

Beiträge zur Erstellung einer atmosphärischen Stickstoff-Bilanz für Hessen.

1. Bulk-Deposition von reaktivem Stickstoff

Reaktiver Stickstoff in der Atmosphäre

Die klassischen Luftschadstoffe Schwefeldioxid, Kohlenstoffmonoxid und (Grob-)Stäube sind sowohl für die menschliche Gesundheit als auch für die Funktion und die Leistung von Ökosystemen durch emissionsmindernde Maßnahmen insbesondere in Nordwesteuropa nahezu bedeutungslos geworden. Immer deutlicher tritt dagegen die Rolle von reaktivem Stickstoff in der Atmosphäre in den Vordergrund. Reaktiver Stickstoff im engeren Sinne umfasst die Gase

Ammoniak (NH_3)

Stickstoffmonoxid (NO)

Stickstoffdioxid (NO_2)

Salpetersäure (HNO_3) und

Salpetrige Säure (HNO_2)

organische N-Verbindungen (z.B. PAN)

sowie die partikelförmigen N-Verbindungen

Ammonium (NH_4^+) und

Nitrat (NO_3^-).

Einmal emittierter reaktiver Stickstoff wird aus der Atmosphäre praktisch ausschließlich durch nasse oder trockene Deposition entfernt; Umwandlungen zu nicht reaktivem Distickstoff (N_2) sind dagegen bedeutungslos. Deponierter reaktiver Stickstoff kann sowohl versauernd als auch eutrophierend auf Ökosysteme wirken. Reaktiver Stickstoff ist ein Hauptbestandteil von Feinstäuben; ein Viertel bis die Hälfte der Masse von Feinstäuben besteht aus Ammoniumsulfaten und Ammoniumnitrat. Die Quellen und Senken von reaktivem atmosphärischem Stickstoff sind insgesamt noch nicht ausreichend gut untersucht worden. Dies lag unter anderem an mangelnden analytischen Verfahren.

Das Hessische Landesamt für Umwelt und Geologie begann im Rahmen der Digitalen Umwelt-Analyse Hessen (DUAH) im Jahr 2001 mit systema-

tischen Untersuchungen zur Quantifizierung von Depositionen und Konzentrationen reaktiver N-Verbindungen in der Umgebungsluft. Dies schloss die Entwicklung bzw. Überprüfung von Messmethoden ein. Ziel ist die Schließung der atmosphärischen Stickstoff-Bilanz, d.h. alle N-Flüsse zwischen bodennaher Atmosphäre und Ökosystemen sollen erfasst werden.

Die Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft, Institut für Agrarökologie, wurde damit beauftragt, flächendeckend die Deposition von Ammonium und Nitrat mit sedimentierenden Partikeln (sog. Bulk-Deposition) zu erfassen. Darüber hinaus wurde ein Messnetz zur Bestimmung der Konzentrationen von Ammoniak aufgebaut sowie am Standort Linden über 3 Jahre die trockene Deposition von N-haltigen Gasen und N-Verbindungen in Feinstäuben ermittelt (hierüber wird getrennt berichtet).

Atmosphärische Stickstoffbilanzen und Deposition

Atmosphärische Stoffbilanzen betrachten die Emissionen in die Atmosphäre, die chemischen Umsetzungen und Transportvorgänge sowie die Depositionen. Das dynamische Gleichgewicht zwischen diesen Vorgängen führt zur Ausbildung von Stoffkonzentrationen, die für eine bestimmte Region hinsichtlich ihrer Höhe und ihrer zeitlichen Variabilität typisch sind.

Während die Emission von reaktivem Stickstoff nahezu ausschließlich über Gase erfolgt, ist die Deposition ein vergleichsweise komplexes Gefüge von Depositionen aus der Gasphase, mit nicht-sedimentierenden Partikeln sowie mit nassen und trockenen sedimentierenden Partikeln. In Abbildung 1 sind die verschiedenen Depositionsformen sowie die Messprinzipien ihrer Bestimmung zusammenfassend dargestellt.

