

Stoffeinträge

Birte Scheler

<https://doi.org/10.5281/zenodo.5588465>

Mit dem Niederschlag gelangen verschiedene Nähr- und Schadstoffe in gelöster Form in den Wald. Zusätzlich werden diese Stoffe als trockene Deposition (gas- und partikelförmig) eingetragen. Im Vergleich verschiedener Landnutzungsformen ist der atmosphärische Stoffeintrag aufgrund des ausgeprägten Filtereffekts der großen Kronenoberflächen für Gase und partikuläre Stoffe in Wäldern besonders hoch. Diese so genannte Immissionsschutzfunktion 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.

In Sachsen-Anhalt wurde der Stoffeintrag in Kiefernbestände des nordostdeutschen Tieflandes erstmals 1985 bis 1989 durch die Forschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft Eberswalde erfasst (Simon u. Westendorff 1991). Im Rahmen des Intensiven forstlichen Umweltmonitorings werden seit 1998 bzw. 2013 die Stoffeinträge in drei Kiefernbeständen in Nedlitz (Fläming), Klötze (Altmark) und Colbitz (Letzlinger Heide) sowie in einen Douglasienbestand (Klötze) erfasst, um die Wirkung erhöhter Stoffeinträge sowie damit verbundener Risiken für Wälder, Waldböden und angrenzende Ökosysteme abschätzen zu können. 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 und luftchemischen Verhältnissen beobachtet werden. Aufgrund der dichteren Benadelung sind die Stoffeinträge unter Douglasie höher als unter Kiefer.



Foto: O. Schwerdtfeger

Niederschlag

2020 war in Sachsen-Anhalt ein weiteres niederschlagsarmes Jahr. Auf den drei Freiflächen fielen zwischen 26 mm (Nedlitz) und 82 mm je Quadratmeter weniger Niederschlag als im Mittel der Jahre 2010-2019. Der Bestandesniederschlag betrug zwischen 347 mm (Klötze Douglasie) und 468 mm (Nedlitz Kiefer) je Quadratmeter. Den Bäumen standen damit zwischen 84 % (Klötze Kiefer) und 100 % (Nedlitz Kiefer) der mittleren Niederschlagsmenge der vergangenen 10 Jahre zur Verfügung. Der Wasserhaushalt der Bestände war u. a. durch die höheren Temperaturen ein weiteres Jahr in Folge angespannt.

Schwefeleintrag

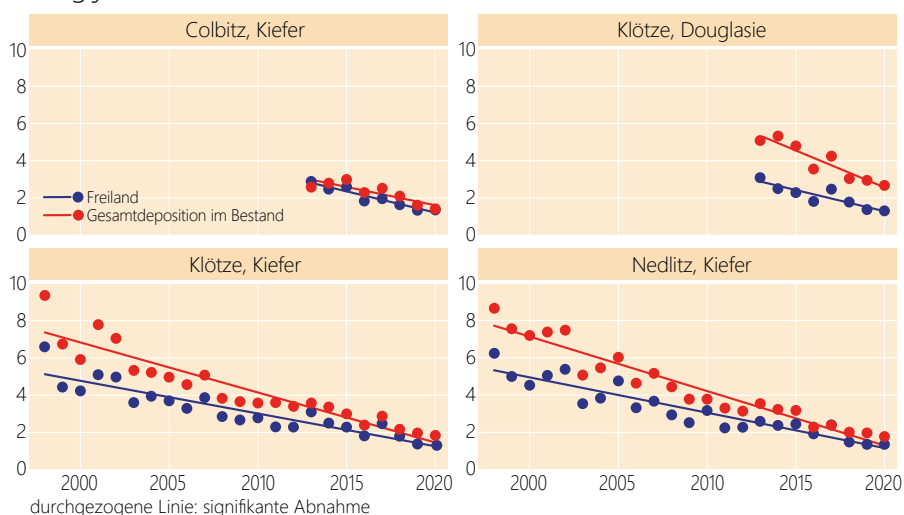
Durch die Substitution der Braunkohle als Hauptenergieträger, die konsequente Umsetzung von Maßnahmen zur Luftreinhaltung wie Rauchgasentschwefelung und die Einführung schwefelarmer Kraft- und Brennstoffe konnten die Schwefeldioxidemissionen wirksam reduziert werden. Der Schwefeleintrag in die Wälder Sachsen-Anhalts in gasförmiger und gelöster Form hat in Folge dieser Maßnahmen extrem abgenommen. Obwohl der Eintrag bereits auf einem relativ geringen Niveau lag, hat er 2020 im Vergleich zum Mittel Jahre 2010-2019 im Freiland nochmals zwischen 0,8 und 1,0 kg je Hektar und mit der Gesamtdosition zwischen 1,1 und 1,4 kg je Hektar abgenommen. Die relative Abnahme betrug zwischen 34 und 44 %. 2020 lag der Sulfatschwefeleintrag mit dem Bestandesniederschlag unter Kiefer bei 1,4 (Colbitz) bzw. 1,8 kg je Hektar (Klötze, Nedlitz) sowie unter Douglasie bei 2,7 kg je Hektar (Abb. links). Im Freiland lag er zwischen 1,3 (Klötze) und 1,4 kg je Hektar (Colbitz, Nedlitz).



