

Stoffeinträge

Birte Scheler

Wald filtert durch seine große Kronenoberfläche stärker als alle anderen Landnutzungsformen gas- und partikelförmige Stoffe aus der Luft. Aufgrund dieses Filtereffektes ist das Ökosystem Wald besonders stark durch anthropogen verursachte Sulfatschwefel- und Stickstoffeinträge (Nitrat und Ammonium) belastet. 1984 wurde in Hessen mit der systematischen Erfassung von Stoffeinträgen in Wälder begonnen, um die Wirkungen erhöhter Einträge und damit verbundener Risiken für Wälder, Waldböden und angrenzende Ökosysteme wie beispielsweise Grundwasser zu untersuchen. Derzeit wird die Deposition in sieben Buchen- und zwei Fichtenbeständen sowie je einer Kiefern- und Eichenfläche erfasst. Die Stoffeinträge werden jeweils auf einer Freifläche (Freilandniederschlag) und einer Bestandesmessfläche (Bestandesniederschlag) beobachtet. In Buchenbeständen wird auch der dort quantitativ bedeutsame Stammablauf gemessen. Mittels eines Kronenraumbilanzmodells (Ulrich, 1991) werden aus den gemessenen Stoffflüssen Gesamtdpositionsrationen bestimmt.

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.

Niederschlag

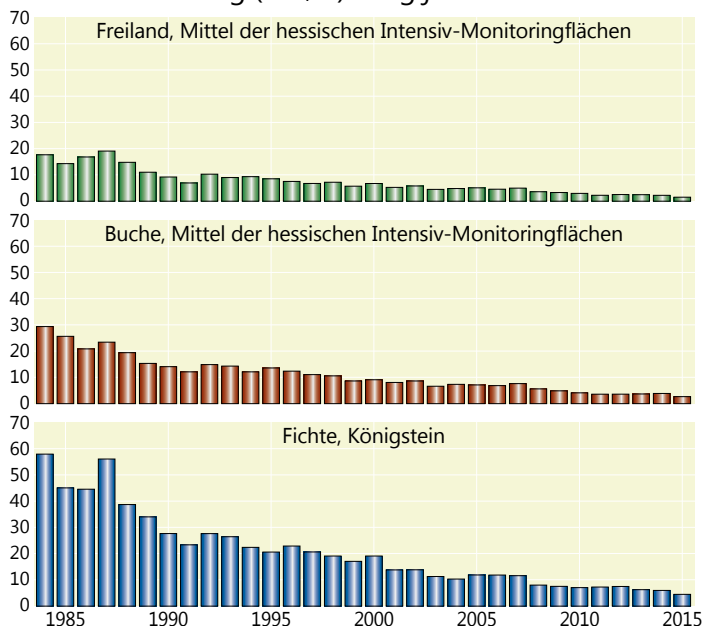
2015 sind im Freiland auf allen hessischen Monitoring-Flächen z. T. erheblich geringere Niederschläge gefallen als im Mittel der Jahre 2010-2014. In Nord- und Mittelhessen waren die Abweichungen geringer als in Südhessen und betragen -38 mm in Zierenberg (Nordhessen), -82 mm in Krofdorf (Mittelhessen) und zwischen -251 mm (Hess. Ried) und -275 mm (Fürth) in Südhessen.

Beim Bestandesniederschlag betragen die negativen Abweichungen zum Mittel 2010-2014 zwischen 12 mm (Zierenberg Buche) und 237 mm (Hess. Ried Buche).