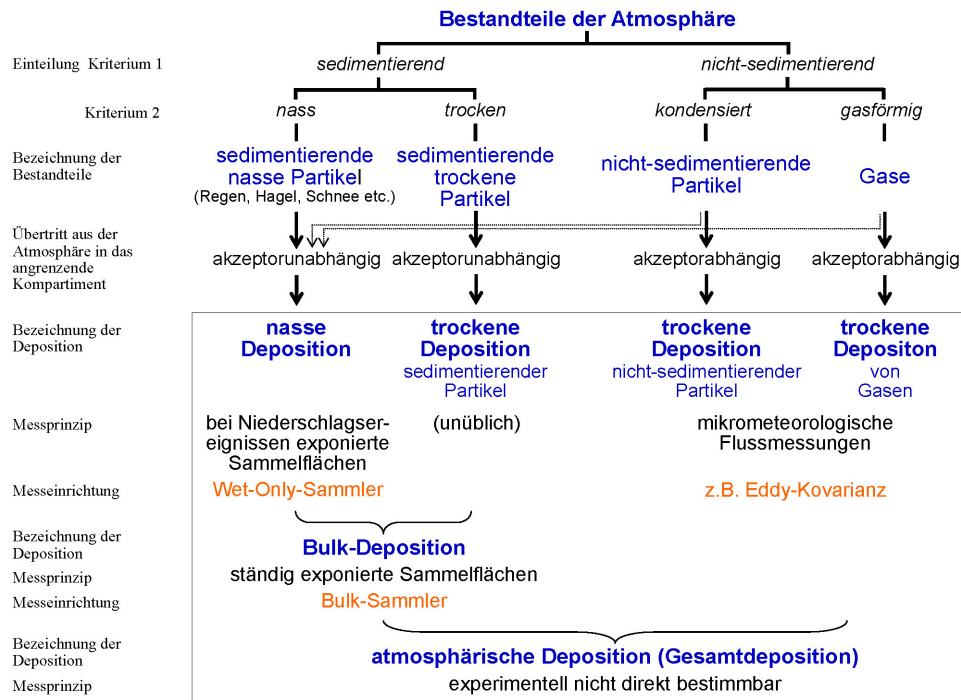


Abbildung 1:
Schematische Darstellung der Depositionsformen und ihrer Bestimmung (modifiziert nach VDI 4320 Bl. 1 2010 bzw. Grünhage et al. 1993).

Es existiert kein Messverfahren zur gemeinsamen Bestimmung der Deposition sedimentierender und nicht-sedimentierender Luftinhaltsstoffe. Die Bestimmung des Austausches nicht-sedimentierender Luftinhaltsstoffe ist nur mit mikrometeorologischen Verfahren möglich (vgl. Grünhage et al. 2000). Die Einträge sedimentierender Partikel lassen sich näherungsweise mit geeigneten Probenahmesystemen erfassen.

Das Sammelsystem

Bulk-Sammler bestehen in der Regel aus einer Auffangfläche (Trichter) und einem Sammelgefäß (Flasche), die an geeigneter Stelle und in geeigneter Höhe exponiert werden. Auffangfläche, Sammelkapazität und Expositionszeit müssen auf die zu erwartenden Niederschlagsmengen abgestimmt werden, insbesondere im Hinblick auf die Analytik der Inhaltsstoffe. Ihre Sammeleigenschaften werden maßgeblich durch die baulichen Eigenschaften der Trichter bestimmt (Höhe und Durchmesser, Beschaffenheit der Kante). Wichtige Kriterien für die Eignung von Bulk-Sammlern sind eindeutige Abscheidungseigenschaften (keine Abscheidung von nicht-sedimentierenden Luftinhaltsstoffen) und Entsprechung der Sammeleigenschaften für Niederschläge, die denen des Standard-Regen-

sammlers (Hellmann-Sammler; DIN 58666) entsprechen.

Die Charakteristika des eingesetzten Sammelsystems (Abbildung 2) sind in Dämmgen et al. (1994, 2000), die allgemeinen Anforderungen an Bulk-Sammler in Dämmgen et al. (2005) zusammengestellt.



Abbildung 2:
Aufbau der Rotenkamp-Sammler B91 (Dämmgen et al. 1994).
Je ein Sammler mit basischer und mit saurer Vorlage werden gemeinsam exponiert.

Das Messnetz

Im Jahr 2001 wurde ein 50 Messstellen umfassendes Netz zur Erfassung der Bulk-Deposition eingerichtet. Die Lage der einzelnen Messstellen geht aus Abbildung 3 hervor. Die Messstellen bilden 6 längere Ketten von Nordwest nach Südost mit vergleichbaren Abständen zwischen den Einzelmessstellen in der Größenordnung von 20 bis 40 km. Zusätzlich wurde eine Kette mit geringeren Abständen von Südwest nach Nordost über den Vogelsberg gelegt. Für die Rhön wurden insbesondere wegen der möglichen Höhenabhängigkeit der Deposition zusätzliche Messstellen mit geringeren Abständen eingerichtet. In der Regel wurden Proben zu Beginn eines Kalendermonats gewonnen.



Abbildung 3:
Lage der Messstellen im Messnetz. Zu weiteren Einzelheiten
siehe Tabelle 1 im Anhang.

Die Messstelle Linden (D19) wird seit 1995 im Rahmen eines Gemeinschaftsprojektes zwischen dem Institut für Pflanzenökologie der Justus-Liebig-Universität Gießen und dem Institut für Agrarökologie der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL), seit 2008 dem Institut für Agrarrelevante Klimaforschung des Johann-Heinrich-von-Thünen-Instituts, Braunschweig, beprobt.

Die Beprobung der Messstelle D40 wurde bereits im ersten Jahr wegen Schwierigkeiten bei der Gewinnung ungestörter Proben eingestellt.

Die Höhe der Deposition von Stickstoff-Spezies ist u.a. von der Niederschlagsmenge abhängig. Diese wiederum ist u.a. eine Funktion der Höhe der Messstelle. Tabelle 1 im Anhang gibt deshalb auch die Höhe der jeweiligen Messstelle an.

Die Gewinnung von Bulk-Proben in 1,5 m Höhe ist durch die Überwehung der Sammler systematisch gestört: Je kleiner die Tropfengröße und je höher die Windgeschwindigkeit während eines Niederschlagsereignisses ist, desto geringer ist der Anteil der Tropfen, die vom Sammler erfasst werden. Im Jahresmittel können unter den in Hessen vorherrschenden Bedingungen Mindereinträge von bis zu 18 % auftreten. Die Bestimmung der Niederschlagshöhe wird daher korrigiert. Der Deutsche Wetterdienst hat ein Korrekturverfahren entwickelt, das die Regionalität der Tropfengrößenverteilung ebenso berücksichtigt wie die Abschirmung der Messstelle: Je stärker eine Messstelle gegen hohe Windgeschwindigkeiten abgeschirmt ist, etwa durch Strömungshindernisse wie Bäume, Hecken und Gebäude, desto geringer wird der Korrekturfaktor. In Tabelle 1 im Anhang sind deshalb auch die Region und der Grad der Abschirmung angegeben (das Gebiet wird durch die römische Ziffer ausgedrückt, der Grad der Abschirmung durch Buchstaben; a: frei anströmbar; b: leicht geschützt; c: mäßig geschützt; d: stark geschützt).

