

Stoffeinträge

Birte Scheler

Nähr- und Schadstoffe werden mit dem Niederschlag in gelöster Form sowie durch den Auskämmeffekt der Baumkronen gas- und partikelförmig in Wälder eingetragen.

Aufgrund der großen Oberflächen der Kronen ist der atmosphärische Stoffeintrag im Vergleich der Landnutzungsformen in Wäldern am höchsten. Diese so genannte Immissionschutzfunktion des Waldes 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.

Im Solling wurde bereits 1968 auf je einer Buchen- und Fichtenfläche mit der systematischen Erfassung der Stoffeinträge begonnen, um die Wirkungen erhöhter Stoffeinträge und damit verbundene Risiken für Wälder, Waldböden und angrenzende Ökosysteme wie beispielsweise das Grundwasser beurteilen zu können. Aktuell wird in Niedersachsen im Rahmen des Intensiven Forstlichen Umweltmonitorings der Stoffeintrag in vier Fichten-, drei Buchen-, sowie jeweils einem Eichen- und Kiefernbestand erfasst.

Jeder Bestandesmessfläche (Kronentraufe) ist eine Freifläche (Freilandniederschlag) zugeordnet. In Buchenbeständen wird zur Erfassung des Bestandesniederschlags neben der Kronentraufe auch der bei dieser Baumart quantitativ bedeutsame Stammablauf gemessen. Mittels eines Kronenraumbilanzmodells (Ulrich 1991) werden aus den gemessenen Stoffflüssen Gesamtdpositionsraten berechnet.

Die Höhe der Stoffeinträge wird maßgeblich durch Faktoren wie Niederschlagsmenge und -verteilung, Windgeschwindigkeit, Baumart, Bestandeshöhe, Kronenrauigkeit oder lokale Emittenten bestimmt. So sind die Stoffeinträge im Bergland (Harz und Solling) aufgrund höherer Niederschlagsmengen höher als im niedersächsischen Tiefland. Fichten- und Douglasienbestände sind wegen der ganzjährigen und im Vergleich mit Kiefern dichteren Benadelung stärker durch Stoffeinträge belastet als Buchen-, Eichen- und Kiefernbestände. Dieser Baumarteneffekt zeigt sich sehr gut im Solling, wo eine Fichten- und eine Buchenfläche in unmittelbarer Nachbarschaft und somit unter gleicher Immissionsbelastung und gleichen klimatischen Bedingungen beobachtet werden.



Intensiv-Monitoringfläche Ehrhorn

Foto: J. Weymar

Niederschlag

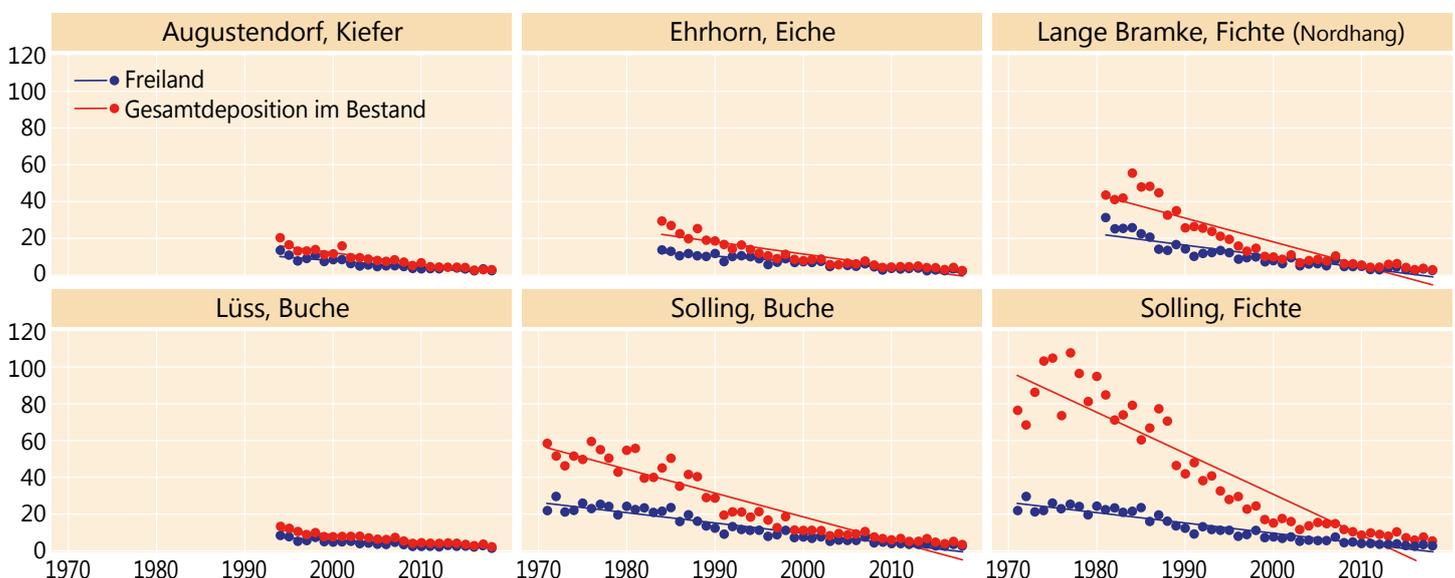
2018 war ein besonders niederschlagsarmes Jahr. Je nach Region waren einzelne Jahre wie 1971, 1976, 1991 oder 1996 noch trockener. Im Vergleich zum 10-jährigen Mittel der Jahre 2008-2017 wurde im Freiland zwischen 200 mm (Augustendorf) und 332 mm (Lange Bramke) weniger Niederschlag gemessen. Der Bestandesniederschlag war zwischen 154 mm (Solling Fichte) und 292 mm (Lange Bramke Nordhang Fichte) geringer als im Mittel des genannten Zeitraums.

