

TEXTE

67/2014

Genfer Luftreinhalte- konvention der UNECE: Literaturstudie zu Messungen der Ammoniak- Depositionsgeschwindig- keit

TEXTE 67/2014

Projektnummer 29965
UBA-FB 001964

Genfer Luftreinhaltekonvention der UNECE: Literaturstudie zu Messungen der Ammoniak-Depositionsgeschwindigkeit

von


Frederik Schrader, Christian Brümmer
Thünen-Institut für Agrarklimaschutz, Braunschweig

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

Impressum

Herausgeber:

Umweltbundesamt
Wörlitzer Platz 1
06844 Dessau-Roßlau
Tel: +49 340-2103-0
Fax: +49 340-2103-2285
info@umweltbundesamt.de
Internet: www.umweltbundesamt.de

 /umweltbundesamt.de

 /umweltbundesamt

Durchführung der Studie:

Thünen-Institut für Agrarklimaschutz
Bundesallee 50, 38116 Braunschweig

Abschlussdatum:

2013

Redaktion:

Fachgebiet II 4.3 Luftreinhaltung und terrestrische Ökosysteme
Dr. Jakob Frommer

Publikationen als pdf:

<http://www.umweltbundesamt.de/publikationen/genfer-luftreinhaltekonzvention-der-unece>

ISSN 1862-4804

Dessau-Roßlau, September 2014

Das diesem Bericht zu Grunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit unter der Projektnummer 29965 gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autorinnen und Autoren.

Kurzbeschreibung

Die Depositionsgeschwindigkeit reaktiver Spurengase und Aerosole ist eine fundamentale Eingangsgröße für eine Vielzahl von Depositionsmodellen. Wenngleich es sich dabei um eine starke konzeptionelle Vereinfachung mit bekannten Schwächen – insbesondere im Hinblick auf bidirektionale Austauschflüsse – handelt, so ist sie dennoch für die flächenhafte Modellierung mit limitierter messtechnischer Datengrundlage ein derzeit nahezu alternativloser Modellparameter. Traditionell finden zu diesem Zweck in Deutschland Referenzwerte aus der VDI-Richtlinie 3782 Blatt 5 aus dem Jahr 2006 Anwendung. In den vergangenen Jahren gab es jedoch wichtige methodische Weiterentwicklungen sowie eine steigende Anzahl internationaler Großmesskampagnen. Ziel der vorliegenden Studie ist daher eine Literaturrecherche aktueller Messungen zur Depositionsgeschwindigkeit von Ammoniak (NH_3). Auf Basis von insgesamt 46 einzelnen Quellen, die überwiegend in den Jahren 2004-2013 veröffentlicht wurden, sind nach objektiven Qualitätskriterien gewichtete Mittelwerte und, als robustere Statistik, Mediane der NH_3 -Depositionsgeschwindigkeit für die drei Landnutzungsklassen „Wald“, „Semi-natürlich“ und „Sonstige“ errechnet worden. Die auf der vorliegenden Recherche basierenden gewichteten Mittelwerte sind sowohl für die Kategorie Wald ($1,7 \text{ cm s}^{-1}$) als auch für Grünland (Kategorie „Semi-natürlich“: $1,0 \text{ cm s}^{-1}$) etwas niedriger als die aus der oben genannten VDI-Richtlinie bekannten Werte von $2,0 \text{ cm s}^{-1}$ für Wald und $1,5 \text{ cm s}^{-1}$ für Grünland. Zur weiteren Differenzierung, beispielsweise in Laub- und Nadelwald, wurden darüber hinaus aus den drei Hauptkategorien insgesamt acht Unterklassen gebildet. Um ein möglichst realistisches Bild regionaler und landesweiter Depositionsraten zu bekommen, wird eine Differenzierung in diese Unterklassen vorgenommen, da teilweise erhebliche Unterschiede innerhalb einer Hauptklasse beobachtet wurden.

Abstract

The deposition velocity of atmospheric trace gases and aerosols is a fundamental input variable for a variety of deposition models. Although the concept of a single average deposition velocity is a strong simplification with known shortcomings – especially with regard to bi-directional exchange fluxes – it is a trade-off still widely used in regional modelling of deposition fluxes. In Germany, reference parameter values for ammonia (NH_3) and other species are often taken from the VDI guideline 3872 part 5, published in 2006. However, methodological and technological advancements, and the increasing number of international observational networks, raise the demand for an up-to-date overview of recent publications on measurements of NH_3 deposition velocities. For this purpose, observations from a total of 46 individual studies were averaged using an objective weighing scheme and were classified into three main categories, i.e. ‘forest’, ‘semi-natural’, and ‘other’ as well as (in total) eight sub-categories based on their respective land-use type. Weighted averages based on the present literature research were considerably lower than those values published in the above mentioned VDI guideline (1.7 cm s^{-1} compared to 2.0 cm s^{-1} for ‘forest’ and 1.0 cm s^{-1} compared to 1.5 cm s^{-1} for ‘grassland’). As significant ranges within the three main classes were observed, further differentiation in sub-categories is recommended.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis.....	7
Tabellenverzeichnis.....	8
1 Einleitung	9
2 Methoden und Vorgehensweise	10
2.1 Recherche	10
2.2 Methoden zur Bestimmung der Ammoniak-Depositionsgeschwindigkeit.....	10
2.3 Auswertung	13
3 Ergebnisse	15
3.1 Verteilung der verwendeten Literatur nach Landnutzungsklassen.....	15
3.2 Häufigkeitsverteilungen aller v_{d,NH_3} Einzelwerte nach Landnutzungsklassen	16
3.3 Gemittelte NH_3 -Depositionsgeschwindigkeiten nach Landnutzungsklassen	19
4 Zusammenfassende Diskussion und Ausblick	21
5 Im Text zitierte sowie für die Auswertung verwendete Literatur	23
6 Anhang.....	28

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Verteilung aller nutzbaren v_{d,NH_3} -Einzelwerte ($n=73$) aus 46 herangezogenen Studien in 3 grobe Landnutzungsklassen.	15
Abbildung 2:	Verteilung aller nutzbaren v_{d,NH_3} -Einzelwerte ($n = 73$) aus 46 herangezogenen Studien in näher spezifizierte Landnutzungsklassen (NW: Nadelwald; LW: Laubwald; MW: Mischwald; S: Sonstige; U: Urban; W: Wasser; A: Agrar).	16
Abbildung 3:	Häufigkeitsverteilung der v_{d,NH_3} -Einzelwerte ($n = 73$) klassifiziert in Schrittweiten von 1 cm s^{-1}	17
Abbildung 4:	Häufigkeitsverteilung der v_{d,NH_3} -Einzelwerte in der Kategorie A (Wald) aufgeteilt in Laub-, Nadel- und Mischwald klassifiziert in Schrittweiten von 1 cm s^{-1}	17
Abbildung 5:	Häufigkeitsverteilung der v_{d,NH_3} -Einzelwerte in der Kategorie B (Semi-natürlich) klassifiziert in Schrittweiten von $0,25 \text{ cm s}^{-1}$	18
Abbildung 6:	Häufigkeitsverteilung der v_{d,NH_3} -Einzelwerte in der Kategorie C (Sonstige) klassifiziert in Schrittweiten von 1 cm s^{-1}	18
Abbildung 7:	Boxplot der NH_3 -Depositionsgeschwindigkeiten für die drei Hauptlandnutzungsklassen. Mediane und gewichtete Mittel sind als rote Linien bzw. als schwarze Punkte dargestellt. Die Box entspricht dem Bereich, in dem die mittleren 50 % der Daten liegen und wird durch das obere und untere Quartil begrenzt. Die Länge der Box entspricht dem Interquartilsabstand. Die Länge der sogenannten „Whisker“ (schwarze Querbalken) entspricht dem 1,5-fachen Interquartilsabstand.	19
Abbildung 8:	Boxplot der NH_3 -Depositionsgeschwindigkeiten für alle betrachteten Landnutzungsklassen. Mediane und gewichtete Mittel sind als rote Linien bzw. als schwarze Punkte dargestellt. Die Box entspricht dem Bereich, in dem die mittleren 50 % der Daten liegen und wird durch das obere und untere Quartil begrenzt. Die Länge der Box entspricht dem Interquartilsabstand. Die Länge der sogenannten „Whisker“ (schwarze Querbalken) entspricht dem 1,5-fachen Interquartilsabstand.	20

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Qualitätskriterien und mögliche Wertausprägung.	14
Tabelle 2:	Gewichtete Mittelwerte, Mediane und Anzahl der eingegangenen Studien in den jeweiligen Landnutzungsklassen.	21
Tabelle 3:	Auflistung der verwendeten Quellen getrennt nach Landnutzungsklassen. Bei der Depositionsgeschwindigkeit und dem Belastungsniveau bezeichnet μ den Mittelwert und σ die Streuung (vgl. Kapitel 4). Fett markierte Werte sind Bestandteil der Berechnung von Median und gewichtetem Mittel. ^a Nicht in Berechnung mit einbezogen, da Neyrinck et al. (2005), Neyrinck et al. (2007) und Neyrinck & Ceulemans (2008) auf derselben Datengrundlage basieren. ^b Mit NH ₃ begast. ^c Alle Angaben Transfargeschwindigkeiten, keine Depositionsgeschwindigkeiten. ^d Min./Max. über Hintergrundkonzentration. ^e Mittlere Hintergrundkonzentration. ^f Unterschiedliche Landnutzungsklassen, aber nur ein Ergebnis angegeben.	29

1 Einleitung

Die vorliegende Studie umfasst eine Recherche der in erster Linie in den vergangenen zehn Jahren (>2003) erschienenen Literatur zum Themenkomplex der Ammoniak (NH_3)-Depositionsgeschwindigkeit (v_d). Die seit vielen Jahrzehnten stattfindende Intensivierung der Landwirtschaft (Erhöhung der Tierhaltungszahlen, Ausbringung von organischem und mineralischem Dünger) sowie steigendes Verkehrsaufkommen, erfordern eine regelmäßige Aktualisierung der landnutzungsabhängigen Werte der NH_3 -Depositionsgeschwindigkeit. Diese stellt insbesondere bei der lokalen Modellierung der Schadstoffbelastung terrestrischer Ökosysteme eine fundamentale Eingangsgröße dar. Mit ihr können in vereinfachter Weise aus den an Umweltbeobachtungstationen gemessenen NH_3 -Konzentrationen ($c_{\text{NH}_3, \text{ZR}}$) mittlere Depositionsflüsse (F_{NH_3}) errechnet werden. Die Bestimmung und Darstellung des atmosphärischen Eintrags von NH_3 erhält gerade im Hinblick auf die Beurteilung von Eutrophierung und Versauerung empfindlicher Ökosystemtypen eine bedeutende Rolle.

Die Verwendung von NH_3 -Depositionsgeschwindigkeiten stellt eine starke Abstrahierung des Zusammenhangs zwischen bodennaher NH_3 -Konzentration und des dazugehörigen Depositionsflusses dar, welche jedoch für die flächenhafte Abbildung der atmosphärischen NH_3 -Einträge unausweichlich erscheint. Gründe für die Komplexität dieses Zusammenhangs ist die extrem hohe Reaktivität des Gases, welche sich u.a. durch starke Wasserlöslichkeit, Feinstaubbildung in Form von Ammoniumnitrat-Partikeln (NH_4NO_3) in Anwesenheit von Salpetersäure (HNO_3), bidirektionale Transportwege aufgrund bestandesabhängiger NH_3 -Kompensationspunkte, nicht-stomatärer Eintragspfade sowie durch die Kodeposition von NH_3 und Schwefeldioxid (SO_2) auszeichnet. All diese Prozesse und Charakteristika werden in den – meist nach repräsentativen Landnutzungstypen unterschiedenen – Werten für die NH_3 -Depositionsgeschwindigkeit zusammengefasst. In Deutschland beruhen derzeit Modellierungen zur NH_3 -Belastung bzw. des NH_3 -Eintrags in erster Linie auf den in der VDI-Richtlinie 3782 Blatt 5 genannten Werten ($v_{d, \text{Gras}} = 1,5 \text{ cm s}^{-1}$, $v_{d, \text{Wald}} = 2,0 \text{ cm s}^{-1}$), welche wiederum auf einer Literaturstudie basieren, die vor über zehn Jahren erstellt wurde.

