

Mülleimer der Atmosphäre

Stammfußbereiche von Buchen, insbesondere das ca. 1 m² große hangabwärtige Bodenareal, die Buchenschürze, waren in den 1980er Jahren bevorzugte Standorte immissionsökologischer Analysen. Die trichterförmige Ableitung des mit Schadstoffen angereicherten Regenwassers am Buchenstamm verursachte hangabwärts ein sog. Säureloch im ursprünglichen Kalkverwitterungsboden: Die Säurebelastung stieg um das Vielfache, die **pH-Werte** sanken von pH 6,5 in der Bestandsmitte und hangaufwärts bis auf pH < 3 in den Buchenschürzen. Dabei gelangten 30 000–40 000 Arten anthropogener Fremdstoffe mit dem Wasserstrom in die Buchenschürze, die damit zum „Mülleimer der Atmosphäre“ wurde (Abb. 1).



Abb. 1: Buchenstamm mit schwarzer Spur des Stammablaufwassers („Dachrinne“) und vegetationsfreier Buchenschürze hangabwärts (Foto: J. LETHMATE)

Vielseitige ökologische Veränderungen

Die Auswirkungen konnten durch profilmorphologische, bodenchemische und floristische Veränderungen in den Buchenschürzen nachgewiesen werden. Obere Bodenhorizonte **podsolierten**, Aluminium wurde

aus dem Mineralboden gelöst und vertikal bis in den Grundwasserleiter verlagert. Das **Puffer**vermögen sank vom Calciumcarbonatpuffer bis in den Eisenpufferbereich (pH < 3), was mit der Freisetzung von Eisen (Fe)-Ionen verbunden ist. Die organischen und anorganischen Verbindungen des **Kationenaustauscher**-Pufferbereichs (pH 5,0–4,2), wie Huminstoffe, **Tonminerale** und Oxide, die aufgrund ihrer variablen Ladungen Versauerungstendenzen entgegenwirken konnten, sind aufgebraucht. Wenn die Säureneutralisationskapazität bis in diesen Pufferbereich erschöpft ist, treten bekanntermaßen in der Bodenlösung und am Kationenaustauscher hohe Gehalte an Mangan (Mn)-Ionen auf, die auch im Pflanzenwuchs nachweisbar sind. Hohe Mn-Gehalte in den Blättern belegen, dass die Bodenversauerung im Wurzelraum in Richtung Aluminium-Pufferbereich vorgerückt ist. Die Mn-Gehalte in der **EDTA-Lösung** belegen diesen Sachverhalt. Kalkzeiger verschwanden aus der Krautschicht, Säurezeiger fanden neue Wuchsorte. Dass die Befunde anthropogen bedingt waren, belegten Studien im europäischen Verbreitungsgebiet der Buchenwälder: Im immissionsreichen Mitteleuropa wurden solche Veränderungen überall festgestellt, die Buchenwälder des immissionsärmeren Süd- und Nordwesteuropas waren frei von säurebedingten Effekten.

Anhaltende Säureeffekte

Inzwischen sind seit den ersten Untersuchungen mehr als 30 Jahre vergangen. Die Schwefelbelastung aus der Luft ist drastisch zurückgegangen, ebenso wie die anthropogenen Schwermetall-Einträge. Das Stammablaufwasser in die Buchenschürzen müsste demnach schadstoffreduziert sein.

Indiz sind auch die aktuellen, im Vergleich zum anthropogen versauerten Regen (pH < 4,5) deutlich angestiegenen pH-Werte von 5,2–5,9 sowie die zurückgehende Leitfähigkeit und damit der abnehmende Stoffgehalt des Regens. Die Buchenschürzen, so die Hypothese, müssten sich „erholt“ haben.

Eine pH-Messung an Bodenmischproben aus Buchenschürzen am Strubberg, einem Buchenwald im Teutoburger Kalksteinzug bei Tecklenburg, ergab Überraschendes: Die pH-Werte haben sich keinesfalls grundlegend verbessert (Abb. 2). Auch die floristischen Veränderungen sind noch sichtbar: **Basenreiche** Böden bevorzugen Kräuter wie Waldmeister (*Galium odoratum*) und Wald-Bingelkraut (*Mercurialis perennis*) meiden die Buchenschürzen, bewachsen sind sie allenfalls von säureindifferenten Arten wie Buschwindröschen (*Anemone nemorosa*) und Efeu (*Hedera helix*) (Abb. 3). Zu Zeiten des anthropogen versauerten Regens wurde der mit dem Niederschlag eingetragene Schwefel im Boden gespeichert, die nachlassende Schwefelzufuhr verursacht dort heute seine Freisetzung. Dabei entstehen auch Wasserstoff (H⁺)- und Aluminium (Al³⁺)-Ionen, d. h. eine damit einhergehende Versauerung. Hinzu kommen hohe Stickstoffeinträge, deren Umset-

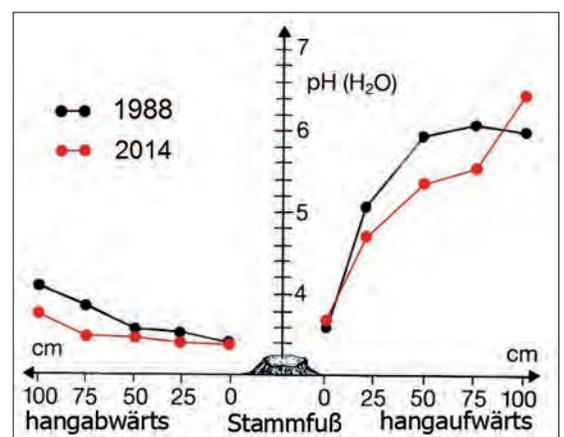


Abb. 2: Vergleich mittlerer pH-Werte der Messjahre 1988 und 2014 hangabwärts und hangaufwärts von Buchenstämmen eines Kalkbuchenwaldes im nordwestlichen Teutoburger Wald (Quelle: eigene Erhebungen)