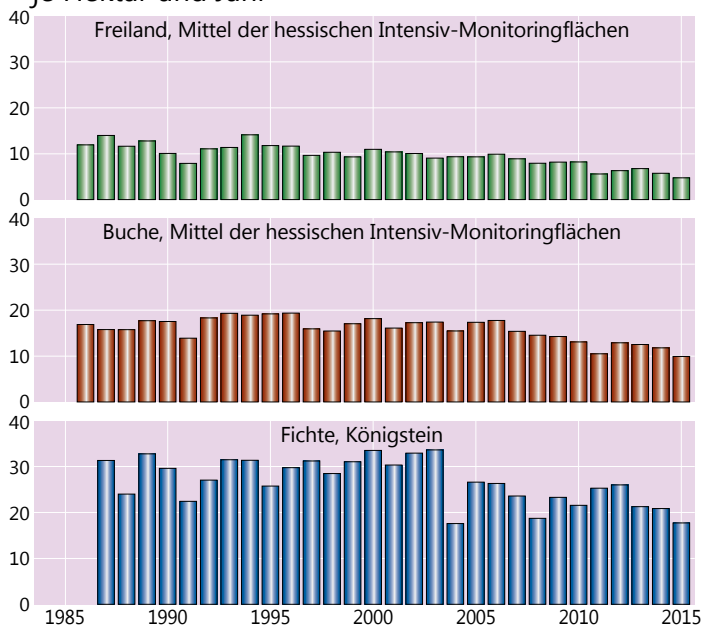
Schwefel

Durch die konsequente Umsetzung von Maßnahmen zur Luftreinhaltung ist der Schwefeleintrag (jeweils gemessen als Sulfatschwefel, $\text{SO}_4\text{-S}$) stark zurückgegangen. Er lag 2015 pro Hektar unter Buche zwischen 2,0 kg (Krofdorf, Hess. Ried) und 3,5 kg (Zierenberg), unter Fichte bei 4,5 kg (Königstein, Fürth) und im Freiland zwischen 1,1 kg (Krofdorf, Hess. Ried) und 2,3 kg (Fürth). Obwohl die Schwefeleinträge sich in den letzten Jahren bereits auf einem relativ niedrigen Niveau bewegten, haben sie 2015 im Vergleich zum Mittel der Jahre 2010-2014 auf allen Flächen nochmals deutlich abgenommen. Im Freiland betrug die Abnahme bis zu 1,1 kg (Fürth), mit der Gesamtdposition unter Buche zwischen 1,0 kg (Kellerwald) und 1,6 kg (Fürth) und unter Fichte bis zu 2,4 kg (Königstein). Auf allen Monito-

Schwefel-Eintrag ($\text{SO}_4\text{-S}$) in kg je Hektar und Jahr



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



ringflächen wurde 2015 der niedrigste Schwefeleintrag seit Beginn der Messungen registriert. Die Säurebelastung des Ökosystems durch Schwefeleinträge sank damit 2015 je Hektar auf 0,24 kmol_c unter Fichte (Königstein, Fürth), unter Buche auf Werte zwischen 0,11 kmol_c (Krofdorf) und 0,16 kmol_c (Fürth, Zierenberg) sowie unter Eiche auf 0,13 kmol_c und unter Kiefer auf 0,11 kmol_c.

Stickstoff

Stickstoff, ein Hauptnährstoff der Pflanzen, 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 (1994-2014) annähernd 50:50.

Der Nitratstickstoffeintrag hat im Freiland und der Gesamtdposition aller vier Baumarten seit Untersuchungsbeginn auf allen Flächen signifikant abgenommen. Er betrug 2015

Stoffeinträge



Intensiv-Monitoringfläche Zierenberg

Foto: J. Weymar

im Hessenmittel pro Hektar im Freiland 2,4 kg und unter Buche 5,1 kg (Gesamtdeposition mit Stammablauf). Unter Fichte war er am höchsten und betrug pro Hektar 8,6 kg in Königstein und 10,4 kg in Fürth. Im Vergleich zum Mittel der Jahre 2010-2014 reduzierte sich der Nitratreintrag je Hektar unter Buche um bis zu 1,3 kg (Spessart), um bis zum 3,5 kg unter Fichte (Königstein) und im Freiland um Werte zwischen 0,5 kg (Fürth) und 1,6 kg (Königstein).

Ein uneinheitliches Bild zeigt sich weiterhin beim Eintrag von Ammonium. Während in Südhessen auf den drei Flächen im Hessischen Ried (Buche, Eiche, Kiefer) und in Fürth (Fichte) ein signifikanter Rückgang des Ammoniumstickstoffeintrags sowohl im Freiland als auch mit der Gesamtdeposition beobachtet werden kann, ist in sechs Waldbeständen in Nord- und Mittelhessen trotz teilweise signifikanter Rückgänge im Freiland keine Abnahme der Gesamtdeposition erkennbar. Im Kellerwald hingegen hat der Ammoniumeintrag mit der Gesamtdeposition deutlich abgenommen, obwohl die Einträge im Freiland seit 2006 (Messbeginn) nur gering rückläufig sind.

Im Hessenmittel betrug 2015 der Ammoniumstickstoffeintrag pro Hektar im Freiland 2,4 kg und unter Buche 4,7 kg. In den beiden Fichtenbeständen lag er bei 9,1 kg (Königstein) bzw. 12 kg (Fürth). Damit hat der Ammoniumeintrag im Vergleich zum Mittel der Jahre 2010-2014 im Hessenmittel unter Buche um 1,4 kg und im Freiland um 0,6 kg abgenommen, während er im Fürth unter Fichte um 0,8 kg je Hektar angestiegen ist.

