

Stoffeinträge

Birte Scheler

<https://doi.org/10.5281/zenodo.14007376>

Nähr- und Schadstoffe werden sowohl in gelöster Form mit dem Niederschlag als auch gas- und partikelförmig in Wälder eingetragen. Aufgrund der großen Oberflächen der Kronen ist der atmosphärische Stoffeintrag in Wäldern deutlich höher als bei allen anderen Landnutzungsformen. Diese sogenannte Immissionsschutzfunktion stellt jedoch für das Ökosystem Wald selbst eine Belastung dar, da Schwefel- und Stickstoffverbindungen (Nitrat und Ammonium) das chemische Bodenmilieu durch Versauerung und Eutrophierung verändern.

Um die mit den anthropogenen Stoffeinträgen verbundenen Risiken für Wälder, Waldböden und angrenzende Ökosysteme beurteilen zu können, wird in Schleswig-Holstein seit 1989 im Rahmen des Intensiven Forstlichen Umweltmonitorings der Stoffeintrag in einen 117-jährigen Buchenbestand bei Bornhöved erfasst. Der Bestandesmessfläche (Kronentraufe) ist eine Freifläche (Freilandniederschlag) zugeordnet. Zusätzlich wird zur Erfassung des gesamten Bestandesniederschlags der Stammablauf gemessen und analysiert, der in Buchenbeständen quantitativ bedeutsam ist. Mittels eines Kronenraumbilanzmodells (Ulrich, 1991) werden aus den gemessenen Stoffflüssen Gesamtdpositionsraten berechnet.

Niederschlag

2023 war ein überdurchschnittlich niederschlagsreiches Jahr. Im Freiland fielen 955 mm und im Bestand inkl. Stammablauf 725 mm Niederschlag. Im Vergleich zum 10-jährigen Mittel der Jahre 2013–2022 wurde damit im Freiland 179 mm und im Bestand 119 mm mehr Niederschlag registriert. Relativ gesehen fielen im Freiland 123 % und im Bestand 120 % des 10-jährigen Niederschlagsmittel (2013–2022).



Foto: B. Scheler

Wartungsarbeiten auf der Level II-Fläche Bornhöved

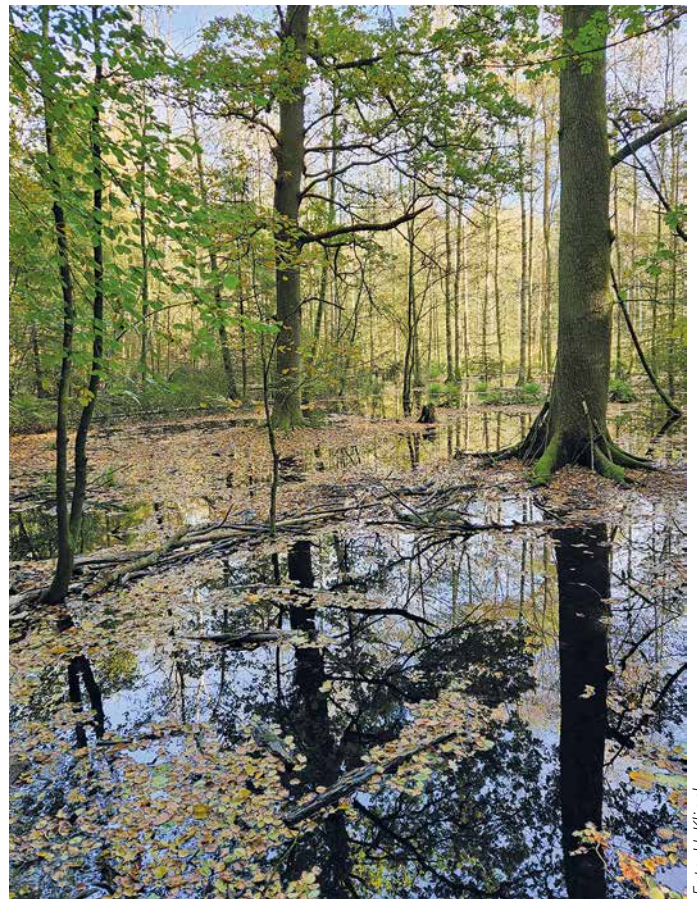
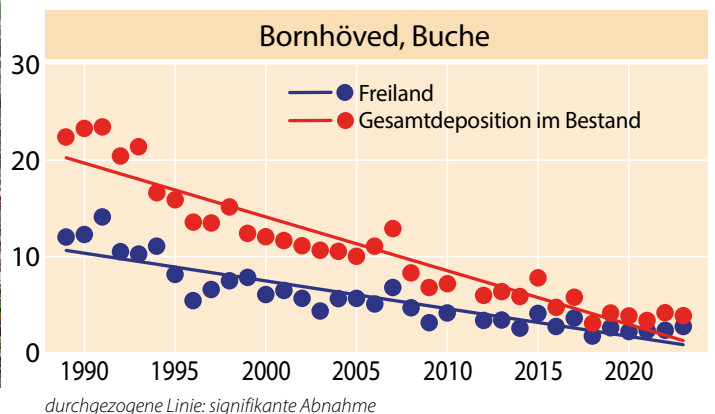