Mit zunehmender Höhe treten im Allgemeinen auch höhere Windgeschwindigkeiten auf. Die Messstellen 51 und 52 in unmittelbarer Nähe der Messstelle 12 dienten zu Untersuchungen einer möglichen Höhenabhängigkeit der Sammeleffizienz.

An allen Messstellen wurden je drei Depositionssammler der Bauart Rotenkamp B01 aufgestellt (Abbildung 4; in Linden wird die Bauart B91 (Abbildung 2) verwendet) und über drei Jahre monatlich beprobt. Dabei war durch stabilisierende Zusätze gewährleistet, dass sich die Zusammensetzung der Proben während der Exposition nicht veränderte. Seit 2005 werden die Arbeiten in einem deutlich verkleinerten Messnetz fortgeführt.

Untersucht wurden zunächst die Inhaltsstoffe der Bulk-Deposition, die versauernd und eutrophierend wirken: Ammonium, Nitrat, Sulfat, Chlorid, Natrium, Kalium, Magnesium und Calcium. Zusätzlich wurde die Niederschlagsmenge erfasst.



Abbildung 4:
Aufbau der Rotenkamp-Sammler B01.
Je ein Sammler mit basischer und mit saurer Vorlage werden
gemeinsam exponiert.

Aus den 6048 möglichen Einzelproben im Messgebiet konnten in über 91 % Monatsmittel der Niederschlagsmengen abgeleitet werden, in über 87 % Monatsmittel der Ammonium-N-Einträge und in fast 91 % Monatsmittel der Nitrat-N-Einträge. Die Bildung von Jahressummen erfolgte gegebenenfalls durch lineare Extrapolation der aus den vorhandenen Messwerten gewonnenen Summen.

Bulk-Deposition von Wasser (Niederschlag)

Abbildung 5 zeigt die räumliche Verteilung der jährlichen Niederschläge gemittelt über die Jahre 2002 bis 2004. Erkennbar sind - wie zu erwarten - die höheren Niederschläge in Mittelgebirgslagen: am Kleinen Feldberg, im Norden des Vogelbergs und in der Rhön. Die geringsten Niederschläge sind im Rheingau zu beobachten.

Bei Betrachtung aller Stationen ist jedoch die Abhängigkeit der Niederschläge von der geographischen Höhe der Messstelle nur in geringem Umfang gegeben. Dies ist bei der Größe des betrachteten Gebietes und angesichts der Tatsache, dass der Niederschlag nicht nur einfach von der Höhe abhängt, auch kaum zu erwarten. Die Zusammenhänge werden in einzelnen Regionen deutlicher. Abbildung 6 stellt Regressionen für das Gesamtgebiet und die Vogelsberg-Catena zusammen. Die Bestimmtheitsmaße (R^2) für das Gesamtgebiet und die Vogelsberg-Catena betragen 0,42 bzw. 0,88.

Der Vergleich der Einträge in der Messkampagne 2002-2004 mit längeren Zeitreihen in Abbildung 7 zeigt, dass sich die hessischen Daten insgesamt gut in die dargestellten Zeitreihen einfügen: dem nassen Jahr 2002 folgte ein trockenes Jahr 2003 und ein eher durchschnittliches Jahr 2004.

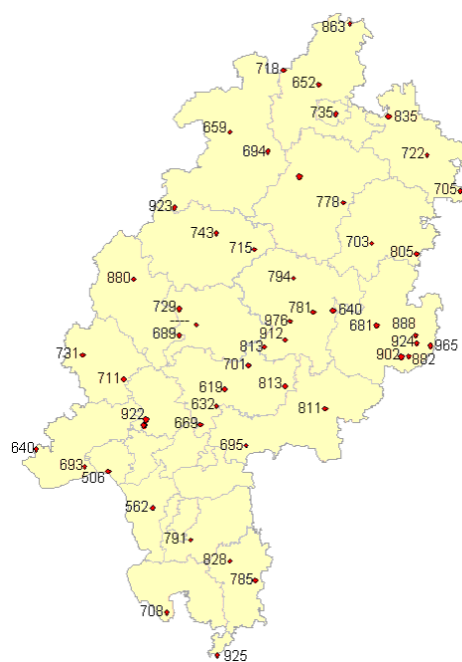


Abbildung 5:
Mittlere Niederschläge in mm a^{-1} . Messjahre 2002 bis 2004.

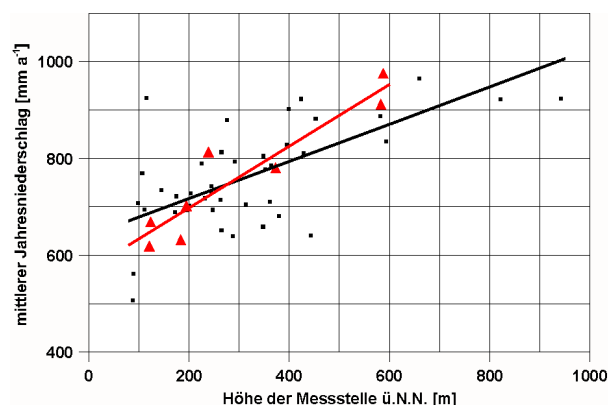


Abbildung 6:
Abhängigkeit der Niederschlagshöhe von der Höhe der Messstelle. Quadrate und schwarze Linie: alle Messstellen; Dreiecke und rote Linie: Messstellen der Vogelsberg-Catena.

