

Der Forum-Gast

# Waldsterben durch saure Niederschläge?

Vor allem durch den im Herbst 1984 erschienenen Bericht des Bundesamtes für Umweltschutz (BUS) «Waldsterben und Luftverschmutzung» ist saurer Regen allgemein zum Oberbegriff der immer weiter zunehmenden Luftverschmutzung geworden. Ohne den Sinn endlich anlaufender Massnahmen zur Verbesserung der Luftqualität auch nur im geringsten in Zweifel zu ziehen, soll im folgenden der Einfluss sauren Regens auf das Waldsterben genauer beleuchtet werden.

Von Walter R. Müller

Angegeben werden die Säurestärken der Niederschläge in pH-Einheiten. Ein pH-Wert von 7 entspricht einer neutralen Reaktion, pH 0 ist stark sauer und pH 14 stark alkalisch. Eine Veränderung um eine pH-Einheit ergibt einen Unterschied in der Säurekonzentration um den Faktor 10, d.h. pH 3 ist zum Beispiel zehn mal saurer als pH 4. Übrigens: Der Saft einer reifen Zitrone, eins zu hundert mit Wasser verdünnt, ergibt einen pH-Wert von 2,9.

## Was sind saure Niederschläge?

Gewisse Schadstoffe in der Luft wie Schwefeldioxid und Stickoxide reagieren nicht nur bereits bei der Emission sauer; sie wandeln sich auch noch mit der Zeit in stärker saure Substanzen (Sekundärschadstoffe) um. Wäre die Luft nun absolut rein, so würde sich im Regen infolge des natürlichen Kohlensäuregehaltes in der Luft ein pH-Wert von etwa 5,6, d.h. schwach sauer, einstellen. Ein Vergleich der heutigen Situation mit diesem Wert ist aber nicht zulässig: Anerkannte Fachleute schätzen den pH-Wert im Regen unter Ausschluss sämtlicher menschlicher Aktivitäten auf 4,5 - 5, bedingt durch die in der Luft natürlich vorkommenden Schwefel- und Stickstoffverbindungen!

Aus Unmengen von Messungen im In- und Ausland geht ferner unmissverständlich hervor, dass die Niederschläge in Emittentennähe (Ballungsgebiete, Industrie usw.) stets deutlich saurer reagieren als in emittentfernen Gebieten. Aus dieser Tatsache sind zwei Schlüsse zu ziehen:

- Die Behauptung, in emittentfernen Gebieten sei aufgrund der Verfrachtung bei gleichzeitiger Umwandlung in stärker saure Substanzen mit einer grösseren Schadenswirkung durch saure Niederschläge zu rechnen, ist nicht richtig (BUS-Bericht:

«Kritische Belastungen in emittentfernen oder ländlichen Gebieten kommen vor allem durch Ozon und Oxidantien sowie durch saure Niederschläge vor!>). Die obige Feststellung beweist vielmehr, dass andere Effekte wie Schadstoffverteilung, Neutralisation der sauren Stoffe durch Staub usw. eindeutig den dominierenden Faktor ausmachen.

- Auch eine andere Ansicht, der Schadstoffimport sei für den sauren Regen hauptverantwortlich, ist auf Grund der Messungen nicht haltbar: Wenn schon die Schadstoffe hunderte von Kilometern verfrachtet worden sind, ist die Annahme unrealistisch, diese würden nach einer solch langen «Reise» ausgerechnet in der Schweiz vollständig niedergehen, zusammen mit der Eigenschadstoffproduktion. Wahrscheinlicher ist vielmehr, ein Teil der Schadstoffe wird wieder exportiert, angereichert durch Schweizer Emissionen!

