

Stoffeinträge

Birte Scheler

<https://doi.org/10.5281/zenodo.8412907>

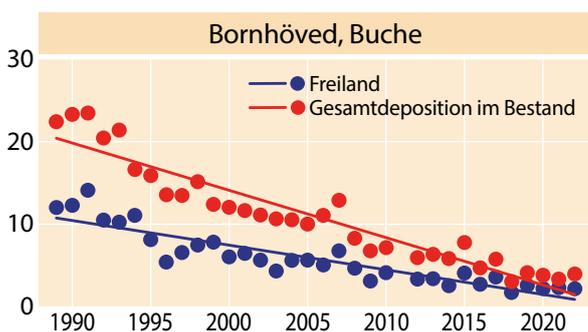
Mit dem Niederschlag gelangen Nähr- und Schadstoffe in gelöster Form in den Wald. Zusätzlich werden diese Stoffe in gas- und partikelförmiger Form eingetragen. Dieser atmosphärische Stoffeintrag stellt für das Ökosystem Wald jedoch eine Belastung dar, da Schwefel- und Stickstoffverbindungen (Nitrat und Ammonium) das chemische Bodenmilieu durch Versauerung und Eutrophierung verändern. Die Höhe der Stoffeinträge wird dabei maßgeblich durch Faktoren wie Niederschlagsmenge, -intensität und -verteilung, Windgeschwindigkeit, Baumart, Bestandeshöhe und Bestockungsgrad, Kronenrauigkeit oder lokale Emittenten bestimmt. Aus diesem Grund sind die Stoffeinträge in niederschlagsärmeren Gebieten in der Regel niedriger als in Gegenden mit hohen Niederschlägen und aufgrund des Laubabwurfs unter Buche geringer als unter Fichte und Douglasie.

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 116jährigen 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

2022 war in Bornhöved ein eher trockenes Jahr. Im Freiland fielen 671 mm, der Bestandesniederschlag (Kronentraufe und Stammablauf) betrug 508 mm. Damit fielen im Freiland 80 mm (bzw. 11 %) und im Bestand 90 mm (bzw. 15 %) weniger Niederschlag als im Mittel der Jahre 2012–2021. Im Vergleich zum langjährigen Mittel seit Untersuchungsbeginn im Jahr 1989 fiel das Niederschlagsdefizit im Bestand mit 18 %

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



durchgezogene Linie: signifikante Abnahme



Foto: O. Schwerdtfeger

Installation eines neuen Loggersystems auf der Level-II-Fläche Bornhöved im Juni 2023

sogar noch etwas höher aus, während es im Freiland unverändert 11 % betrug. Ursache hierfür ist vermutlich die hohe Anzahl von Niederschlagsereignissen mit sehr geringen Mengen in Verbindung mit der Interzeption und anschließenden Verdunstung, so dass bei gleicher Niederschlagsmenge im Freiland weniger Niederschlag den Waldboden erreicht.

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.

2022 betrug er pro Hektar 2,2 kg im Freiland und 4 kg im Buchenbestand. Von der Schwefelgesamtdposition unter Buche waren aufgrund der Nähe zum Meer 2,7 kg pro Hektar bzw. 62 % seesalzbürtig.



Foto: O. Schwerdtfeger

Messung der Niederschlagsmenge auf der Level II-Fläche Bornhöved



Foto: O. Schwerdtfeger

Messcontainer auf der Freifläche des Level II-Plots Bornhöved

Stickstoffeintrag

Stickstoff wird als Nitrat (oxidierte Form) und als Ammonium (reduzierte Form) in das Ökosystem eingetragen. Die größten Emittenten für Stickoxide (NO_x) waren 2021 die Bereiche „Verkehr“ (37 %), „Energiewirtschaft“ (24 %) sowie „private Haushalte und Kleingewerbe“ (12 %). Die Ammoniakemissionen stammen zu ca. 95 % aus der Landwirtschaft (UBA, 2023). Aufgrund der von 1990 bis 2021 erfolgten Reduktion der Emissionen (NO_x -66 %, Ammoniak -29 %), sind die Stickstoffeinträge im Freiland und mit der Gesamtdosition im Beobachtungszeitraum deutlich zurückgegangen. Bezogen auf das Mittel der Jahre 1989–1991 betrug die Reduktion der Nitratreinträge (Mittel 2020–2022) im Freiland 66 % und mit der Gesamtdosition unter Buche 62 %. In den vergangenen 10 Jahren (2013–2022) haben die Nitrat-

einträge mit der Gesamtdosition weiter abgenommen, während sie im Freiland mit jährlichen Schwankungen auf dem erreichten Niveau verharren.