Foto: U. Klinck

Schwefeleintrag

Durch die konsequente Umsetzung von Maßnahmen zur Luftreinhaltung wie Rauchgasentschwefelung und die Einführung schwefelarmer Kraft- und Brennstoffe seit Mitte der 1980er Jahre wurden die Schwefeldioxidemissionen und in der Folge der Sulfatschwefeleintrag in Wälder wirksam reduziert. Während er im Freiland seit 2014 mit jährlichen Schwankungen auf einem ähnlich niedrigen Niveau lag, war er im Bestand im gleichen Zeitraum weiter rückläufig. 2023 betrug er pro Hektar 2,7 kg im Freiland und 3,9 kg im Buchenbestand. Von der Schwefelgesamtdposition unter Buche waren aufgrund der Nähe zum Meer 2,2 kg pro Hektar bzw. 56 % seesalzbürtig, d. h. natürlichen Ursprungs.

Sulfatschwefeleintrag (SO₄-S inkl. seesalzbürtigem Anteil) im Freiland und im Bestand in kg je Hektar und Jahr



Stickstoffeintrag

Stickstoff wird als Nitrat (oxidierte Form, Quellen: Kfz-Verkehr, Verbrennungsprozesse) und als Ammonium (reduzierte Form, landwirtschaftliche Quellen) in das Ökosystem eingetragen. Im Freiland lag der Ammoniumanteil am anorganischen Stickstoffeintrag im Mittel der Jahre 2014–2023 bei 59 % und mit der Gesamtdeposition bei 55 %. Seit Untersuchungsbeginn ist der Ammoniumanteil am Stickstoffeintrag sowohl im Freiland als auch im Bestand deutlich zurückgegangen.

Betrachtet man den Zeitraum seit 1989, hat der Nitratstickstoffeintrag in Bornhöved im Freiland und mit der Gesamtdeposition signifikant abgenommen. Diese deutliche Abnahme hat sich in den vergangenen zehn Jahren jedoch nur noch im Bestand fortgesetzt. 2023 betrug der Nitratstickstoffeintrag je Hektar im Freiland 3,0 kg und 6,4 kg unter Buche (Gesamtdeposition).

Der Ammoniumstickstoffeintrag hat auf der Intensiv-Monitoringfläche Bornhöved seit Untersuchungsbeginn ebenfalls signifikant abgenommen. Im 10-Jahreszeitraum 2014–2023 wurde nur noch auf der Bestandesfläche eine weitere deutliche Abnahme beobachtet. Im Freiland betrug er 2023 3,8 kg je Hektar und unter Buche 6,5 kg.

Besonders eindrücklich zeigt sich die Abnahme des Stickstoffeintrags beim Vergleich mit dem Jahr 2015, das ähnlich niederschlagsreich war wie 2023. Betrug der anorganische Stickstoffeintrag je Hektar 2015 noch 18,8 kg, waren es 2023 nur noch 12,9 kg, was einem Rückgang von rund 30 % entspricht. Trotz der erfreulichen Abnahme des anthropogen bedingten atmosphärischen anorganischen Stickstoffeintrags überschritt er im Mittel der letzten fünf Jahre (2019–2023) mit 13,8 kg je Hektar nach wie vor den Bedarf der Wälder für

Stickstoffeintrag ($\text{NH}_4\text{-N} + \text{NO}_3\text{-N}$) im Freiland und im Bestand in kg je Hektar und Jahr

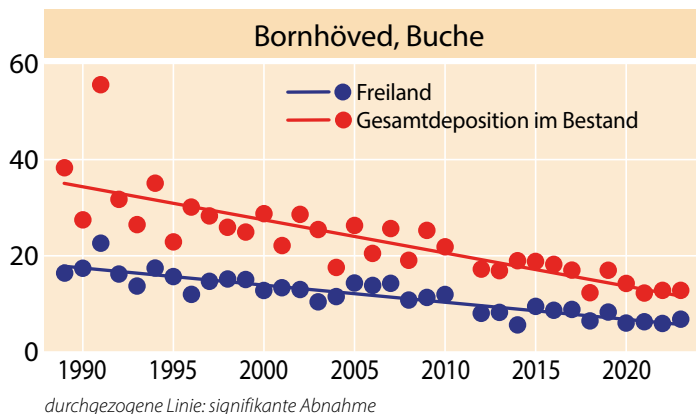


Foto: B. Scheler

Level II-Fläche Bornhöved

das Baumwachstum. Stickstoffeinträge, die über dem Bedarf des Ökosystems für das Wachstum liegen, reichern sich im Ökosystem an und ziehen – ggf. zeitverzögert – gravierende negative Konsequenzen nach sich.

