

# Stoffeinträge

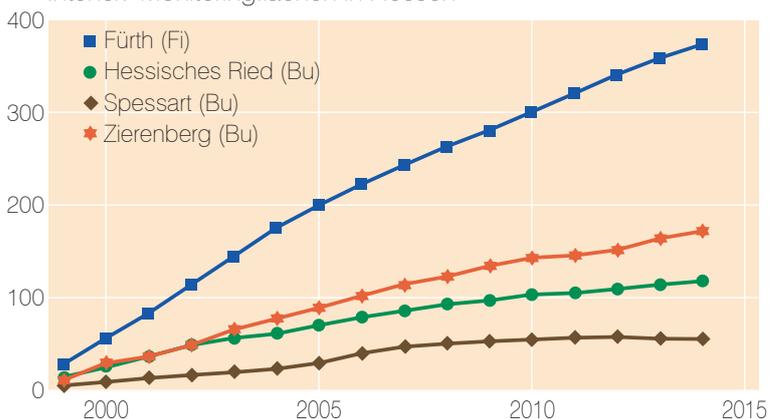
Aufgrund des Filtereffektes der Kronen für gas- und partikelförmige Luftverunreinigungen sind Wälder stärker als alle anderen Landnutzungsformen durch anthropogen verursachte Stoffeinträge von Sulfatschwefel und Stickstoffverbindungen belastet. In Hessen wurde 1984 mit der Erfassung der Stoffeinträge im Rahmen des Intensiven Forstlichen Umweltmonitorings begonnen, um die Wirkungen erhöhter Stoffeinträge und damit verbundener Risiken für Wälder, Waldböden und angrenzende Ökosysteme zu untersuchen. Derzeit wird die Deposition in sieben Buchen- und zwei Fichtenbeständen sowie je einer Kiefern- und Eichenfläche erfasst.

Die Höhe der Stoffeinträge wird maßgeblich durch verschiedene Faktoren wie Niederschlagsmenge und -verteilung, Baumart, Bestandeshöhe, Kronenrauhigkeit bzw. 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 sowie unter Fichte höher als unter Buche, Eiche und Kiefer. Die Höhe des Freilandniederschlags entsprach auf drei der sieben Flächen dem langjährigen Mittel, in Zierenberg (-69 mm), Fürth (-85 mm), Krofdorf (-107 mm), und Spessart (-131 mm) war 2014 deutlich weniger, im Kellerwald 48 mm mehr Niederschlag gefallen. Beim Bestandesniederschlag betragen die negativen Abweichungen zum langjährigen Mittel zwischen 65 mm (Fürth Fichte) und 145 mm (Krofdorf Buche). Leicht überdurchschnittliche Bestandesniederschläge wurden aufgrund höherer Niederschläge im Kellerwald (+26 mm) und in Folge abgestorbener Kiefern im Hessischen Ried (Kiefer +27 mm) gemessen.

