

Stoffeinträge

Birte Scheler

In Wäldern ist der atmosphärische Eintrag für viele Nähr- und Schadstoffe die Haupteintragsquelle. Luftverunreinigungen gelangen in gelöster Form mit dem Niederschlag und zusätzlich durch den Auskämmeffekt der Baumkronen gas- und partikelförmig in das Ökosystem Wald. Aufgrund dieses Filtereffektes ist der Eintrag anthropogen bedingter Schwefel- 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, da Stoffeinträge das chemische Bodenmilieu durch Versauerung und Eutrophierung verändern. In Sachsen-Anhalt werden im Rahmen des Forstlichen Umweltmonitorings seit 1998 die Stoffeinträge in zwei



Intensiv-Monitoringfläche Klötze, Douglasie Foto: M. Wagner

Kiefernbeständen im Fläming (Nedlitz) und der Altmark (Klötze) erfasst, um die Wirkung erhöhter Stoffeinträge sowie damit verbundener Risiken für Wälder, Waldböden und angrenzende Ökosysteme zu untersuchen. 2013 kam die Kiefernfläche Colbitz (Letzlinger Heide) hinzu. Um Erkenntnisse zum Einfluss der Baumart u. a. auf die Höhe der Stoffeinträge unter gleichen klimatischen und standörtlichen Bedingungen zu gewinnen, wird ebenfalls seit 2013 in Klötze zusätzlich ein benachbarter Douglasienbestand beobachtet. Jeder Bestandesmessfläche (Kronentraufe) ist eine Freifläche (Freilandniederschlag) zugeordnet. 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, Kronenrauigkeit oder lokale Emittenten bestimmt. Der Baumarteneffekt zeigt sich sehr gut in Klötze, wo eine Douglasien- und eine Kiefernfläche in unmittelbarer Nachbarschaft und somit unter gleichen klimatischen Verhältnissen beobachtet werden. Aufgrund der dichteren Benadelung sind die Stoffeinträge unter Douglasie höher als unter Kiefer.

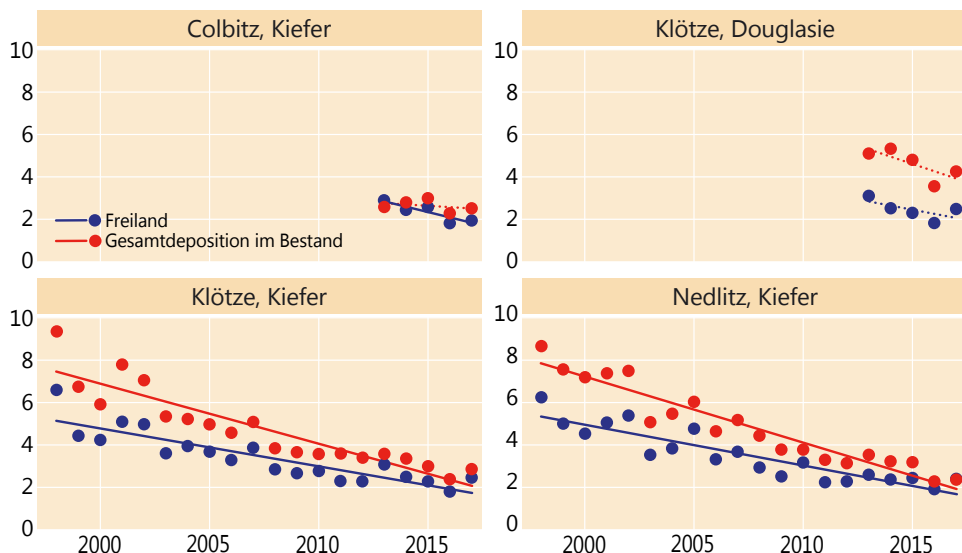
Niederschlag

2017 war in Teilen von Sachsen-Anhalt ein niederschlagsreiches Jahr. So fielen im Freiland in Colbitz (Letzlinger Heide) 109 mm (+22 %) und in Klötze (Altmark) 208 mm (+34 %) mehr Niederschlag als im Mittel der Jahre 2012-2016. In Nedlitz (Fläming) entsprach der Niederschlag mit +11 mm (+2 %) dem 5-jährigen Mittel. Der Bestandesniederschlag war zwischen 101 mm (Colbitz Kiefer) und 198 mm (Klötze Kiefer) höher als im Mittel des genannten Zeitraums. In Nedlitz war der Bestandesniederschlag nur geringfügig erhöht (+11 mm).

