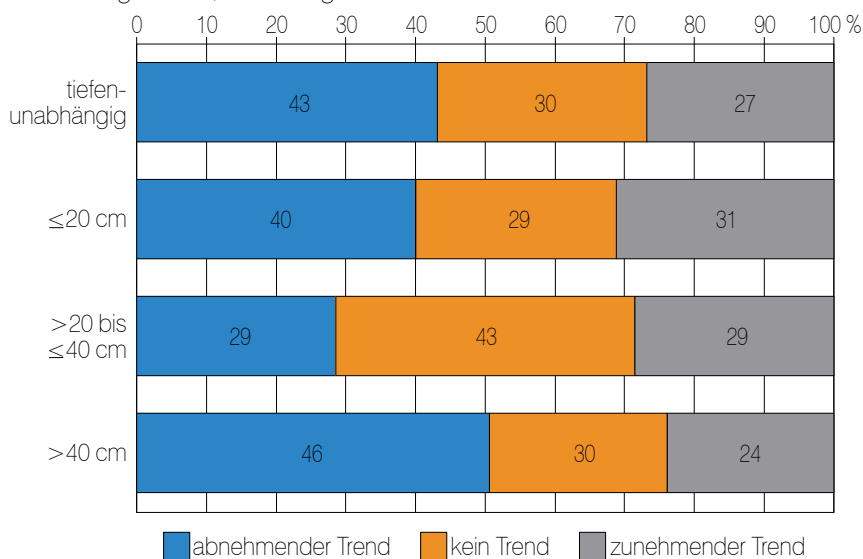


Trends in der Bodenlösung von Waldökosystemen

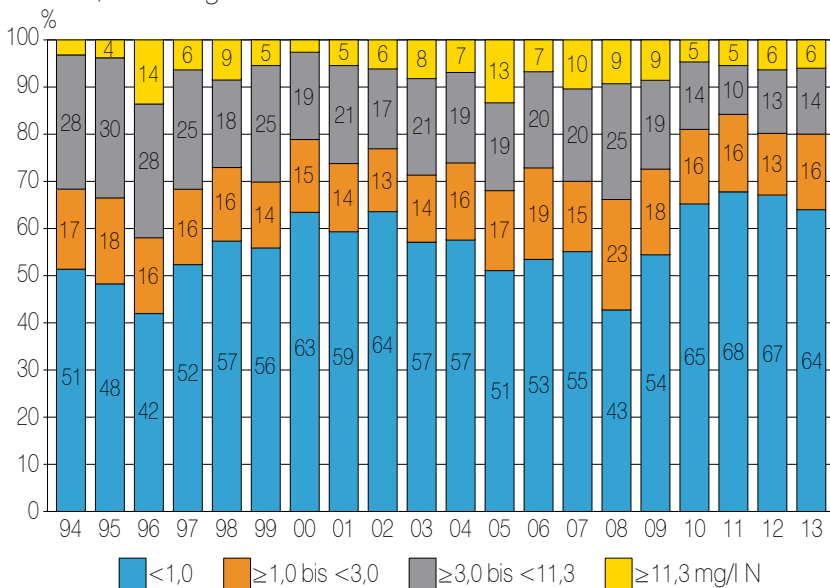
minium-Toxizität bzw. einer gestörten Nährstoffaufnahme ausgegangen. Das Bc/Al-Verhältnis unterlag zwischen 1994 und 2013 tiefenunabhängig in fast der Hälfte aller Fälle einem signifikant abnehmenden Trend (Abbildung Seite 25 oben). Demnach nahmen die Aluminiumanteile in der Bodenlösung im Vergleich zu den Anteilen der Nährstoffkationen entweder stärker zu, schwächer ab oder sie blieben bei abnehmenden Anteilen der Nährstoffkationen konstant. Ein signifikant zunehmender Trend konnte nur für 13 % aller Fälle festgestellt werden. Diesbezüglich zeigten sich in der profilspezifischen Betrachtung für die Tiefenstufen „ ≤ 20 cm“ und „ > 20 bis ≤ 40 cm“ nahezu identische Muster, in der Tiefenstufe „ > 20 bis ≤ 40 cm“ überwogen mit 57 % jedoch die nicht signifikanten Trends, während zunehmende Trends nicht beobachtet werden konnten. Aus diesen Ergebnissen der Intensiv-Monitoringflächen kann abgeleitet werden, dass das Risiko von Aluminium-Toxizität bzw. das Risiko einer gestörten Nährstoffaufnahme in den Wäldern Nordwestdeutschlands eher zugenommen hat.

