

## **... mit dem Regen stimmt was nicht mehr**

### **Messungen an Luft- und Niederschlagsinhaltsstoffen in Rotenkamp und Braunschweig, 1982 bis heute, und ihre Folgen**

Ulrich Dämmgen <sup>1</sup>

#### **Einleitung**

In den späten 70er Jahren des vorigen Jahrhunderts wurden die Anzeichen, dass Luftverschmutzung Ursache der sog. neuartigen Waldschäden waren, unübersehbar. In einer Begegnung mit dem Förster Karl-Friedrich Weber kam die Anregung, im Rahmen der Forschungsthemen, die ich damals an der Pädagogischen Hochschule in Braunschweig von Examenskandidaten bearbeiten ließ, Regen zu analysieren, denn ... „mit dem Regen stimmt was nicht mehr“. Hintergrund war zum einen die Inbetriebnahme des Kraftwerks Buschhaus, zum anderen der Umstand, dass Messungen zu Luft- oder Niederschlagsinhaltsstoffen – wenn sie denn existierten – der Öffentlichkeit nicht zugänglich waren. Dies war der Beginn einer nun drei Jahrzehnte andauernden Arbeit und Zusammenarbeit, die ohne die Familie Weber, Webers Wiese und den BUND Helmstedt nicht denkbar wären.

Der Bericht soll beispielhaft erläutern, was von Rotenkamp ausging und dabei nicht nur mein Leben gründlich veränderte.

#### **1 „Saurer Regen“ – die Entwicklung der Rotenkamp-Sammler**

Im Gegensatz zu heute existierten Ende der 70er Jahre des vorigen Jahrhunderts weder Standardverfahren zur Probenahme noch Standardverfahren zur Analytik von Niederschlägen. Daher zunächst ein Verfahren erprobt, das die Bestimmung von Schwefel Spuren in Niederschlägen mit der damals verfügbaren Laborausstattung ermöglichte (Vetter, 1982). Gleichzeitig wurde nach Lösungen für eine Probenahme gesucht, die es gestattete, die im Regen neben dem Sulfat-Schwefel aus dem Wolkenwasser vorhandene Menge an Sulfit-Schwefel zu quantifizieren, die die Tropfen (oder Schneeflocken) beim Durchfallen der Atmosphäre aufnehmen. Dies betraf nicht nur die Untersuchungen zum Material der Sammler, sondern auch deren Aufstellungshöhe, die Gestaltung der Trichter und die Stabilisierung der Proben (Ziel: alle sedimentierenden Partikel erfassen, keine nichtsedimentierenden Partikel und Stäube erfassen; keine Veränderung der Probe bei der Exposition der Sammler durch Ausgasen oder die Einflüsse von Bakterien und Algen; Erkennen von durch Vogelkot und „neugierige“ Menschenhände erfolgten Verunreinigungen). Aus den in Dämmgen (1984) beschriebenen Anfängen entwickelte sich schrittweise eine Sammelvorrichtung, der Sammler „Rotenkamp“, der sich schließlich als einer der zuverlässigsten Sammler in Europa entpuppte. Die systematischen Arbeiten flossen in internationale Erfahrungsberichte und in die deutsche VDI-Richtlinie zur Erfassung von Depositionen mit dem Ziel der chemischen Analyse ein (Dämmgen et al., 1995; Dämmgen et al., 2008; Richtlinie VDI 4320). Abbildung 1 zeigt Entwicklungsstufen des Rotenkamp-Sammlers.

Wegen ihrer günstigen Eigenschaften gelangten diese Sammler in zahlreichen Messnetzen zum Einsatz. Hervorzuheben ist ihr Einsatz zur Erfassung der atmosphärischen Bilanz von reaktivem Stickstoff in Hessen und im Messnetz des internationalen Verbundprojektes NitroEurope (Abbildung 2).