Die größten relativen Abweichungen vom 10-jährigen Mittel gab es in der Hohen Heide (Lüss: -32 % im Freiland, -36 % im Bestand, Ehrhorn: -29 % im Freiland, -31 % im Bestand) und im Göttinger Wald (-29 % im Freiland, -31 % im Bestand), die geringsten im Solling (-19 % im Freiland, -19 % unter Fichte, -20 % unter Buche). Aufgrund der deutlich geringeren Niederschlagsmenge waren die Stoffeinträge 2018 im Vergleich mit 2017 ebenfalls geringer.

Schwefeleintrag

Durch die konsequente Umsetzung von Maßnahmen zur Luftreinhaltung wie Rauchgasentschwefelung und die Einführung schwefelarmer bzw. schwefelfreier Kraft- und Brennstoffe konnten die Schwefeldioxidemissionen wirksam reduziert werden. Aufgrund der sehr geringen Nie-

Sulfatschwefeleintrag (SO₄-S) im Freiland und im Bestand in kg je Hektar und Jahr



Stoffeinträge

derschlagsmengen sowie der anhaltend sehr niedrigen gasförmigen Belastung durch Schwefeldioxid war der Schwefeleintrag 2018 auf fast allen Flächen so gering wie nie zuvor.

Er betrug zwischen 2,3 (Augustendorf Kiefer) und 5,4 (Solling Fichte) kg je Hektar mit dem Bestandesniederschlag sowie zwischen 1,5 (Göttinger Wald) und 2,6 (Solling) kg je Hektar im Freiland.

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. In Augustendorf (Weser-Ems-Region) betrug der Ammoniumanteil im 10-jährigen Mittel (2009–2018) 66 % und in Ehrhorn (Hohe Heide) 64 %. Auf den anderen Flächen des Intensiven Monitorings lag er zwischen 47 und 58 %. In dem hohen Ammoniumeintrag in Augustendorf spiegelt sich die intensive Landwirtschaft einschließlich Intensivtierhaltung dieser Region wider.

Der Nitratstickstoffeintrag hat im Freiland und der Gesamtdeposition aller vier Baumarten auf allen untersuchten Flächen bei der Betrachtung des Zeitraums seit Untersuchungsbeginn bzw. seit 1994 signifikant abgenommen. Im Gegensatz zum Schwefeleintrag ist er in den vergangenen 10 Jahren (2009–2018) nicht weiter rückläufig sondern verharrt auf dem erreichten, vergleichsweise niedrigen Niveau. Er betrug 2018 im Freiland zwischen 2,5 (Göttinger Wald) und 3,5 (Solling) kg je Hektar und unter Buche (Gesamtdeposition) zwischen 3,3 (Lüss) und 6,8 (Göttinger Wald) kg je Hektar. Unter Fichte betrug die Gesamtdeposition von Nitratstickstoff 11,1 kg je Hektar im Solling und zwischen 6,2 und 7,9 kg je Hektar im Harz.

