

# Stoffeinträge

Birte Scheler

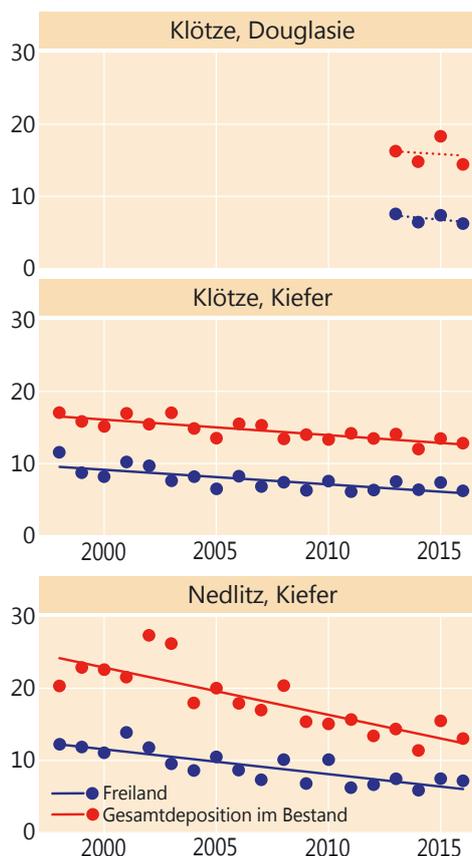
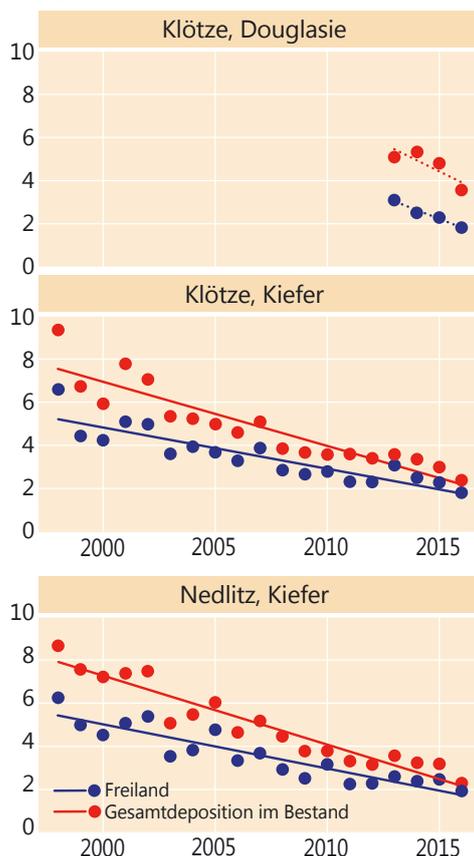
In Wäldern ist die Deposition aus der Atmosphäre für viele Nähr- und Schadstoffe die wichtigste Eintragsquelle. Die Kronenoberflächen von Bäumen filtern sehr effektiv gas- und partikelförmige Stoffe aus der Luft. Aufgrund dieses Filtereffektes ist der Eintrag anthropogen bedingter Sulfatschwefel- und Stickstoffverbindungen (Nitrat und Ammonium) im Wald deutlich höher als bei anderen Landnutzungsformen. Diese so genannte Immissionschutzfunktion des Waldes stellt jedoch für das Ökosystem Wald selbst eine Belastung dar. 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 u. a. 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 einer Bestandesfläche (Bestandesniederschlag) erfasst.

Mit Hilfe eines Kronenraumbilanzmodells (Ulrich 1991) werden aus den gemessenen Stoffflüssen Gesamtdositionsraten berechnet.

Die Höhe der Stoffeinträge wird maßgeblich durch verschiedene Faktoren wie Niederschlagsmenge und -verteilung, Windgeschwindigkeit, Baumart, Bestandeshöhe, Kronenrauhigkeit oder lokale Emittenten bestimmt.

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

Stickstoff-Eintrag ( $NH_4-N + NO_3-N$ ) auf ausgewählten Flächen in kg je Hektar und Jahr



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

## Niederschlag

2016 lag die Niederschlagsmenge in Klötze und Nedlitz unter dem Mittel der Jahre 2011-2015. In Nedlitz fielen 643 mm im Freiland und 458 mm als Kronentraufe unter Kiefer. In Klötze fiel mit 558 mm (Freiland) bzw. 415 mm (Kiefer) weniger Niederschlag als in Nedlitz. Aufgrund der höheren Interzeption war bei gleichem Freilandniederschlag die Kronentraufe im Douglasienbestand mit 347 mm um 68 mm geringer als im benachbarten Kiefernbestand.

