

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 Sulfatschwefel- 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. Deshalb wurde in Hessen 1984 mit der systematischen Erfassung von Stoffeinträgen in Wälder begonnen, um die Wirkungen erhöhter Stickstoff-, Schwefel- und Säureinträge und die damit verbundenen Risiken für Wälder, Waldböden und angrenzende Ökosysteme wie beispielsweise das Grundwasser zu untersuchen. Derzeit wird die Deposition in sieben Buchen-, zwei Fichten- und je einem Kiefern- und Eichenbestand des Intensiven Forstlichen Umweltmonitorings erfasst. Jeder Bestandesmessfläche (Kronentraufe) ist eine Freifläche (Freilandniederschlag) zugeordnet. In Buchenbeständen wird neben der Kronentraufe auch der bei dieser Baumart quantitative bedeutsame Stammablauf gemessen. Mittels eines Kronenraumbilanzmodells (Ulrich 1991) werden aus den gemessenen Stoffflüssen Gesamtdepositionsraten berechnet.

Die Höhe der Stoffeinträge wird maßgeblich durch verschiedene Faktoren wie Niederschlagsmenge und -verteilung, Baumart, Bestandeshöhe, Kronenrauigkeit oder lokale Emittenten bestimmt. Aus diesem Grund sind die Stoffeinträge im niederschlagsreichen Bergland (Fürth/Odenwald, Spessart und Königstein) höher als in niederschlagsärmeren Gebieten wie der Rhein-Main-Ebene oder dem mittelhessischen Raum. 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 Odenwald, wo eine Fichten- und eine Buchenfläche in unmittelbarer Nachbarschaft und somit unter gleichen klimatischen Verhältnissen beobachtet werden.

Niederschlag

2016 war die Niederschlagshöhe im Freiland im Vergleich zum Mittel der Jahre 2011-2015 uneinheitlich. Während in Nordhessen und im Odenwald z. T. erheblich weniger Niederschlag fiel, wurden insbesondere in der Rhein-Main-Ebene deutlich positive Abweichungen gemessen.

Die höchste negative Abweichung gegenüber dem Mittel 2011-2015 wurde im Kellerwald mit -94 mm, die höchste positive Abweichung im Hess. Ries mit +91 mm registriert. Beim Bestandesniederschlag lagen die Abweichungen zum Mittel 2011-2015 zwischen -77 mm (Kellerwald Buche) und +132 mm (Hess. Ried Buche).

Schwefel

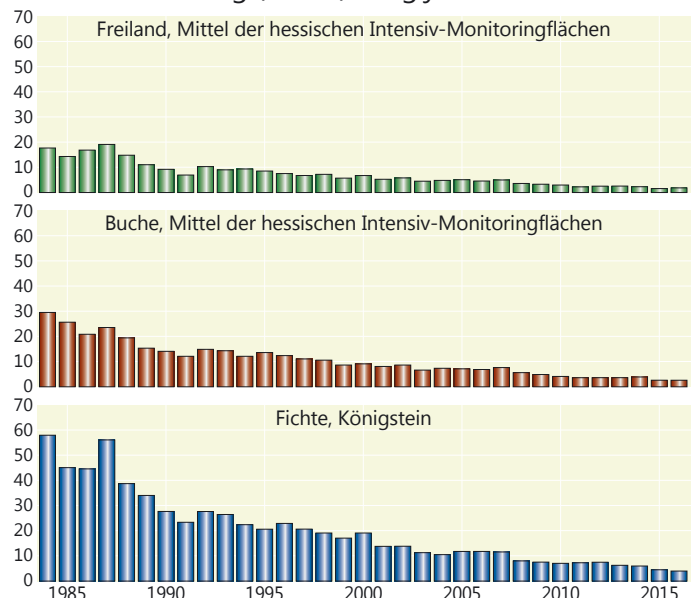
Durch die konsequente Umsetzung von Maßnahmen zur Luftreinhaltung ging der Schwefeleintrag (jeweils gemessen als Sulfatschwefel SO_4-S) seit Mitte der 1980er Jahre stark zurück. Die stetige Abnahme der Schwefeleinträge setzte sich auf allen Flächen trotz des bereits zu Beginn der 2000er Jahre erreichten vergleichsweise niedrigen Niveaus in den vergangenen 10 Jahren weiter fort. 2016 betrug der Sulfatschwefeleintrag je Hektar unter Buche im Mittel aller Buchenflächen 2,5 kg, mit Werten zwischen 1,8 kg (Kellerwald) und 4,0 kg (Fürth). Unter Fichte lag er bei 4,0 kg (Königstein) bzw. 3,4 kg (Fürth) und im Freiland zwischen 1,3 kg (Krofdorf, Kellerwald) und 2,2 kg (Fürth). Auf sechs Bestandesmessflächen wurde 2016 der niedrigste Schwefeleintrag seit Beginn der Messungen registriert, auf fünf Flächen der zweitniedrigste Wert nach 2015. Die Säurebelastung des Ökosystems durch nicht seesalzbürtige Schwefeleinträge betrug damit 2016 je Hektar im Mittel im Freiland $0,09 \text{ kmol}_c$, unter Buche $0,14 \text{ kmol}_c$ und unter Fichte $0,21 \text{ kmol}_c$.