Ziel der vorliegenden Studie ist es daher, eine aktuelle Zusammenschau der NH_3 -Depositionsgeschwindigkeiten bereitzustellen. Diese werden in einer generalisierten Form als gewichtete (Jahres-)Mittelwerte und Mediane für verschiedene Landnutzungstypen angegeben. Beginnend mit einer Beschreibung der Vorgehensweise bei der Recherche sowie einer Zusammenstellung der Methoden zur Bestimmung der NH_3 -Depositionsgeschwindigkeit und der Auswertekriterien, werden anschließend die Ergebnisse aufgeführt und vor dem Hintergrund der Zuverlässigkeit und Belastbarkeit diskutiert. Den zentralen Punkt bildet hier eine Arbeitstabelle (Tab. 3 im Anhang) mit allen aufgeführten und in die Auswertung eingegangenen Studien, welche nach einem sechsstufigen Schema bewertet wurden und somit gewichtet in die finalen Werte der aktualisierten NH_3 -Depositionsgeschwindigkeiten eingeflossen sind. Diese sind in einer Tabelle (Tab. 2 in Kapitel 4) zusammengefasst und bilden den Abschluss der vorliegenden Studie.

2 Methoden und Vorgehensweise

2.1 Recherche

Die Literatursuche wurde nach einem mehrstufigen Schema durchgeführt: Zunächst wurde eine Datenbankabfrage mit dem Suchbegriffen „ammonia“ + „deposition“ + „veloc*“ auf der Internet-Plattform Thomson Reuters – Web of Knowledge (<http://apps.webofknowledge.com/>) generiert. Für deutschsprachige Literatur wurde mangels Einträgen in der oben genannten Datenbank auf die bibliographische Suchmaschine Google Scholar (<http://scholar.google.de/>) mit den Stichworten „Ammoniak“ + „Depositionsgeschw*“ zurückgegriffen. Zusätzlich wurden die Suchergebnisse auf Veröffentlichungen ab dem Jahr 2004 beschränkt.

Insgesamt ergab diese erste Suche 90 englischsprachige und 20 deutschsprachige Ergebnisse. Diese wurden anschließend nach offensichtlich unpassenden und/oder fachfremden Artikeln gefiltert (z.B. wenn nur Depositionsgeschwindigkeiten anderer reaktiver Gase behandelt wurden). Weiter verwendet wurden solche Aufsätze, die entweder eine direkte Angabe gemessener, modellierter oder recherchierter Depositionsgeschwindigkeiten, oder eine Angabe von Depositionsflüssen und zugehöriger NH_3 -Konzentrationen beinhalteten, aus denen sich die Depositionsgeschwindigkeit durch Gleichung (1) errechnen ließ. Nicht beachtet wurden folglich solche Artikel, in denen beispielsweise lediglich das Konzept einer Depositionsgeschwindigkeit und dessen Schwächen (insbesondere im Hinblick auf bidirektionalen Austausch) diskutiert und davon ausgehend alternative Ansätze betrachtet wurden.

Darüber hinaus wurden weitere Quellen berücksichtigt, die in den bis hierhin recherchierten Studien referenziert wurden. In Ausnahmefällen, die den Autoren als besonders relevant erschienen, waren diese auch älteren Datums (bis zurück ins Jahr 1998). Dieser Schritt wurde iterativ durchgeführt, d.h. wenn in einer wie beschrieben ermittelten Quelle weitere relevante Artikel zitiert wurden, so wurden auch diese begutachtet.

Abschließend konnten so 46 Quellen weiter verwendet werden, davon 42 ab 2004 oder jünger. Zwei Arbeiten wurden nicht in einem internationalen, begutachteten Fachblatt veröffentlicht (beides deutschsprachige Arbeiten) und eine Arbeit wird in naher Zukunft erstmals zur Veröffentlichung eingereicht. Da es sich bei einigen Quellen um Datensynthesen großer Messkampagnen (z.B. Flechard et al., 2011) oder Literaturstudien (z.B. Staelens et al., 2012) handelte, aus denen repräsentative Mittelwerte für verschiedene Landnutzungsklassen extrahiert wurden sowie in vielen Artikeln Vergleiche mit weiteren Messungen angestellt worden sind, hat sich daher die Gesamtzahl der in die Mittelwertbildung eingehenden Einzelwerte auf 73 erhöht.

2.2 Methoden zur Bestimmung der Ammoniak-Depositionsgeschwindigkeit

Die NH_3 -Depositionsgeschwindigkeit stellt den Proportionalitätsfaktor zwischen dem Depositionsfluss F_{NH_3} und der atmosphärischen NH_3 -Konzentration c_{NH_3, z_R} auf einer Referenzhöhe (z_R) dar. Sie wird demnach nicht direkt gemessen, sondern aus den gemessenen NH_3 -Konzentrationen und den je nach Messmethode bestimmten Depositionsfluss mit der Gleichung

$$v_{d, \text{NH}_3} = \frac{F_{\text{NH}_3}}{c_{\text{NH}_3, z_R}} \quad (1)$$

errechnet. Die in den Studien dieser Recherche angewendeten Messverfahren sind im Folgenden kurz aufgeführt und erläutert. Ergänzt bzw. kombiniert werden Konzentrationsmessungen häufig mit inferentieller Modellierung, um eine Abschätzung des Depositionsflusses zu bestimmen. Dieser Modellansatz beruht auf dem sogenannten „Big Leaf Multiple Resistance Approach“ (Hicks et al., 1987; Wesely and Hicks, 2000), bei dem in Analogie zum Ohmschen Widerstandsgesetz der Fluss durch das Verhältnis von Konzentration auf einer Höhe und dem Widerstand gegen die Deposition zum Grund angegeben wird. Dieser Widerstand setzt sich in der Regel aus den drei individuellen Widerständen R_a (atmosphärischer Widerstand), R_b (Widerstand der quasi-laminaren Zwischenschicht) und R_c (Oberflächenwiderstand von Pflanzen und Boden) zusammen. Eine detaillierte Beschreibung dieses Ansatzes findet sich Flechard et al. (2011; 2013).

Aerodynamische Gradientenmethode (AGM)

Bei der Anwendung dieser Methode wird der turbulente vertikale Transport in Richtung einer Oberfläche (bzw. von dieser entfernt) in Anlehnung an das 1. Ficksche Gesetz als Produkt des turbulenten Diffusionskoeffizienten (K_H) und dem vertikalen Konzentrationsgradienten ($\partial c / \partial z$) bestimmt.

$$F_{\text{NH}_3} = -K_H(u_*, z, L) \cdot \frac{\partial c}{\partial z} \quad (2)$$

Der turbulente Diffusionskoeffizient für fühlbare Wärme umfasst sowohl die mechanische Turbulenz – ausgedrückt durch die Schubspannungsgeschwindigkeit u_* – als auch die thermale Turbulenz, welche durch die thermische Stabilität der Atmosphäre – ausgedrückt durch z/L – induziert wird und daher eine Funktion der Höhe z und der atmosphärischen Stabilität, parametrisiert durch die Obukhov-Länge L , ist.

Aus praktischen Gründen wird die Fluss-Gradient-Beziehung gewöhnlich nicht in der differentiellen (Gleichung (2)), sondern in der integralen Form zwischen zwei Messhöhen z_1 und z_2 angewendet (Gleichung ((3)). Entsprechend berechnet sich der Fluss aus der Differenz der Konzentrationen, $\Delta c = c_1 - c_2$, auf den beiden Messhöhen z_1 und z_2 .

$$F_{\text{NH}_3} = - \frac{u_* \kappa}{\ln\left(\frac{z_2}{z_1}\right) - \psi_H\left(\frac{z_2}{L}\right) + \psi_H\left(\frac{z_1}{L}\right)} \cdot \Delta c \quad (3)$$

Die von Karman-Konstante wird durch $\kappa = 0,4$ beschrieben, ψ_H umfasst die integrierte Stabilitätskorrekturfunktion für fühlbare Wärme, welche der für Spurenverbindungen gleicht. Der linke Term auf der rechten Seite von Gleichung (3) wird häufig als Transfargeschwindigkeit bezeichnet und repräsentiert den inversen Widerstand des turbulenten Transports zwischen den beiden Höhen z_1 und z_2 . Näheres zur AGM findet sich u.a. in Ammann (1998), Foken (2006), Neirynck et al. (2005) und Wolff et al. (2010).

Eddy Kovarianz (EC) und Relaxed Eddy Accumulation (REA)

Das Eddy Kovarianz-Verfahren erlaubt die direkte Messung des Spurengasaustauschs (ebenso des Energie- und Wasserdampfaustauschs) zwischen der Landoberfläche und der bodennahen Atmosphäre. Diese mesoskalige Methode beruht auf der Annahme, dass der Gasaustausch durch räumlich begrenzte Luftwirbel, den sogenannten Eddies, beschrieben werden kann.

Grundvoraussetzung ist die schnelle Messung ($f < 1$ s) der Turbulenz mit einem Ultraschallanemometer sowie der gesuchten Gaskonzentration. Der vertikale Fluss wird nach Anwendung spezifischer Korrekturen und Annahmen (siehe Aubinet et al., 2000; Burba, 2013) vereinfacht durch die Kovarianz der momentanen vertikalen Windgeschwindigkeit w und der Gaskonzentration c auf einer Referenzhöhe berechnet.

$$F_{\text{NH}_3} = \sum_{i=1}^n [w(t) - \bar{w}] \cdot [c(t) - \bar{c}] \quad (4)$$

Dabei beschreiben $w(t)$ und $c(t)$ die momentanen Werte der vertikalen Windgeschwindigkeit und der Gaskonzentration sowie \bar{w} und \bar{c} die jeweiligen Mittelwerte (meist von 30 Minuten).

Im Gegensatz dazu basiert das Relaxed Eddy Accumulation-Verfahren auf dem Zusammenhang zwischen Fluss und der Differenz der Spurengaskonzentration von aufwärts und abwärts gerichteten Luftpaketen. Dies erfordert ein schnelles Umschalten zwischen der Erfassung von Aufwärts- und Abwärtsbewegungen der Luftwirbel, jedoch nur eine relativ geringe zeitliche Auflösung bei der Konzentrationsmessung des Spurengases.

$$F_{\text{NH}_3} = \beta \sigma_w (c \uparrow - c \downarrow) \quad (5)$$

Dabei sind $c \uparrow$ und $c \downarrow$ die durchschnittlichen Konzentrationen der aufwärts bzw. abwärts gerichteten Luftwirbel, σ_w die Standardabweichung der vertikalen Windgeschwindigkeit aus den hochfrequenten Messungen von w und β ein dimensionsloser empirischer Parameter (siehe Pattey et al., 1993; Hensen et al., 2009).

Kammer-Methode

Kammermessungen zur Bestimmung der NH_3 -Depositionsgeschwindigkeit stellen eher eine Ausnahme dar. Jones et al. (2007) nutzen ein dynamisches Kammer-System zur Simulation verschiedener NH_3 -Konzentrationsstufen an repräsentativen Pflanzenarten und berechnen den Fluss innerhalb der Kammer aus der Differenz zwischen NH_3 -Konzentration am Eingang und am Ausgang der Kammer sowie der Flussrate durch die Kammer und der durch die Vegetation bedeckten Fläche.

$$F_{\text{NH}_3} = - \frac{(c_{\text{in}} - c_{\text{out}}) \cdot f}{A} \quad (6)$$

Dabei sind c_{in} und c_{out} die NH_3 -Konzentrationen am Eingang bzw. am Ausgang der Kammer, f die Durchflussrate und A die durch Vegetation bedeckte Fläche.