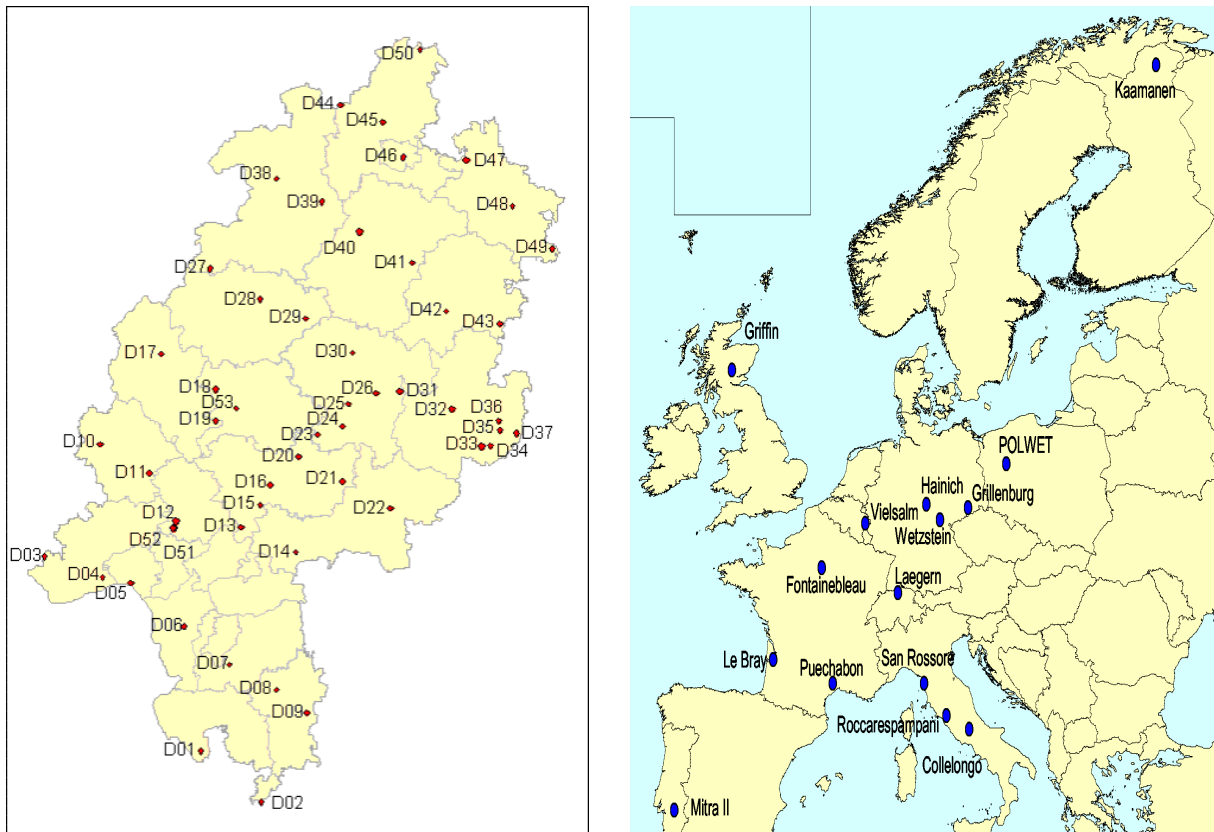
---

<sup>1</sup> Vortrag, BUND Helmstedt, Jahrestreffen, Königslutter-Bornum, 20.11.2009



**Abbildung 1**

*Links:* Rotenkamp-Sammler für Bulk-Deposition in Holzkisten, rechts daneben Weiterentwicklung als Nass-Sammler mit sensorgesteuerter Abdeckung in GFK-Schrank. *Mitte:* Bulk-Sammler Bauart 1991 in GFK-Schrank. Erkennbar die Anordnung von zwei unterschiedlich stabilisierten Sammlern nebeneinander. *Rechts:* Derzeit übliche Anordnung von drei Paaren von Rotenkamp-Sammlern der Bauart 2001.



**Abbildung 2**

Einsatz von Rotenkamp-Sammlern. *Links:* Standorte im Depositionsmessnetz Hessen (Dämmgen, 2006). *Rechts:* Einsatz im NitroEurope-Messnetz (NitroEurope, 2009)

## 2 Rotenkamp wird zu einer „richtigen“ Messstelle

Nicht nur in Rotenkamp wurde gemessen. Bund und Länder begannen mit dem Aufbau von Depositionsmessnetzen: In Südostniedersachsen begann das Umweltbundesamt 1984 mit Messungen am Standort Waldhof (bei Bodenteich). Nahezu gleichzeitig begannen auch die Messungen des Landes Niedersachsen.

Die Ergebnisse der Messungen von Depositionen waren für sich nicht deutbar. In Rotenkamp begannen deshalb recht bald Messungen von Konzentrationen von gas- und staubförmigen Luftverunreini-

gungen mit dem Schwerpunkt auf Schwefel-Verbindungen (Dämmgen, 1985). Wetterdaten wurden erhoben.

Rotenkamp wurde zu einer Hauptmessstelle innerhalb des BMBF-Projekts „Auswirkungen von Depositionen saurer Luftverunreinigungen auf Grünlandökosysteme“, das von der damaligen Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL), Institut für Produktions- und Ökotoxikologie, betreut wurde (1983 bis 1991) (Grünhage und Jäger, 1992, 1994). Von 1989 bis 1993 diente „Webers Wiese“ in Rotenkamp als wichtige Messstelle der Untersuchung von Luft- und Niederschlagsinhaltsstoffen innerhalb des Sonderforschungsbereiches 179 „Wasser- und Stoffdynamik in Agrarökosystemen“ an der Technischen Universität Braunschweig, Institut für Geographie und Geoökologie (Dämmgen, 1996).

Mein beruflicher Wechsel nach Müncheberg (Brandenburg) machte eine intensive Betreuung von Messeinrichtungen in Rotenkamp unmöglich. Rotenkamp blieb weiterhin Messstelle für Depositionsmessungen nunmehr des FAL-Instituts für agrarrelevante Klimaforschung, später des FAL-Instituts für Agrarökologie. Heute wird es vom Institut für Agrarrelevante Klimaforschung des Johann Heinrich von Thünen-Instituts (vTI, als Nachfolger der FAL) betreut.

Rotenkamp verfügt in Südostniedersachsen über eine der längsten Messreihen für Bulk-Depositionen ohne Methodenwechsel.

### **3 Emissionsmindernde Maßnahmen und ihre Wirkungen auf die Zusammensetzung von Luft- und Niederschlagsinhaltsstoffen**

In die gleiche Zeit wie die Entwicklung der Methoden zur Bestimmung von Niederschlagsinhaltsstoffen fielen auch die ersten nationalen und internationalen Regelungen zur Emissionsminderung. Aus heutiger Sicht erscheint es wichtig, darauf hinzuweisen, dass diese Maßnahmen ohne eine vollständige Kenntnis der Ursache-Wirkung-Ketten eingeleitet wurden - man war sich der Tatsache bewusst, dass „etwas“ geschehen musste.