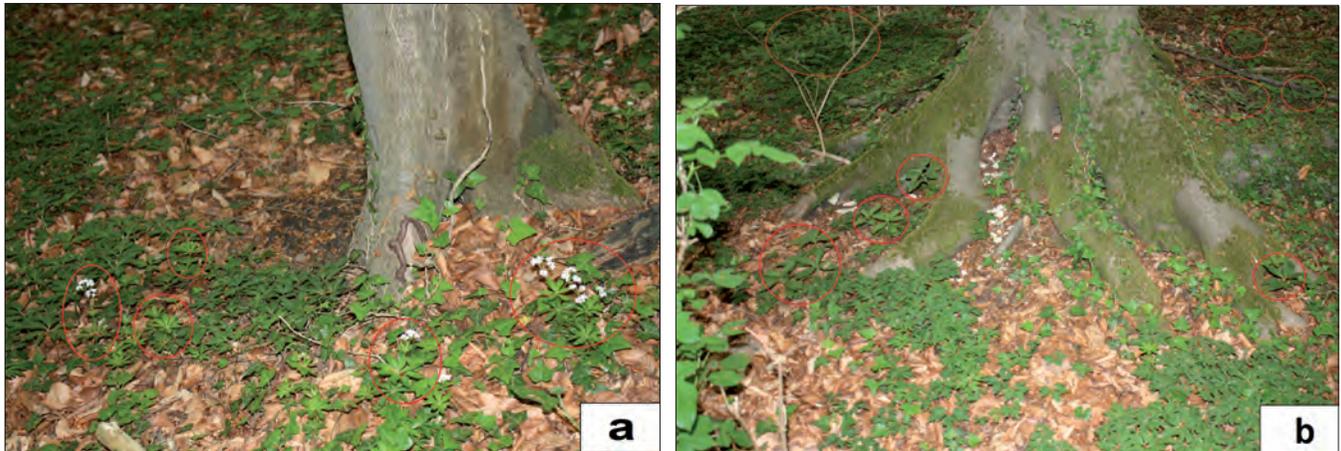


Abb. 3: Basenzeiger wie Waldmeister (*Galium odoratum*; Abb. 3a, rote Kreise) und Wald-Bingelkraut (*Mercurialis perennis*; Abb. 3b, rote Kreise) gedeihen nur außerhalb der Buchenschürze, säureindifferente Arten wie Buschwindröschen (*Anemone nemorosa*) und Efeu (*Hedera helix*) auch im stärker vom sauren Stammablaufwasser beeinflussten Bereich (Fotos: J. LETHMATE)

Zeitraum	Mischproben (0–5 cm Tiefe)	
	mg Pb _{ges} kg ⁻¹	
	stammfern	Buchenschürze
1984	167,0	262,0
2014	141,4	90,6

Tab. 1: Blei-Gesamtgehalte (Pb_{ges}) in Bodenmischproben eines Kalkbuchenwaldes im nördlichen Teutoburger Wald (Quellen: NEITE 1987, eigene Erhebungen)

zung im Boden ebenfalls Protonen freisetzt. Zudem lassen sich bis heute hohe bodenbürtige, pflanzenverfügbare Eisen (Fe)-Gehalte messen, in den Buchenschürzen am Strubberg 681,0–1 549,3 mg Fe kg⁻¹. Bei tiefen pH-Werten können in Wasserkulturen selbst niedrige Gehalte von 4 mg Fe²⁺ für Pflanzen toxisch wirken. Kalkzeiger wie das Wald-Bingelkraut meiden daher die Buchenschürzen.

Umkehrung des Versauerungsgradienten?

Auch Blei (chemisches Symbol Pb) kann ein Belastungsfaktor sein. Unbelastete Böden enthalten ca. 2–60 mg Pb kg⁻¹. Am Strubberg wurden vor ca. 30 Jahren in und

um Buchenschürzen höhere Blei-Gehalte gemessen als heute (Tab. 1). Die aktuell niedrigeren Gehalte können verschiedene Gründe haben:

- (1) Abfallende Buchenblätter, deren Blei-Gehalte seit dem Jahr 1986 deutlich gesunken sind, haben im Oberboden zu „Verdünnungen“ geführt.
- (2) Aus Buchenschürzen wurde Laub ausgeweht oder abgespült (Abb. 3a), der Oberboden enthält weniger organisches Material, dem bevorzugten Bindungsort des Bleis.
- (3) Anteile des Blei-Gesamtgehaltes wurden unter der Bedingung sehr niedriger pH-Werte (Abb. 2) gelöst und ausgewaschen.
- (4) Im Wiener Wald, aus dem ebenfalls langzeitige Daten vorliegen, haben sich die pH-Werte im Oberboden der Buchenschürzen in den letzten 30 Jahren erhöht, sind aber in tieferen Bodenhorizonten gesunken: Der Versauerungsgradient hat sich umgekehrt.

Die Tiefenverlagerung könnte auch für die in Buchenschürzen angereicherten Schwermetalle gelten. In nordrhein-westfälischen Wäldern haben sich einige Schwermetalle in den letzten beiden Dekaden nachweislich in tiefere Bodenhorizonte verlagert, die höchsten prozentualen Veränderungen entfallen auf Quecksilber und Blei.

Sollte sich dieser Sachverhalt für Buchenschürzen bestätigen, wäre der Rückschluss nachlassender Umweltbelastung für diese „Monitore“ des Waldes ein Trugschluss.