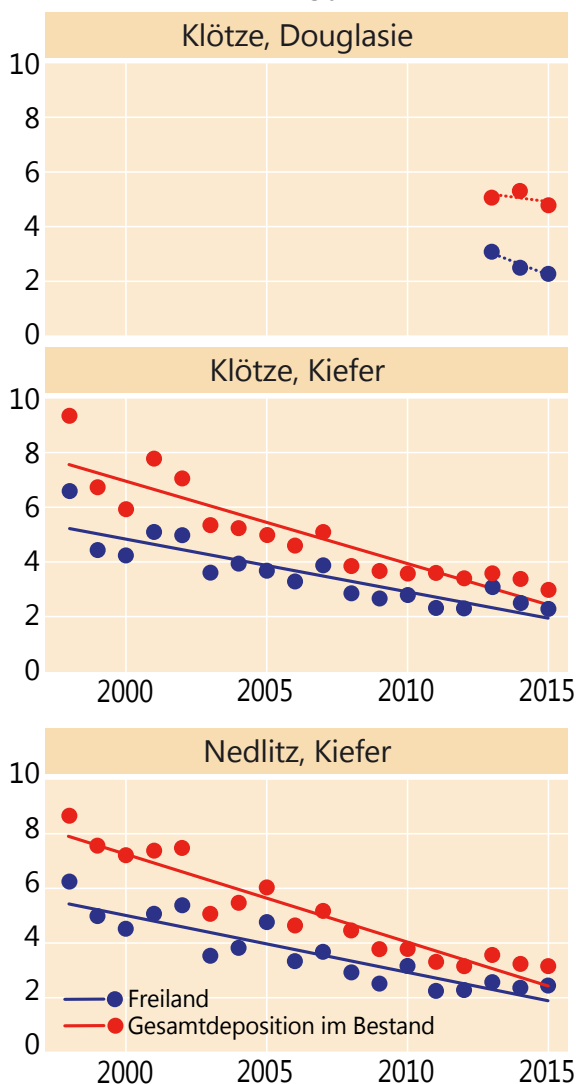


Stoffeinträge

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 Stoffeinträge von Sulfatschwefel und Stickstoff (Nitrat und Ammonium) belastet. In Sachsen-Anhalt werden im Rahmen des Forstlichen Umweltmonitorings seit 1998 die Stoffeinträge in zwei Kiefernbeständen im Fläming (Nedlitz) und in der Altmark (Klötze) erfasst, um die Wirkung erhöhter Stoffeinträge sowie damit verbundener Risiken für Wälder, Waldböden und angrenzende Ökosysteme zu untersuchen. Um Erkenntnisse zum Einfluss der Baumart auf die Höhe der Stoffeinträge unter gleichen klimatischen und standörtlichen Bedingungen zu gewinnen, wird seit 2013 in Klötze auch ein benachbarter Douglasienbestand beobachtet. Die Stoffeinträge werden jeweils auf einer Freifläche (Freilandniederschlag) und

Sulfatschwefel-Eintrag ($\text{SO}_4\text{-S}$) auf ausgewählten Flächen in kg je Hektar und Jahr



durchgezogene Linie: signifikante Abnahme,
gepunktete Linie: kein signifikanter Trend

einer Bestandesfläche (Bestandesniederschlag) erfasst. Mit Hilfe eines Kronenraumbilanzmodells (Ulrich 1991) werden aus den gemessenen Stoffflüssen Gesamtdepositionsraten bestimmt.

Die Höhe der Stoffeinträge wird maßgeblich durch verschiedene Faktoren wie Niederschlagsmenge und -verteilung, Windgeschwindigkeit, Baumart, Bestandeshöhe, Kronenrauigkeit oder lokale Emittenten bestimmt. Beim Vergleich der Baumarten sind Fichten- und Douglasienbestände wegen der ganzjährigen und im Vergleich mit Kiefer dichteren Benadelung stärker durch Stoffeinträge belastet als Buchen-, Eichen- und Kiefernwälder.