Intensiv-Monitoringfläche Fürth

Foto: O. Schwerdtfeger

Schwefel-Eintrag (SO_4-S) in kg je Hektar und Jahr



Stoffeinträge

Stickstoff

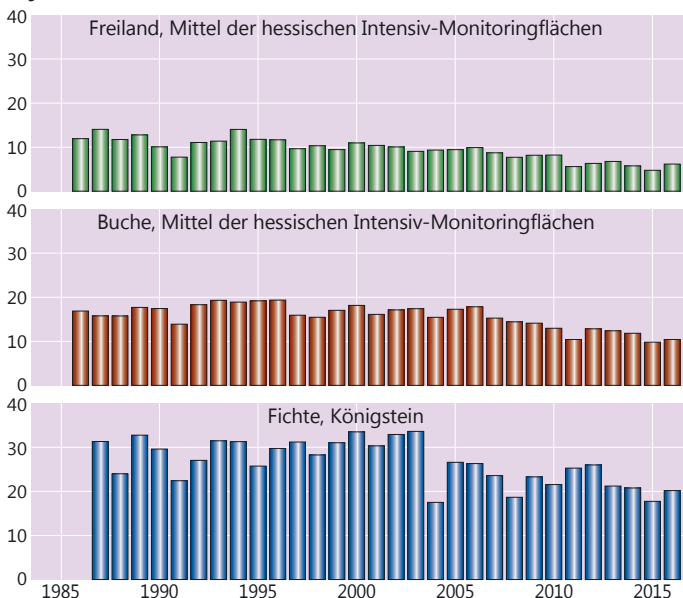
Stickstoff wird einerseits in oxidierter Form als Nitrat (Quellen: Kfz-Verkehr, Verbrennungsprozesse) andererseits in reduzierter Form als Ammonium (landwirtschaftliche Quellen) in das Ökosystem eingetragen. Das Verhältnis von Ammonium zu Nitrat betrug im langjährigen Mittel (1994-2015) annähernd 50:50.

Der Nitratstickstoffeintrag hat im Freiland und als Gesamtd deposition bei allen vier Baumarten seit Untersuchungsbeginn auf allen Flächen signifikant abgenommen. Er betrug 2016 im Hessenmittel je Hektar im Freiland 3,0 kg und unter Buche 4,6 kg (Gesamtd deposition mit Stammablauf). Unter Fichte war er am höchsten und betrug 10,6 kg in Königstein und 8,7 kg in Fürth. Im Vergleich zum Mittel der Jahre 2011-2015 reduzierte sich der Nitratreintrag unter Buche um 1,1 kg (Hessenmittel) und um 0,8 kg (Königstein) bzw. 3,6 kg (Fürth) unter Fichte. Im Freiland entsprach der Nitratreintrag im Mittel der sechs Flächen dem Durchschnitt der Jahre 2011-2015.

Ein uneinheitliches Bild bietet sich weiterhin beim Eintrag von Ammonium. Ein signifikanter Rückgang mit der Gesamtd deposition kann auf den Flächen Fürth (Fichte), Hess. Ried (Buche und Kiefer) sowie Kellerwald (Buche) beobachtet werden. In den übrigen Bestandesflächen nahm der Ammoniumeintrag nur tendenziell ab. Im Hessenmittel betrug der Ammoniumstickstoffeintrag 2016 pro Hektar im Freiland 3,2 kg und unter Buche 5,7 kg. In den beiden Fichtenbeständen lag er bei 9,7 kg (Königstein) bzw. 8,6 kg (Fürth). Damit ist der Ammoniumeintrag (Hessenmittel) im Vergleich zum Mittel der Jahre 2011-2015 unter Buche gleich geblieben und im Freiland um 0,3 kg angestiegen. Unter Fichte hat er um 1,2 kg (Königstein) bzw. um 2,6 kg (Fürth) je Hektar abgenommen.