## Schwefel

Obwohl mit der Erfassung der Stoffeinträge erst 1998 begonnen wurde, als der Schwefeleintrag (gemessen als Sulfatschwefel  $SO_4-S$ ) im Vergleich zu den 1980er Jahren bereits auf einem niedrigen Niveau lag, setzt sich die signifikante Abnahme stetig bis 2016 fort. 2016 betrug der Sulfatschwefeleintrag je Hektar in Klötze 2,4 kg (Kiefer) bzw. 3,6 kg (Douglasie) sowie 2,3 kg unter Kiefer in Nedlitz. Damit war er 2016 in der Kronentraufe der Kiefer 1 kg bzw. 30 % geringer als im Mittel der Jahre 2011-2015. Im Freiland lag der Sulfatschwefeleintrag bei 1,8 kg (Klötze) bzw. 1,9 kg (Nedlitz). Sowohl im Freiland als auch mit der Kronentraufe wurden die geringsten Werte seit Messbeginn registriert.

## 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 (1998-2015) 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

Der Nitratstickstoffeintrag liegt in beiden Untersuchungsgebieten im langjährigen Mittel in der gleichen Größenordnung und hat sowohl im Freiland als auch mit der Gesamtdeposition



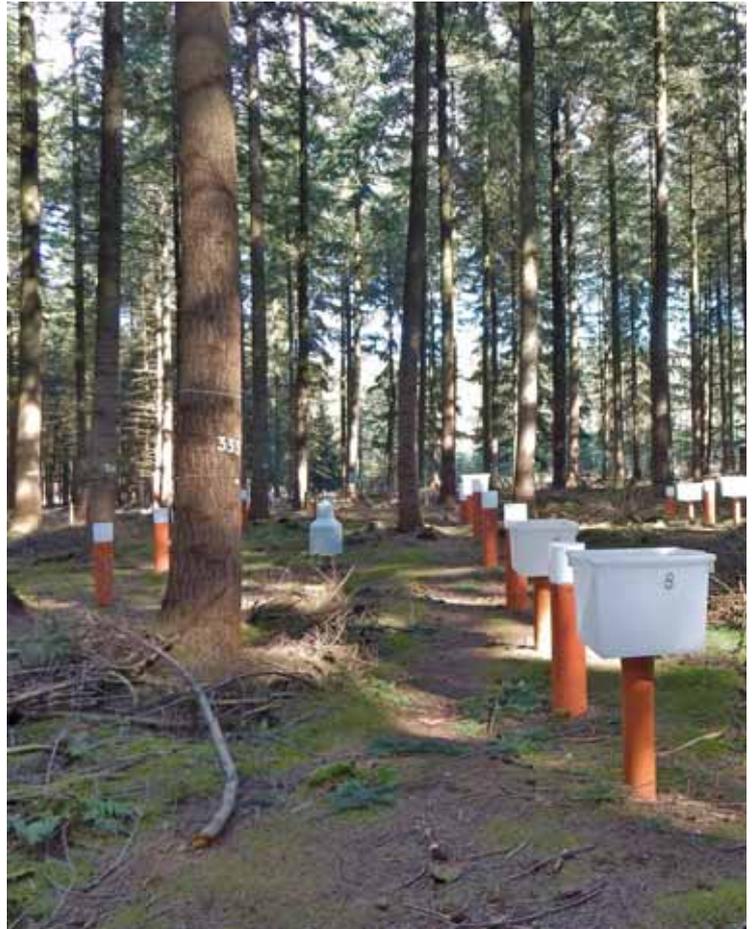
Intensiv-Monitoringfläche Klötze, Douglasie  
Foto: O. Schwerdtfeger

# Stoffeinträge

position seit 1998 signifikant abgenommen. Er betrug 2016 im Freiland je Hektar 2,8 kg (Klötze, Nedlitz), mit der Gesamtdeposition unter Kiefer 5,2 kg in Klötze und 5,4 kg in Nedlitz. Unter Douglasie war er rund 25 % höher als unter Kiefer und betrug 2016 6,5 kg.