Ein zunehmendes Risiko der Aluminium-Toxizität spiegelte sich durch die Häufigkeit der Über- bzw. Unterschreitung verschiedener kritischer Grenzwerte in der Bodenlösung wieder (Abbildung Seite 25 unten). Der Vergleich der Mittelwerte der ersten fünf (1994-1998) gegen die letzten fünf Jahre (2009-2013) der Zeitreihe zeigte, dass zu Beginn in 38 %, am Ende aber in 49 % aller Fälle zumindest einer dieser Grenzwerte nicht eingehalten wurde. In der Klasse „ $\geq 1,0$ bis $< 10,0$ “, gab es keine Veränderungen, während die Klassenstärken, in denen kritische Bc/Al-Verhältnisse auftraten, zunahmen (+8 % für die Klasse „ $< 0,6$ “, +4 % für die Klasse „ $\geq 0,6$ bis $< 1,0$ “) und gleichzeitig weniger Standorte in die unkritische Klasse mit einem Bc/Al-Verhältnis ≥ 10 fielen (-12 %). In der profilspezifischen Betrachtung zeigte sich die Tiefenstufe > 20 bis ≤ 40 cm besonders auffällig.

Trend der Höhe der Konzentration anorganischer Stickstoffverbindungen in der Bodenlösung verschiedener Tiefen. Datengrundlage: 37 Intensiv-Monitoringflächen, Zeitbezug: 1994-2013



Tiefenunabhängige Höhe der Konzentration anorganischer Stickstoffverbindungen in der Bodenlösung. Datengrundlage: 37 Intensiv-Monitoringflächen, Zeitbezug: 1994-2013



Mit Unterdruck wird Bodenlösung aus verschiedenen Tiefen gewonnen

Foto: H. Meesenburg

Trends in der Bodenlösung von Waldökosystemen

Seit 2001 wurde hier in mehr als 90 %, seit 2004 sogar in mehr als 95 % der Fälle mindestens der Grenzwert von 1,0 unterschritten (nicht dargestellt).

Die Konzentration der anorganischen Stickstoffverbindungen in der Bodenlösung zeigte zwischen 1994 und 2013 in 70 % aller Fälle einen signifikanten Trend (43 % abnehmend, 27 % zunehmend, Abbildung Seite 26 oben). Dabei wurde in allen Tiefenstufen ein ähnliches Verhältnis zunehmender und abnehmender Trends gefunden. Die abnehmenden Trends sind vermutlich auf abnehmende atmosphärische Stickstoffeinträge zurückzuführen. Die beobachteten zunehmenden Trends sind eine Folge der Sättigung der Waldökosysteme mit Stickstoff aufgrund eines weiterhin über dem Bedarf für den Zuwachs der Waldbestände liegenden Eintrags.

Bei einer Konzentration anorganischer Stickstoffverbindungen von mehr als 1,0 mg/l N kann von erhöhten Stickstoffausträgen infolge von Stickstoffsättigung ausgegangen werden. Auch unterhalb dieses Grenzwertes sind Nährstoffungleichgewichte möglich, oberhalb von 3,0 mg/l N können Schädigungen des Wurzelsystems der Bäume auftreten. Als Grenzwert im Trinkwasser sind in Deutschland 11,3 mg/l N (entspricht einem Nitratgehalt von 50 mg/l) festgelegt. Der Vergleich der Mittelwerte der ersten fünf (1994-1998) gegen die letzten fünf Jahre (2009-2013) der Zeitreihe zeigt, dass sich die Anteile der 3 obersten Klassen (-1 % für die Klassen „ $\geq 11,3$ “ und „ $\geq 1,0$ bis $< 3,0$ “, -12 % für die Klasse „ $\geq 3,0$ bis $< 11,3$ “) zugunsten der Klasse „ $< 1,0$ “ (+14 %) verringert haben (Abbildung Seite 26 unten). Somit deutet die Betrachtung der Überschreitung kritischer Werte für anorganischen Stickstoff ein geringeres Risiko von erhöhten Nitratausträgen in das Grundwasser an. Es ist jedoch erforderlich, die weitere Entwicklung zu beobachten, da die atmosphärischen



Saugkerzen zur Gewinnung von Bodenlösung in verschiedenen Tiefen
Foto: NW-FVA



Boden des Jahres 2015: Pseudogley

Foto: H. Kasel

Stickstoffeinträge weiterhin vielerorts über den kritischen Belastungsgrenzen liegen und daher mit einer Stickstoffsättigung zu rechnen ist. Bei einer zunehmenden Stickstoffsättigung wäre von wieder ansteigenden Nitratausträgen auszugehen. Hierbei ist auch die Dynamik der organischen Substanz, in der ein Großteil des Boden-Stickstoffs gespeichert wird, von besonderer Bedeutung. Da der Einfluss des Klimawandels auf die Vorräte der organischen Substanz schwer abzuschätzen ist, kann auch das zukünftige Risiko erhöhter Nitratausträge nur bedingt prognostiziert werden.

Trotz aller Bemühungen zur Reduktion der Säureeinträge in den letzten Jahrzehnten sind die pH-Werte in der Bodenlösung bislang nur teilweise wieder angestiegen. Die Erholung der Waldökosysteme wird unter anderem durch die Freisetzung von zwischengespeichertem Schwefel und einem weiterhin hohen Eintrag an Stickstoff verzögert. Seine Anreicherung führt zu zusätzlichen Nährstoffverlusten und Grundwasserbelastungen durch Nitrat. Für viele Waldböden wird deshalb auch weiterhin ein erhöhtes Risiko von Aluminium-Toxizität und Nährstoffungleichgewichten infolge von Bodenversauerung bestehen.