Biomonitoring mittels Isotopenverdünnung

Bei Anwendungen des Biomonitorings mittels Isotopenverdünnung wird in der Regel der atmosphärische Stickstoff-Gesamteintrag bestimmt, wobei der NH_3 -Anteil nicht direkt, sondern nur über Umwege ermittelt werden kann. Beispiele hierfür liefern Anwendungen des ITNI (Integrated Total Nitrogen Input)-Verfahrens (z.B. Russow und Weigel, 2000; Russow und Böhme, 2005; Tauchnitz et al., 2010; Weigel et al., 2000) oder experimentell ähnliche Studien wie die von Sommer et al. (2009). Letztgenannte Autoren haben durch verschiedene

Standortwahlen der Vegetationsgefäße (luvseitig emittententfern bzw. leeseitig emittentennah), Differenzen in diesen dem NH_3 -Anteil zugewiesen, so dass eine v_d für NH_3 – wenn auch mit hohen Unsicherheiten behaftet – abgeleitet werden konnte. Generell werden bei diesem Verfahren ^{15}N -markierte Pflanzen auf N-freiem Quarzsand in Vegetationsgefäßen angezogen, die über ein geschlossenes Bewässerungssystem mit einer Nährlösung versorgt werden. Dadurch wird sichergestellt, dass jeglicher N-Eintrag, der über die Verdünnung des ^{15}N -Pools während der Expositionszeit berechnet wird, durch die Atmosphäre erfolgt.

2.3 Auswertung

Im überwiegenden Teil der hier betrachteten Studien wurde die Depositionsgeschwindigkeit direkt im Text oder tabellarisch angegeben. War dies nicht der Fall, so wurde sie entweder durch Gleichung (1) aus Depositionsfluss- und Konzentrationsangaben berechnet, oder – eher seltener – ein Wertebereich aus Grafiken abgelesen. In Fällen, in denen nur eine Bandbreite der ermittelten Depositionsgeschwindigkeiten angegeben wurde oder grafisch ermittelt werden konnte, wurde der Mittelpunkt dieser Bandbreite für die weitere Auswertung verwendet. Bei Datensynthesen und Literaturstudien wurde der Mittelwert einer Landnutzungs-kategorie einfach gewichtet übernommen.

Die Ergebnisse wurden in die drei übergeordneten Landnutzungs-klassen eingeordnet. Dies waren A: Wald, B: Semi-natürlich und C: Sonstige, wobei die Kategorie A weiterhin in die Klassen A (MW): Mischwald, A (NW): Nadelwald, sowie A (LW): Laubwald und die Kategorie C in die Klassen C (U): Urbane Flächen, C (W): Wasserflächen, C (A): Agrarflächen und C (S): Sonstige unterteilt wurde. Zur Aggregierung wurden pro Landnutzungs-kategorie zwei Statistiken berechnet: Der Median der jeweiligen Landnutzungs-kategorie, sowie ein gewichtetes Mittel. Letzteres ergab sich aus einer Einschätzung der Datenqualität Q_i einer Studie i , sowie der dort angegebenen Depositionsgeschwindigkeit $v_{d,i}$, gemäß Gleichung (7):

$$\overline{v_d} = \frac{\sum_{i=1}^{n_{\text{LNK}}} (Q_i \cdot v_{d,i})}{\sum_{i=1}^{n_{\text{LNK}}} Q_i} \quad (7)$$

Dabei bezeichnet n_{LNK} die Anzahl Einzelwerte pro Landnutzungs-kategorie und $\overline{v_d}$ die für diese Landnutzungs-kategorie repräsentative mittlere Depositionsgeschwindigkeit.

Die Einschätzung der Datenqualität basierte auf den folgenden sechs Kriterien:

1. Repräsentativität R : Messkampagnen, die an einem für Deutschland repräsentativen Standort durchgeführt wurden, erhielten hier die Einzelbewertung 1, ansonsten 0.
2. Methodik M : Reine Modellstudien ohne zugrundeliegende Messungen erhielten das Gewicht 0, Literaturstudien und durch Messdaten gestützte Modellergebnisse 0,5 und direkte Messungen von Depositionsflüssen das Gewicht 1.
3. Unsicherheiten U : Gewicht 1, wenn zusätzlich zu einer mittleren Depositionsgeschwindigkeit Unsicherheiten (unerheblich ob relativ, als Streuung oder durch eine Bandbreite) angegeben wurden, ansonsten 0. Ebenfalls 0, wenn Depositionsgeschwindigkeiten durch die Autoren der vorliegenden Studie aus Flüssen und Konzentrationen berechnet oder grafisch abgelesen werden mussten.
4. Art der Publikation P : Begutachtete Beiträge (peer-reviewed) erhielten das Gewicht 1, sonstige 0.

5. Jahreszeiten J : Für jede abgedeckte Jahreszeit erhielt eine Studie 0,25 Punkte.
6. Zeitliche Abdeckung A : Bis drei Wochen pro Jahreszeit 0,25, bis sechs Wochen 0,5, bis 9 Wochen 0,75 und darüber hinaus 1 Punkt, ungeachtet der Anzahl abgedeckter Jahreszeiten.

Die Summe der somit vergebenen Punkte wurde für jede Studie durch

$$Q_i = R_i + M_i + U_i + P_i + J_i + A_i \quad (8)$$

aufaddiert und floss so in die Berechnung des gewichteten Mittels (Gleichung (7)) ein.

Tabelle 1 gibt einen Überblick über die genannten Qualitätskriterien. An dieser Stelle sei explizit darauf hingewiesen, dass diese keine Einschätzung über die Qualität der Artikel im Allgemeinen widerspiegelt, sondern lediglich deren Eignung für eine Verwendung in dieser Arbeit.

Tabelle 1: Qualitätskriterien und mögliche Werteausprägung.

Kriterium	Bewertung		
	Minimal	Abstufung	Maximal
Repräsentativität	0	-	1
Methodik	0	0.5	1
Unsicherheiten	0	-	1
Publikationstyp	0	-	1
Jahreszeiten	0.25	0.25	1
Zeitliche Abdeckung	0.25	0.25	1
Gesamt	0.5	-	6

3 Ergebnisse

3.1 Verteilung der verwendeten Literatur nach Landnutzungsklassen

Insgesamt konnten aus 46 Studien belastbare Informationen zur NH_3 -Depositionsgeschwindigkeit herangezogen werden. Diese Studien enthielten teilweise Messkampagnen bzw. Modellstudien, die parallel oder zeitlich versetzt über mehreren verschiedenen Landnutzungen durchgeführt worden sind. Aus den o.g. 46 Studien sind insgesamt 73 verwendbare v_{d,NH_3} -Einzelwerte mit in die Auswertung eingeflossen. In die einzelnen groben Landnutzungsklassen verfielen 19 in die Kategorie A (Wald), 19 in die Kategorie B (Semi-natürlich) und 35 in die Kategorie C (Sonstige) (siehe Abb. 1). Eine weitere Aufspaltung dieser Hauptkategorien ist in Abb. 2 dargestellt. Dabei fällt auf, dass in der Waldkategorie die Anzahl der Studien von Nadelwald über Laubwald hin zu Mischwald abnimmt und die Kategorie C (Sonstige) eindeutig von den Agrarstandorten dominiert wird.

Abbildung 1: Verteilung aller nutzbaren v_{d,NH_3} -Einzelwerte ($n=73$) aus 46 herangezogenen Studien in 3 grobe Landnutzungsklassen.

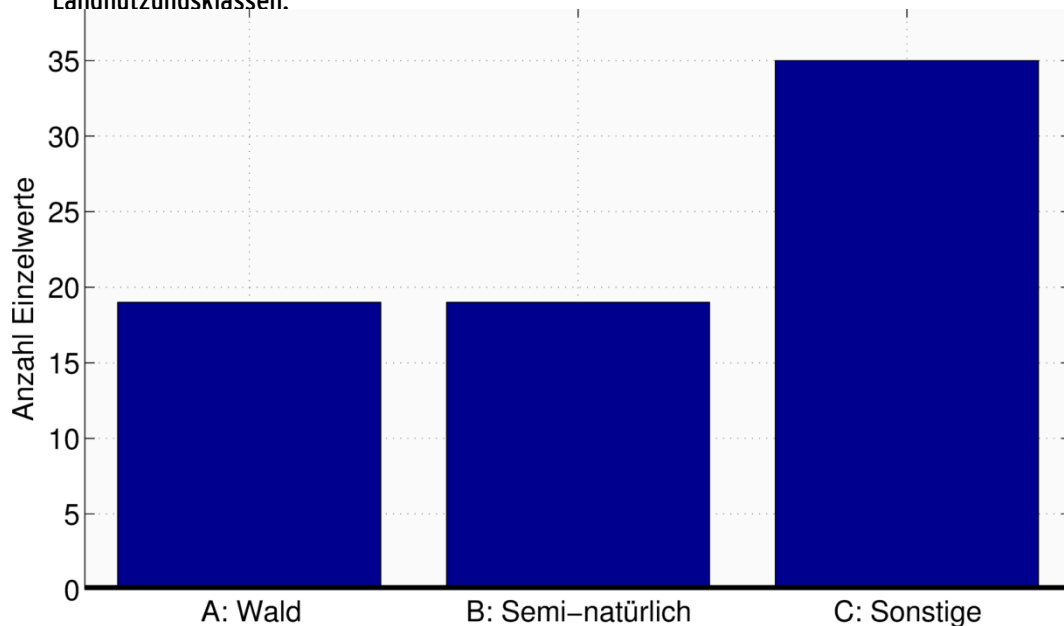
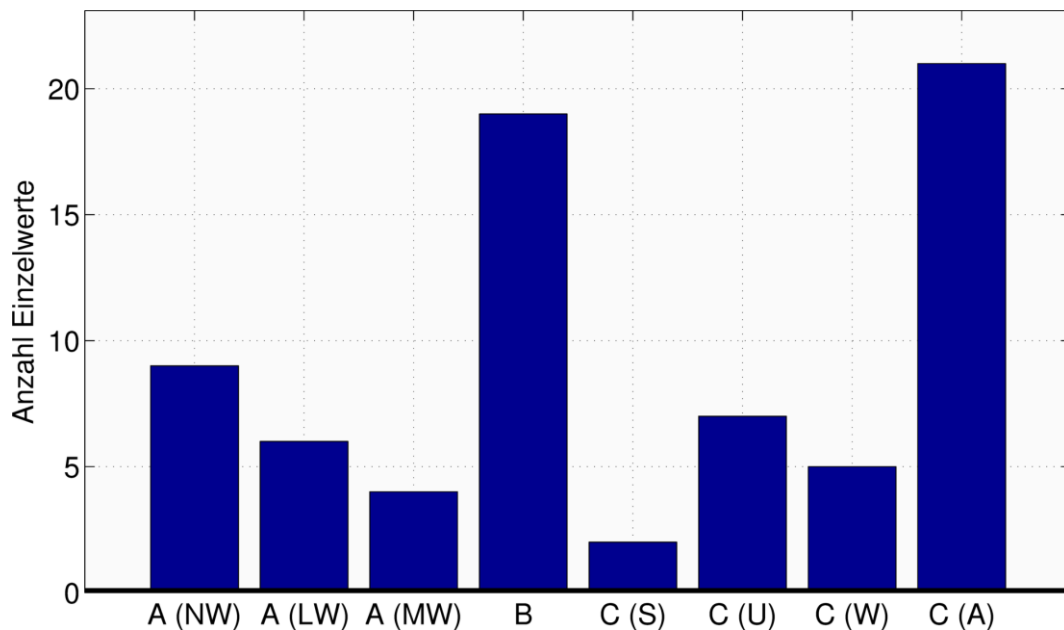


Abbildung 2: Verteilung aller nutzbaren v_{d,NH_3} -Einzelwerte ($n = 73$) aus 46 herangezogenen Studien in näher spezifizierte Landnutzungsklassen (NW: Nadelwald; LW: Laubwald; MW: Mischwald; S: Sonstige; U: Urban; W: Wasser; A: Agrar).



3.2 Häufigkeitsverteilungen aller v_{d,NH_3} Einzelwerte nach Landnutzungsklassen

Histogramme der v_{d,NH_3} -Einzelwerte nach Landnutzungsklassen sind in Abb. 3 dargestellt. Hierbei zeigt sich in der Waldkategorie eine relativ breite und annähernd gleichverteilte Streuung bis $v_d = 3 \text{ cm s}^{-1}$. Zieht man die Histogramme aus den näher spezifizierten Landnutzungsklassen heran, wird deutlich, dass die niedrigeren v_d -Werte eher aus den Laub- und Mischwaldstudien stammen und v_d -Werte zwischen 2 und 3 cm s^{-1} eher aus den Nadelwaldstudien herausgefiltert werden konnten (vgl. Abb. 4).