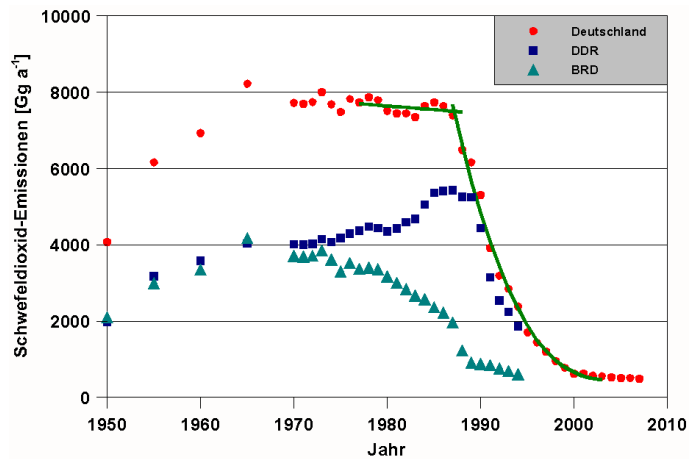
In Deutschland ist hier zunächst die „Großfeuerungsanlagenverordnung“ zu nennen (in den alten Bundesländern wirksam ab 1983, in den neuen Bundesländern nach der Vereinigung). Sie betraf vor allem versauernde Stoffe (Emissionen von Schwefeldioxid, Stickstoffoxiden und Stäuben). Die Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft (TA Luft) wurde ab 1986 wirksam, die „Verordnung über kleine und mittlere Feuerungsanlagen“ ab 1988.

International führte die Einsicht in die Notwendigkeit des Handelns zum Abschluss des Genfer Abkommen über grenzüberschreitende Luftverunreinigungen (1979) mit der Verpflichtung, Emissionen zu quantifizieren und zu berichten (UNECE, 1979). Die Klimarahmenkonvention folgte 1992 mit dem sich daraus ergebenden Kyoto-Protokoll (UNFCCC, 1992). Schließlich folgte die EU mit der Einführung nationaler Emissionsobergrenzen (EU, 2001). Damit waren grundlegende Schritte zur Minderung der Emissionen fast aller luftverunreinigenden und klimawirksamen Emissionen getan. Die den Verträgen beigetretenen Partnerstaaten verpflichteten sich zur Erstellung von detaillierten Emissionsinventaren und Minderungsprognosen.

Sie verpflichteten sich gleichzeitig, die Wirksamkeit emissionsmindernder Maßnahmen zu dokumentieren. Dabei kommt den Konzentrationsmessungen, vor allem aber den Messungen der Flüsse zwischen Atmosphäre und Pflanzenbeständen eine besondere Bedeutung zu (Dämmgen et al., 1993).

#### **3.1 Schwefeldioxid-Emissionen und Schwefel-Depositionen**

Als eine wichtige Ursache der neuartigen Waldschäden wurde die Versauerung der Böden als Folge unangemessen hoher Schwefelsäure-Einträge aus der Atmosphäre identifiziert. Hier setzten Maßnahmen zur Emissionsminderung zuerst wirksam ein. Abbildung 3 veranschaulicht den Verlauf der jährlichen Emissionsraten seit 1950.



**Abbildung 3**

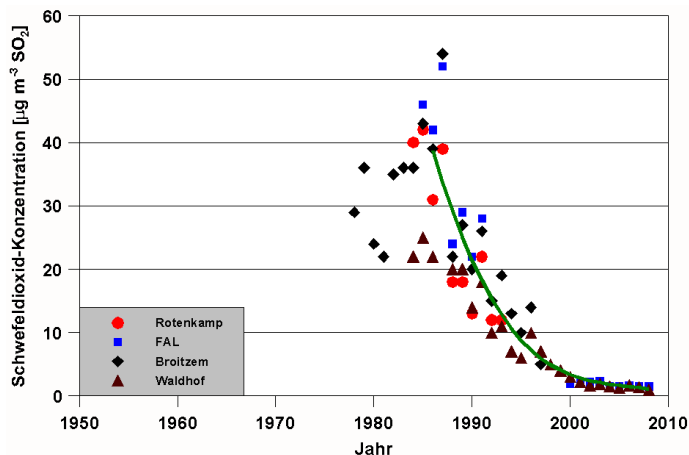
Schwefeldioxid-Emissionsraten in Gg pro Jahr.  
1 Gg = 1000 t.

mittlere Emissionsdichten 1970:  $108 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1} \text{ SO}_2\text{-S}$ ;  
2007:  $6,9 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1} \text{ SO}_2\text{-S}$ .  
Minderung seit 1988: 92 %

Quellen: Daten bis 1970: Mylona (1996); Daten zwischen 1970 und 1980: Umweltbundesamt, danach vom Centre on Emission Inventories and Projections (CEPMEIP 2009).

Deutlich erkennbar sind das Ansteigen der Emissionen in der ehemaligen BRD bis etwa 1970, die allmähliche, nach 1980 beschleunigte Minderung der Emissionen sowie der Anstieg der Emissionen in der DDR bis zur Wende. Die Emissionsminderung nach der Wende ist nahezu ausschließlich auf Minderungsmaßnahmen in den neuen Bundesländern zurückzuführen; die ehemalige BRD war bereits weitgehend „entschwefelt“.

Die Schwefeldioxid-Konzentrationen in der Umgebungsluft in Südostniedersachsen spiegeln die Größenordnung der Minderung gut wider.