Im Fall von Störungen der Stoffkreisläufe durch Kalamitäten wie Windwurf oder Schädlingsbefall, wie sie seit 2018 in vielen Regionen Deutschlands großflächig auftraten, wird der Stickstoff rasch mineralisiert und es kommt zu erhöhten Nitratausträgen. Nitrat wird im Bodenwasser von Nährstoffkationen wie Calcium, Magnesium oder Kalium sowie sauren Kationen wie Aluminium begleitet. Dadurch verliert das Ökosystem einerseits wichtige Nährstoffe aus den ohnehin meist nährstoffarmen Waldböden, andererseits erhöht sich die Konzentration von Kationen wie z. B. Aluminium in der Bodenlösung, die für die Vegetation schädlich sind. Angrenzende Ökosysteme wie Oberflächen- und Grundgewässer werden ggf. durch hohe Nitratausträge gefährdet. Eine weitere Reduktion der Stickstoffemissionen ist zum Schutz der Ökosysteme wichtig.

Gesamtsäureeintrag

Der Gesamtsäureeintrag berechnet sich als Summe der Gesamtdosition von Nitrat, Ammonium, Sulfat und Chlorid (jeweils nicht seesalzbürtige Anteile, Gauger et al. 2002).

2023 betrug er im Freiland 0,6 kmol_c und unter Buche 1,2 kmol_c je Hektar. Damit war er unter Buche trotz der durch die höheren Niederschläge bedingten höheren Stickstoffeinträge 0,2 kmol_c pro Hektar geringer als im Mittel der letzten zehn Jahre. Ein Teil des Säureeintrags wird durch die ebenfalls mit dem Niederschlag eingetragenen Basen gepuffert. Berücksichtigt man diese Pufferleistung und zieht die nicht seesalzbürtigen Anteile der Basen Calcium, Magnesium und Kalium vom Gesamtsäureeintrag ab, erhält man den ökosystemar bedeutsamen Netto-Gesamtsäureeintrag (Gauger et al. 2002).

Auf der Fläche Bornhöved wurden im Mittel der Jahre 2019–2023 12 % der Gesamtsäureinträge durch nicht seesalzbürtige Basen abgepuffert. Ein weiterer Teil des Säureeintrags wird im Erdreich durch Basen gepuffert, die durch Verwit-



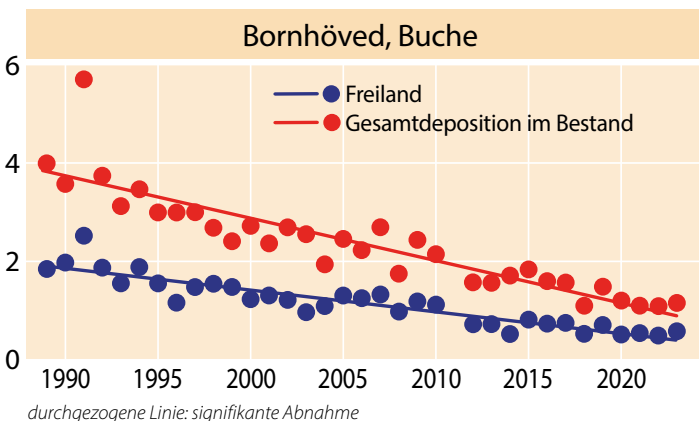


Foto: J. Evers

terung freigesetzt werden. Die nachhaltige Säurepufferkapazität aus Verwitterung reicht auf den oft nährstoffarmen Waldstandorten jedoch auch unter Berücksichtigung der Baseneinträge nicht aus, um die Säureeinträge vollständig zu kompensieren. Eine standortsangepasste Kalkung zum Schutz der Waldböden und der Erhaltung ihrer Filterfunktion für das Grundwasser kann deshalb empfohlen werden.

Gesamtsäureeintrag im Freiland und im Bestand in kmol_c je Hektar und Jahr

anthropogen = durch menschliche Aktivitäten verursacht
Deposition = Ablagerung von Stoffen
Eutrophierung = Nährstoffanreicherung
kmol_c (Kilomol charge) = Menge an Ladungsäquivalenten. Sie berechnet sich wie folgt: Elementkonzentration multipliziert mit der Wertigkeit des Moleküls (= Ladungsäquivalente pro Molekül), dividiert durch das Molekulargewicht. Multipliziert mit der Niederschlagsmenge ergibt sich die Fracht an Ladungsäquivalenten in kmol_c je Hektar.



Literatur

Gauger, T.; Anshelm, F.; Schuster, H.; Draaijers, G. P. J.; Bleeker, A.; Erisman, J. W.; Vermeulen, A. T. & Nagel, H.-D. (2002): Kartierung ökosystembezogener Langzeittrends atmosphärischer Stoffeinträge und Luftschadstoffkonzentrationen in Deutschland und deren Vergleich mit Critical Loads und Critical Levels. Forschungsvorhaben im Auftrag des BMU/UBA, FE-Nr. 299 42 210, Institut für Navigation, Univ. Stuttgart. 207 S.

Ulrich, B. (1991): Beiträge zur Methodik der Waldökosystemforschung. Berichte des Forschungszentrums für Waldökosysteme/Waldsterben. Reihe B, Bd. 24, 204-210.