Annähernd gleichverteilt sind ebenfalls die v_d -Werte der Kategorie B (Semi-natürlich) bei einer Betrachtung der Klassifizierung in v_d -Klassen mit der Schrittweite 1 cm s^{-1} . Wird die Schrittweite in $0,25 \text{ cm s}^{-1}$ weiter verfeinert, zeigen sich 2 Maxima bei $0,50$ bis $0,75 \text{ cm s}^{-1}$ sowie bei $1,00$ bis $1,25 \text{ cm s}^{-1}$ (Abb. 5).

In der Kategorie C (Sonstige Landnutzungen) dominiert eindeutig der Wertebereich $<1 \text{ cm s}^{-1}$ (Abb. 3 und Abb. 6). Überraschend hohe Depositionsgeschwindigkeiten von $>7 \text{ cm s}^{-1}$ sind ausschließlich an den Agrarstandorten gefunden worden (Abb. 6). Hierbei spielt die Nähe zu Viehhaltungsanlagen (Baek et al., 2006) bzw. Messzeiträume im Anschluss an Düngerapplikationen (Meyers et al., 2006) eine entscheidende Rolle.

Abbildung 3: Häufigkeitsverteilung der v_{d,NH_3} -Einzelwerte ($n = 73$) klassifiziert in Schrittweiten von 1 cm s^{-1} .

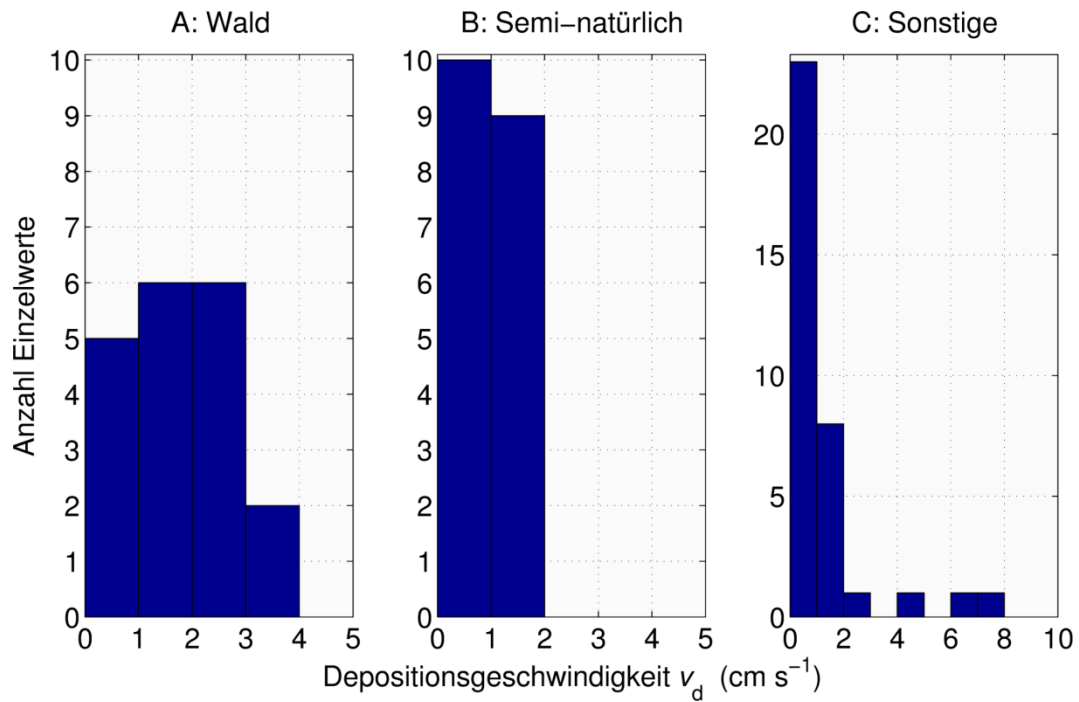


Abbildung 4: Häufigkeitsverteilung der v_{d,NH_3} -Einzelwerte in der Kategorie A (Wald) aufgeteilt in Laub-, Nadel- und Mischwald klassifiziert in Schrittweiten von 1 cm s^{-1} .

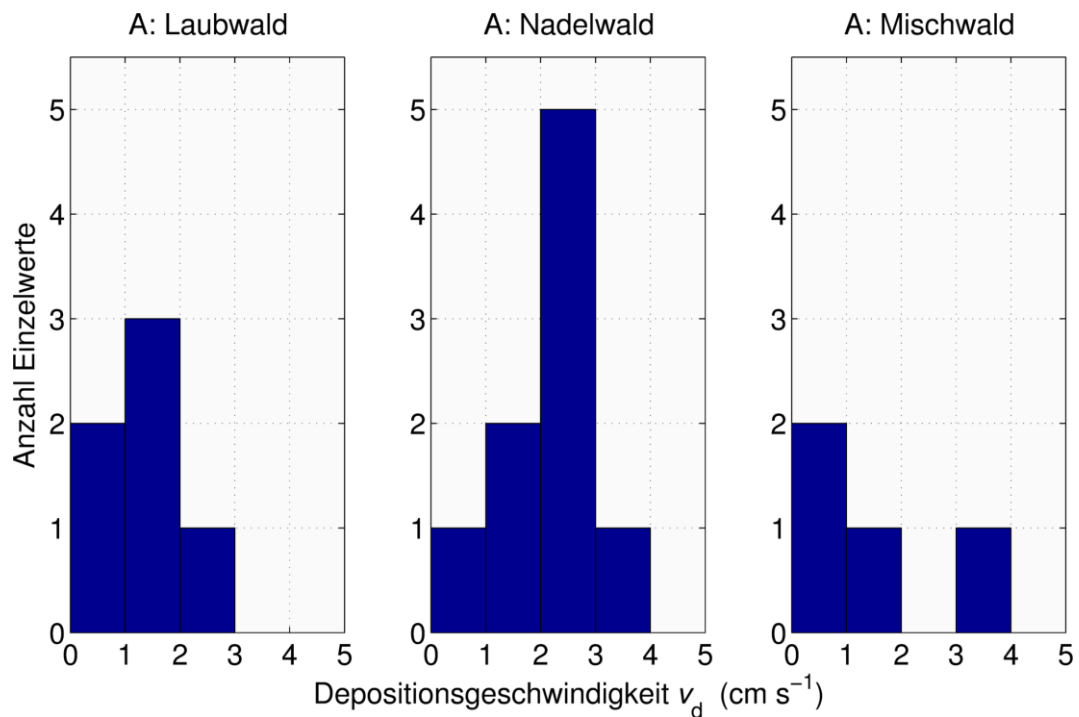


Abbildung 5: Häufigkeitsverteilung der v_{d,NH_3} -Einzelwerte in der Kategorie B (Semi-natürlich) klassifiziert in Schrittweiten von $0,25 \text{ cm s}^{-1}$.

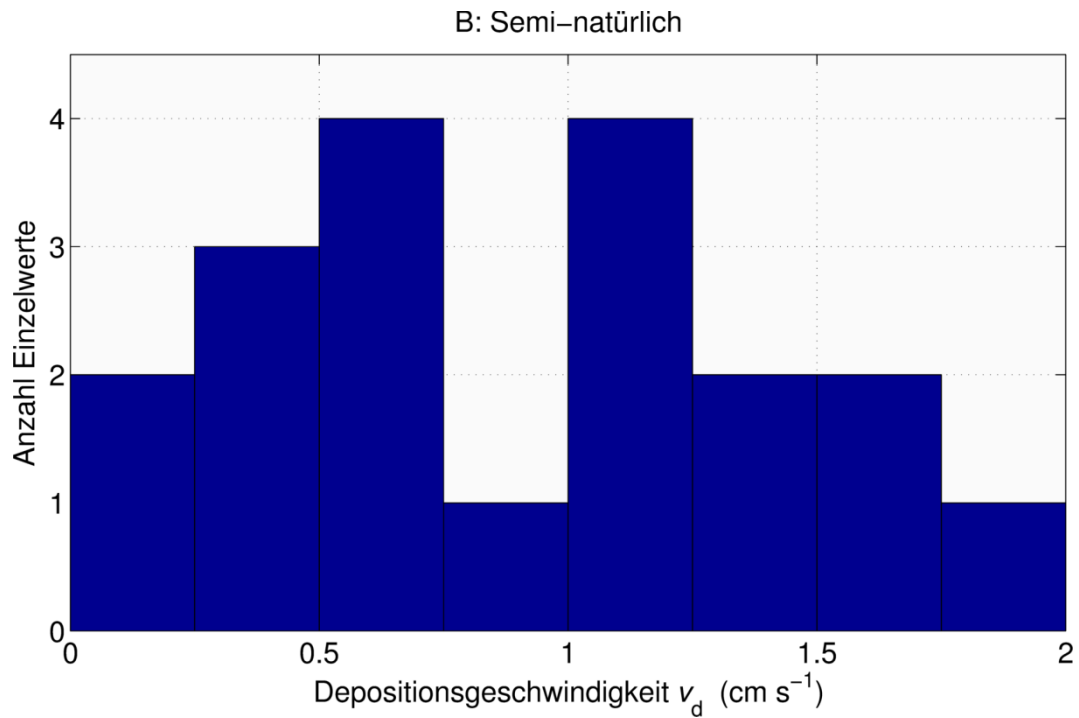
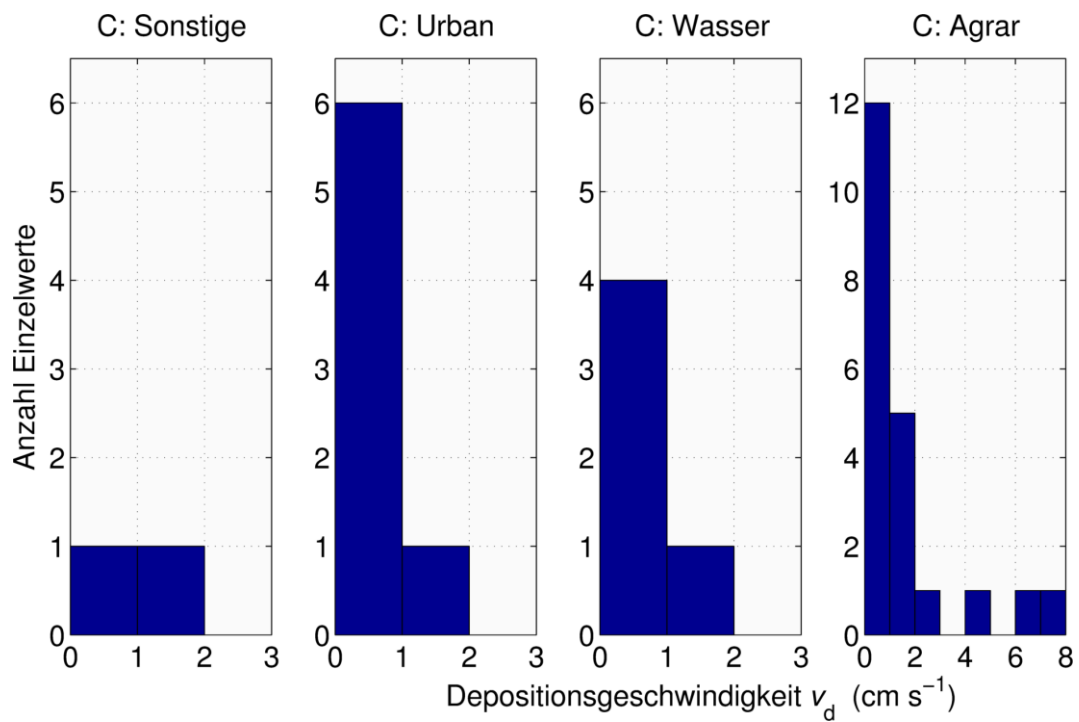


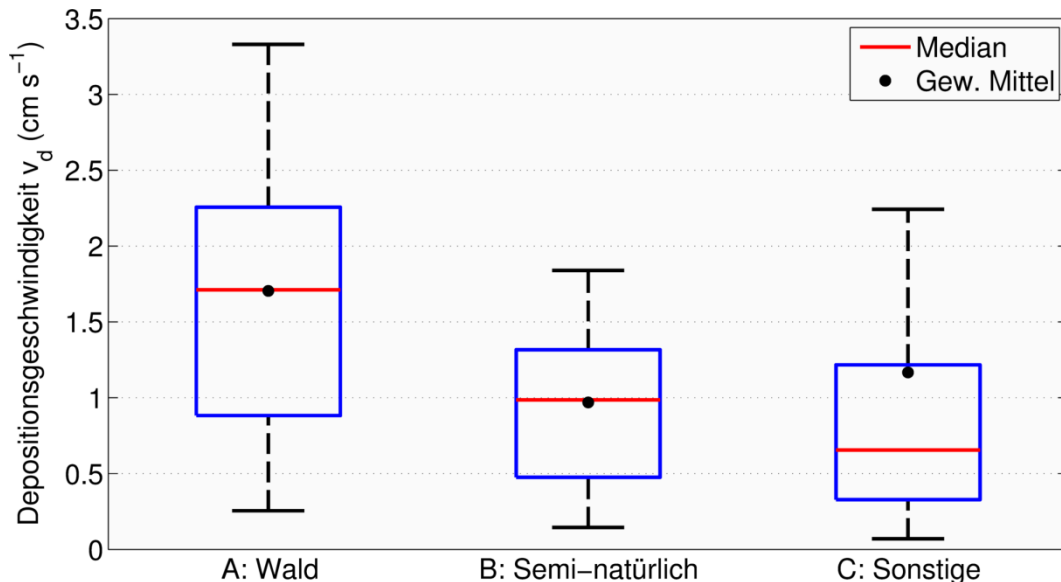
Abbildung 6: Häufigkeitsverteilung der v_{d,NH_3} -Einzelwerte in der Kategorie C (Sonstige) klassifiziert in Schrittweiten von 1 cm s^{-1} .