**Abbildung 4**

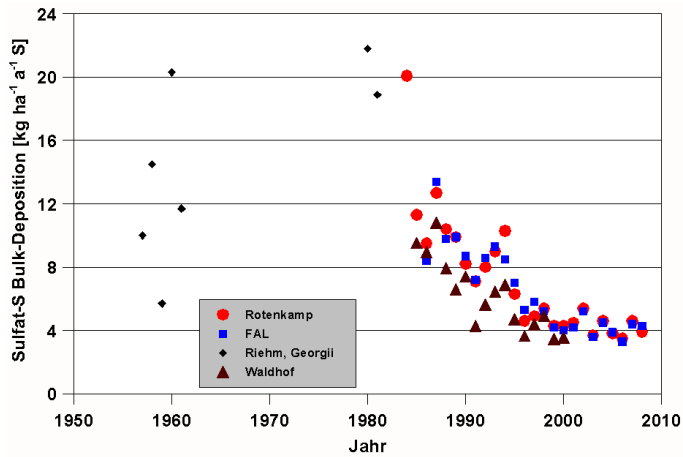
Schwefeldioxid-Konzentrationen in  $\mu\text{g SO}_2$  pro Kubikmeter Luft (Jahresmittelwerte).

mittlere Konzentrationen (Jahresmittel) seit 2003 kleiner als  $2 \mu\text{g m}^{-3} \text{ SO}_2$ .  
Minderung in Südostniedersachsen seit 1988: 96 %

Quellen: eigene Messungen; Broitzern: NLO (1998); Waldhof: Mitteilungen des Umweltbundesamts.

Die Entwicklung der Bulk-Depositionen verläuft demgegenüber anders. Abbildung 5 macht deutlich, dass die Emissionsminderung für diese Flüsse nur bedingt wirksam wird. Für Bulk-Depositionen existieren verlässliche Messwerte aus den 50er und 80er Jahren des vorigen Jahrhunderts für die FAL. Sie veranschaulichen, wie die Depositionen insgesamt dem Anstieg und der Verringerung der Emissionen folgen.

Den Ursachen hierfür wird in Kapitel 3.4 nachgegangen.



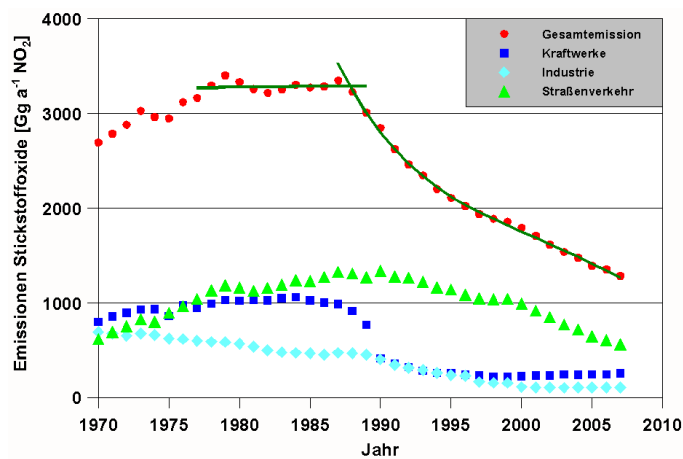
**Abbildung 5**  
Sulfat-Schwefel-Bulk-Depositionen in kg S pro Hektar und Jahr (Jahressummen).

mittlere Deposition seit 2003 bei  $5 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1} \text{ S}$   
Minderung in Südostniedersachsen seit 1988:  
35 %

Quellen: eigene Messungen; Riehm et al. (1965), Georgii et al. (1982); Waldhof: Mitteilungen des Umweltbundesamts.

### 3.2 Stickstoffdioxid-Emissionen und Nitrat-Depositionen

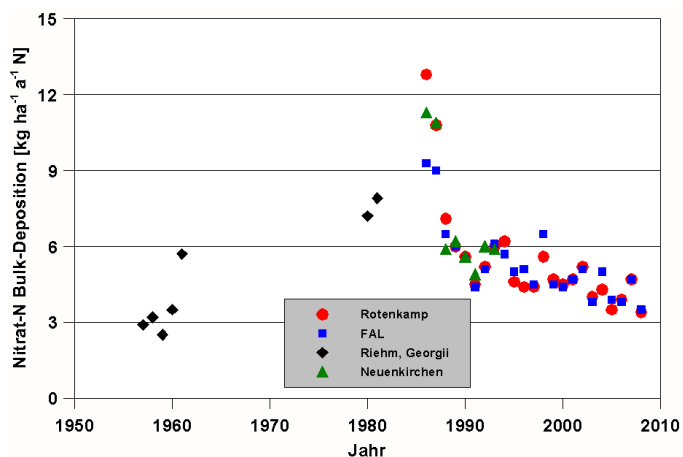
Während bei der Minderung der Schwefeldioxid-Emissionen verhältnismäßig wenige Entscheidungsträger zu überzeugen waren (die großen Kraftwerke und Industrieferuerungen), waren bei den Emissionen von Stickstoffoxiden (Stickstoffmonoxid, NO, und Stickstoffdioxid, NO<sub>2</sub>) erhebliche Anteile aus dem Straßenverkehr zu berücksichtigen. Neben der technischen Ausrüstung der Fahrzeuge kommt hier dem Fahrverhalten eine wichtige Rolle zu (Abbildung 6). Daten zu den Emissionen vor 1970 fehlen.



**Abbildung 6**  
Stickstoffdioxid-Emissionsraten in Gg pro Jahr. 1 Gg = 1000 t.

mittlere Emissionsdichten 1970:  $23 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1} \text{ NO}_2\text{-N}$ ; 2007:  $10,9 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1} \text{ NO}_2\text{-N}$ .  
Minderung seit 1988: 60 %

Quellen: Daten zwischen 1970 und 1980: Umweltbundesamt, danach vom Centre on Emission Inventories and Projections (CEPMEIP 2009).