Intensiv-Monitoringfläche Colbitz

Foto: NW-FVA

Sulfatschwefeleintrag ($\text{SO}_4\text{-S}$) im Freiland und im Bestand in kg je Hektar und Jahr



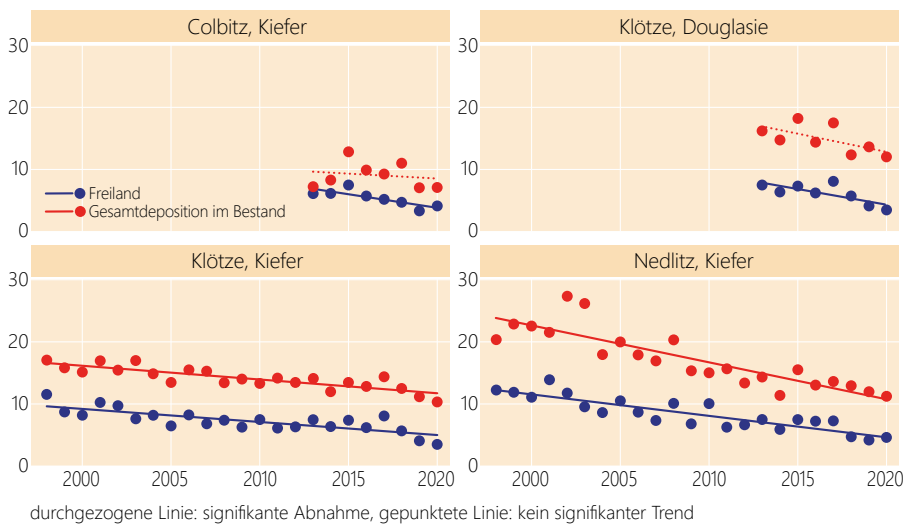
Stoffeinträge

Stickstoffeintrag

Stickstoff wird in oxidiert Form als Nitrat (Quellen: Kfz-Verkehr, Verbrennungsprozesse) und in reduzierter Form als Ammonium (landwirtschaftliche Quellen) in die Ökosysteme eingetragen. In Sachsen-Anhalt betrug der Ammoniumanteil am anorganischen Stickstoffeintrag im 10-jährigen Mittel (2011-2020) im Freiland zwischen 54 % (Klötze) und 58 % (Colbitz) und bei der Gesamtdeposition zwischen 56 % und 60 %.

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. Diese Abnahme hat sich in Klötze und in Nedlitz sowohl im Freiland als auch der Gesamtdeposition bei der Betrachtung der letzten 11 Jahre erfreulicherweise fortgesetzt. 2020 betrug der Nitratstickstoffeintrag im Freiland zwischen 1,7 (Colbitz) und 2 kg je Hektar

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



(Nedlitz), die Gesamtdeposition unter Kiefer zwischen 3,0 (Colbitz) und 4,6 kg je Hektar (Nedlitz) sowie unter Douglasie 5,6 kg je Hektar.

Der Ammoniumstickstoffeintrag hat auf den Flächen des Intensiven Monitorings in Sachsen-Anhalt seit Untersuchungsbeginn ebenfalls signifikant abgenommen. Im Zeitraum 2010-2020 wurde eine weitere signifikante Abnahme jedoch nur auf den Freiflächen beobachtet, während die Gesamtdeposition auf allen Bestandesflächen nur tendenziell abnahm. Im Freiland lag der Ammonium-Stickstoffeintrag 2020 zwischen 1,7 (Klötze) und 2,6 kg je Hektar (Nedlitz) und unter Kiefer zwischen 4,1 (Colbitz) und 6,6 kg je Hektar (Nedlitz). Unter Douglasie betrug er je Hektar 6,4 kg.

Auf den untersuchten Flächen überschreitet der anthropogen bedingte atmosphärische anorganische Stickstoffeintrag (Abb. links) im Mittel der letzten fünf Jahre (2016-2020) mit Werten bis zu 11,2 kg je Hektar unter Kiefer (Nedlitz) und 12,1 kg je Hektar unter Douglasie (Klötze) nach wie vor den geringen 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 Grundwässer nach sich.