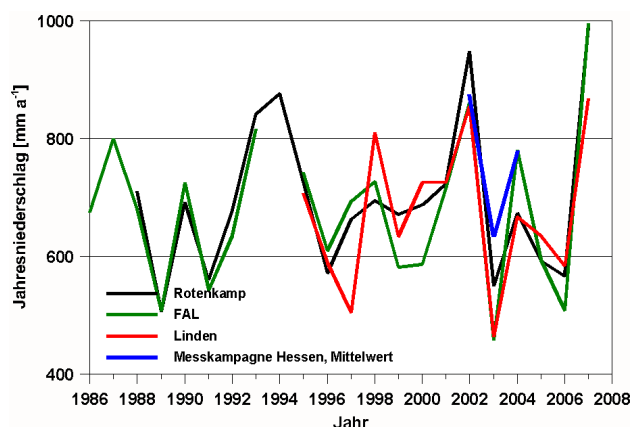


Abbildung 7:
Zur zeitlichen Repräsentativität der Messwerte der Niederschlagssummen. Die von der FAL betreuten Messstellen Rotenkamp und FAL liegen östlich bzw. westlich von Braunschweig.

Bulk-Deposition von Ammonium-Stickstoff

Da $\text{NH}_4\text{-N}$ in der Bulk-Deposition zu mehr als 80 % von der nassen Deposition herrührt, wird die bei den Niederschlägen beschriebene Korrektur der Einträge auch auf $\text{NH}_4\text{-N}$ angewandt.

Die räumliche Verteilung der mittleren Jahressummen der Bulk-Deposition von $\text{NH}_4\text{-N}$ geht aus Abbildung 8 hervor. Deutlich wird die große räumliche Variabilität. Der Mittelwert für Hessen über die gesamte Messkampagne beträgt $5,6 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ $\text{NH}_4\text{-N}$. Der höchste Mittelwert von $9,3 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ wurde in Breuna (D44) gemessen, der geringste von $3,6 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ in Selters (D11). An den gleichen Orten wurden auch die höchsten bzw. niedrigsten einzelnen Jahreseinträge bestimmt: höchste beobachtete Jahressumme: $10,1 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$, Breuna (D44), 2002; geringste beobachtete Jahressumme: $3,2 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$, Selters (D11), 2004.

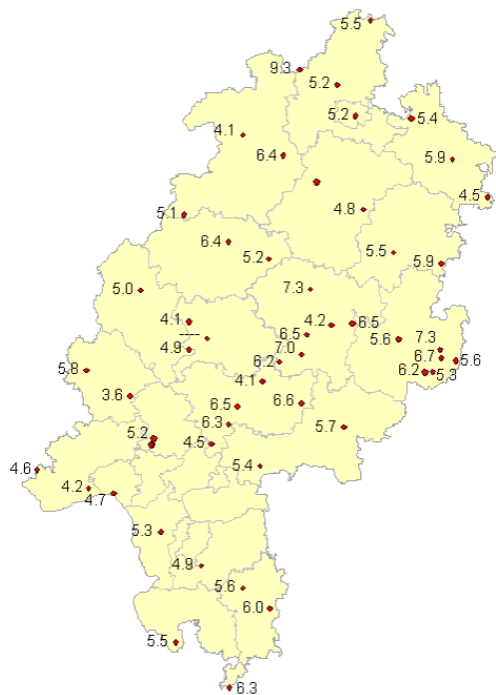


Abbildung 8:
Mittlere $\text{NH}_4\text{-N}$ -Deposition in $\text{kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ $\text{NH}_4\text{-N}$. Messjahre 2002 bis 2004.

Bei den $\text{NH}_4\text{-N}$ -Depositionen ist ein ausgeprägter Jahresgang zu erkennen. Die Abbildungen 9 und 10 belegen den Zusammenhang zwischen $\text{NH}_4\text{-N}$ -Depositionen und den atmosphärischen NH_3 -Konzentrationen: Die Spitzen der Konzentrationen und der Depositionen fallen in die Zeit der Ausbringung von Wirtschafts- und Mineraldüngern im Frühjahr.

Dies erklärt auch, weshalb der Zusammenhang zwischen Depositionen und Niederschlagsmengen nur gering ausgeprägt ist. Abbildung 11 verdeut-

licht, dass die deponierten Mengen kaum von der Niederschlagsmenge abhängen, dass geringe Niederschläge aber zu deutlich höheren $\text{NH}_4\text{-N}$ -Konzentrationen in den Niederschlägen führen.

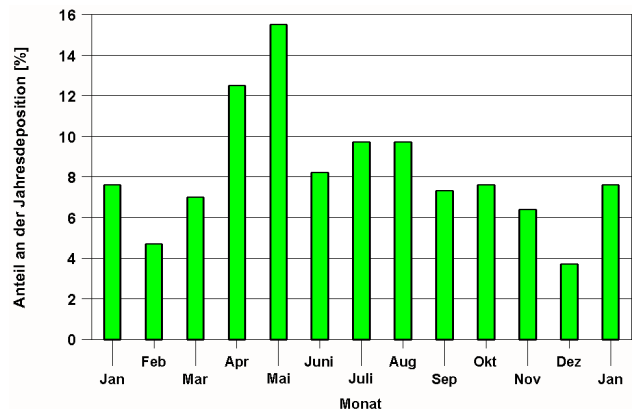


Abbildung 9:
Mittlerer Jahresgang der $\text{NH}_4\text{-N}$ -Deposition. Angaben in Prozent des Jahreseintrags pro Monat. Messjahre 2002 bis 2004.