**Abbildung 7**  
Nitrat-Stickstoff-Bulk-Depositionen in kg N pro Hektar und Jahr (Jahressummen).

mittlere Deposition seit 2003 bei  $5 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1} \text{ N}$   
Minderung in Südostniedersachsen seit 1988:  
35 %

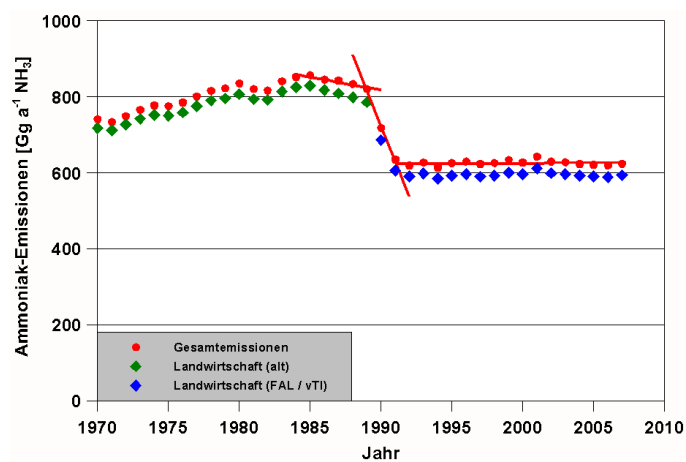
Quellen: eigene Messungen; Riehm et al. (1965), Georgii et al. (1982); Waldhof: Mitteilungen des Umweltbundesamts.

Der Rückgang der Emissionen spiegelt sich in dem der Bulk-Depositionen nur teilweise wider. Aus Abbildung 7 geht hervor, dass auch hier nur etwa 35 % der Emissionsminderung seit 1988 wirksam geworden sind.

### 3.3 Ammoniak-Emissionen und Ammonium-Depositionen

Im Gegensatz zu den Emissionen der Schwefel- und Stickstoffoxide handelt es sich bei den Emissionen von Ammoniak um „nahezu natürliche“ Emissionen, die aus der landwirtschaftlichen Produktion von Nahrungsmitteln herrühren. Entscheidungsträger bei allen Maßnahmen sind letztlich die einzelnen Landwirte auch dann, wenn emissionsmindernde Maßnahmen durch gesetzgeberische Auflagen oder finanzielle Anreize der Gesellschaft insgesamt wirksam werden sollen.

Abbildung 8 zeigt die zeitliche Entwicklung der Gesamtemissionen und des Anteils der Landwirtschaft. Die einzige bemerkenswerte „Stufe“ in den Jahren 1989 bis 1994 wurde durch die Verringerung der Tierbestände in den neuen Bundesländern erreicht.



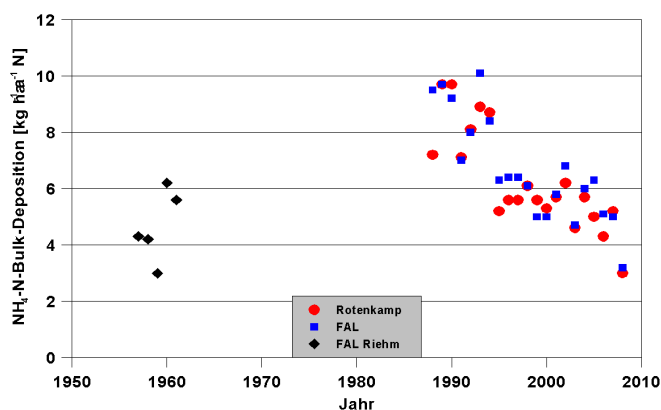
**Abbildung 8**

Ammoniak-Emissionsraten in Gg pro Jahr.  
1 Gg = 1000 t.

mittlere Emissionsdichten 1970:  $16 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1} \text{ NH}_3\text{-N}$ ; 2007:  $13,6 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1} \text{ NH}_3\text{-N}$ .  
Minderung seit 1988: 60 %

Quellen: Daten zwischen 1970 und 1980: Umweltbundesamt, danach vom Centre on Emission Inventories and Projections (CEPMEIP 2009). Landwirtschaftliche Daten nach 1990 aus Haenel et al. (2010).

Es scheint erstaunlich, dass die beobachteten Bulk-Depositionen seit 1990 abnehmen, obwohl die Emissionen zunehmen (Abbildung 9). Sie erreichen zurzeit etwa das Niveau der 60er Jahre des vorigen Jahrhunderts. In der Tendenz werden weitere Abnahmen um  $0,1 \text{ kg ha}_1 \text{ a}^{-2}$  beobachtet.



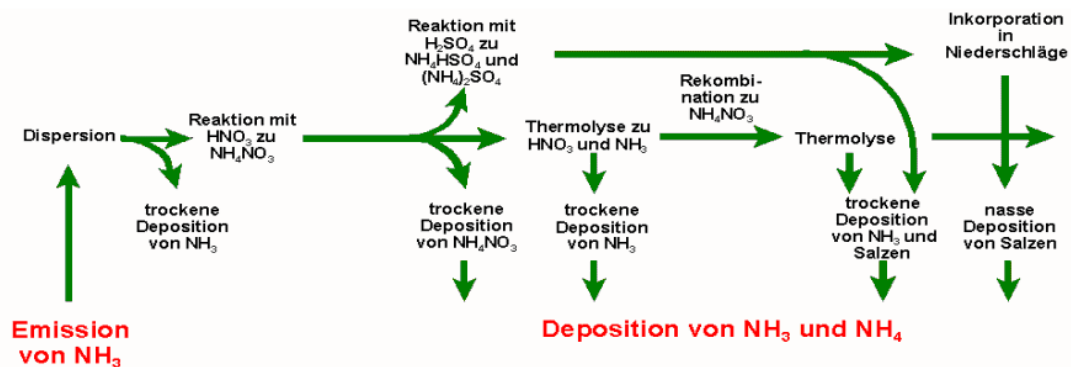
**Abbildung 9**

Ammonium-Stickstoff-Bulk-Depositionen in kg N pro Hektar und Jahr (Jahressummen)

Quellen: eigene Messungen; Riehm et al. (1965); Waldhof: Mitteilungen des Umweltbundesamts.