Freifläche Klötze

Foto: H. Meesenburg

Stoffeinträge

Gesamtsäure

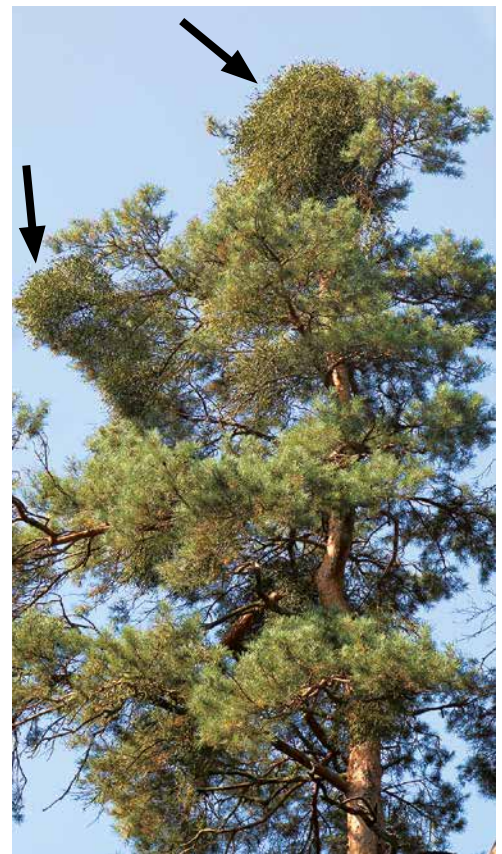
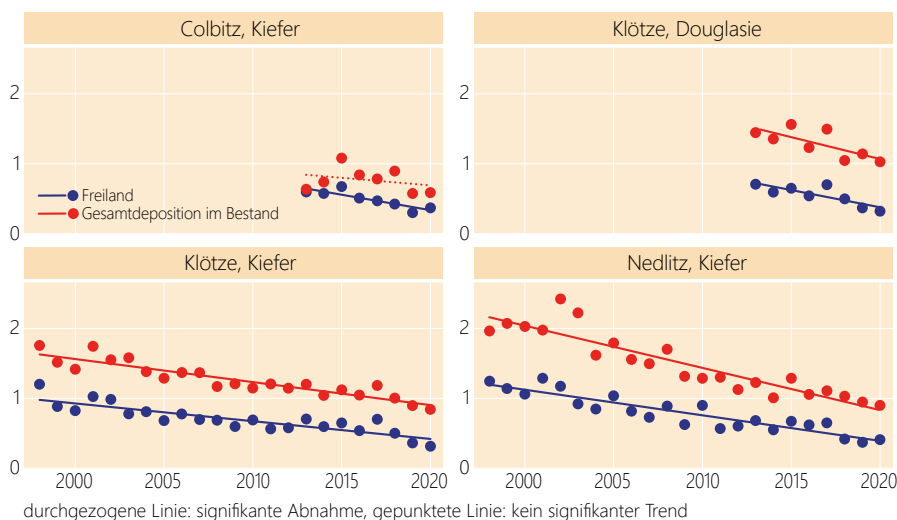
Der Gesamtsäureeintrag berechnet sich als Summe der Gesamtd deposition von Nitrat, Ammonium, Sulfat und Chlorid (jeweils nicht seesalzbürtige Anteile, Gauger et al. 2002).

2020 betrug der Gesamtsäureeintrag im Freiland zwischen 0,3 (Klötze) und 0,4 (Colbitz, Nedlitz), unter Kiefer zwischen 0,6 (Colbitz) und 0,9 (Nedlitz) sowie unter Douglasie 1,0 kmol_c je Hektar (Abb. unten).

Ein Teil des Säureeintrags wird durch ebenfalls mit dem Niederschlag eingetragene Basen neutralisiert. Diese Säureneutralisationskapazität durch Baseneintrag lag 2020 zwischen gut 0,1 (Klötze Kiefer) und 0,3 kmol_c je Hektar (Nedlitz Kiefer) bzw. zwischen 17 % (Klötze Kiefer) und 41 % (Colbitz Kiefer) des Säureeintrags. Der Eintrag basischer Stäube spielte in Sachsen-Anhalt bis zum Einbau moderner Filteranlage in Kraftwerken nach der Wiedervereinigung eine große Rolle, heute hingegen nur noch in Einzelfällen, z. B. in der Nähe von Steinbrüchen. Ein weiterer Teil der Säureeinträge wird im Waldboden gepuffert, da bei der Verwitterung Basen 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.

Gesamtsäureeintrag im Freiland und im Bestand in kmol_c je Hektar und Jahr



Intensiv-Monitoringfläche Nedlitz: Der Mistelbefall hat zugenommen. Foto: J. Weymar

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.



Intensiv-Monitoringfläche Klötze (Kiefer)

Foto: H. Meesenburg

Literatur:

Gauger T, Anshelm F, Schuster H, Draaijers GJ, Bleeker A, Erisman JW, Vermeulen AT, Nagel HD (2002): Kartierung ökosystembezogener Langzeittrends atmosphärischer Stoffeinträge und Luftschadstoffkonzentrationen in Deutschland und deren Vergleich mit Critical Loads und Critical Levels. Forschungsvorhaben im Auftrag des BMU/UBA, FE-Nr. 299 42 210, Institut für Navigation, Univ. Stuttgart. 207 S

Simon K-H und Westendorff K (1991): Stoffeinträge mit dem Niederschlag in Kiefernbeständen des nordostdeutschen Tieflandes in den Jahren 1985–1989. Beiträge Forstwirtschaft 25(4), 177–180

Ulrich B (1991): Beiträge zur Methodik der Waldökosystemforschung. Berichte des Forschungszentrums für Waldökosysteme/Waldsterben. Reihe B, Band 24, 204–210