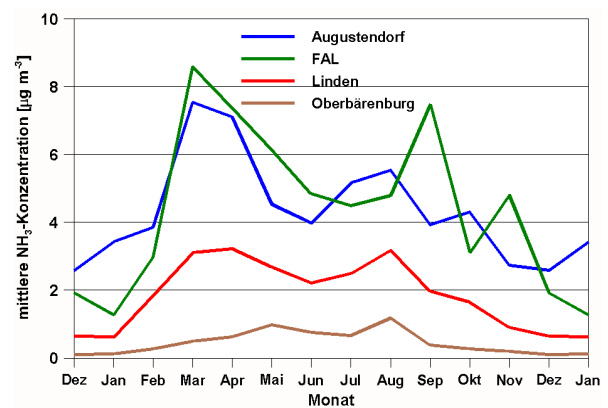


Abbildung 10:
Mittlerer Jahresgang der NH_3 -Konzentration. Angaben in $\mu\text{g m}^{-3}$ NH_3 . Die Messstelle Augustendorf befindet sich in einem Wald im Kreis Cloppenburg (vorwiegend Tierproduktion), die Messstelle FAL bei Braunschweig über einem Ackerland (gemischter Betrieb), die Messstelle Linden in einem landwirtschaftlich extensiv genutzten Bereich, die Messstelle Oberbärenburg im Erzgebirge Quellenfern im Wald (Daten aus Dämmgen 2007 und Plessow et al. 2005).

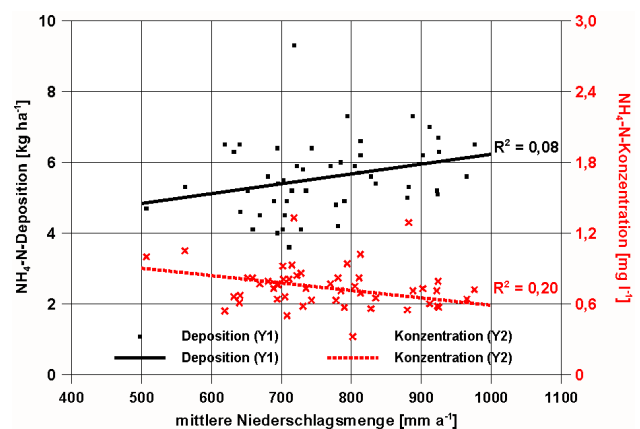


Abbildung 11:
Zusammenhänge zwischen Niederschlagsmengen und $\text{NH}_4\text{-N}$ -Depositionen. Schwarz: Depositionen (linke Achse, Y1); rot: Konzentrationen (rechte Achse, Y2).

Da die $\text{NH}_4\text{-N}$ -Depositionen wesentlich durch die Emissionen bestimmt werden und da diese in etwa gleich blieben, ist keine wesentliche Änderung im vergangenen Jahrzehnt zu erwarten. Abbildung 12 zeigt, dass sich die hessischen Ergebnisse in das Gesamtbild gut einfügen.

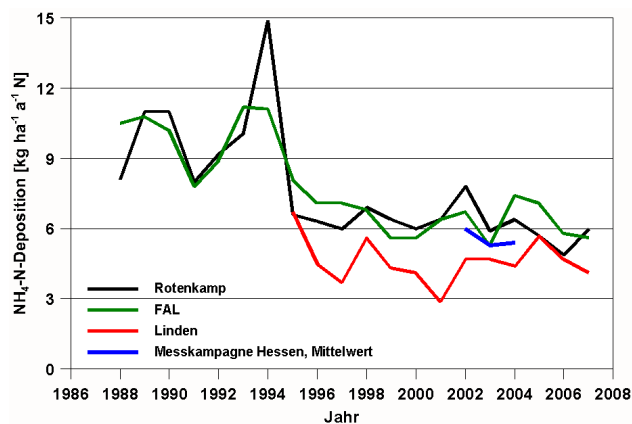


Abbildung 12:
Zur zeitlichen Repräsentativität der Messwerte der $\text{NH}_4\text{-N}$ -Depositionen. Zu weiteren Einzelheiten siehe Abbildung 7.

Bulk-Deposition von Nitrat-Stickstoff

Der Anteil der nassen Deposition an der $\text{NO}_3\text{-N}$ -Bulk-Deposition beträgt mehr als 90 %. Die bei den Niederschlägen beschriebene Korrektur der Einträge wird daher auch auf $\text{NO}_3\text{-N}$ angewandt. Im Gegensatz zu den $\text{NH}_4\text{-N}$ -Depositionen sind die $\text{NO}_3\text{-N}$ -Depositionen wesentlich homogener verteilt. Abbildung 13 gibt die räumliche Verteilung wieder (Mittelwert Hessen: $4,7 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1} \text{ NO}_3\text{-N}$).