Schwefeleintrag

Durch die konsequente Umsetzung von Maßnahmen zur Luftreinhaltung wie Rauchgasentschwefelung und die Einführung schwefelarmer Kraft- und Brennstoffe konnten die Schwefeldioxidemissionen wirksam reduziert werden. Obwohl mit der systematischen Erfassung der Stoffeinträge in Klötze und Nedlitz 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, nahm der Eintrag weiter signifikant ab. Aufgrund der z. T. deutlich erhöhten Niederschlagsmengen im Jahr 2017 hat sich der Schwefeleintrag im Vergleich zu 2016 wieder leicht erhöht. Er betrug mit dem Bestandesniederschlag unter Kiefer zwischen 2,4 kg (Nedlitz) und 2,9 kg (Klötze) pro Hektar und unter Douglasie 4,2 kg pro Hektar. Im Freiland lag er zwischen 2,0 kg (Colbitz) und 2,5 kg (Klötze) pro Hektar.

Sulfatschwefel-Eintrag (SO_4-S) im Freiland und im Bestand in kg je Hektar und Jahr



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

Stoffeinträge



Intensiv-Monitoringfläche Klötze, Kiefer

Foto: H. Meesenburg

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 Sachsen-Anhalt betrug der Ammoniumanteil am anorganischen Stickstoffeintrag im 10-jährigen Mittel (2008-2017) im Freiland 53 % (Klötze) bzw. 59 % (Colbitz, Nedlitz) und mit der Gesamtdeposition im Mittel der vier Flächen 58 %.

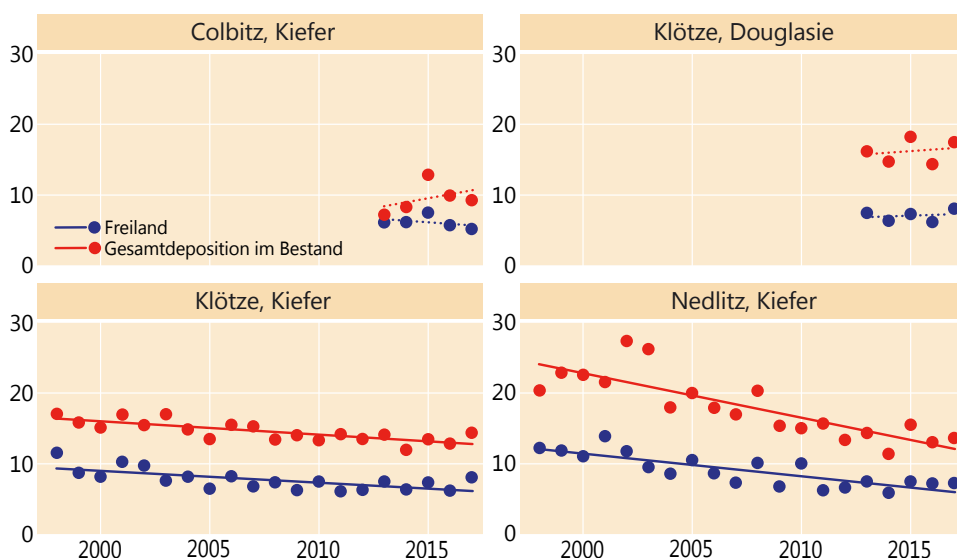
Der Nitratstickstoffeintrag hat auf den langjährig untersuchten Flächen Klötze und Nedlitz sowohl im Freiland als auch der Gesamtdeposition seit Untersuchungsbeginn im Jahr 1998 signifikant abgenommen. 2017 betrug der Nitratstickstoffeintrag pro Hektar unter Kiefer zwischen 4,2 kg (Colbitz) und 5,7 kg (Klötze) und unter Douglasie 7,6 kg (Klötze). Im Freiland betrug der Eintrag pro Hektar 2,8 kg in Colbitz, 3,1 kg in Nedlitz und 3,5 kg in Klötze.

Der Ammoniumstickstoffeintrag hat auf den beiden Kiefernflächen Nedlitz und Klötze seit 1998 signifikant abgenommen. 2017 betrug er im Freiland 2,5 kg pro Hektar in

Colbitz und 4,2 kg in Nedlitz bzw. 4,5 kg in Klötze. Unter Kiefer betrug er pro Hektar in Colbitz 5 kg, in Nedlitz 8,1 kg und in Klötze 8,7 kg. Am höchsten waren die Ammoniumstickstoffeinträge mit 9,9 kg pro Hektar unter Douglasie (Klötze).