## Saure Niederschläge auch schon früher!

Insbesondere im Hinblick auf das 1983 plötzliche Bekanntwerden grossflächiger Waldschäden und dem Verdacht eines Einflusses durch sauren Regen muss man sich fragen, wie die Situation denn früher war, als noch niemand von Waldsterben sprach. Recht glaubhafte Messungen vor mehr als hundert Jahren (!) belegen heute geringere Säuregehalte im Niederschlag von Ballungsgebieten, zurückzuführen wahrscheinlich auf den heute verminderten Einsatz von schwefelreichen Brennstoffen wie Kohle und Koks. Dagegen sind in emittentfernen Regionen heute eher etwas höhere Werte die Regel, was unter anderem auch mit dem zunehmenden Einfluss der Fernausbreitung von Luftverunreinigungen durch hohe Schornsteine (Industrie) erklärt werden kann. Unter Fachleuten bekannt sind ferner deutsche Untersuchungen, wonach der pH-Wert des Niederschlages in Mitteleuropa während der letzten 50 Jahren im Mittel praktisch gleich geblieben ist.

Zwar aufgeführt, aber nicht besonders kommentiert wird im BUS-Bericht auch ein ähnliches Resultat aus der Schweiz (siehe Tabelle): In Liebefeld bei Bern wurde 1957-1961 ein mittlerer pH-Wert im Niederschlag von 4,6 gemessen, in Dübendorf bei Zürich in den Jahren 1978/79 ein solcher von 4,46. Wobei nicht einmal ausgeschlossen werden kann, die geringe Veränderung von 0,14 pH-Einheiten sei auf die unterschied-

lichen Probenahmeorte zurückzuführen (Liebefeld liegt auf der hauptwindabgerichteten Seite der Stadt Bern, Dübendorf eher in der Hauptwindrichtung der Stadt Zürich, etwa drei km südöstlich einer grossen Kehrriechverbrennungsanlage mit erwiesenen grossem Salzsäureausstoss). Wäre daher die Hauptwindrichtung in der Schweiz von Ost nach West, würde auch der aufgeführte Vergleich der Nitratgehalte im Niederschlag mit Sicherheit anders aussehen!

## Saurer Tau und saurer Nebel

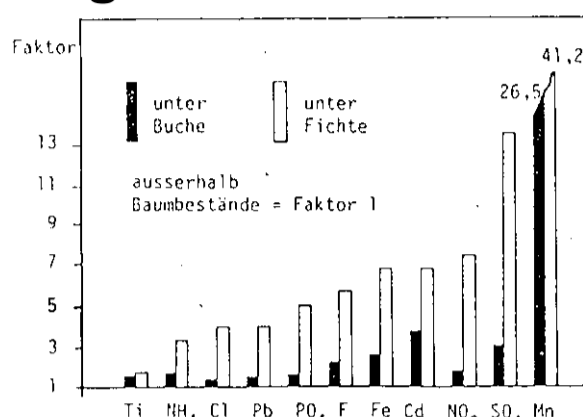
Da sich die sauren Luftschadstoffe im Nebel in bedeutend weniger Wasser auflösen (müssen) als im Regen, ergeben sich gezwungenermassen höhere Säurekonzentrationen. Aber:

- Wenn sich der pH-Wert im Niederschlag innerhalb der letzten 100 bzw. 50 Jahren kaum resp. nicht geändert hat, muss dies auch für Nebel und Tau angenommen werden. Diesbezüglich neue Verhältnisse sind somit nicht gegeben.

- Die Nebelzusammensetzung entspricht im wesentlichen der lokalen Luftbelastung durch Schadstoffe, da Nebel praktisch immer ein Fehlen von Wind bzw. das Vorhandensein einer Inversion («Kaltluftsee»), voraussetzt. Wirklich saure Nebel sind daher vorwiegend im Mittelland und in der Nähe von Emittenten anzutreffen und kaum in den höheren Regionen (Waldgrenze, Bannwälder usw.).