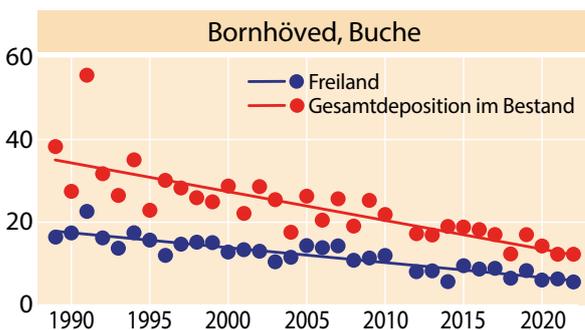
2022 betrug der Nitratstickstoffeintrag je Hektar unter Buche 4,6 kg und im Freiland 2,1 kg.

Die Reduktion der Ammoniumeinträge lag bei 69 % im Freiland bzw. 72 % mit der Gesamtdosition. In den letzten 10 Jahren ist der Ammoniumeintrag mit der Gesamtdosition weiter gesunken, blieb im Freiland jedoch wie der Nitratreintrag mit jährlichen Schwankungen auf einem gleichbleibenden Niveau. 2022 betrug er in Bornhöved unter Buche 7,7 und im Freiland 3,5 kg je Hektar.

Der Anteil des Ammoniums am anorganischen Stickstoffeintrag weist relativ hohe jährliche Schwankungen auf und hat im Beobachtungszeitraum seit 1989 mit der Gesamtdosition deutlicher abgenommen als im Freiland. Im Mittel der Jahre 2020 bis 2022 betrug er 61 % im Freiland und 55 % unter Buche.

Obwohl der anthropogen bedingte anorganische Stickstoffeintrag seit Beginn der Untersuchungen deutlich abgenommen hat, überschreitet er im zehnjährigen Mittel (2013–2022) mit 17,9 kg je Hektar und Jahr auf der Buchenfläche in Bornhöved nach wie vor den Bedarf des Bestandes für das Baumwachstum. Stickstoff, der nicht für das Wachstum der Vegetation benötigt wird, reichert sich im Ökosystem an. Im Fall von Störungen der Stoffkreisläufe durch Kalamitäten wie Windwurf oder Schädlingsbefall wie sie seit 2018 in anderen Trägerländern der NW-FVA 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.

Stickstoffeintrag (NH₄-N + NO₃-N) im Freiland und im Bestand in kg je Hektar und Jahr



durchgezogene Linie: signifikante Abnahme



Level II-Fläche Bornhöved

Foto: O. Schwerdtfeger

Gesamtsäureeintrag

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

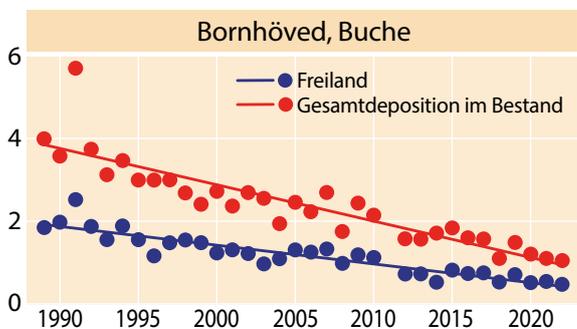
2022 betrug der Gesamtsäureeintrag pro Hektar im Freiland 0,5 kmol_c. Unter Buche betrug er 1,0 kmol_c pro Hektar und war damit 0,5 kmol_c pro Hektar geringer als im Mittel der letzten zehn Jahre (2012–2021). 16 Prozent des Säureeintrags konnte 2022 durch mit dem Niederschlag eingetragene Basen neutralisiert werden.

Ein weiterer Teil der Säureeinträge wird im Waldboden durch Basen gepuffert, die im Rahmen der Verwitterung freigesetzt werden. Die nachhaltige Säurepufferung aus Verwitterung reicht jedoch auf den oft nährstoffarmen Waldstandorten

auch unter Berücksichtigung der Baseneinträge mit dem Niederschlag nicht aus, um die Säureeinträge vollständig zu kompensieren. Eine standortsangepasste Kalkung zum Schutz der Waldböden und der Erhaltung ihrer Filterfunktion für das Grundwasser kann empfohlen werden.

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.

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



durchgezogene Linie: signifikante Abnahme

Literatur

Gauger T, Anshelm F, Schuster H, Draaijers GPJ, Bleeker A, Erisman JW, Vermeulen AT, 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

UBA (2023): <https://www.umweltbundesamt.de/daten/luft/luftschadstoff-emissionen-in-deutschland/stickstoffoxid-emissionen#entwicklung-seit-1990>

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



Foto: J. Evers