Niederschlag

2015 entsprach die Niederschlagsmenge in Klötze und Nedlitz dem Mittel der Jahre 2010 bis 2014. Pro Quadratmeter fielen in Nedlitz im Freiland 688 mm, im Bestand (Kronentraufe) waren es 522 mm. In Klötze war die Niederschlagshöhe mit 637 mm (Freiland) bzw. 479 mm unter Kiefer etwas geringer als in Nedlitz. Aufgrund der im Vergleich mit Kiefern höheren Interzeption von Douglasien betrug die Kronentraufe in diesem Bestand bei gleichem Freilandniederschlag nur 433 mm.

Schwefel

Obwohl mit der Erfassung der Stoffeinträge erst 1998 begonnen wurde, als der Schwefeleintrag (gemessen als Sulfatschwefel $\text{SO}_4\text{-S}$) im Vergleich zu den 1980er Jahren bereits auf einem niedrigen Niveau lag, hat er trotzdem noch signifikant abgenommen. Er betrug 2015 je Hektar in Klötze 3,0 kg (Kiefer) bzw. 4,8 kg (Douglasie) sowie 3,2 kg unter Kiefer in Nedlitz. Im Vergleich zum Mittel der Jahre 2010–2014 hat er 2015 um 6 % (Nedlitz) bzw. 14 % (Klötze) abgenommen. Im Freiland lag der Sulfatschwefeleintrag bei 2,6 kg (Klötze) bzw. 2,5 kg (Nedlitz).



Intensiv-Monitoringfläche Klötze, Kiefer

Foto: U. Klinck

Stoffeinträge

Stickstoff

Stickstoff, ein Hauptnährstoff der Pflanzen, wird in oxidierter Form als Nitrat (Quellen: Kfz-Verkehr, Verbrennungsprozesse) und in reduzierter Form als Ammonium (landwirtschaftliche Quellen) in das Ökosystem eingetragen. Der Ammoniumanteil am anorganischen Stickstoffeintrag war in Nedlitz im langjährigen Mittel (1998-2014) mit 62 % geringfügig höher als in Klötze (57 % unter Kiefer, 54 % im Freiland). Ursache hierfür ist vermutlich ein lokaler Emittent in der Nähe der Fläche Nedlitz.

Der Nitratstickstoffeintrag liegt in beiden Untersuchungsgebieten im langjährigen Mittel in der gleichen Größenordnung und hat sowohl im Freiland als auch mit der Gesamtdeposition seit 1998 signifikant abgenommen. Er betrug 2015 im Freiland je Hektar 3,1 kg (Klötze) bzw. 3,0 kg (Nedlitz), mit der Gesamtdeposition unter Kiefer 5,7 kg in Klötze und 6,1 kg in Nedlitz. Unter Douglasie war er rund 35 % höher als unter Kiefer und betrug 2015 7,8 kg je Hektar.

Unterschiede zwischen den beiden Kiefernflächen zeigen sich hingegen beim Ammonium. Zu Beginn der Messungen waren in Nedlitz die Einträge von Ammoniumstickstoff sowohl im Freiland als auch unter Kiefer deutlich höher als in Klötze. Im Beobachtungszeitraum nahmen die Einträge in Nedlitz im Freiland und in der Gesamtdeposition zwar stärker ab als in Klötze, liegen aber 2015 mit 4,5 kg je Hektar im Freiland und 9,4 kg unter Kiefer weiter über den Einträgen in Klötze (Freiland: 4,2 kg, Kiefer: 7,8 kg). Die unterschiedlich hohe Belastung mit Ammonium in Nedlitz und Klötze ist vermutlich vorwiegend auf den lokalen Emittenten zurückzuführen. Der Ammoniumeintrag unter Douglasie betrug 2015 10,5 kg je Hektar und war damit 35 % höher als unter Kiefer im selben Gebiet.