## Wirkung des sauren Regens auf Pflanzen

Seit langem ist bekannt, dass die Pflanzen im Freilandversuch bei sonst gleichen Versuchsbedingungen praktisch immer resistenter gegenüber den Extremexperimenten im Gewächshaus sind. Ohne im einzelnen auf die Vielzahl der Untersuchungen einzugehen, scheint folgendes festzustehen: Zur Erreichung von sichtbaren Schäden an Baumnadeln oder Wachstumsstörungen an Nadelbäumen sind bei vierwöchiger (!) Einwirkungsdauer pH-Werte deutlich unter 3 erforderlich. Solche pH-Werte sind zwar in der Schweiz lokal ohne weiteres denkbar, nicht jedoch grossflächig und über längere Zeit. Freiland-Untersuchungen in Deutschland haben keine gesicherte Abhängigkeit zwischen Benadelungsgrad und pH-Werten in den Niederschlägen der entsprechenden Gebiete ergeben. Andere Gewächshausuntersuchungen an Tannen und Fichten sowie Flechten aus einem Waldschadensgebiet ergaben bei pH-3-Regen eine höhere Absterberate der Flechten(!), jedoch keinerlei Schädigungen an Fichten und Tannen. Erst die längere Behandlung mit pH-2,5-Regen ergaben Schäden an den Nadelbäumen - die Schadenssymptome stimmten jedoch nicht mit den in der Natur angetroffenen überein(!). Da in diesem Extremexperiment die bekanntermassen auf saure Einwirkungen empfindlicheren Flechten, nicht aber die Nadelbäume geschädigt wurden, im Schadengebiet jedoch umgekehrt die Bäume und nicht die Flechten geschädigt sind, muss der saure Niederschlag auch in diesem



Stoffkonzentrationen im Niederschlag innerhalb eines Buchen- bzw. Fichtenwaldes als Vielfaches der ausserhalb von Baumbeständen gemessenen Schadstoffkonzentrationen.

Aus BUS-Bericht

Fall als direkte Schädigungsursache ausgeschlossen werden. Ähnliches trifft bei gleichzeitiger Begasung mit Ozon in einigermaßen wirklickeitsnahen Konzentrationen zu.

## Saurer Regen - Wirkung auf den Boden

Zwar sind schon vor bald einem Jahrhundert in der Umgebung von extremen Einzelemittenten Bodenversauerungen festgestellt worden. Sofern der Boden nicht zusätzlich mit emittierten Schwermetallen vergiftet wurde, ist bereits im ersten Jahr nach Stilllegung des Emittenten eine Wiederbesiedelung durch Birkenanflug, nach einigen Jahren sogar eine vollständige Bewaldung der ehemals vegetationslosen Fläche erfolgt. Eine irreversible Schädigung des Bodens, z.B. über eine Freisetzung von Aluminium-Ionen aus der Bodensubstanz (BUS-Bericht) ist kaum wahrscheinlich. Die entsprechende Theorie wird auch in der übrigen Waldschadensforschung nicht mehr akzeptiert: Untersuchungen am Holzzuwachs von Bäumen aus dem der Vergiftungstheorie zugrundeliegenden (bezüglich Bodenbeschaffenheit extremen) Schädigungsgebiet haben keine Anzeichen einer Schwermetallvergiftung ergeben. Im Gegenteil, die als relevant angegebenen Metallkonzentrationen im Holzzuwachs sind trotz praktisch gleichgebliebenen Emissionen innerhalb der letzten zehn Jahre zurückgegangen!

In der Schweiz reagiert der Boden wegen dem Kalkgehalt meist schwach alkalisch, verbunden mit einem hohen Neutralisierungsvermögen (Pufferkapazität) für saure Substanzen. Der überwiegende Anteil der Böden befindet sich daher für sehr lange Zeit (aber nicht ewig!) ausserhalb jeglicher Gefährdung durch saure Niederschläge. Allfällige Ausnahmen (stark saure Böden, geringe Pufferkapazität) wären auch ohne den luftverschmutzungsbedingten sauren Regen langfristig verbesserungsbedürftig!