### 3.4 Umsetzungen von Schwefeldioxid, Stickstoffoxiden und Ammoniak in der Atmosphäre – eine Deutung des „nichtlinearen Verhaltens“

Die „nichtproportionalen“ oder „nichtlinearen“ Minderungen der Bulk-Deposition von Sulfat-Schwefel, Nitrat-Stickstoff und Ammonium-Stickstoff in Bezug auf die Emissionen der Ausgangsverbindungen lassen sich deuten, wenn man sich die Transport- und Umsetzungswege in der Atmosphäre vergegenwärtigt. Abbildung 10 soll als Erläuterung dienen.



**Abbildung 10**

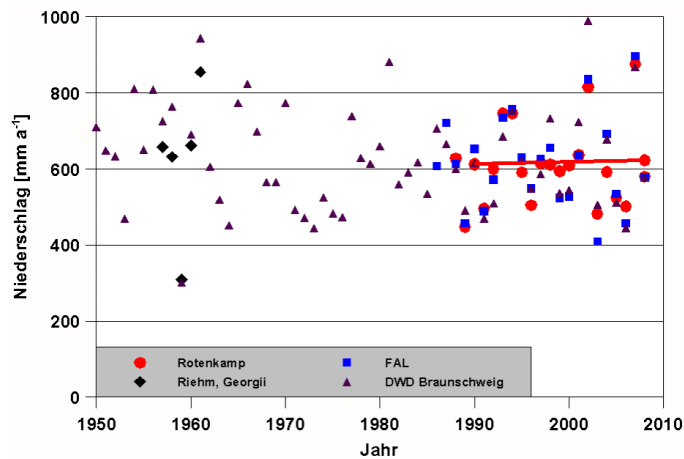
Transport, chemische Reaktionen und Depositionspfade für Ammonium-Stickstoff (nach Dämmgen und Erisman, 2005)

Emittiertes Ammoniak wird in der turbulenten Atmosphäre sofort verwirbelt und verdünnt. Neben diesem als Dispersion bezeichneten Prozess wird gasförmiges Ammoniak sofort auch auf fast alle Oberflächen von Pflanzen, Böden und Werkstoffen deponiert (sog. trockene Deposition von gasförmigem Ammoniak). Gleichzeitig reagiert Ammoniak mit den in der Luft vorhandenen Säuren, d.h. mit der als Reaktionsprodukt der Stickstoffoxide gebildeten (gasförmigen) Salpetersäure und der als Reaktionsprodukt von Schwefeldioxid gebildeten Schwefelsäure (in feinen Tröpfchen). Die dabei gebildeten Salze Ammoniumnitrat und Ammoniumsulfat bzw. Ammoniumhydrogensulfat können ihrerseits deponiert werden (trockene Deposition von Stäuben), sie können aber auch mit dem Wind verfrachtet werden. Dabei können sie über die ganze nördliche Halbkugel transportiert werden. Die Vorgänge werden dadurch weiterhin kompliziert, dass einmal gebildetes Ammoniumnitrat bei höheren Temperaturen und geringen Luftfeuchten (etwa an tagsüber an Sommertagen) wieder in seine gasförmigen Ausgangsverbindungen zurück reagieren kann, die dann jede für sich trocken deponiert werden können oder bei geringeren Temperaturen und höheren Feuchten erneut zu Salzkriställchen reagieren können. Schließlich können alle genannten Gase und Stäube in Regentropfen inkorporiert werden und dann als Bulk-Deposition messtechnisch erfasst werden. Die Bulk-Deposition ist also nur einer der Depositionspfade, auf denen die genannten Emissionen wieder deponiert werden.

Wenn die Depositionen nicht linear mit den Emissionen in Verbindung gebracht werden können, müssen sich die beschriebenen Umwandlungs- bzw. Depositionsprozesse geändert haben.

Eine wichtige Rolle könnten **Veränderungen der Niederschlagsmengen** spielen. Abbildung 11 macht jedoch deutlich, dass im Mittel keine Veränderungen der Niederschlagsmengen aufgetreten sind, die eine systematische Abnahme der Ammonium-Deposition hätten zur Folge haben können.





**Abbildung 11**  
Niederschlagsmengen (Jahressummen) im Braunschweiger Raum in mm pro Jahr.

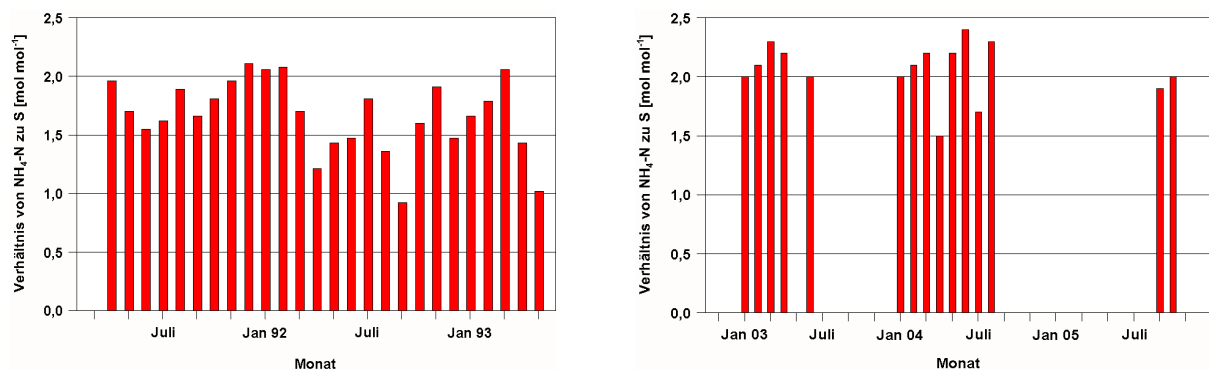
Rote Linie: lineare Regression für 1990 bis 2008

Quellen: eigene Messungen; Riehm et al. (1965), Georgii et al. (1982); Mitteilungen des Deutschen Wetterdienstes

Eine weitere Deutung ergäbe sich, wenn sich die **Chemie der Atmosphäre** aufgrund der veränderten Emissionsverhältnisse geändert hätte.