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. Hierzu zählen u. a. ein verändertes Spross-Wurzel-Verhältnis der Bäume mit einem erhöhten Windwurfisiko, Nährstoffungleichgewichte in den Pflanzen, die Ausbreitung stickstoffliebender krautiger Pflanzen sowie die Auswaschung von Nitrat mit dem Sickerwasser Richtung Grundwasser. Der Prozess der Nitratauswaschung ist mit dem Austrag wichtiger Pflanzennährstoffe wie Calcium und Magnesium verbunden, wodurch dem Waldökosystem wichtige Nährstoffe verloren gehen.

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

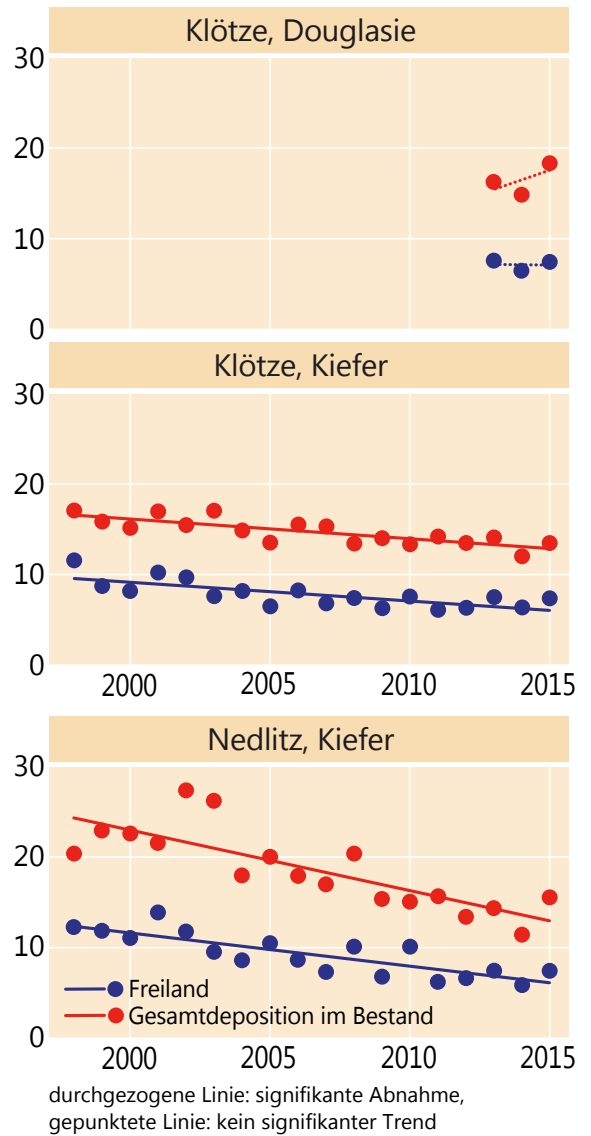


Foto: J. Evers

Stoffeinträge

Gesamtsäure

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

2015 betrug der Gesamtsäureeintrag je Hektar zwischen 1,0 kmol_c (Nedlitz Kiefer) und 1,4 kmol_c (Klötze Douglasie). Aufgrund der sehr geringen Basenvorräte im Boden übersteigen die Gesamtsäureeinträge trotz des beobachteten Rückgangs nach wie vor die nachhaltige Säurepufferkapazität der untersuchten Bestände.

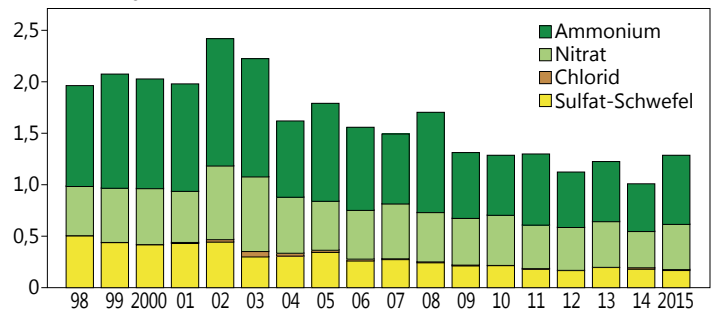
Eine standortsangepasste Kalkung zum Schutz der Waldböden und der Erhaltung ihrer Filterfunktion für das Grundwasser kann empfohlen werden.