Wegen der (eigentlich erwünschten) Auskämmung von Luftschadstoffen durch Bäume können sich bei Regen, besonders aber am Anfang eines schwachen Niederschlags und bei einzelstehenden Bäumen, deutlich höhere Säure- und Metallkonzentrationen im Stammabfluss und der Kronentraufe ergeben. Dies dürfte auch schon vor 50 oder 100 Jahren so

gewesen sein. Die Beurteilung der Verhältnisse anhand der Konzentrationen im Abfluss allein ist jedoch nicht statthaft (siehe Grafik). Hauptverantwortlich für die Aufkonzentrierung ist nämlich die Schadstoffanreicherung durch Verdunstung von Wasser, d.h. die eingetragene Schadstoffmenge steigt bei weitem nicht im gleichen Masse an wie die Konzentration der Schadstoffe. Die im BUS-Bericht aufgeführte Behauptung, in Fichtenbeständen sei die Disposition von Sulfat (SO<sub>4</sub>) 13mal höher und diejenige von Nitrat (NO<sub>3</sub>) bis siebenmal höher als im Freiland, ist Mumpitz.

Walter R. Müller, Anfang 40, mit etwa 20 Jahren Erfahrung auf dem Gebiete der Lufthygiene, einige Kenntnisse in Pflanzenkunde, weniger in forstlichen Belangen. Ist anderweitig in einer öffentlichen Verwaltung tätig und hat daher weder Interessen wahrzunehmen noch wird eine Profilierung angestrebt. Motiv für diesen Artikel ist einerseits die Neugierde bezüglich eines wissenschaftlich sehr interessanten, mit subjektiven Einflüssen durchsetzten Phänomens sowie andererseits die Befürchtung, trotz dem Einsatz gewaltiger Geldmengen werde schliesslich weder der Wald gesünder noch die allgemeine Belastung der Natur (Luft, Wasser und Boden) geringer. Dies ist wahrscheinlich erst erreichbar, wenn Lebensqualität deutlich vor Quantität gesetzt wird.

Nach dem BUS-Bericht können sich infolge des stark sauren Stammabflusses um den Stamm herum sogenannte «Todeshöfe» ausbilden, d.h. kreisförmige Bezirke mit praktisch vollständig abgestorbener Vegetation. Dabei wäre einmal zu untersuchen, wie gross die natürliche Bodenversauerung durch abfallende Nadeln ist und was für eine Rolle die natürliche Säureproduktion der Wurzeln spielt (damit werden die Nährstoffe im Boden in eine pflanzenaufnahmefähige Form gebracht). Der wesentliche Einfluss der Ausbildung von «Todeshöfen» dürfte aber die Austrocknung des Bodens im Stammbereich sein, was auch anhand der «Todeshöfe» über nur wenig mit Erde bedeckten Hauptwurzeln ersichtlich ist. Der nach dem Schlagen des Baumes innerhalb eines Jahres einsetzende Pflanzenbewuchs unmittelbar am Baumstamm zeigt ferner, dass die Geschichte von den «Todeshöfen» in unserem Land möglichst schnell vergessen werden sollte.

Ionen im Niederschlag	1957-1961 (Liebefeld, BE)	1978/1979 (Dübendorf, ZH)	Relative Veränderung (in Prozent)
NO <sub>3</sub> (N)	0,08 mg/l	0,48 mg/l	+ 500%
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (S)	1,28 mg/l	1,08 mg/l	- 16%
Cl	1,06 mg/l	0,86 mg/l	- 19%
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (N)	0,56 mg/l	0,68 mg/l	+ 21%
pH-Wert des Niederschlags	4,6	4,46	

Tabelle: Veränderung der Ionenkonzentration (Nitrat (NO<sub>3</sub>), Sulfat (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>), Chlorid (Cl) und Ammonium NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) in den Niederschlägen von monatlichen Sammelproben (trockene und nasse Deposition) an zwei vergleichbaren Messstationen in städtischen Agglomerationen im Zeitraum von 1957/61 bis 1978/79. Aus BUS-Bericht.