3.3 Gemittelte NH_3 -Depositionsgeschwindigkeiten nach Landnutzungsklassen

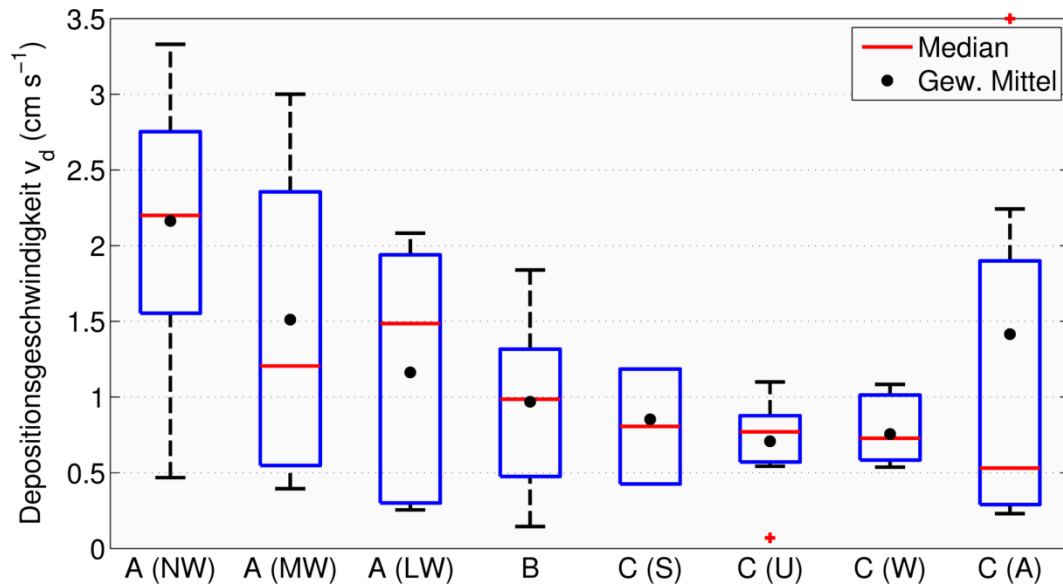
Die aus dem in Kapitel 2.3 beschriebenen Gewichtungsverfahren hervorgehenden Mittelwerte sowie die Mediane der drei Hauptlandnutzungsklassen können den Boxplots in Abb. 7 entnommen werden. Hier zeigt sich ein aus vorangegangenen Studien erwartetes Bild, bei dem die Mediane von der Klasse mit der höchsten Oberflächenrauigkeit (Wald; Median = $1,7 \text{ cm s}^{-1}$) hin zur Klasse mit der durchschnittlich geringsten Oberflächenrauigkeit (Sonstige; Median = $0,7 \text{ cm s}^{-1}$) absinken. Kategorie B (Semi-natürlich) bildet hier die Mittelklasse mit einem Median von $1,0 \text{ cm s}^{-1}$. Das Muster der gewichteten Mittelwerte weicht hiervon etwas ab. Das höchste gewichtete Mittel weist wieder die Waldkategorie auf ($1,7 \text{ cm s}^{-1}$), diesmal gefolgt von der Kategorie C (Sonstige; gewichteter Mittelwert = $1,2 \text{ cm s}^{-1}$) und dann von der Kategorie B (Semi-natürlich; $1,0 \text{ cm s}^{-1}$).

Abbildung 7: Boxplot der NH_3 -Depositionsgeschwindigkeiten für die drei Hauptlandnutzungsklassen. Mediane und gewichtete Mittel sind als rote Linien bzw. als schwarze Punkte dargestellt. Die Box entspricht dem Bereich, in dem die mittleren 50 % der Daten liegen und wird durch das obere und untere Quartil begrenzt. Die Länge der Box entspricht dem Interquartilsabstand. Die Länge der sogenannten „Whisker“ (schwarze Querbalken) entspricht dem 1,5-fachen Interquartilsabstand.



Werden die Hauptlandnutzungsklassen noch weiter unterteilt (Abb. 8), ergibt sich bei den Medianen die Abstufung Nadelwald ($2,2 \text{ cm s}^{-1}$), Laubwald ($1,5 \text{ cm s}^{-1}$), Mischwald ($1,2 \text{ cm s}^{-1}$), Kategorie B (Semi-natürlich; $1,0 \text{ cm s}^{-1}$), Urbane Flächen und Sonstige ($0,8 \text{ cm s}^{-1}$), Wasserflächen ($0,7 \text{ cm s}^{-1}$) hin zu den Agrarflächen ($0,5 \text{ cm s}^{-1}$). Die Abstufung der gewichteten Mittelwerte erfolgt in etwa demselben Muster, wobei es in der Kategorie C (Agrarflächen) zu einer hohen Diskrepanz zwischen Median und gewichtetem Mittelwert kommt (Mittelwert = $1,4 \text{ cm s}^{-1}$; Median = $0,5 \text{ cm s}^{-1}$). Hierbei spielen die oben genannten Studien von Baek et al. (2006) und Meyers et al. (2006) eine entscheidende Rolle, da diese Messkampagnen in der Nähe von Viehhaltungsanlagen bzw. im Anschluss an Düngerapplikationen stattgefunden haben.

Abbildung 8: Boxplot der NH_3 -Depositionsgeschwindigkeiten für alle betrachteten Landnutzungsklassen. Mediane und gewichtete Mittel sind als rote Linien bzw. als schwarze Punkte dargestellt. Die Box entspricht dem Bereich, in dem die mittleren 50 % der Daten liegen und wird durch das obere und untere Quartil begrenzt. Die Länge der Box entspricht dem Interquartilsabstand. Die Länge der sogenannten „Whisker“ (schwarze Querbalken) entspricht dem 1,5-fachen Interquartilsabstand. Ausreißer sind durch rote Kreuze gekennzeichnet.



4 Zusammenfassende Diskussion und Ausblick

Es wurde eine Studie der jüngeren Fachliteratur zum Thema Depositionsgeschwindigkeiten von Ammoniak in Abhängigkeit von der spezifischen Landnutzung der jeweiligen Messstandorte durchgeführt. Insgesamt flossen 46 Studien in eine nach Qualitätskriterien und Repräsentativität gewichtete Mittelwertbildung ein, davon 44 in internationalen, begutachteten Fachmagazinen veröffentlicht. Im Vergleich mit den in der VDI Richtlinie 3782, Blatt 5 genannten Referenzwerten ($1,5 \text{ cm s}^{-1}$ für Grasland, $2,0 \text{ cm s}^{-1}$ für Wälder) fielen die daraus errechneten Mittelwerte ($1,7 \text{ cm s}^{-1}$ für Wald bzw. $1,0 \text{ cm s}^{-1}$ für semi-natürliche Standorte inkl. Grasland; Mediane identisch) etwas geringer aus.

Tabelle 2: Gewichtete Mittelwerte, Mediane und Anzahl der eingegangenen Studien in den jeweiligen Landnutzungsklassen.

Landnutzungs- klasse	Depositionsgeschwindigkeit v_d (cm s^{-1})		Anzahl Einzelwerte
	Gew. Mittel	Median	
A: Nadelwald	2,2	2,2	9
A: Laubwald	1,2	1,5	6
A: Mischwald	1,5	1,2	4
A: Gesamt	1,7	1,7	19
B: Semi-natürlich	1,0	1,0	19
C: Wasser	0,8	0,7	5
C: Urban	0,7	0,8	7
C: Agrar	1,4	0,5	21
C: Sonstige	0,9	0,8	2
C: Gesamt	1,2	0,7	35

Negativ zu bemerken bleibt der Umstand, dass in bemerkenswert vielen Studien versäumt wurde, wichtige Angaben zu den Randbedingungen der jeweiligen Messkampagnen zu machen. So wurde nur selten explizit eine Referenzhöhe anstelle einer reinen Angabe der Messhöhe(n) genannt, wodurch eine tiefergehende Untersuchung einer Referenzhöhenabhängigkeit der Depositionsgeschwindigkeit im Rahmen dieser Studie nicht möglich war. Ebenfalls auffällig war ein zum Teil recht nachlässiger Umgang mit Mess- und Modellunsicherheiten. Häufig wurden entweder gar keine Unsicherheiten angegeben, diese auf Basis von Experteneinschätzungen anstelle einer rigorosen Fehlerrechnung abgeschätzt, oder es wurde zwar eine Streubreite angegeben, diese jedoch nicht näher definiert. In Einzelfällen wurden manche Kenngrößen (Depositionsgeschwindigkeit, Belastungsniveau) überhaupt nicht im Text genannt und konnten nur grafisch abgelesen werden.

Obwohl diese Umstände durch eine Herabsetzung der entsprechenden Gewichte in der Mittelwertbildung berücksichtigt wurden, können diese v_d -Werte insbesondere bei stark vom Durchschnitt abweichenden Depositionsgeschwindigkeiten das Gesamtergebnis deutlich verzerren. Ähnliches gilt für Studien, die zwar methodisch durchaus als positiv zu bewerten sind, aber nichtdestotrotz stark über- oder unterdurchschnittlich hohe Depositionsgeschwindigkeiten nennen. Zum Vergleich sei daher auf die bewusste Angabe des

Medians als robustere (aber ungewichtete) Statistik in Abb. 7 und 8 sowie Tab. 2 hingewiesen, welcher insbesondere bei den Agrarflächen deutlich vom gewichteten Mittel abweicht. Aufgrund der hohen Streubreite, insbesondere derjenigen innerhalb der drei groben Landnutzungskategorien, wird eine Differenzierung in die vorgeschlagenen Unterklassen (siehe Tab. 2) vorgenommen.

Der vorliegenden Recherche liegt eine relativ hohe Anzahl an Studien zugrunde, bei denen die Depositionsflüsse mittels inferentieller Modellierung bestimmt wurden. Dieser Trend liegt in der bezüglich Kosten und Arbeitsaufwand extrem aufwändigen Feldmessung von NH_3 bzw. generell von reaktiven N-Verbindungen begründet. Es wird jedoch auch in Zukunft von hoher Bedeutung sein, den Biosphäre-Atmosphäre-Austausch der zu untersuchenden Spurengase und Partikel an repräsentativen als auch an speziellen Standorten durch Messkampagnen zu quantifizieren, um belastbare Eingangsparameter für regionale Modelle ableiten zu können. Durch große technische Fortschritte – insbesondere im Bereich der auf Absorptionsspektroskopie basierenden Quanten-Kaskaden-Lasertechnologie – ist vermutlich mit einem Anstieg neuer Messstudien in naher Zukunft zu rechnen. Die schnelle Ansprechzeit der neuen Generation von Gasanalysatoren erlaubt eine Anwendung im Rahmen von Eddy-Kovarianz-Messungen, so dass Betriebskosten minimal gehalten und kontinuierliche Zeitreihen über längere Zeiträume aufgezeichnet werden können.