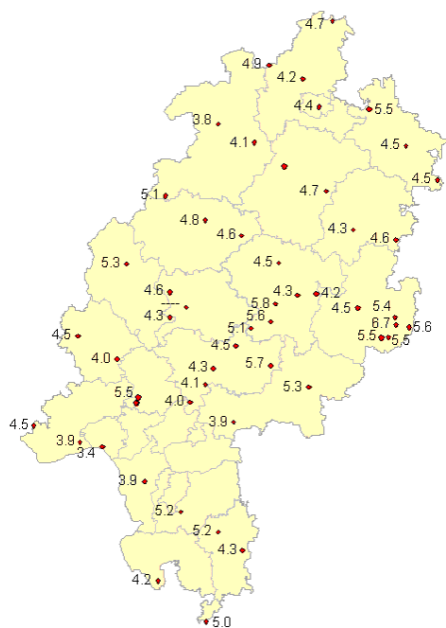


Abbildung 13:
Mittlere $\text{NO}_3\text{-N}$ -Deposition in $\text{kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1} \text{ NO}_3\text{-N}$. Messjahre 2002 bis 2004.

Die $\text{NO}_3\text{-N}$ -Konzentrationen in den Bulk-Depositionsproben variieren nur relativ geringfügig und zeigen keine ausgeprägte Abhängigkeit von der Niederschlagsmenge (Abbildung 14). Die Depositionen sind den Niederschlagsmengen proportional (Abbildung 14) und dementsprechend folgt auch der Jahresgang der $\text{NO}_3\text{-N}$ -Depositionen dem der Niederschläge.

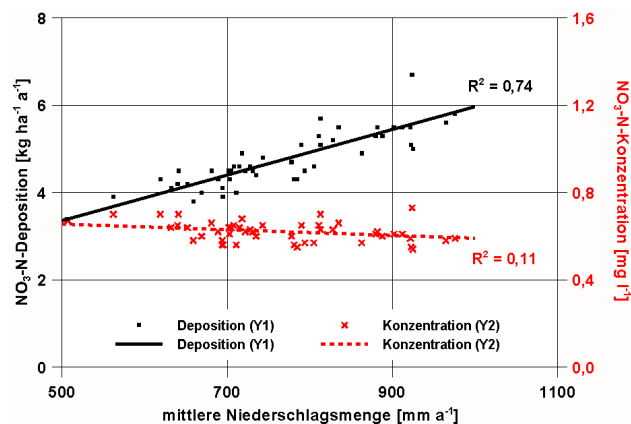


Abbildung 14:
Zusammenhänge zwischen Niederschlagsmengen und $\text{NO}_3\text{-N}$ -Depositionen. Schwarz: Depositionen (linke Achse, Y1); rot: Konzentrationen (rechte Achse, Y2).

Die $\text{NO}_3\text{-N}$ -Depositionen folgen dem zeitlichen Verlauf der Stickstoffoxid-Emissionen aus hohen Quellen. Der Einfluss der Großfeuerungsanlagenverordnung ist deutlich erkennbar, ebenso die gute Einordnung der Messkampagne ins Gesamtgeschehen (Abbildung 15).

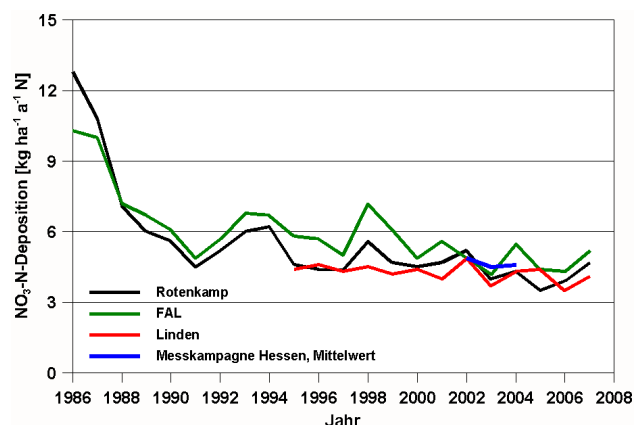


Abbildung 15:
Zur zeitlichen Repräsentativität der Messwerte der $\text{NO}_3\text{-N}$ -Depositionen. Zu weiteren Einzelheiten siehe Abbildung 7.

Beiträge der Bulk-Deposition von Ammonium- und Nitrat-Stickstoff zur Gesamtdeposition von reaktivem Stickstoff

Die N-Einträge mit der Bulk-Deposition sind akzeptor-unabhängige Einträge. Dagegen sind die Einträge aus der trockenen Deposition von Gasen und

nicht-sedimentierenden Stäuben akzeptor-abhängig. Die Stickstoff-Gesamtdeposition liegt in hoher räumlicher Differenzierung aus Modellberechnungen für die Fläche Deutschlands vor. Die Berechnungen erfolgen jährlich im Auftrag des Umweltbundesamtes und werden am Institut für Navigation der Universität Stuttgart zusammengeführt. Die derzeit aktuellen Rechnungen für das Jahr 2004 lassen erkennen, dass den hier im Rahmen der Messkampagne 2002-2004 abgeleiteten mittleren Depositionen von ca. $10 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1} \text{ N}$ (5,6 bzw. $4,7 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1} \text{ N}$ aus der Bulk-Deposition von $\text{NH}_4\text{-N}$ und $\text{NO}_3\text{-N}$) eine mittlere hessische Gesamtdeposition von etwa $28 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1} \text{ N}$ gegenübersteht (vgl. Abb. 16). Der höchste Eintrag wird mit im Mittel $41,5 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1} \text{ N}$ für Nadelwälder berechnet, am geringsten ist der Eintrag mit $11 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1} \text{ N}$ für Wasserflächen (Abbildungen 16 und 17; Gauger, Universität Stuttgart, persönliche Mitteilung).

