

Stoffeinträge

Birte Scheler

In Wäldern ist der atmosphärische Eintrag für viele Nähr- und Schadstoffe die Haupteintragsquelle. Luftverunreinigungen gelangen in gelöster Form mit dem Niederschlag und zusätzlich durch den Auskämmeffekt der Baumkronen gas- und partikelförmig in das Ökosystem Wald. Aufgrund dieses Filtereffektes ist der Eintrag anthropogener bedingter Schwefel- und Stickstoffverbindungen (Nitrat und Ammonium) im Wald deutlich höher als bei anderen Landnutzungsformen. Diese so genannte Immissionsschutzfunktion des Waldes stellt jedoch für das Ökosystem Wald selbst eine Belastung dar, da Stoffeinträge das chemische Bodenmilieu durch Versauerung und Eutrophierung verändern. In Schleswig-Holstein wird seit 1989 im Rahmen des Intensiven Forstlichen Umweltmonitorings der Stoffeintrag in einen 113-jährigen Buchenbestand bei Bornhöved erfasst. Der Bestandesmessfläche (Kronentraufe und Stammablauf) 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 Gesamtdositionsraten berechnet.

Die Höhe der Stoffeinträge wird maßgeblich durch verschiedene Faktoren wie Niederschlagsmenge und -verteilung, Baumart, Bestandeshöhe, Kronenrauigkeit bzw. lokale Emittenten bestimmt. Aus diesem Grund sind die Stoffeinträge in niederschlagsärmeren Gebieten in der Regel niedriger als in niederschlagsreichen Gegenden und aufgrund des Laubabwurfs unter Buche geringer als unter Fichte und Douglasie.

Niederschlag

2017 betrug der Bestandesniederschlag (Kronentraufe und Stammablauf) in Bornhöved 774 mm und lag damit 175 mm bzw. 29 % über dem 10-jährigen Mittel 2007-2016. Im Freiland fielen 980 mm Niederschlag bzw. 240 mm (30 %) mehr als im Vergleichszeitraum. Insgesamt zeigt sich im Beobachtungszeitraum aber kein Trend der Niederschlagshöhe.



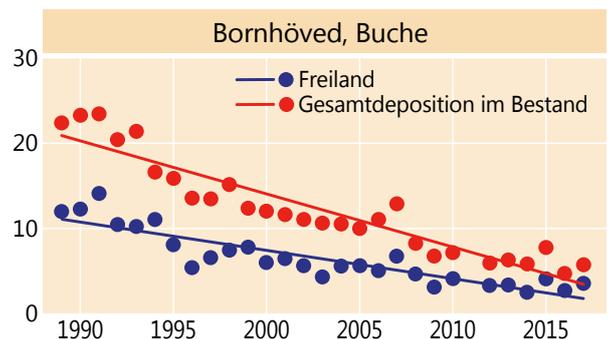
Intensiv-Monitoringfläche Bornhöved

Foto: O. Schwedtfeger

Schwefeleintrag

Durch die konsequente Umsetzung von Maßnahmen zur Luftreinhaltung wie Rauchgasentschwefelung und die Einführung schwefelarmer Kraft- und Brennstoffe konnten die Schwefeldioxidemissionen wirksam reduziert werden. In der Folge ging auch der Schwefeleintrag (gemessen als Sulfatschwefel $\text{SO}_4\text{-S}$) seit Mitte der 1980er Jahre stark zurück. Die stetige Abnahme der Schwefeleinträge setzte sich trotz des bereits zu Beginn der 2000er Jahre erreichten niedrigen Niveaus in den vergangenen 10 Jahren in abgeschwächter Form weiter fort. Aufgrund der deutlich erhöhten Niederschlagsmenge im Jahr 2017 hat sich der Schwefeleintrag im Vergleich zu 2016 wieder leicht erhöht. 2017 betrug er pro Hektar 3,6 kg im Freiland und 5,8 kg unter Buche und war damit pro Hektar 1,1 kg (Buche) bzw. 0,9 kg (Freiland) höher als im Vorjahr. Der Anteil von nicht seesalzbürtigem Sulfat betrug dabei pro Hektar 3,0 kg mit der Gesamtdosition unter Buche und 1,9 kg im Freiland.