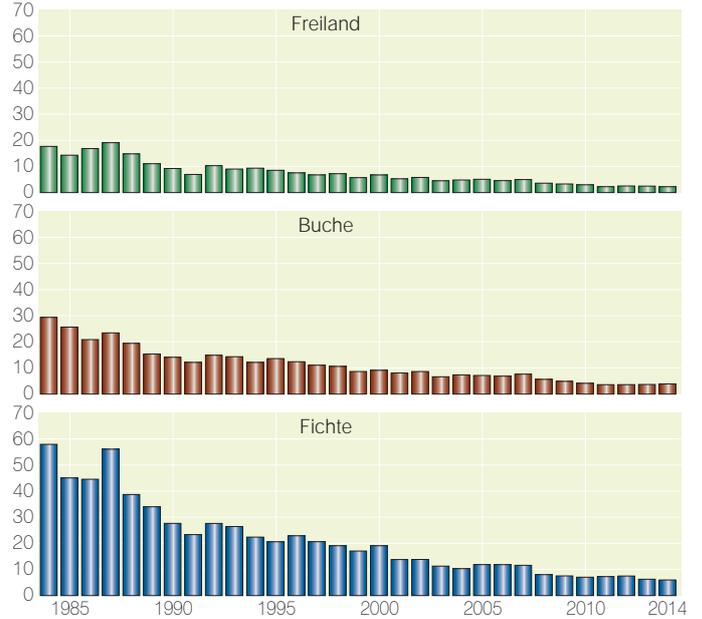
Durch die konsequente Umsetzung von Maßnahmen zur Luftreinhaltung hat der Schwefeleintrag sehr stark abgenommen. 2014 betrug die Schwefeldeposition pro Hektar zwischen 2,4 kg (Hess. Ried Kiefer) und 6,0 kg (Königstein Fichte), im Hessenmittel der Buchenflächen 3,7 kg und im Freiland zwischen 1,6 kg (Krofdorf) und 2,9 kg (Fürth). Im Vergleich zum Zeitraum 1984 bis 1986 ging der Schwefeleintrag in Krofdorf (Buche und Freiland) um 90 %, in Königstein unter Fichte um 88 % und im Freiland um 84 % zurück.

Hauptquellen für Stickstoff sind der Kfz-Verkehr (oxidierte Stickstoffverbindungen, Nitrat) sowie die Landwirtschaft (reduzierte Stickstoffverbindungen, Ammonium). Trotz verschiedener Bemühungen zur Reduktion der Stickstoffemissionen wird den Wäldern durch anthropogen bedingte atmosphärische Ein-

Summarischer Stickstoffüberschuss ( $\text{NH}_4\text{-N} + \text{NO}_3\text{-N}$ ) aus atmosphärischem Stoffeintrag (abzüglich des Entzuges durch Bestandeswachstum und Holznutzung) in kg pro Hektar auf vier Intensiv-Monitoringflächen in Hessen



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



träge nach wie vor mehr Stickstoff zugeführt, als sie für ihr Wachstum nachhaltig benötigen. Es kommt zu einer Stickstoffanreicherung im Boden mit zunächst schleichenden, langfristig jedoch gravierenden Konsequenzen für den Wald sowie angrenzende Ökosystemen wie Fließ- und Grundgewässer.

Die Emissionen oxidierten Stickstoffverbindungen sind in Deutschland in den letzten zwei Jahrzehnten um die Hälfte zurückgegangen (Bultjes et al. 2011). In der Folge hat der Nitratstickstoffeintrag sowohl im Freiland als auch in der Gesamtdosition aller vier Baumarten auf allen langjährig untersuchten Flächen signifikant abgenommen. Er betrug 2014 im Hessenmittel pro Hektar im Freiland 3,0 kg und unter Buche 5,9 kg (Gesamtdosition mit Stammablauf). Unter Fichte war er am höchsten und betrug pro Hektar 8,8 kg in Königstein und 10,9 kg in Fürth.

Ein uneinheitliches Bild bietet sich weiterhin beim Eintrag von Ammonium, dessen Emissionen in den 2000er Jahren nahezu unverändert hoch blieben (Bultjes et al. 2011). Eine signifikante Abnahme des Ammoniumstick-

# Stoffeinträge

stoffeintrags sowohl im Freiland als auch mit der Gesamtdosition gibt es im Hess. Ried (Buche, Eiche, Kiefer) und in Fürth (Fichte) während auf allen anderen untersuchten Bestandesflächen, teilweise trotz eines signifikanten Rückgangs im Freiland, lediglich eine tendenzielle Abnahme der Gesamtdosition erkennbar ist. Im Spessart (Buche) verharnt der Ammoniumeintrag mit jährlichen Schwankungen sogar auf unverändert hohem Niveau.

Im Hessenmittel betrug der Ammoniumstickstoffeintrag pro Hektar im Freiland 2,7 kg und unter Buche 5,9 kg. In den beiden Fichtenbeständen lag er pro Hektar bei 12 kg (Königstein) bzw. 10 kg (Fürth).