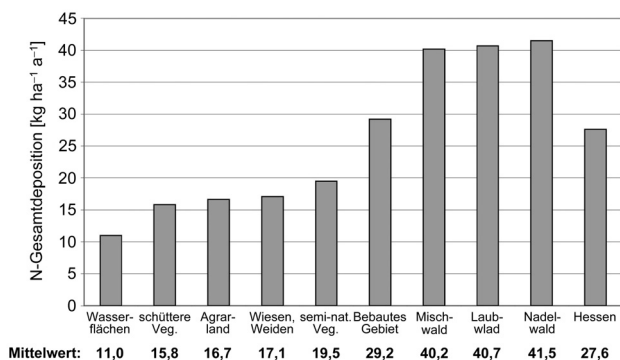


Abbildung 16:
Mittlere Stickstoff-Gesamtdeposition in Hessen 2004 nach Landnutzungsklassen.

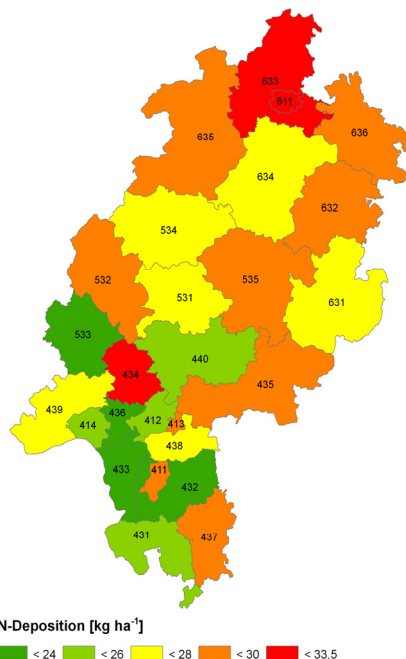


Abbildung 17:
Stickstoff-Gesamtdeposition in Hessen 2004 (Berechnung für Landkreise).

Literatur

Dämmgen, U. (2007): Atmospheric nitrogen dynamics in Hesse, Germany: Creating the data base. 3. Monitoring of atmospheric concentrations of ammonia using passive samplers. *Landbauforschung Volkenrode* **57**, 247-254.

Dämmgen, U., Erisman, J.W., Cape, J.N., Grünhage, L. & Fowler, D. (2005): Practical considerations for addressing uncertainties in monitoring bulk deposition. *Environmental Pollution* **134**, 535-548.

Dämmgen, U., Grünhage, L., Küsters, A. & Jäger, H.-J. (1994): Response of a grassland ecosystem to air pollutants: II - The chemical climate: Fluxes of sedimenting airborne matter. *Environmental Pollution* **85**, 35-42.

Dämmgen, U., Scholz-Seidel, C. & Zimmerling, R. (2000): Die Qualität von Messungen der Bulk-Deposition anorganischer Spezies. *Umweltplanung, Arbeits- und Umweltschutz (Schriftenreihe des Hessischen Landesamtes für Umwelt und Geologie)* **274**, 130-177.

DIN 58666 (1966): *Meteorologische Geräte. Niederschlags-Auffanggerät, 200 cm² Auffangfläche*. Berlin: Beuth.

Grünhage, L., Dämmgen, U., Hertstein, U. & Jäger, H.-J. (1993): Response of grassland ecosystem to air pollutants: I - Experimental concept and site of the Braunschweig Grassland Investigation Program. *Environmental Pollution* **81**, 163-171.

Plessow, K., Spindler, G., Zimmermann, F., Matschullat, J. (2005): Seasonal variations and interactions of N-containing gases and particles over a coniferous forest, Saxony, Germany. *Atmospheric Environment* **39**, 6995-7007.

VDI 4320 Bl. 1 (2010): *Messung atmosphärischer Depositionen. Probenahme mit Bulk- und Wet-Only-Sammlern. Grundlagen*. Berlin: Beuth.

Impressum

Bearbeiter: Dir. u. Prof. Dr. U. Dämmgen (Weddel)
Prof. Dr. L. Grünhage (Uni Gießen)
G. Dörger, Prof. Dr. K. Hanewald (HLUG)

Stand: Mai 2010

Herausgeber:

Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie
Postfach 3209, 65022 Wiesbaden