5 Im Text zitierte sowie für die Auswertung verwendete Literatur

- Ammann, C. (1998). On the applicability of relaxed eddy accumulation and common methods for measuring trace gas fluxes, Geographisches Institut Eidgenössische Technische Hochschule.
- Anatolaki, C. and R. Tsitouridou (2007). "Atmospheric deposition of nitrogen, sulfur and chloride in Thessaloniki, Greece." *Atmospheric Research* 85(3-4): 413-428.
- Andersen, H. V., M. F. Hovmand, P. Hummelshøj and N. O. Jensen (1999). "Measurements of ammonia concentrations, fluxes and dry deposition velocities to a spruce forest 1991-1995." *Atmospheric Environment* 33(9): 1367-1383.
- Aubinet, M., A. Grelle, A. Ibrom, U. Rannik, J. Moncrieff, T. Foken, A. S. Kowalski, P. H. Martin, P. Berbigier, C. Bernhofer, R. Clement, J. Elbers, A. Granier, T. Grunwald, K. Morgenstern, K. Pilegaard, C. Rebmann, W. Snijders, R. Valentini and T. Vesala (2000). "Estimates of the annual net carbon and water exchange of forests: The EUROFLUX methodology." *Advances in Ecological Research*, Vol 30 30: 113-175.
- Baek, B. H., R. Todd, N. A. Cole and J. A. Koziel (2006). "Ammonia and hydrogen sulphide flux and dry deposition velocity estimates using vertical gradient method at a commercial beef cattle feedlot." *International Journal of Global Environmental Issues* 6(2/3): 189-203.
- Bajwa, K. S., S. P. Arya and V. P. Aneja (2008). "Modeling studies of ammonia dispersion and dry deposition at some hog farms in North Carolina." *Journal of the Air & Waste Management Association* 58(9): 1198-1207.
- Benedict, K. B., C. M. Carrico, S. M. Kreidenweis, B. Schichtel, W. C. Malm and J. L. Collett, Jr. (2013). "A seasonal nitrogen deposition budget for Rocky Mountain National Park." *Ecological Applications* 23(5): 1156-1169.
- Biswas, H., A. Chatterjee, S. K. Mukhopadhyaya, T. K. De, S. Sen and T. K. Jana (2005). "Estimation of ammonia exchange at the land-ocean boundary condition of Sundarban mangrove, northeast coast of Bay of Bengal, India." *Atmospheric Environment* 39(25): 4489-4499.
- Builtjes, P., E. Hendriks, M. Koenen, M. Schaap, S. Banzhaf, A. Kerschbaumer, T. Gauger, H. Nagel, T. Scheuschner and A. Schlutow (2011). "Erfassung, Prognose und Bewertung von Stoffeinträgen und ihren Wirkungen in Deutschland–Zusammenfassender Abschlussbericht." Umweltbundesamt. Appendix 11.
- Burba, G. (2013). *Eddy Covariance Method for Scientific, Industrial, Agricultural and Regulatory Applications: A Field Book on Measuring Ecosystem Gas Exchange and Areal Emission Rates*, LI-COR Biosciences.
- Cape, J. N., M. R. Jones, I. D. Leith, L. J. Sheppard, N. van Dijk, M. A. Sutton and D. Fowler (2008). "Estimate of annual NH₃ dry deposition to a fumigated ombrotrophic bog using concentration-dependent deposition velocities." *Atmospheric Environment* 42(27): 6637-6646.
- Cui, J., J. Zhou and H. Yang (2010). "Atmospheric inorganic nitrogen in dry deposition to a typical red soil agro-ecosystem in southeastern China." *J Environ Monit* 12(6): 1287-1294.
- Cui, J., J. Zhou, H. Yang, Y. Peng, Y. He and A. Chan (2011). "Atmospheric NO₂ and NH₃ deposition into a typical agro-ecosystem in Southeast China." *J Environ Monit* 13(11): 3216-3221.

- Delon, C., C. Galy-Lacaux, M. Adon, C. Liousse, D. Serca, B. Diop and A. Akpo (2012). "Nitrogen compounds emission and deposition in West African ecosystems: comparison between wet and dry savanna." *Biogeosciences* 9(1): 385-402.
- Endo, T., H. Yagoh, K. Sato, K. Matsuda, K. Hayashi, I. Noguchi and K. Sawada (2011). "Regional characteristics of dry deposition of sulfur and nitrogen compounds at EANET sites in Japan from 2003 to 2008." *Atmospheric Environment* 45(6): 1259-1267.
- Fan, J. L., Z. Y. Hu, T. J. Wang, J. Zhou, C. Y. Wu and X. Xia (2009). "Atmospheric inorganic nitrogen deposition to a typical red soil forestland in southeastern China." *Environ Monit Assess* 159(1-4): 241-253.
- Flechard, C. R. and D. Fowler (1998). "Atmospheric ammonia at a moorland site. II: Long-term surface-atmosphere micrometeorological flux measurements." *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society* 124(547): 759-791.
- Flechard, C. R., R. S. Massad, B. Loubet, E. Personne, D. Simpson, J. O. Bash, E. J. Cooter, E. Nemitz and M. A. Sutton (2013). "Advances in understanding, models and parameterizations of biosphere-atmosphere ammonia exchange." *Biogeosciences* 10(7): 5183-5225.
- Flechard, C. R., E. Nemitz, R. I. Smith, D. Fowler, A. T. Vermeulen, A. Bleeker, J. W. Erisman, D. Simpson, L. Zhang, Y. S. Tang and M. A. Sutton (2011). "Dry deposition of reactive nitrogen to European ecosystems: a comparison of inferential models across the NitroEurope network." *Atmospheric Chemistry and Physics* 11(6): 2703-2728.
- Foken, T. (2006). *Angewandte Meteorologie: Mikrometeorologische Methoden*, Springer DE.
- Hayashi, K., K. Ono, T. Tokida, T. Takimoto, M. Mano, A. Miyata and K. Matsuda (2012). "Atmosphere-rice paddy exchanges of inorganic particles and relevant gases during a week in winter and a week in summer." *Journal of Agricultural Meteorology* 68(1): 55-68.
- Hayashi, K. and X. Y. Yan (2010). "Airborne nitrogen load in Japanese and Chinese agroecosystems." *Soil Science and Plant Nutrition* 56(1): 2-18.
- Hensen, A., E. Nemitz, M. J. Flynn, A. Blatter, S. K. Jones, L. L. Sorensen, B. Hensen, S. C. Pryor, B. Jensen, R. P. Otjes, J. Cobussen, B. Loubet, J. W. Erisman, M. W. Gallagher, A. Neftel and M. A. Sutton (2009). "Inter-comparison of ammonia fluxes obtained using the Relaxed Eddy Accumulation technique." *Biogeosciences* 6(11): 2575-2588.
- Hicks, B. B., D. D. Baldocchi, T. P. Meyers, R. P. Hosker and D. R. Matt (1987). "A Preliminary Multiple Resistance Routine for Deriving Dry Deposition Velocities from Measured Quantities." *Water Air and Soil Pollution* 36(3-4): 311-330.
- Hole, L. R., S. H. Brunner, J. E. Hanssen and L. Zhang (2008). "Low cost measurements of nitrogen and sulphur dry deposition velocities at a semi-alpine site: gradient measurements and a comparison with deposition model estimates." *Environ Pollut* 154(3): 473-481.
- Horvath, L., M. Asztalos, E. Fuhrer, R. Meszaros and T. Weidinger (2005). "Measurement of ammonia exchange over grassland in the Hungarian Great Plain." *Agricultural and Forest Meteorology* 130(3-4): 282-298.
- Hurkuck, M., C. Brümmer, K. Mohr, U. Dämmgen, L. Grünhage, H. Flessa and W. Kutsch (in prep). "Peatland atmospheric nitrogen deposition in a intensively managed agricultural landscape." in prep.
- Jones, M. R., I. D. Leith, D. Fowler, J. A. Raven, M. A. Sutton, E. Nemitz, J. N. Cape, L. J. Sheppard, R. I. Smith and M. R. Theobald (2007). "Concentration-dependent NH₃ deposition processes for mixed moorland semi-natural vegetation." *Atmospheric Environment* 41(10): 2049-2060.

- Katata, G., K. Hayashi, K. Ono, H. Nagai, A. Miyata and M. Mano (2013). "Coupling atmospheric ammonia exchange process over a rice paddy field with a multi-layer atmosphere-soil-vegetation model." *Agricultural and Forest Meteorology* 180: 1-21.
- Kirchner, M., G. Jakobi, E. Felcht, M. Bernhardt and A. Fischer (2005). "Elevated NH₃ and NO₂ air concentrations and nitrogen deposition rates in the vicinity of a highway in Southern Bavaria." *Atmospheric Environment* 39(25): 4531-4542.
- Loubet, B., P. Laville, S. Lehuger, E. Larmanou, C. Flechard, N. Mascher, S. Genermont, R. Roche, R. M. Ferrara, P. Stella, E. Personne, B. Durand, C. Decuq, D. Flura, S. Masson, O. Fanucci, J. N. Rampon, J. Siemens, R. Kindler, B. Gabrielle, M. Schrumpf and P. Cellier (2011). "Carbon, nitrogen and Greenhouse gases budgets over a four years crop rotation in northern France." *Plant and Soil* 343(1-2): 109-137.
- Meyers, T. P., W. T. Luke and J. J. Meisinger (2006). "Fluxes of ammonia and sulfate over maize using relaxed eddy accumulation." *Agricultural and Forest Meteorology* 136(3-4): 203-213.
- Milford, C., M. R. Theobald, E. Nemitz, K. J. Hargreaves, L. Horvath, J. Raso, U. Dammgen, A. Neftel, S. K. Jones, A. Hensen, B. Loubet, P. Cellier and M. A. Sutton (2009). "Ammonia fluxes in relation to cutting and fertilization of an intensively managed grassland derived from an inter-comparison of gradient measurements." *Biogeosciences* 6(5): 819-834.
- Mohr, K., H. Meesenburg, B. Horváth, K. Meixes, S. Schaf and U. Dämmgen (2005). Bestimmung von Ammoniak-Einträgen aus der Luft und deren Wirkungen auf Waldökosysteme, UFOPLAN.
- Myles, L., J. Kochendorfer, M. W. Heuer and T. P. Meyers (2011). "Measurement of trace gas fluxes over an unfertilized agricultural field using the flux-gradient technique." *J Environ Qual* 40(5): 1359-1365.
- Myles, L., T. P. Meyers and L. Robinson (2007). "Relaxed eddy accumulation measurements of ammonia, nitric acid, sulfur dioxide and particulate sulfate dry deposition near Tampa, FL, USA." *Environmental Research Letters* 2(3): 034004.
- Neiryneck, J. and R. Ceulemans (2008). "Bidirectional ammonia exchange above a mixed coniferous forest." *Environ Pollut* 154(3): 424-438.
- Neiryneck, J., A. S. Kowalski, A. Carrara and R. Ceulemans (2005). "Driving forces for ammonia fluxes over mixed forest subjected to high deposition loads." *Atmospheric Environment* 39(28): 5013-5024.
- Neiryneck, J., A. S. Kowalski, A. Carrara, G. Genouw, P. Berghmans and R. Ceulemans (2007). "Fluxes of oxidised and reduced nitrogen above a mixed coniferous forest exposed to various nitrogen emission sources." *Environ Pollut* 149(1): 31-43.
- Nemitz, E., M. A. Sutton, G. P. Wyers and P. A. C. Jongejan (2004). "Gas-particle interactions above a Dutch heathland: I. Surface exchange fluxes of NH₃, SO₂, HNO₃ and HCl." *Atmospheric Chemistry and Physics* 4: 989-1005.
- Pan, Y. P., Y. S. Wang, G. Q. Tang and D. Wu (2012). "Wet and dry deposition of atmospheric nitrogen at ten sites in Northern China." *Atmospheric Chemistry and Physics* 12(14): 6515-6535.
- Phillips, S. B., S. P. Arya and V. P. Aneja (2004). "Ammonia flux and dry deposition velocity from near-surface concentration gradient measurements over a grass surface in North Carolina." *Atmospheric Environment* 38(21): 3469-3480.