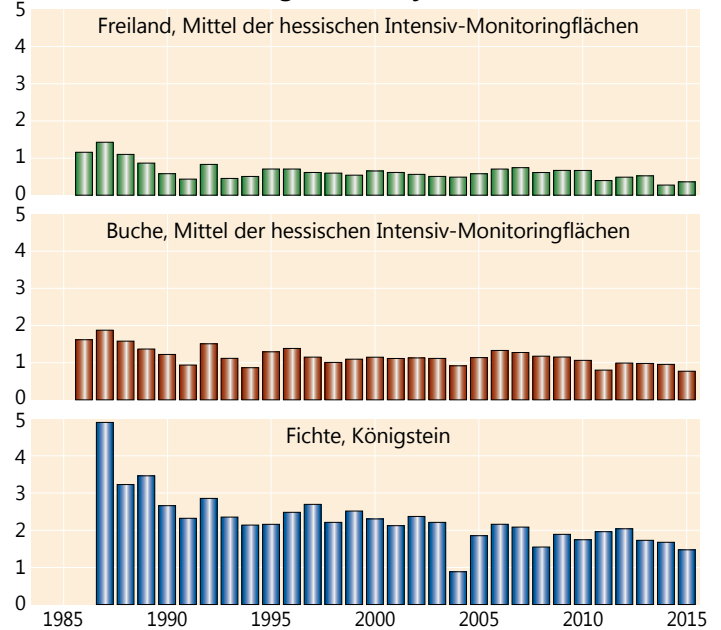
Trotz verschiedener Bemühungen zur Reduktion der Stickstoffemissionen und hieraus resultierender rückläufiger Einträge übersteigt der atmosphärische Stickstoffeintrag nach wie vor den Bedarf der Wälder für das Baumwachstum, was gravierende Konsequenzen für den Wald sowie angrenzende Ökosysteme wie Fließ- und Grundgewässer zur Folge haben kann.

Gesamtsäure

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

2015 betrug der aktuelle Gesamtsäureeintrag pro Hektar 0,4 kmol_c im Freiland (Hessenmittel), 0,8 kmol_c unter Buche (Hessenmittel) und unter Fichte 1,5 kmol_c (Königstein) bzw. 1,7 kmol_c (Fürth).

Gesamtsäure-Eintrag in kmol_c je Hektar und Jahr



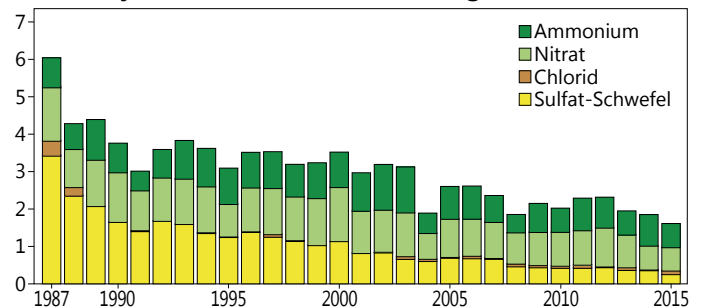
Anteile der Säurebildner

Anhand der 29jährigen Zeitreihe des Gesamtsäureeintrags unter Fichte in Königstein kann eindrucksvoll gezeigt werden, dass sich durch die Reduktion der Schwefeleinträge die Bedeutung der einzelnen Säurebildner deutlich verschoben hat.

1987 betrug die Säurebelastung durch Sulfatschwefel in Königstein 3,4 kmol_c je Hektar. Der Anteil von Schwefel am Gesamtsäureeintrag betrug in diesem Jahr 56 %. Der Schwefeleintrag sank in den folgenden Jahrzehnten kontinuierlich und damit die Säurebelastung auf 0,24 kmol_c (2015) bzw. 15 % des Gesamtsäureeintrags.

Die Säurebelastung durch Nitrat schwankte zwischen maximal 1,4 kmol_c je Hektar (1986, 2000) und 0,6 kmol_c (2015), der relative Anteil von Nitrat am Gesamtsäureeintrag stieg von 24 % (1987, 1988) auf 38 % (2015). Die Säurebelastung durch Ammonium liegt in der gleichen Größenordnung und bewegte sich zwischen 1,2 kmol_c (2002, 2003) und 0,5 kmol_c (1991, 2008). Im Mittel der letzten fünf Jahre ist der anorganische Stickstoffeintrag (NH₄-N + NO₃-N) für 80 % des Gesamtsäureeintrags verantwortlich.

Anteile der Säurebildner am Gesamtsäure-Eintrag (kmol_c je Hektar und Jahr) in Königstein (Fichte)



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