Anteile der Säurebildner

Die Zeitreihe der Anteile der einzelnen Säurebildner am Gesamtsäureeintrag zeigt anschaulich, wie sich die Bedeutung der Säurebildner seit 1998 verschoben hat.

So sank die Säurebelastung durch Sulfatschwefel in Ned-

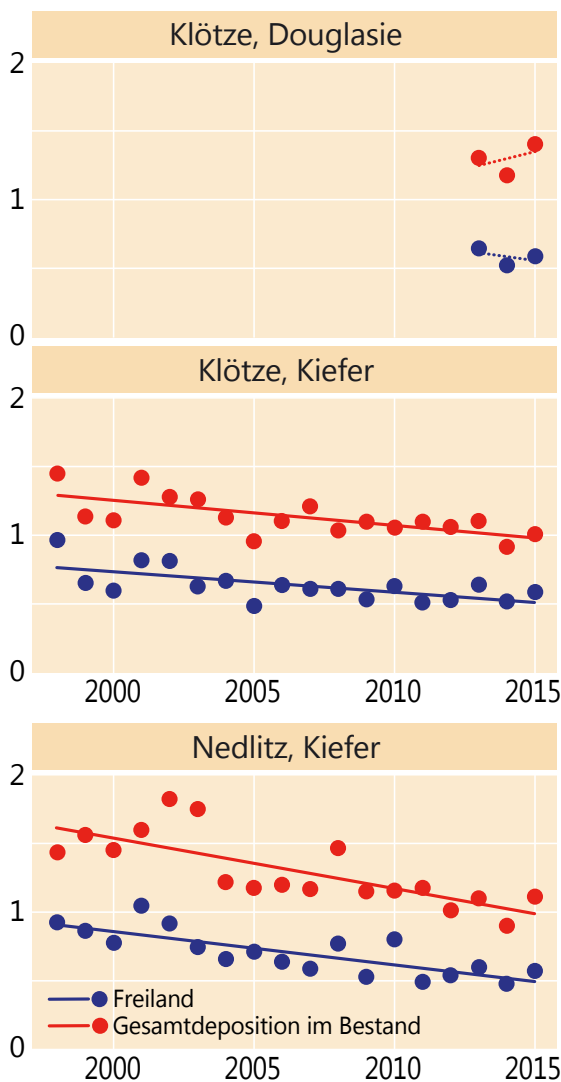
Anteile der Säurebildner am Gesamtsäure-Eintrag (kmol_c je Hektar und Jahr) in Nedlitz (Kiefer)



litz unter Kiefer von 0,5 kmol_c (1998) auf 0,17 kmol_c (2015), wodurch sich der Anteil am Gesamtsäureeintrag von 26 % auf 13 % halbierte. Die Säurebelastung durch Nitrat nahm im gleichen Zeitraum von 0,5 kmol_c auf 0,4 kmol_c ab, der relative Anteil stieg jedoch von 24 % auf 34 %. Im gesamten Zeitraum war Ammonium mit einem Anteil von rund 50 % der bedeutendste Säurebildner.

Auch unter dem Gesichtspunkt Säurebelastung ist eine weitere Reduzierung der Stickstoffeinträge dringend geboten.

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



durchgezogene Linie: signifikante Abnahme, gepunktete Linie: kein signifikanter Trend



Intensiv-Monitoringfläche Klötze, Douglasie

Foto: O. Schwerdtfeger

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.

Interzeption = Der Anteil der Niederschläge, der durch die Oberfläche der Vegetation zurückgehalten wird.