Verschiedene Bemühungen haben in der Vergangenheit zu einer Reduktion der Stickstoffemissionen und hieraus resultierenden rückläufigen Einträgen geführt. Diese Entwicklung hat sich in den vergangenen Jahren jedoch nicht im gleichen Maße fortgesetzt. Auf den meisten Flächen überschreitet der anthropogen bedingte atmosphärische Stickstoffeintrag im Mittel der letzten 5 Jahre (2013-2017) mit Werten bis zu 13,6 kg pro Hektar unter Kiefer (Nedlitz) und 16,2 kg unter Douglasie (Klötze) 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.

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



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



Intensiv-Monitoringfläche Klötze, Kiefer

Foto: M. Wagner

Stoffeinträge

Gesamtsäureeintrag

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

2017 betrug der Gesamtsäureeintrag pro Hektar im Freiland zwischen 0,5 und 0,7 kmol_c, unter Kiefer zwischen 0,8 und 1,2 kmol_c und unter Douglasie 1,5 kmol_c.

Die Höhe der atmosphärischen Baseneinträge mit dem Bestandesniederschlag lag 2017 pro Hektar zwischen 0,11 kmol_c (Klötze Kiefer) und 0,25 kmol_c (Nedlitz Kiefer). Durch diese basischen Einträge werden auf den Flächen zwischen 9 % (Klötze Kiefer und Douglasie) und 23 % (Nedlitz Kiefer) der Säureeinträge in den Wald neutralisiert. Ein weiterer Teil der Säureeinträge wird auf dem Wege der



Analyse von Wasserproben

Foto: J. Evers



Intensiv-Monitoringfläche Klötze, Douglasie

Foto: M. Wagner

Basenfreisetzung durch Verwitterung gepuffert. Die nachhaltige Säurepufferkapazität insbesondere nährstoffarmer Waldstandorte reicht jedoch auch unter Berücksichtigung der Baseneinträge nicht zur Kompensation der Säureeinträge aus. Eine standortsangepasste Kalkung zum Schutz der Waldböden und der Erhaltung ihrer Filterfunktion für das Grundwasser kann empfohlen werden.

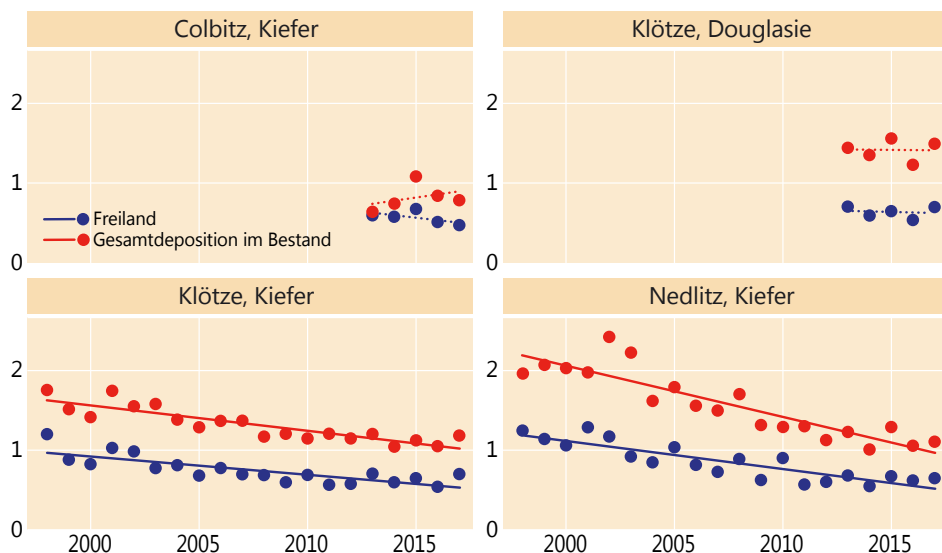
anthropogen = durch menschliche Aktivitäten verursacht

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.

Gesamtsäure-Eintrag im Freiland und im Bestand in kmol_c je Hektar und Jahr



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



Intensiv-Monitoringfläche Klötze, Kiefer

Foto: M. Wagner