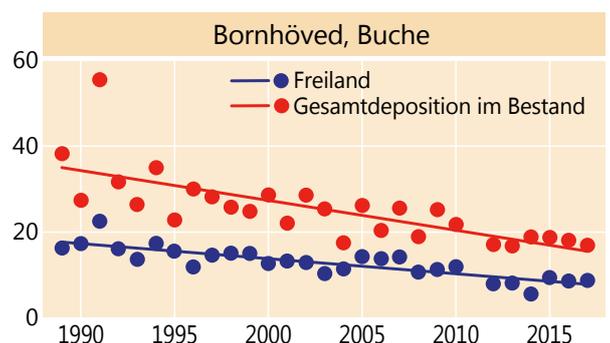
Sulfatschwefel-Eintrag ($\text{SO}_4\text{-S}$ inkl. seesalzbürtigem Anteil) im Freiland und im Bestand in kg pro Hektar und Jahr



Stickstoffeintrag

Stickstoff wird einerseits in oxidierter Form als Nitrat (Quellen: Kfz-Verkehr, Verbrennungsprozesse) andererseits in reduzierter Form als Ammonium (landwirtschaftliche Quellen) in das Ökosystem eingetragen. Im langjährigen Mittel (1989-2016) betrug das Verhältnis Ammonium zu Nitrat annähernd 60:40, der Ammoniumanteil schwankte in den einzelnen Jahren zwischen 43 und 67 %.

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



Stoffeinträge

Der Eintrag von Nitratstickstoff hat im Freiland und der Gesamtdeposition seit Untersuchungsbeginn signifikant abgenommen. Er betrug 2017 pro Hektar im Freiland 3,4 kg und unter Buche 7,2 kg (Gesamtdeposition mit Stammablauf). Im Vergleich zum Mittel der Jahre 2007-2016 reduzierte sich der Nitratreintrag pro Hektar unter Buche um 2,4 kg und im Freiland um 0,7 kg.

Der Ammoniumstickstoffeintrag hat über den Gesamtzeitraum seit 1989 betrachtet ebenfalls signifikant abgenommen, verharnt jedoch in den letzten 10 Jahren mit jährlichen Schwankungen auf dem bis dahin erreichten Niveau. 2017 betrug er im Freiland 5,2 kg pro Hektar und unter Buche 9,9 kg.

Verschiedene Bemühungen haben in der Vergangenheit zu einer Reduktion der Stickstoffemissionen und hieraus resultierenden rückläufigen Einträgen geführt. Diese Entwicklung hat sich in Bornhöved in den vergangenen Jahren jedoch nur für Nitrat weiter fortgesetzt. Der anthropogen bedingte atmosphärische anorganische Stickstoffeintrag überschreitet im Mittel der letzten 10 Jahre (2008-2017) mit 20,1 kg pro Hektar nach wie vor den Bedarf der Wälder für das Baumwachstum. Stickstoffeinträge, die über dem Bedarf des Ökosystems für das Wachstum liegen, ziehen jedoch – ggf. zeitverzögert – gravierende negative Konsequenzen für den Wald selbst sowie angrenzende Ökosysteme wie Oberflächen- und Grundgewässer nach sich.

Gesamtsäureeintrag

Der Gesamtsäureeintrag berechnet sich als Summe der Gesamtdeposition von Nitrat, Ammonium, Sulfat und Chlorid (jeweils nicht seesalzbürtige Anteile). Der Netto-Gesamtsäureeintrag berechnet sich aus dem Gesamtsäureeintrag abzüglich der mit dem Niederschlag eingetragenen Basen Calcium, Magnesium und Kalium (jeweils nicht seesalzbürtige Anteile; Gauger et al. 2002).

2017 betrug der Gesamtsäureeintrag pro Hektar im Freiland 0,8 kmol_c und im Buchenbestand 1,6 kmol_c.



Stammablauf-Messanlage

Foto: T. Friedhoff

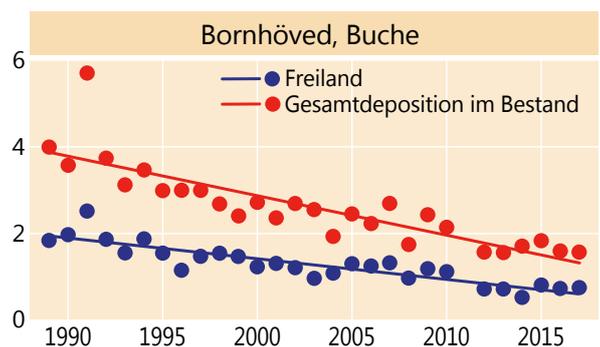


Intensiv-Monitoringfläche Bornhöved

Foto: O. Schwedtfeger

Die Höhe der atmosphärischen Baseneinträge pro Hektar mit dem Bestandesniederschlag lag 2017 bei 0,05 kmol_c. Durch diese basischen Einträge werden auf der Fläche nur 3 % der Säureeinträge in den Wald neutralisiert. Ein weiterer Teil der Säureeinträge wird auf dem Wege der Basenfreisetzung durch Verwitterung gepuffert. Die nachhaltige Säurepufferkapazität insbesondere nährstoffarmer Waldstandorte reicht jedoch auch unter Berücksichtigung der Baseneinträge nicht zur Kompensation der Säureeinträge aus. Eine standortsangepasste Kalkung zum Schutz der Waldböden und der Erhaltung ihrer Filterfunktion für das Grundwasser kann empfohlen werden.

Gesamtsäure-Eintrag im Freiland und im Bestand in kmol_c pro 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.