Der Ammoniumstickstoffeintrag hat auf den niedersächsischen Intensiv-Monitoringflächen seit Untersuchungsbeginn ebenfalls signifikant abgenommen. In dem 10-Jahreszeitraum 2009–2018 wurde eine weitere Abnahme jedoch nur auf einer der neun Bestandesflächen (Lange Bramke Fichte) und einer Freifläche (Solling) beobachtet. Im Freiland lag der Ammoniumstickstoffeintrag 2018 zwischen 3,0 (Göttinger Wald) und 5,3 (Augustendorf) kg je Hektar



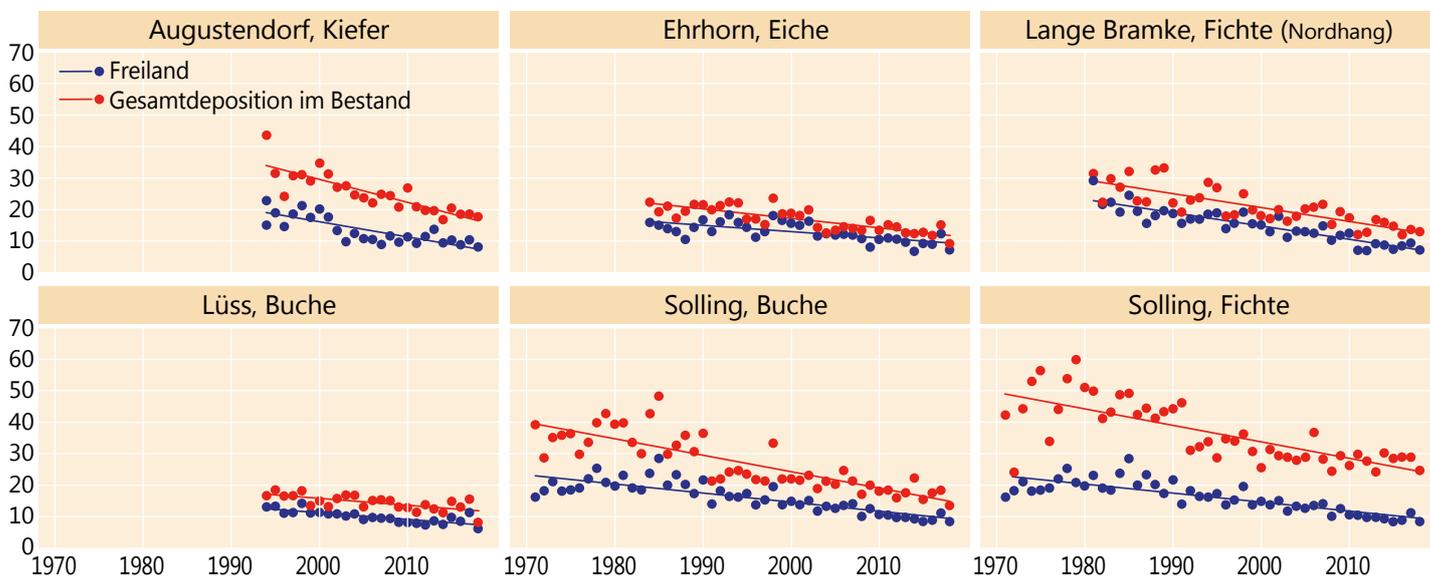
Intensiv-Monitoringfläche Lüss

Foto: M. Spielmann

und unter Buche zwischen 5,0 (Lüss) und 7,8 (Solling) kg je Hektar. Unter Fichte betrug er 13,5 kg je Hektar im Solling und zwischen 6,8 und 9,4 kg je Hektar im Harz. Auffallend hoch sind nach wie vor die Ammoniumeinträge in Augustendorf unter Kiefer mit 12,3 kg je Hektar.

Verschiedene Bemühungen haben in der Vergangenheit zu einer Reduktion der Stickstoffemissionen und hieraus resultierenden rückläufigen Einträgen geführt. Da sich diese Entwicklung in den vergangenen Jahren jedoch nicht im gleichen Maße fortgesetzt hat, überschreitet der an-

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



Stoffeinträge

thropogen bedingte atmosphärische Stickstoffeintrag im Mittel der letzten 5 Jahre (2014-2018) mit bis zu 13,5 kg je Hektar unter Buche (Solling) und 24,6 kg je Hektar unter Fichte (Solling) 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 Gesamtdosition von Nitrat, Ammonium, Sulfat und Chlorid (jeweils nicht seesalzbürtige Anteile, Gauger et al. 2002). 2018 betrug der Gesamtsäureeintrag im Freiland zwischen 0,5 (Göttinger Wald) und 0,7 kmol_c je Hektar, unter Buche zwischen 0,8 (Lüss) und 1,2 (Solling) kmol_c je Hektar sowie unter Fichte zwischen 1,1 (Lange Bramke Nordhang) und 2,1 (Solling) kmol_c je Hektar. Auffallend hoch waren die Gesamtsäureeinträge mit 1,4 kmol_c je Hektar auch auf der Kiefernfläche in Augustendorf, eine Folge der sehr hohen Ammoniumbelastung in dieser Region.



Intensiv-Monitoringfläche Solling

Foto: M. Spielmann

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).

Ein weiterer Teil der Säureeinträge wird im Waldboden durch Basen gepuffert, die durch Verwitterung 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 empfohlen werden.



Analyse von Wasserproben

Foto: J. Evers

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