- Poor, N., C. Pollman, P. Tate, M. Begum, M. Evans and S. Campbell (2006). "Nature and magnitude of atmospheric fluxes of total inorganic nitrogen and other inorganic species to the Tampa Bay watershed, FL, USA." *Water Air and Soil Pollution* 170(1-4): 267-283.
- Russow, R. and F. Bohme (2005). "Determination of the total nitrogen deposition by the N-15 isotope dilution method and problems in extrapolating results to field scale." *Geoderma* 127(1-2): 62-70.
- Russow, R. and A. Weigel (2000). "Atmogener N-Eintrag in Boden und Pflanze am Standort Bad Lauchstädt: Ergebnisse aus ¹⁵N-Gestützten direktmessungen (ITNI-System) im Vergleich zur indirekten Quantifizierung aus N-Bilanzen des Statischen Dauerdüngungsversuches." *Archives of Agronomy and Soil Science* 45(5): 399-416.
- Smith, A. M., W. C. Keene, J. R. Maben, A. A. P. Pszenny, E. Fischer and A. Stohl (2007). "Ammonia sources, transport, transformation, and deposition in coastal New England during summer." *Journal of Geophysical Research-Atmospheres* 112(D10).
- Sommer, S. G., H. S. Ostergard, P. Lofstrom, H. V. Andersen and L. S. Jensen (2009). "Validation of model calculation of ammonia deposition in the neighbourhood of a poultry farm using measured NH₃ concentrations and N deposition." *Atmospheric Environment* 43(4): 915-920.
- Staelens, J., K. Wuyts, S. Adriaenssens, P. Van Avermaet, H. Buysse, B. Van den Bril, E. Roekens, J. P. Ottoy, K. Verheyen, O. Thas and E. Deschepper (2012). "Trends in atmospheric nitrogen and sulphur deposition in northern Belgium." *Atmospheric Environment* 49: 186-196.
- Sutton, M. A., E. Nemitz, C. Milford, D. Fowler, J. Moreno, R. San Jose, G. P. Wyers, R. P. Otjes, R. Harrison, S. Husted and J. K. Schjoerring (2000). "Micrometeorological measurements of net ammonia fluxes over oilseed rape during two vegetation periods." *Agricultural and Forest Meteorology* 105(4): 351-369.
- Tauchnitz, N., R. Meissner, S. Bernsdorf and U. Wegener (2010). "Nitrogen Fluxes of a Slope Mire in the German Harz Mountains." *Water Air and Soil Pollution* 205(1-4): 107-112.
- Trebs, I., L. L. Lara, L. M. M. Zeri, L. V. Gatti, P. Artaxo, R. Dlugi, J. Slanina, M. O. Andreae and F. X. Meixner (2006). "Dry and wet deposition of inorganic nitrogen compounds to a tropical pasture site (Rondonia, Brazil)." *Atmospheric Chemistry and Physics* 6: 447-469.
- Weigel, A., R. Russow and M. Korschens (2000). "Quantification of airborne N-input in long-term field experiments and its validation through measurements using N-15 isotope dilution." *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 163(3): 261-265.
- Wesely, M. L. and B. B. Hicks (2000). "A review of the current status of knowledge on dry deposition." *Atmospheric Environment* 34(12-14): 2261-2282.
- Wolff, V., I. Trebs, C. Ammann and F. X. Meixner (2010). "Aerodynamic gradient measurements of the NH₃-HNO₃-NH₄NO₃ triad using a wet chemical instrument: an analysis of precision requirements and flux errors." *Atmospheric Measurement Techniques* 3(1): 187-208.
- Wyers, G. P. and J. W. Erisman (1998). "Ammonia exchange over coniferous forest." *Atmospheric Environment* 32(3): 441-451.
- Yang, R., K. Hayashi, B. Zhu, F. Li and X. Yan (2010). "Atmospheric NH₃ and NO₂ concentration and nitrogen deposition in an agricultural catchment of Eastern China." *Sci Total Environ* 408(20): 4624-4632.
- Zhang, L., R. Vet, J. M. O'Brien, C. Mihele, Z. Liang and A. Wiebe (2009). "Dry deposition of individual nitrogen species at eight Canadian rural sites." *Journal of Geophysical Research-Atmospheres* 114.

Zhou, J., J. Cui, J. L. Fan, J. N. Liang and T. J. Wang (2010). "Dry deposition velocity of atmospheric nitrogen in a typical red soil agro-ecosystem in Southeastern China." *Environ Monit Assess* 167(1-4): 105-113.

Zimmermann, F., K. Plessow, R. Queck, C. Bernhofer and J. Matschullat (2006). "Atmospheric N- and S-fluxes to a spruce forest - Comparison of inferential modelling and the throughfall method." *Atmospheric Environment* 40(25): 4782-4796.

6 Anhang

- Tabelle 3: Auflistung der verwendeten Quellen nach Landnutzungsklasse mit allen relevanten Informationen.

Tabelle 3: Auflistung der verwendeten Quellen getrennt nach Landnutzungsklassen. Bei der Depositionsgeschwindigkeit und dem Belastungsniveau bezeichnet μ den Mittelwert und σ die Streuung (vgl. Kapitel 4). Fett markierte Werte sind Bestandteil der Berechnung von Median und gewichtetem Mittel. ^aNicht in Berechnung mit einbezogen, da Neyrinck et al. (2005), Neyrinck et al. (2007) und Neyrinck & Ceulemans (2008) auf derselben Datengrundlage basieren. ^bMit NH_3 begast. ^cAlle Angaben Transfargeschwindigkeiten, keine Depositionsgeschwindigkeiten. ^dMin./Max. über Hintergrundkonzentration. ^eMittlere Hintergrundkonzentration. ^fUnterschiedliche Landnutzungsklassen, aber nur ein Ergebnis angegeben.

Quelle und Landnutzung	Depositionsgeschw. v_d (cm s ⁻¹)				Messzeitraum		Methode	Referenz- höhe z_R (m)	Belastungsniv. c (µg m ⁻³)				Qualitätsbewertung						
A: Nadelwald																			
Andersen et al. (1999)	2,7				Jahresmittel	1991	1995	Gradient	18	0,8				1	1	0	1	0,25	4,25
Builtjes et al. (2011)	1,6				Jahresmittel	2005		Transportmodell	25					1	0	0	0	1	3
	2,1				Jahresmittel				2,5										
	2,3				Jahresmittel				1										
Kirchner et al. (2005)			0,8	4,5	Literatur (n = 1)	1992	1999	Literatur						1	0,5	1	1	1	5,5
	2,2				Mittl. Wert														
Mohr et al. (2005)	1,6				Jahresmittel	Jan 02	Okt 03	Inf.-Modell	5,3	4,5				1	0,5	0	0	1	3,5
Staelens et al. (2012)	2,9		2,0	3,8	Literatur (n = 12)	1972	2006	Literatur						1	0,5	1	1	1	5,5
Wyers & Erisman (1998)			2,2	3,6	Literatur (n = 4)	1992	1994							1	0,5	1	1	1	5,5
	2,9				Mittl. Wert														
Zhang et al. (2009)	0,5	0,1			Mittelwert (n = 2)	Jun 02	Dez 04	Datensynthese + Inf.-Modell						1	0,5	1	1	0,75	4,75
Zimmermann et al. (2006)	3,3		2,0	6,0	Jahresmittel	2001	2004	Inf.-Modell	16 bis 29	0,5				1	0,5	0	1	1	4,5
A: Laubwald																			
Builtjes et al. (2011)	1,4				Jahresmittel	2005		Transportmodell	25					1	0	0	0	1	3

Genfer Luftreinhaltekonvention der UNECE: Literaturstudie zu Messungen der Ammoniak-Depositionsgeschwindigkeit

Quelle und Landnutzung	Depositionsgeschw. v_d (cm s ⁻¹)					Messzeitraum		Methode	Referenz- höhe z_R (m)	Belastungsniv. c (µg m ⁻³)				Qualitätsbewertung						
	1,9				Jahresmittel				2,5											
	2,1				Jahresmittel				1											
Fan et al. (2009)	0,3		9,4	206,5	Jahresmittel	2004	2005	Inf.-Modell	4,2	90,9				0	0,5	1	1	1	1	4,5
Staelens et al. (2012)	1,5		0,8	2,2	Literatur (n = 4)	1972	2006	Literatur						1	0,5	1	1	1	1	5,5
Zhang et al. (2009)	0,3	0,1			Mittelwert (n = 2)	Feb 02	Jun 04	Datensynthese + Inf.-Modell						1	0,5	1	1	0,5	0,5	4,5
A: Mischwald																				
Endo et al. (2011)			0,5	0,9	Wald (n = 10)	Apr 03	Mrz 08	Datensynthese + Inf.-Modell	20			0,3	0,9	1	0,5	1	1	1	1	5,5
	0,7				Mittl. Wert															
Flechard et al. (2011)	1,7	1,2			Jahresmittel (n = 29)	2007	2008	Datensynthese + Inf.-Modell	3	1,0	0,3	2,8		1	0,5	1	1	1	1	5,5
Neiryneck et al. (2005)	3,5	5,1			Tag	1999	2001	Gradient	23 bis 39	4,2	5,4			1	1	1	1	1	1	6
	2,4	3,9			Nacht					4,0	7,5									
	2,9				Hoch-NH3 Tag					8,8										
	1,5				Hoch-NH3 Nacht					11,0										
	3,7				Niedrig-NH3 Tag					2,7										
	2,6				Niedrig-NH3 Nacht					2,1										
	3,0	4,6			Mittelwert					4,1	6,5									
Neyrinck & Ceulemans (2008) ^a	3,0	4,6			Mittelwert	Jun 99	Nov 01	Gradient	23 bis 39	4,1	6,5			1	1	1	1	1	1	6

Genfer Luftreinhaltekonvention der UNECE: Literaturstudie zu Messungen der Ammoniak-Depositionsgeschwindigkeit

Quelle und Landnutzung	Depositionsgeschw. v_d (cm s ⁻¹)				Messzeitraum	Methode	Referenz- höhe z_R (m)	Belastungsniv. c (µg m ⁻³)				Qualitätsbewertung								
Neyrinck et al. (2007) ^a	3,2	4,8			Winter	Jul 99	Nov 01	Gradient	23 bis 39					1	1	1	1	1	1	6
	2,8	4,5			Sommer															
	3,4				Sommer Tag					4,0										
	1,7				Sommer Nacht					4,3										
	3,6				Winter Tag					1,5										
	3,0				Winter Nacht					1,6										
	3,0	4,6			Mittelwert					3,0	5,6	0,0	102,5							
Zhang et al. (2009)	0,4	0,1			Mittelwert (n = 3)	Nov 01	Nov 03	Datensynthese + Inf.-Modell						1	0,5	1	1	1	0,5	5
B: Seminat.																				
Bajwa et al. (2008)	1,0				Sommer, Tag	2002	2003	Transportmodell						1	0	0	1	1	0,25	3,25
	0,1				Sommer, Nacht															
	1,7				Frühling, Tag															
	0,1				Frühling, Nacht															
	0,8				Herbst, Tag															
	0,1				Herbst, Nacht															
	0,5				Winter, Tag															
	0,1				Winter, Nacht															
	0,6				Mittelwert															
Benedict et al. (2013)			0,1	2,3		2008	2009	Inf.-Modell				0,1	0,2	0	0,5	1	1	1	1	4,5

Genfer Luftreinhaltekonvention der UNECE: Literaturstudie zu Messungen der Ammoniak-Depositionsgeschwindigkeit

