

Stoffeinträge

Birte Scheler

In Wäldern ist die Deposition aus der Atmosphäre für viele Nähr- und Schadstoffe die wichtigste Eintragsquelle. Die Kronenoberflächen von Bäumen filtern sehr effektiv gas- und partikelförmige Stoffe aus der Luft. Aufgrund dieses Filtereffektes ist der Eintrag anthropogen 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. Bereits 1968 wurde im Solling auf je einer Buchen- und Fichtenfläche mit der systematischen Erfassung der Stoffeinträge begonnen, um die Wirkungen erhöhter Stoffeinträge und damit verbundener Risiken für Wälder, Waldböden und angrenzende Ökosysteme wie beispielsweise das Grundwasser zu untersuchen. 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.



Bodenhydrologische Messungen

Foto: H. Heinemann

Die Höhe der Stoffeinträge wird maßgeblich durch verschiedene 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. Beim Vergleich der Baumarten sind Fichten- und Douglasienbestände 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 gleichen klimatischen Verhältnissen beobachtet werden.

Niederschlag

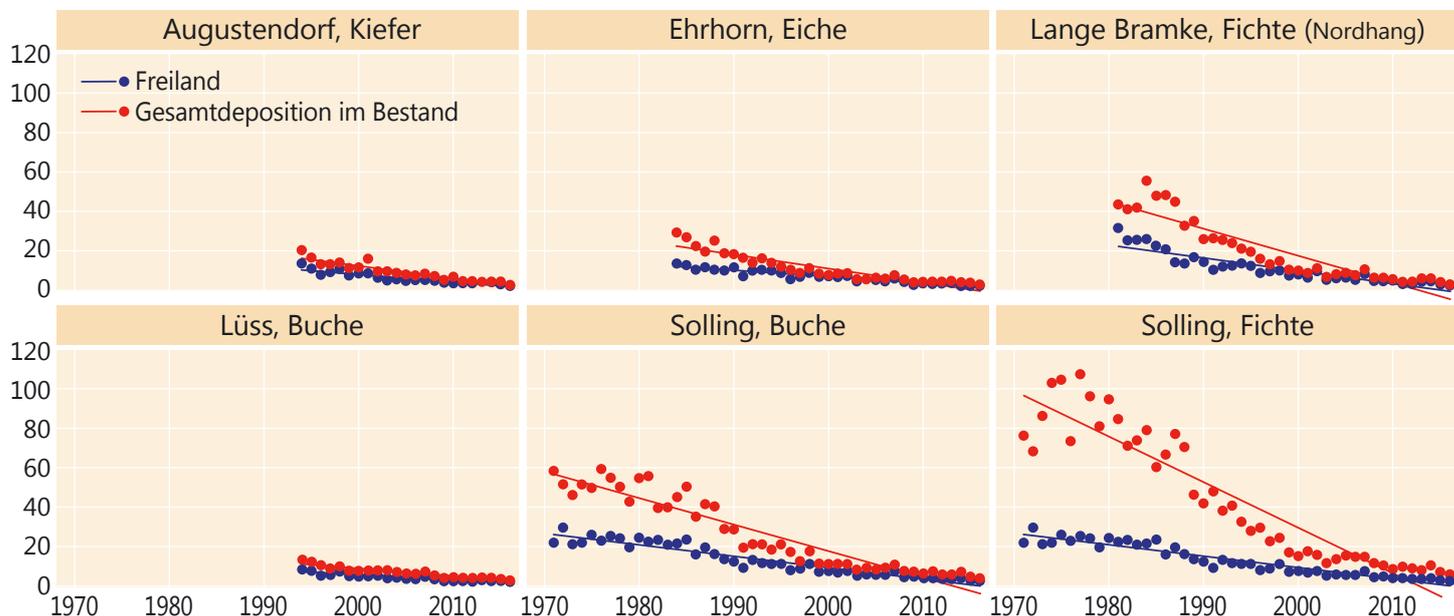
Im Vergleich zum Mittel der Jahre 2011-2015 fiel 2016 auf den meisten Intensiv-Monitoringflächen weniger Niederschlag. Besonders hohe negative Abweichungen traten im Freiland in Lüss (Ostheide, -107 mm bzw. -14 %), im Harz (-91 mm bzw. -8 %) und im Solling (-82 mm bzw. -8 %) auf. In Augustendorf (Nordwestdeutsches Tiefland), Ehrhorn (Hohe Heide) und Göttinger Wald (Südostniedersachsen) entsprach die Niederschlagsmenge in etwa dem fünfjährigen Mittel.