Die Untersuchungen in Rotenkamp umfassten auch Messungen zur Konzentration von Ammoniak, seinen Reaktionspartnern Salpetersäure und Schwefeldioxid (als Vorläufer von Schwefelsäure) sowie den entstandenen Redaktionsprodukten Ammoniumnitrat und -sulfat bzw. hydrogensulfat. Hierzu wurden sog. Denuder-Filter-Sammler eingesetzt. In Rotenkamp wurden die Eigenschaften der in Kanada entwickelten Geräte unter den Bedingungen einer stark verschmutzten Atmosphäre ermittelt (Zimmerling 1994). Anschließend wurden sie zu Routinemessungen eingesetzt.

Die Messungen in Rotenkamp, in der Schorfheide und später in der FAL ergaben eine ständige Zunahme des Ammonium-Sulfat-Verhältnisses in Schwebstäuben (Abbildung 12).



**Abbildung 12**

Verhältnis von Ammonium-N zu Sulfat-S in Schwebstäuben. Ergebnisse von Denuder-Filter-Messungen (Quellen: siehe Text)

Ist das Verhältnis 1, so liegt Ammoniumhydrogensulfat vor, ist es 2, so ist das Ammoniak als Ammoniumsulfat gebunden. Die Messungen in den Jahren 1992/93 ergaben ein mittleres Verhältnis von 1,66 mol mol<sup>-1</sup> (Zimmerling 1994), die Messungen in der Schorfheide 1996/1998 eines von 1,88 mol mol<sup>-1</sup> und schließlich eines von 2,06 mol mol<sup>-1</sup> in den 2003/2005 in der FAL (Zimmerling, 1994; Dämmgen, et al., 2010).

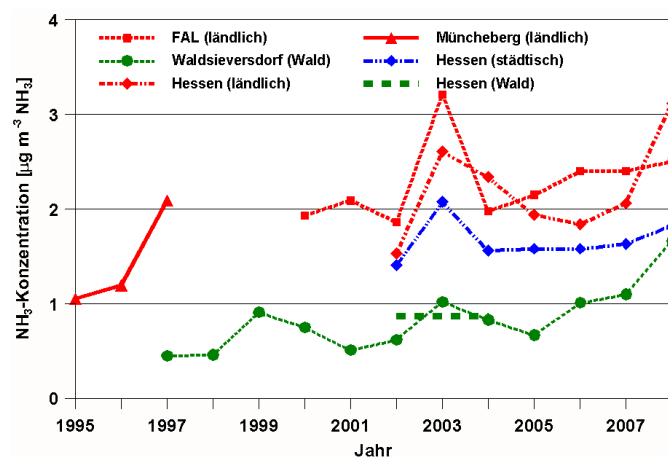
Die Zusammensetzung der Schwebstäube hat sich geändert. Es wird aber auch deutlich, dass die Abscheidung von Ammonium-N, Nitrat-N und Sulfat-S zusammen geschieht. Der „Flaschenhals“ ist dabei zunehmend die Bildung von Ammoniumnitrat. Für dessen Bildung ist aber die Bildungsrate von



Säopetersäure entscheidend. Die hängt neben der Konzentration der Ausgangsverbindung Stickstoffdioxid von weiteren Reaktionspartnern und dem Ausmaß der Sonneneinstrahlung ab.

Insgesamt bedeutet dies: Die Depositionen von Sulfat-Schwefel sind auch eine Funktion der (zunehmenden) Verfügbarkeit von Ammoniak in der Atmosphäre; die Depositionen von Ammonium-Stickstoff sind auch eine Funktion der abnehmenden Verfügbarkeit von atmosphärischen Säuren.

Da nun aber die Menge der Depositionen gleich der der Emissionen sein muss, muss – nach diesen Betrachtungen – die Menge an **trocken deponiertem gasförmigem Ammoniak** zugenommen haben. Diese ist abhängig von der Ammoniak-Konzentration in der Umgebungsluft. Die in Abbildung 13 zusammengestellten Daten zu Ammoniak-Konzentrationen an sog. Hintergrundmessstellen machen dies wahrscheinlich.



**Abbildung 13**  
Ammoniak-Konzentrationen in der Umgebungsluft an Hintergrundmessstellen  
Angaben in µg NH<sub>3</sub> pro m<sup>3</sup> Luft..

Quelle: eigene Messungen

#### 4 Standardisierte Messverfahren und Emissionsmodellierung als Voraussetzung für die Beurteilung und Verringerung von Emissionen

Emissionsmindernde Maßnahmen greifen in Prozessabläufe ein. Sie können die Wirtschaftlichkeit von Produktionsverfahren verändern und den Wettbewerb verzerren. Sie kosten Geld. Ihr Zustandekommen setzt aber neben dem politischen Willen voraus, dass man Zahlen hat, über die man reden und verhandeln kann. Ammoniak ist ein Beispiel dafür, wie man nachhelfen muss, dass Emissionen beurteilt und gegebenenfalls auch verringert werden können.