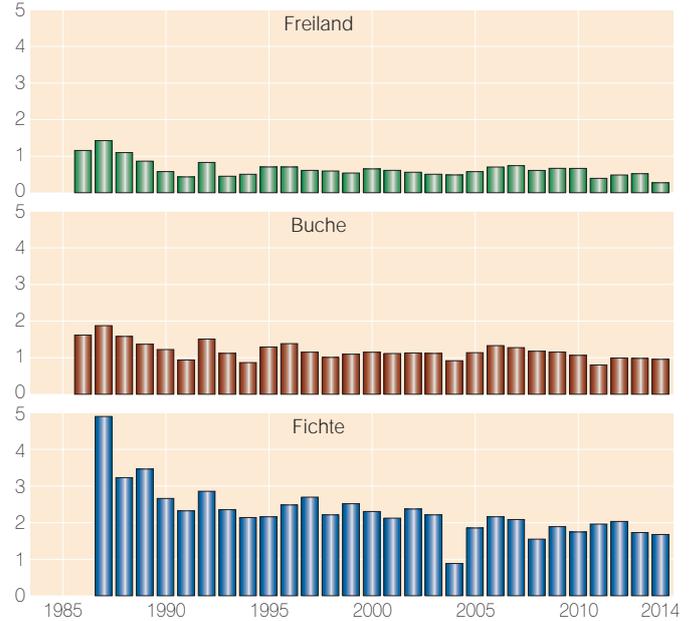
Für vier hessische Flächen wurde beispielhaft der Stickstoffüberschuss (atmosphärischer anorganischer Stickstoffeintrag abzüglich des Entzuges durch Bestandeswachstum und Holznutzung) berechnet. Für den Zeitraum 1999 bis 2014 summiert sich dieser Stickstoffüberschuss pro Hektar unter Buche im Spessart auf 55 kg, im Hess. Ried auf 118 kg und in Zierenberg auf 171 kg. In Fürth betrug der Überschuss pro Hektar unter Fichte im obigen Zeitraum 373 kg, im gesamten Beobachtungszeitraum seit 1987 sogar 687 kg. Sichtbare Folgen dieser Überschüsse sind in Fürth (Fichte) hohe bis sehr hohe Nitratkonzentrationen im Sickerwasser sowie in Zierenberg (Buche) das flächendeckende Wachstum von meterhohen Brennnesseln, sehr hohen Nitratkonzentrationen im Sickerwasser insbesondere während der Nichtvegetationszeit und eine häufige Fruktifikation.

Der aktuelle Gesamtsäureeintrag berechnet sich als Summe der Gesamtdosition von Nitrat, Ammonium, Sulfat und Chlorid abzüglich der mit dem Niederschlag eingetragenen Basen Calcium, Magnesium und Kalium.

2014 betrug der aktuelle Gesamtsäureeintrag pro Hektar 0,5 kmol<sub>c</sub> im Freiland (Hessenmittel), 1,0 kmol<sub>c</sub> unter Buche (Hessenmittel) und 1,7 kmol<sub>c</sub> (Fichte Fürth und Königstein).

Im Vergleich zum Mittel der Jahre 1987 bis 1989 ist er im Freiland um 50 % (Königstein) bis 72 % (Krofdorf) zurückgegangen und

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



unter Fichte um 44 % (Fürth) bzw. 57 % (Königstein). Unter Buche reduzierte sich der Gesamtsäureeintrag zwischen 39 % (Spessart) und 51 % (Krofdorf). Sofern Bestände auf nährstoffarmen, pufferschwachen Waldböden stocken, ist eine standortsangepasste Bodenschutzkalkung zum Schutz der Waldböden und ihrer Filterfunktion nach wie vor angezeigt.

*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> pro Hektar.*



Foto: J. Evers