Unterschiede zwischen den beiden Kiefernflächen zeigen sich hingegen beim Ammonium. Zu Beginn der Messungen waren in Nedlitz die Einträge von Ammoniumstickstoff im Freiland sowie unter Kiefer deutlich höher als in Klötze. Diese höhere Belastung in Nedlitz war vermutlich vorwiegend auf einen lokalen Emittenten zurückzuführen. Im Beobachtungszeitraum nahmen die Einträge auf dieser Fläche jedoch deutlich stärker ab als in Klötze. 2016 betrug die Gesamtdeposition von Ammonium unter Kiefer sowohl in Klötze als auch in Nedlitz 7,6 kg je Hektar. Damit war sie 2016 in Nedlitz 4,0 kg, in Klötze hingegen nur 0,8 kg geringer als im Vergleich zum Mittel 1998-2015. Im Freiland lag der Eintrag bei 3,4 kg (Klötze) bzw. 4,4 kg (Nedlitz). Unter Douglasie war der Eintrag mit 7,9 kg nur geringfügig höher als unter Kiefer.

Trotz verschiedener Bemühungen zur Reduktion der Stickstoffemissionen und hieraus resultierender rückläufiger Einträge übersteigt der anorganische Stickstoffeintrag mit Werten von 13 kg (Nedlitz Kiefer), 12,8 kg (Klötze Kiefer) und 14,4 kg (Klötze Douglasie) nach wie vor den Bedarf des Waldes 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 Grundgewässer nach sich.



Intensiv-Monitoringfläche Klötze, Douglasie

Foto: O. Schwerdtfeger

## Gesamtsäure

Der Gesamtsäureeintrag berechnet sich als Summe der Gesamtdeposition 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).

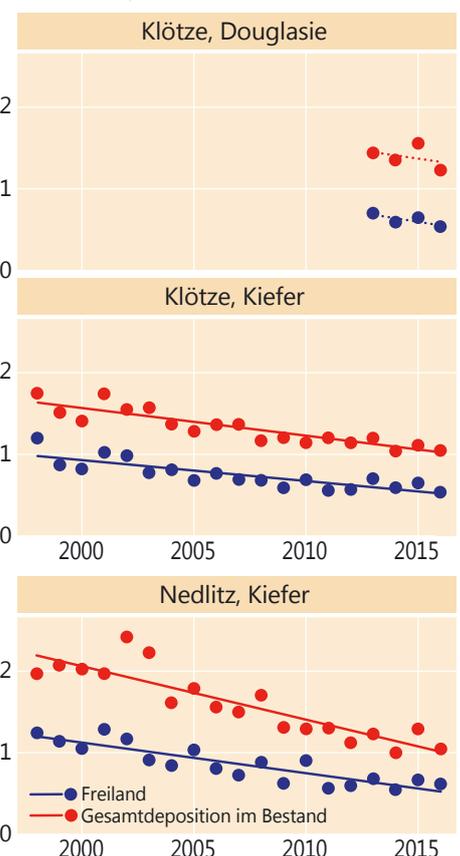
Im Beobachtungszeitraum hat der Gesamtsäureeintrag signifikant abgenommen. Er betrug 2016 zwischen 1,1 kmol<sub>c</sub> (Kiefer) und 1,2 kmol<sub>c</sub> (Douglasie) je Hektar.

Während 1998 der Gesamtsäureeintrag zu 26 % (Nedlitz) bzw. 31 % (Klötze) durch Schwefeleintrag und zu 74 % bzw. 69 % durch anorganischen Stickstoffeintrag (NH<sub>4</sub>-N + NO<sub>3</sub>-N) verursacht wurde, haben sich die relativen Anteile weiter zum Stickstoffeintrag hin verschoben. Sein Anteil an der Gesamtsäurebelastung lag 2016 zwischen 83 und 88 %. Auch unter dem Gesichtspunkt der Säurebelastung ist deshalb eine weitere Reduzierung der Stickstoffeinträge dringend geboten.

Aufgrund der geringen Baseneinträge (0,1 kmol<sub>c</sub>) sowie der sehr geringen Basenfreisetzung durch Verwitterung 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.

Gesamtsäure-Eintrag auf ausgewählten Flächen in kmol<sub>c</sub> je Hektar und Jahr



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

*kmol<sub>c</sub> (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<sub>c</sub> je Hektar.*