Der Bestandesniederschlag war 2016 auf den Flächen der Langen Bramke (Fichte), Solling (Fichte) und Lüss (Buche) zwischen 73 und 105 mm geringer als im Zeitraum 2011-2015, auf den anderen Flächen wurden zwischen 6 und 54 mm weniger Niederschlag verzeichnet.

Schwefel

Durch die konsequente Umsetzung von Maßnahmen zur Luftreinhaltung ging der Schwefeleintrag (jeweils gemessen als Sulfatschwefel SO_4-S) seit Mitte der 1980er Jahre stark zurück. Die stetige Abnahme der Schwefeleinträge setzte sich auf allen Flächen trotz des bereits zu Beginn der 2000er Jahre erreichten vergleichsweise niedrigen Niveaus in den vergangenen 10 Jahren weiter fort. 2016 betrug der

Sulfatschwefel-Eintrag (SO_4-S) auf ausgewählten Flächen in kg je Hektar und Jahr



Stoffeinträge

Sulfatschwefeleintrag mit dem Bestandesniederschlag je Hektar zwischen 2,6 kg (Lüss Buche) und 6,1 kg (Solling Fichte) sowie im Freiland zwischen 1,7 kg (Göttinger Wald) und 2,6 kg (Solling, Lange Bramke). Auf allen Intensiv-Monitoringflächen wurde 2016 der niedrigste Schwefeleintrag seit Beginn der Messungen registriert. Die Säurebelastung des Ökosystems durch anthropogen bedingte Schwefeleinträge sank damit je Hektar unter Fichte auf Werte zwischen 0,16 kmol_c (Lange Bramke, Nordhang) und 0,33 kmol_c (Solling), unter Buche auf Werte zwischen 0,15 kmol_c (Lüss) und 0,21 kmol_c (Solling) sowie auf 0,15 kmol_c unter Eiche (Ehrhorn) und 0,13 kmol_c unter Kiefer (Augustendorf).

Stickstoff

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 10jährigen Mittel (2006-2015) 66 % und in Ehrhorn (Hohe Heide) 64 %. Auf den anderen Flächen des Intensiven Monitorings lag er zwischen 48 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 Gesamtdosition aller vier Baumarten auf allen untersuchten Flächen seit Untersuchungsbeginn signifikant abgenommen. Er betrug 2016 je Hektar im Freiland zwischen 3,0 kg (Augustendorf) und 4,1 kg (Solling) und unter Buche (Gesamtdosition) je Hektar zwischen 5,4 kg (Lüss) und 7,4 kg (Göttinger Wald). Unter Fichte betrug die Nitratstickstoff-Gesamtdosition je Hektar 11,7 kg im Solling und zwischen 5,4 und 8,3 kg in Harz. Im Vergleich zum Mittel der Jahre 2011-2015 hat der Nitratsstickstoffeintrag im vergangenen Jahr auf fünf Flächen um bis zu 1 kg je Hektar abgenommen und auf drei Flächen zwischen 0,1 und 0,4 kg zugenommen. Der Ammoniumstickstoffeintrag hat auf den niedersächsischen Intensiv-Monitoringflächen seit Untersuchungsbeginn ebenfalls signifikant abgenommen. Im Freiland lag er

2016 je Hektar zwischen 3,4 kg (Göttinger Wald) und 5,8 kg (Augustendorf) und unter Buche zwischen 6,2 kg (Göttinger Wald) und 10,6 kg (Solling). Unter Fichte betrug er 17,3 kg im Solling und zwischen 6,7 und 9,5 kg in Harz. Auffallend hoch sind die Ammoniumeinträge in Augustendorf unter Kiefer mit 12,0 kg.

