

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.

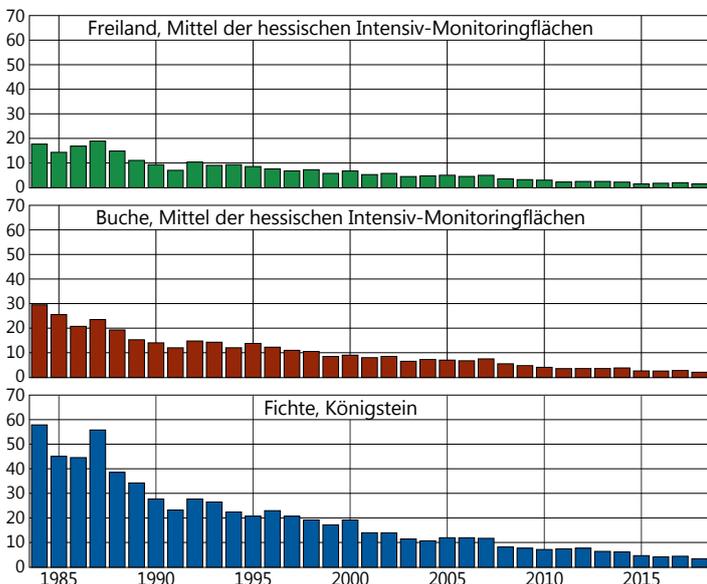
Aufgrund der großen Oberflächen der Kronen ist der atmosphärische Stoffeintrag im Vergleich der Landnutzungsformen in Wälder am höchsten. Diese so genannte Immissionschutzfunktion des Waldes stellt jedoch für das Ökosystem Wald selbst eine Belastung dar, da Schwefel- und Stickstoffverbindungen (Nitrat und Ammonium) das chemische Bodenmilieu durch Versauerung und Eutrophierung verändern.

Um die Wirkung erhöhter Stoffeinträge sowie damit verbundene Risiken für Wälder, Waldböden und angrenzende Ökosysteme beurteilen zu können, wurde in Hessen bereits 1984 mit der systematischen Erfassung der Stoffeinträge in Buchen- und Fichtenbeständen begonnen.

Aktuell wird der Stoffeintrag im Rahmen des Intensiven Forstlichen Umweltmonitorings in zwei Fichten-, sechs Buchen- sowie einem 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 Gesamtdepositionsraten berechnet. Die Höhe der Stoffeinträge wird maßgeblich durch Faktoren wie Niederschlagsmenge, -intensität und -verteilung, Windgeschwindigkeit, Baumart, Bestandeshöhe, Kronenrauigkeit oder lokale Emittenten bestimmt. So sind die Stoffeinträge in den niederschlagsreichen Lagen der Mittelgebirge höher als beispielsweise in der Wetterau. 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 in Fürth im Odenwald, wo eine Fichten- und eine Buchenfläche in unmittelbarer Nachbarschaft und somit unter gleicher Immissionsbelastung und gleichen klimatischen Bedingungen beobachtet werden.

Schwefeleintrag (SO₄-S) in kg je Hektar und Jahr



Level II-Fläche Spessart

Foto: J. Weymar

Niederschlag

2018 war ein besonders niederschlagsarmes Jahr. Im 35-jährigen Zeitraum seit 1984 fiel im Freiland je nach Region nur in zwei bis maximal sechs Jahren weniger Niederschlag als 2018. Im Vergleich zum 10-jährigen Mittel der Jahre 2008-2017 wurde im Freiland zwischen 99 mm (Krofdorf) und 277 mm (Fürth i. Od.) weniger Niederschlag gemessen. Der Bestandesniederschlag war zwischen 32 mm (Zierenberg Buche) und 300 mm (Fürth i. Od. Buche) geringer als im Mittel des genannten Zeitraums.

Besonders hohe relative Abweichungen vom 10-jährigen Mittel gab es im Hessischen Ried (-32 % im Freiland, -30 % unter Buche, -24 % unter Kiefer), in Fürth i. Od. (-26 % im Freiland, -34 % unter Buche, -24 % unter Fichte) und im Kellerwald (-26 % im Freiland, -29 % unter Buche). Aufgrund eines Windwurfereignisses Anfang 2018 war in Zierenberg der Bestandesniederschlag trotz 34 % weniger Niederschlag im Freiland nur 6 % geringer als im Mittel. 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 Kraft- und Brennstoffe konnten die Schwefeldioxidemissionen wirksam reduziert werden. Aufgrund der sehr geringen Niederschlagsmengen sowie der anhaltend sehr niedrigen gasförmigen Belastung durch Schwefeldioxid war der Schwefeleintrag 2018 auf allen Flächen so gering wie nie zuvor. Er betrug 2018 mit dem Bestandesniederschlag im Mittel der untersuchten Buchenflächen je Hektar 2,0 kg, mit Werten zwischen 1,6 (Hess. Ried, Kellerwald) und 3,1 (Zierenberg) kg je Hektar. Unter Fichte lag er je Hektar bei 3,2 kg (Königstein) bzw. 3,4 kg (Fürth i. Od.) und im Freiland zwischen 1,1 (Hess. Ried) und 1,7 (Fürth i. Od., Königstein, Spessart) kg je Hektar. Im Hessenmittel betrug der Schwefeleintrag im Freiland 1,4 kg je Hektar.