Trotz verschiedener Bemühungen zur Reduktion der Stickstoffemissionen und hieraus resultierender rückläufiger Einträge übersteigt der anorganische atmosphärische Stickstoffeintrag (Mittel der Jahre 2011-2015) mit Werten unter Buche zwischen 8,9 kg (Hess. Ried) und 15,3 kg (Zierenberg) nach wie vor den Bedarf der Wälder für das Baumwachstum.

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

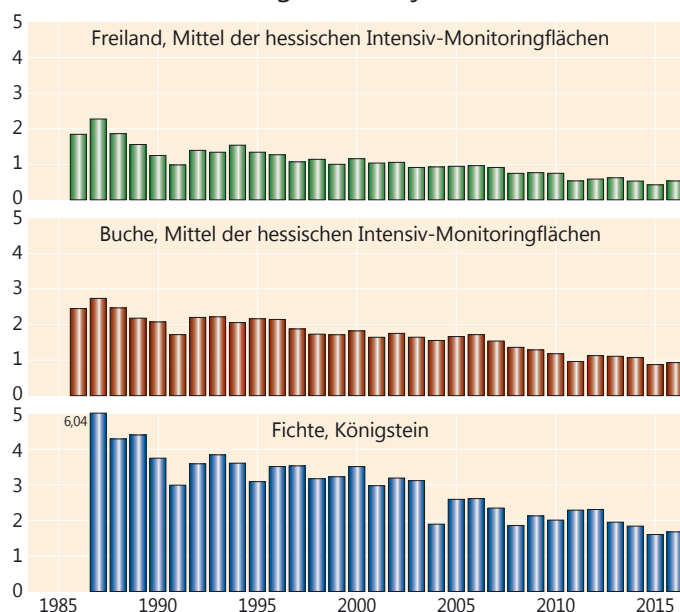


Unter Fichte ist der Stickstoffüberschuss, d. h. die Differenz zwischen Eintrag und Bedarf aufgrund der hohen Einträge zwischen 22 kg (Königstein) und 23,5 kg (Fürth) besonders hoch. Stickstoffeinträge, die über dem Bedarf des Ökosystems für das Wachstum liegen, ziehen jedoch – ggf. zeitverzögert – gravierende negative Konsequenzen für den Wald selbst sowie angrenzende Ökosysteme wie Fließ- und Grundgewässer nach sich.

Gesamtsäure

Der Gesamtsäureeintrag berechnet sich als Summe der Gesamtd deposition von Nitrat, Ammonium, Sulfat und Chlorid (jeweils nicht seesalzbürtige Sulfat- und Chloridanteile). 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).

Gesamtsäure-Eintrag in kmol_c je Hektar und Jahr



2016 betrug der Gesamtsäureeintrag je Hektar 0,5 kmol_c im Freiland (Hessenmittel), 0,9 kmol_c unter Buche (Hessenmittel) und unter Fichte 1,7 kmol_c (Königstein) bzw. 1,5 kmol_c (Fürth). Im Freiland lagen die Werte zwischen 0,4 kmol_c im Hess. Ried und 0,8 kmol_c in Fürth, unter Buche zwischen 0,7 kmol_c (Hess. Ried, Kellerwald, Spessart) und 1,5 kmol_c (Fürth).

Während 1990 der Gesamtsäureeintrag zu ca. 40 % durch Schwefeleintrag und zu 60 % durch anorganischen Stickstoffeintrag (NH₄-N + NO₃-N) verursacht wurde, haben sich die relativen Anteile seitdem deutlich zum Stickstoffeintrag hin verschoben. Sein Anteil an der Gesamtsäurebelastung lag 2016 zwischen 76 und 86 %. Auch unter dem Gesichtspunkt der Säurebelastung ist deshalb eine weitere Reduzierung der Stickstoffeinträge dringend geboten.

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