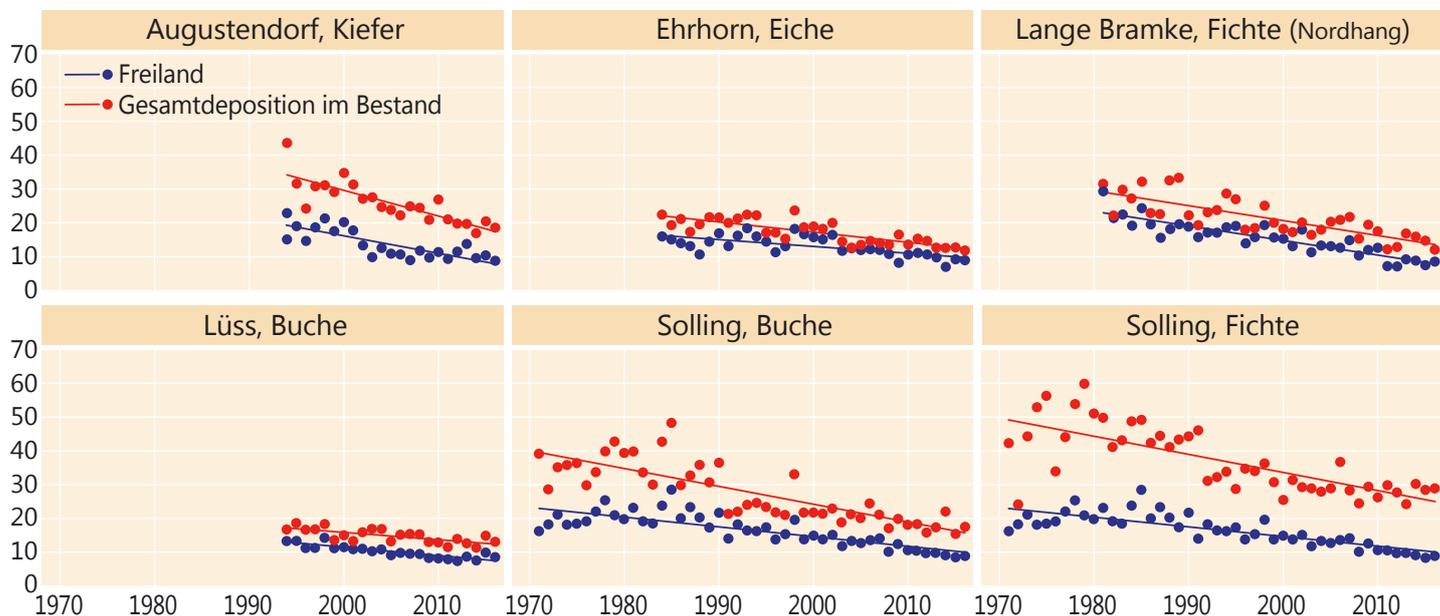
Trotz verschiedener Bemühungen zur Reduktion der Stickstoffemissionen und hieraus resultierender rückläufiger Einträge übersteigt der anorganische atmosphärische Stickstoffeintrag (Mittel der Jahre 2011-2015) mit Werten zwischen 13,5 kg (Ehrhorn Eiche) und 28,1 kg (Solling Fichte) nach wie vor den Bedarf 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 Fließ- und Grundwässer nach sich.



Intensiv-Monitoringfläche Solling, Buche

Foto: M. Spielmann

Stickstoff-Eintrag (NH₄-N + NO₃-N) auf ausgewählten Flächen in kg je Hektar und Jahr



Stoffeinträge

Gesamtsäure

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).

2016 betrug der Gesamtsäureeintrag je Hektar im Freiland zwischen 0,6 kmol_c (Göttinger Wald) und 0,8 kmol_c (Solling), unter Buche zwischen 1,1 kmol_c (Lüss) und 1,5 kmol_c (Solling) sowie bis zu 2,5 kmol_c unter Fichte (Solling).

In den 1970er Jahren wurde der Gesamtsäureeintrag im Solling im Mittel zu 53 % (Buche) bzw. 61 % (Fichte) durch Schwefeleintrag und nur zu 43 % (Buche) bzw. 36 % (Fichte) durch anorganischen Stickstoffeintrag (NH₄-N + NO₃-N) verursacht. Durch den Rückgang der Schwefeleinträge haben sich die relativen Anteile seitdem deutlich zum an-



Intensiv-Monitoringfläche Solling, Fichte

Foto: J. Weymar



Intensiv-Monitoringfläche Solling, Fichte

Foto: J. Weymar

organischen Stickstoff verschoben. Sein Anteil an der Gesamtsäurebelastung lag 2016 auf den Flächen des Intensiven Monitorings zwischen 81 % (Lange Bramke Kamm und Nordhang) und 91 % (Augustendorf). Auch unter dem Gesichtspunkt der Säurebelastung ist deshalb eine weitere Reduzierung der Stickstoffeinträge dringend geboten.

Aufgrund der sehr geringen nicht seesalzbürtigen Baseneinträge in Höhe von 0,05 kmol_c (Augustendorf Kiefer) bis 0,21 kmol_c (Lange Bramke Kamm) sowie der auf vielen Waldstandorten nur sehr geringen Basenfreisetzung im Boden durch Verwitterung übersteigen die Gesamtsäureeinträge trotz des beobachteten Rückgangs nach wie vor die nachhaltige Säurepufferkapazität der untersuchten Bestände.

Eine standortsangepasste Kalkung zum Schutz der Waldböden und der Erhaltung ihrer Filterfunktion für das Grundwasser kann empfohlen werden.

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.

Gesamtsäure-Eintrag auf ausgewählten Flächen in kmol_c je Hektar und Jahr