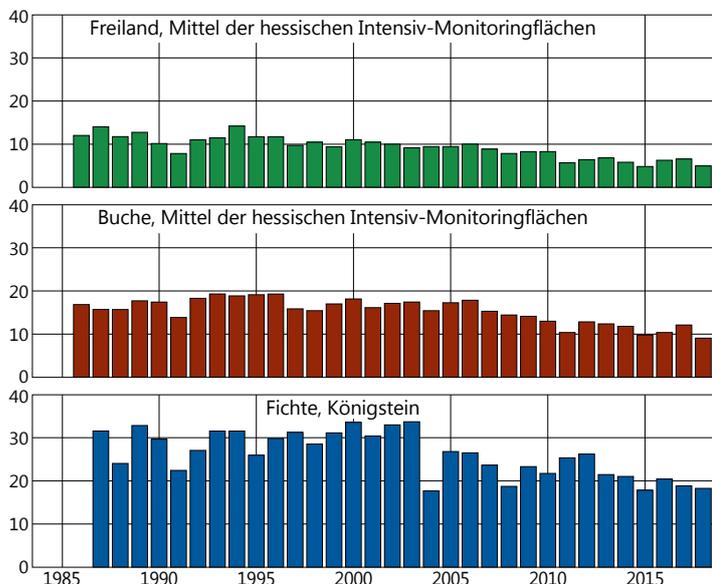
Stoffeinträge

Stickstoffeintrag

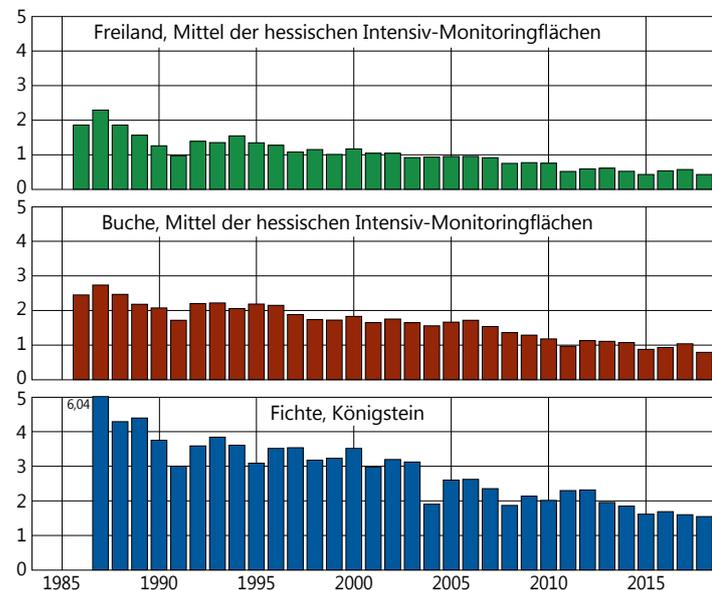
Stickstoff wird einerseits in oxidierter Form als Nitrat (Quellen: Kfz-Verkehr, Verbrennungsprozesse) andererseits in reduzierter Form als Ammonium (landwirtschaftliche Quellen) in das Ökosystem eingetragen. In Hessen betrug der Ammoniumanteil am anorganischen Stickstoffeintrag im 10-jährigen Mittel (2009-2018) im Freiland und der Kronentraufe (Mittel aller Baumarten) rund 50 %.

Der Nitratstickstoffeintrag hat im Freiland und der Gesamtdeposition auf allen untersuchten Flächen seit Untersuchungsbeginn signifikant abgenommen. Er betrug 2018 je Hektar 2,4 kg (Hessenmittel Freiland) mit Werten zwischen 1,6 (Hess. Ried) und 3,0 (Spessart) kg je Hektar sowie 4,2 kg je Hektar unter Buche (Hessenmittel Gesamtdeposition mit Stammablauf). Besonders hohe Nitrat-N-Einträge wurden auf der Buchenfläche in Zierenberg (7,0 kg je Hektar) gemessen. Unter Fichte betrug die Gesamtdeposition in Königstein 8,9 und in Fürth i. Od. 9,1 kg je Hektar.

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



Gesamtsäureeintrag in kmol_c je Hektar und Jahr



Der Ammoniumstickstoffeintrag hat auf den hessischen Intensiv-Monitoringflächen seit Untersuchungsbeginn auf sechs von sieben Freilandmessflächen, drei von sechs Buchenflächen, der Fichtenfläche in Fürth i. Od. sowie der Kiefernfläche im Hess. Ried signifikant abgenommen. 2018 lag er je Hektar bei 2,5 kg im Freiland und 5 kg unter Buche (jeweils Hessenmittel). Überdurchschnittlich hoch war er mit 9 kg je Hektar auf der Buchenfläche in Zierenberg. Unter Fichte betrug der Ammoniumstickstoffeintrag in Fürth i. Od. 9,1 und in Königstein 9,3 kg je Hektar.

Über einen langen Zeitraum betrachtet haben die anorganischen Stickstoffeinträge durch verschiedene Maßnahmen abgenommen. Da sich diese Entwicklung in den vergangenen Jahren jedoch nicht im gleichen Maße fortgesetzt hat, überschreitet der anthropogen bedingte atmosphärische Stickstoffeintrag im Mittel der letzten 5 Jahre (2014-2018) mit Werten bis zu 16,4 kg je Hektar unter Buche (Zierenberg) und 19,6 kg je Hektar unter Fichte (Fürth i. Od.) 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, Gauger et al. 2002). 2018 betrug der Gesamtsäureeintrag im Freiland 0,4 (Hessenmittel), unter Buche (Hessenmittel) 0,8 kmol_c und unter Fichte 1,7 (Fürth i. Od.) bzw. 1,6 (Königstein) kmol_c je Hektar. Auffallend hoch waren die Gesamtsäureeinträge auf der Buchenfläche in Zierenberg mit 1,4 kmol_c je Hektar.

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.

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.