Quelle und Landnutzung	Depositionsgeschw. v_d (cm s ⁻¹)					Messzeitraum		Methode	Referenz- höhe z_R (m)	Belastungsniv. c (µg m ⁻³)				Qualitätsbewertung						
	1,2				Mittlerer Wert															
Cape et al. (2008)	1,6	0,5			Jahresmittel	2003	2006	Kammer + Inf.-Modell	0,5	0,7				1	0,5	1	1	1	1	5,5
	0,3				Jahresmittel					100,0 ^b				0	0,5	1	1	1	1	4,5
Endo et al. (2011)			0,2	0,6	Grasland (n = 10)	Apr 03	Mrz 08	Datensynthese + Inf.-Modell	20											
	0,4				Mittlerer Wert				20											
Flechard & Fowler (1998)	1,2	0,5			Jahresmittel	1995	1996	Gradient	1	0,4				1	1	1	1	1	1	6
Flechard et al. (2011)	0,6	0,2			Jahresmittel (n = 17)	2007	2008	Datensynthese + Inf.-Modell	3	1,6	0,3	4,3		1	0,5	1	1	1	1	5,5
Hole et al. (2008)	0,1				Jahresmittel	Jun 04	Dez 05	Gradient	0,5 bis 1,8			0,1	1,0	1	1	0	1	1	1	5
	0,3				Modell "Gras"			Inf.-Modell						1	0,5	0	1	1	1	4,5
	0,6				Modell "Tundra"									0	0,5	0	1	1	1	3,5
Horvath et al. (2005)	1,1	1,0	0,0	80,9	Vegetationsperiode Tag	2000	2001	Gradient	1	3,8				1	1	1	1	1	1	6
	1,0	1,0	0,0	75,4	Vegetationsperiode Nacht					2,8										
	1,1	1,0			Vegetationsperiode ganzer Tag					3,3										
	1,1	0,9	0,0	6,1	Vegetationsruhe Tag					4,1										
	0,7	0,6	0,0	3,3	Vegetationsruhe Nacht					3,3										

Genfer Luftreinhaltekonvention der UNECE: Literaturstudie zu Messungen der Ammoniak-Depositionsgeschwindigkeit

Quelle und Landnutzung	Depositionsgeschw. v_d (cm s ⁻¹)					Messzeitraum		Methode	Referenz- höhe z_R (m)	Belastungsniv. c (µg m ⁻³)				Qualitätsbewertung						
	0,9	0,8			Vegetations- ruhe ganzer Tag					3,7										
	1,0				Mittelwert					3,5										
Hurkuck et al. (in Vorb.)	0,7		0,2	1,4	Jahresmittel	2011	2013	Gradient	1,5 bis 6			2,5	15,4	1	1	1	0	1	1	5
Jones et al. (2007)			0,4	0,6	Tag + Nacht	Feb 02	Mrz 02	Kammer				0,0	100,0	0	1	0	1	0,25	0,25	2,5
	0,5				Mittlerer Wert															
Kirchner et al. (2005)			0,5	2,2	Literatur (n = 3)	1992	1999	Literatur						1	0,5	1	1	1	1	5,5
	1,4				Mittl. Wert	1992	1999	Literatur												
Milford et al. (2009)	0,2				Sommer	Mai 00		Gradient	1	3,2	2,1	0,3	15,0	1	1	0	1	0,25	0,25	3,5
Myles et al. (2011)	1,8				Literatur (n = 4)	1991	2004	Literatur	1 bis 4					1	0,5	1	1	1	1	5,5
Nemitz et al. (2004)	0,6		-2,8	3,1	Tag, Trocken	Mai 96	Jul 06	Gradient	1					1	1	1	1	0,25	0,5	4,75
	0,7		-0,3	4,0	Nacht, Trocken															
	1,8		-0,7	5,0	Tag, Feucht															
	1,6		-0,3	4,9	Nacht, Feucht															
	1,2				Mittelwert					5,2	4,1									
Phillips et al. (2004)	3,9	2,8			Sommer, Tag	Sep 01	Jul 02	Gradient	2 bis 6	4,8				1	1	1	1	1	0,25	5,25
	0,8	1,7			Sommer, Nacht					3,0										

Genfer Luftreinhaltekonvention der UNECE: Literaturstudie zu Messungen der Ammoniak-Depositionsgeschwindigkeit

Quelle und Landnutzung	Depositionsgeschw. v_d (cm s ⁻¹)					Messzeitraum		Methode	Referenz- höhe z_R (m)	Belastungsniv. c (µg m ⁻³)				Qualitätsbewertung						
	2,9	2,0			Frühling, Tag					5,6										
	0,6	1,0			Frühling, Nacht					3,6										
	2,8	2,0			Herbst, Tag					8,0										
	0,1	0,2			Herbst, Nacht					7,5										
	2,4	1,9			Winter, Tag					1,7										
	0,2	0,3			Winter, Nacht					1,4										
	1,7				Mittelwert															
Staelens et al. (2012)	1,4		0,7	2,2	Literatur (n = 13)	1972	2006	Literatur						1	0,5	1	1	1	1	5,5
Trebs et al. (2006)	1,0		0,1	2,0	Herbst	Sep 02	Nov 02	Inf.-Modell	5,3	0,8		0,4	2,0	0	0,5	1	1	0,25	0,5	3,25
C: Wasser																				
Biswas et al. (2005) ^c	0,4	0,2			Monsun	Jan 02	Dec 03	Gradient	10 bis 15	2,7	1,3			0	1	1	1	1	1	5
	0,6	0,3			Prä-Monsun					8,7	4,1									
	0,5	0,2			Post- Monsun					8,2	3,0									
	0,5				Mittelwert					6,5										
Builtjes et al. (2011)	0,7				Jahresmittel	2005		Transportmodell	25					1	0	0	0	1	1	3
	1,0				Jahresmittel				2,5											
	1,1				Jahresmittel				1											
Smith et al. (2007)	0,6		0,1	1,1	Sommer	Jul 04	Aug 04	Inf.-Modell	43	0,3		0,0	1,2	1	0,5	0	1	0,25	0,5	3,25
C: Urban																				

Quelle und Landnutzung	Depositionsgeschw. v _d (cm s ⁻¹)				Messzeitraum		Methode	Referenz- höhe z _R (m)	Belastungsniv. c (µg m ⁻³)				Qualitätsbewertung							
Anatolaki & Tsitouridou (2007)	0,8				Jahresmittel	Apr 02	Mrz 03	Surrogat-OF		2,3	1,5	0,0	5,8	1	1	0	1	1	1	5
Builtjes et al. (2011)	0,7				Jahresmittel	2005		Transportmodell	25					1	0	0	0	1	1	3
	0,8				Jahresmittel				2,5											
	0,9				Jahresmittel				1											
Hayashi & Yan (2010)	0,5				Jahresmittel (n = 1)	2003	2007	Datensynthese + Literatur		0,7				0	0,5	0	1	1	1	3,5
Poor et al. (2006)	1,1				Jahresmittel	Mai 02	Jun 03	Transportmodell		1,7				1	0	0	1	1	1	4
Yang et al. (2010)	0,1				Jahresmittel	Okt 07	Sep 08	Inf.-Modell	1,5	5,4	0,5	1,8	17,2	1	0,5	0	1	0,25	0,5	3,25
C: Agrarflächen																				
Baek et al. (2006)	6,3	4,5			Sommer	Jun 04	Jul 04	Gradient						0	1	0	1	0,25	0,25	2,5
Builtjes et al. (2011)	1,2				Jahresmittel	2005		Transportmodell	25					1	0	0	0	1	1	3
	1,7				Jahresmittel				2,5											
	1,9				Jahresmittel				1											
Cui et al. (2010)	0,3				Frühling	2005	2006	Inf.-Modell	2					0	0,5	1	1	1	1	4,5
	0,2				Sommer															
	0,2				Herbst															
	0,3				Winter															
	0,3		0,1	0,4	Jahresmittel					201,5		77,0	317,1							
	0,3		0,0	0,5	Jahresmittel	2006	2007	Inf.-Modell	2	171,7		17,5	473,1							
	0,4				Literatur (n = 3)	2006	2007	Inf.-Modell												

Quelle und Landnutzung	Depositionsgeschw. v_d (cm s ⁻¹)					Messzeitraum		Methode	Referenz- höhe z_R (m)	Belastungsniv. c (µg m ⁻³)				Qualitätsbewertung						
Delon et al. (2012)	0,3	0,1	0,1	0,5	Jahresmittel (n = 5)	2002	2007	Datensynthese + Inf.-Modell	1,5	1,4	8,3			0	0,5	1	1	1	1	4,5
Flechar et al. (2011)	0,2	0,1			Jahresmittel (n = 8)	2007	2008	Datensynthese + Inf.-Modell	3	3,7	0,9	11,3		1	0,5	1	1	1	1	5,5
Hayashi et al. (2012)	0,6				Winter Brache Tag	2009	2010	Gradient	0,6 bis 2,0	4,7	2,0			0	1	0	1	0,5	0,25	2,75
	0,2				Winter Brache Nacht					3,1	1,3									
	0,2				Sommer Anbauzeit Tag				1,5 bis 2,9	2,2	1,5									
	0,2				Sommer Anbauzeit Nacht					1,8	0,8									
	0,3				Mittelwert				0,6 bis 2,9											
Katata et al. (2013)			0,4	0,8	Brache	Dez 09		Inf.-Modell	0,6 bis 2,0					0	0,5	1	1	0,5	0,25	3,25
			0,2	1,0	Anbauzeit	Jul 10	Aug 10	Inf.-Modell	1,5 bis 2,9											
	0,6				Mittl. Wert	Dez 09	Aug 10	Inf.-Modell	0,6 bis 2,9											
Loubet et al. (2011)			0,1	0,6	Jahresmittel	2007	2008	Inf.-Modell	1,5					1	0,5	1	1	1	1	5,5
	0,4				Mittl. Wert							2,0	12,0							
Meyers et al. (2006)	4,7	3,8	1,0	10,0	Sommer	Jun 01	Jul 01	REA	3	2,8	1,4	1,4	5,2	1	1	1	1	0,25	0,25	4,5
Myles et al. (2007)	1,3	15,5	- 35,2	31,2	Tagesmittel	Mai 02		REA	2	1,6	0,2			0	1	1	1	0,25	0,25	3,5
Myles et al. (2011)	7,1	9,8			Herbst	Sep 06		Gradient	1 bis 4	0,9	0,6			0	1	1	1	0,25	0,25	3,5

Genfer Luftreinhaltekonvention der UNECE: Literaturstudie zu Messungen der Ammoniak-Depositionsgeschwindigkeit

Quelle und Landnutzung	Depositionsgeschw. v_d (cm s ⁻¹)					Messzeitraum		Methode	Referenz- höhe z_R (m)	Belastungsniv. c (µg m ⁻³)				Qualitätsbewertung						
	2,2				Literatur (n = 4)	1991	2004	Literatur	1 bis 2,6					1	0,5	1	1	1	1	5,5
Sommer et al. (2009)	0,5		0,3	0,7	Herbst	Sep 05	Okt 05	Transportmodell				0,0	13,0 ^d	1	0,5	1	1	0,25	0,5	4,25
										1,4 ^e										
Sutton et al. (2000)	1,6	2,8		0,9	Raps (vor dem Mähen)	Jun 95	Jul 95	Gradient	1					1	1	1	1	1	0,25	5,25
	2,3	5,4	-52	4,9	Raps (nach dem Mähen)															
	1,9				Mittelwert															
Yang et al. (2010)	0,2				Jahresmittel	Okt 07	Sep 08	Inf.-Modell	1,5	4,1	0,3	1,3	16,3	1	0,5	0	1	0,25	0,5	3,25
Zhang et al. (2009)	0,3	0,1			Mittelwert (n = 1)	Feb 05	Mrz 05	Datensynthese + Inf.-Modell						1	0,5	1	1	0,25	0,25	4
Zhou et al. (2010)	0,3				Frühling	2004	2007	Inf.-Modell	2					0	0,5	1	1	1	1	4,5
	0,2				Sommer															
	0,2				Herbst															
	0,3				Winter															
	0,3		0,1	0,4	Mittelwert															
C: Sonstige^f																				
Hayashi & Yan (2010)	0,4				Jahresmittel (n = 12)	2003	2007	Datensynthese + Literatur		7,8				0	0,5	0	1	1	1	3,5
Pan et al. (2012)			0,4	2,0	Jahresmittel (n = 10)	Dez 07	Nov 10	Datensynthese + Inf.-Modell	2 bis 14			0,2	54,9							
	1,2				Mittl. Wert									0	0,5	1	1	1	1	4,5