Telefon: 0611/6939-0

Telefax: 0611/6939-555

Vertrieb: Telefon: 0611/6939-111

Telefax: 0611/6939-113

E-Mail: vertrieb@hlug.hessen.de

Anhang

Tabelle 1:
Messstellen für Bulk-Deposition innerhalb des Projektes

Nr.	Name	Gauss-Krüger-Koordinaten		Ortsbezeichnung	Höhe ü. NN	Korrekturklasse nach Richter (1995)
D01	Viernheim	8° 34' 48.0" E	49° 32' 49.7" N		98 m	VI c
D02	Neckarsteinach	8° 51' 21.2" E	49° 23' 56.2" N		115 m	VI c
D03	Lorch	7° 50' 34.9" E	50° 06' 22.9" N	OT Wollmerschied	443 m	IV b
D04	Eltville	8° 06' 59.4" E	50° 03' 13.1" N	OT Martinsthal	248 m	IV d
D05	Wiesbaden	8° 14' 38.6" E	50° 02' 08.9" N		88 m	VI d
D06	Groß-Gerau	8° 29' 40.1" E	49° 54' 49.9" N		89 m	VI d
D07	Mühltal	8° 42' 12.7" E	49° 48' 13.1" N	OT Waschenbach	225 m	VI c
D08	Brombachtal	8° 55' 10.6" E	49° 43' 59.2" N	OT Hembach	395 m	VI b
D09	Erbach	9° 03' 25.5" E	49° 39' 54.0" N	OT Ernsbach	364 m	VI d
D10	Limburg	8° 05' 20.7" E	50° 26' 31.8" N	OT Ahlbach	245 m	IV b
D11	Selters	8° 19' 07.5" E	50° 21' 35.9" N	OT Haintchen	362 m	IV d
D12	Kleiner Feldberg	8° 26' 51.2" E	50° 13' 22.9" N		822 m	IV b
D13	Bad Vilbel	8° 44' 48.9" E	50° 12' 26.9" N	OT Dortelweil	124 m	VI d
D14	Hanau	9° 00' 07.3" E	50° 08' 02.5" N		112 m	VI d
D15	Niddatal	8° 49' 47.4" E	50° 16' 27.3" N	OT Ilbenstadt	184 m	VI d
D16	Reichelsheim	8° 52' 40.8" E	50° 20' 05.3" N		121 m	VI a
D17	Herborn	8° 21' 36.5" E	50° 42' 36.9" N	OT Seelbach	276 m	IV c
D18	Biebertal	8° 36' 59.9" E	50° 36' 46.7" N	OT Rodheim-Bieber	203 m	IV d
D19	Linden	8° 41' 12.6" E	50° 32' 01.8" N	Steinweg	172 m	VI a
D20	Nidda	9° 00' 08.1" E	50° 25' 04.0" N		195 m	VI c
D21	Kefenrod	9° 12' 32.7" E	50° 20' 49.1" N		265 m	VI c
D22	Bad Soden-Salmünster	9° 25' 57.7" E	50° 16' 06.7" N	OT Alsberg	429 m	IV c
D23	Schotten	9° 05' 47.2" E	50° 28' 54.8" N		239 m	IV b
D24	Schotten	9° 12' 34.2" E	50° 30' 29.7" N	OT Breungeshain	583 m	VI d
D25	Ulrichstein	9° 14' 07.5" E	50° 34' 22.3" N	OT Rebgeshain	588 m	IV c
D26	Lauterbach	9° 21' 41.1" E	50° 36' 37.1" N	OT Frischborn	373 m	IV d
D27	Hatzfeld (Eder)	8° 34' 44.5" E	50° 57' 57.0" N	OT Eifa	424 m	IV d
D28	Cölbe	8° 48' 56.2" E	50° 52' 41.6" N	OT Schönstadt	245 m	VI a
D29	Stadtallendorf	9° 01' 40.4" E	50° 49' 28.5" N		263 m	VI c
D30	Alsfeld	9° 14' 57.4" E	50° 43' 33.0" N	OT Liederbach	292 m	IV d
D31	Wartenberg	9° 28' 24.8" E	50° 36' 44.5" N	OT Landenhausen	288 m	IV d
D32	Fulda	9° 42' 50.2" E	50° 33' 46.1" N		380 m	IV d
D33	Gersfeld	9° 50' 54.2" E	50° 27' 11.6" N	OT Altenfeld	399 m	IV c
D34	Gersfeld	9° 53' 30.4" E	50° 27' 24.6" N		453 m	IV d
D35	Wasserkuppe	9° 56' 16.7" E	50° 29' 57.7" N		942 m	IV b
D36	Hilders	9° 55' 52.1" E	50° 31' 44.7" N	OT Dietges	582 m	IV d
D37	Ehrenberg (Rhön)	10° 00' 39.9" E	50° 29' 20.2" N	OT Wüstensachsen	660 m	IV a
D38	Vöhl	8° 52' 58.0" E	51° 14' 16.1" N	OT Dorffitter	348 m	IV d
D39	Edertal	9° 05' 59.8" E	51° 09' 56.8" N	OT Mehlen	196 m	IV c
D40	Borken	9° 16' 42.7" E	51° 04' 51.8" N		225 m	IV d
D41	Knüllwald	9° 31' 35.5" E	50° 59' 22.7" N	OT Nausis	352 m	IV c
D42	Bad Hersfeld	9° 41' 11.3" E	50° 50' 55.1" N	OT Eichhof	201 m	IV a
D43	Hohenroda	9° 56' 16.6" E	50° 48' 52.2" N	OT Glaam	349 m	IV c
D44	Breuna	9° 10' 40.7" E	51° 27' 14.1" N	OT Wettelingen	232 m	IV d
D45	Calden	9° 22' 52.2" E	51° 24' 20.9" N		265 m	IV d
D46	Kassel	9° 28' 53.6" E	51° 18' 07.4" N		145 m	IV d
D47	Grossalmerode	9° 46' 32.5" E	51° 17' 38.5" N		594 m	IV d
D48	Wehretal	9° 59' 42.0" E	51° 09' 30.0" N	OT Reichensachsen	175 m	IV d
D49	Herleshausen	10° 10' 56.2" E	51° 02' 03.1" N	OT Willershausen	314 m	IV c
D50	Wahlsburg	9° 33' 03.3" E	51° 37' 12.2" N	OT Lippoldsberg	107 m	IV d
D51	Königstein	8° 26' 16.6" E	50° 12' 01.6" N	Naturfreundehaus	520 m	IV d
D52	Königstein	8° 25' 45.3" E	50° 12' 02.6" N	Turm 28 m	548 m	IV b
D53	Gießen	8° 42' 58.8" E	50° 33' 26.4" N	Schiffenberg	198 m	VI d