##### 4.1 Standardisierung der Messverfahren

Messungen von Ammoniak-Konzentrationen in der Umgebung wurden in Deutschland nur von wenigen Arbeitsgruppen durchgeführt. Eine Luftqualitätsüberwachung mit Messnetzen wie bei Schwefeldioxid oder Staub gab und gibt es nicht. Luftqualitätsüberwachung setzt voraus, dass es Grenz- oder Richtwerte gibt, die einzuhalten oder zu überprüfen sind. Die Gründe für das Fehlen von Ammoniak gab ein Vertreter des Umweltbundesamtes beim ersten Braunschweiger Ammoniak-Treffen (2002) mit folgender Argumentationskette an:

- Es gibt keine Grenzwerte, weil es keine verlässlichen Daten gibt.
- Es gibt keine Daten, weil es keine anerkannten Messverfahren gibt.
- Es gibt kein Messverfahren, weil es keine Richtlinie gibt.
- Es gibt keine Richtlinie, weil es keine Notwendigkeiten gibt.

- Es gibt keine Notwendigkeiten, weil es keine Grenzwerte gibt.
- usw.

Angesichts der Beiträge von Ammoniak zur Versauerung und Eutrophierung von Ökosystemen und wegen seiner Rolle bei der Feinstaub-Bildung sahen wir die Notwendigkeit, diesen (sicher nicht unerwünschten Teufels-)Kreis zu durchbrechen. Erste Priorität hatte dabei die Etablierung anerkannter Messverfahren.

Wir erreichten, dass die hierfür maßgebliche Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN eine Arbeitsgruppe mit dem Ziel einrichtete, Messverfahren für die Bestimmung von Konzentrationen von Ammoniak in der Umgebungsluft zu erarbeiten. Die Kommission erarbeitete setzte die Hintergründe der Messtechnik und die praktischen Voraussetzungen zur Anwendung in zwei Richtlinien um (Richtlinien VDI 3869). Voraussetzung waren dabei auch umfangreiche Vergleichsmessungen, die 2005 bis 2008 auf dem Messfeld der FAL durchgeführt wurden.

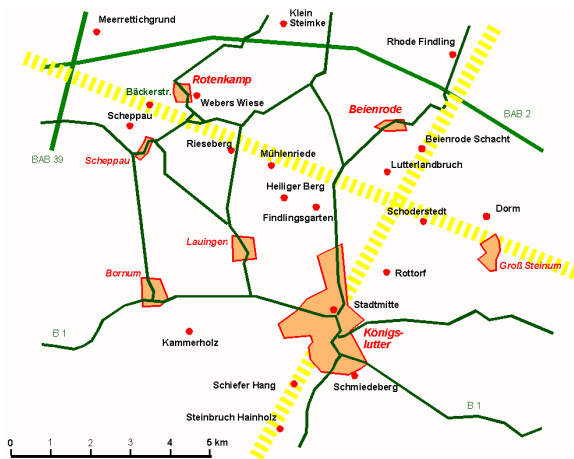


**Abbildung 14**  
Feldexperiment zur Bestimmung der Verlässlichkeit und Genauigkeit von Ammoniak-Konzentrationsmessungen in der FAL, 2005 bis 2008.

Die Ermittlung repräsentativer Ammoniak-Konzentrationen wird durch die hohe Reaktivität von Ammoniak erschwert, ebenso durch den Umstand, dass alle Lebewesen Ammoniak aufnehmen und abgeben können und damit die Konzentrationen in der sie umgebenden Luft verändern. Da aber gerade die Konzentration in der Umgebungsluft zukünftig Kriterium sein wird, ob emittierenden Anlagen eine Baugenehmigung erteilt wird, ist neben der Beschreibung der Messtechnik auch die Entwicklung eines anerkannten Probenahmeverfahrens voran zu treiben.

Das Gewerbeaufsichtsamt Hildesheim baut in diesem Zusammenhang ein weitmaschiges Netz in ganz Niedersachsen mit etwa 20 Messstellen auf<sup>2</sup>. Das Institut für Agrarrelevante Klimaforschung des von Thünen-Instituts in Braunschweig übernimmt die Messungen zur Erarbeitung von Standards zur Bestimmung der kleinräumigen Repräsentativität solcher Messungen. Hierzu wurde mit Hilfe von Herrn Weber und unter Nutzung von Flächen des BUND Helmstedt das in Abbildung 15 dargestellte Messnetz im Raum Königslutter errichtet. Als Messeinrichtungen dienen Passiv-Sammler nach VDI 3869, Bl. 4 (Abbildung 16).

<sup>2</sup> PASSAMONI – Passivsammler-Messungen zur Erfassung der Ammoniak-Belastung in Niedersachsen



**Abbildung 15**  
Messnetz zur Erarbeitung von Kriterien für die repräsentative Beprobung einer Region



**Abbildung 16**  
Aufbau der Messeinrichtungen zur Erfassung von Ammoniak-Konzentrationen im Raum Königslutter (Messstellen Mühlenriede und Stadtmitte) (Fotos: Jürgen Conrad, vTI)

## 4.2 Modellierung der emittierenden Prozesse

Maßnahmen zur Emissionsminderung setzen die Kenntnis und Beschreibbarkeit der emittierenden Prozesse voraus. Für Ammoniak bedeutet das vor allem eine entsprechende Beschreibung der Produktionsverfahren in der Landwirtschaft. In Deutschland wurde diese Beschreibung federführend durch die FAL, jetzt das vTI durchgeführt.

Das derzeit weltweit detaillierteste Inventar der Emissionen von Ammoniak, Methan, Stickstoffoxiden (einschließlich Lachgas), organischen Verbindungen außer Methan und von Stäuben aus landwirtschaftlichen Quellen ist in Dämmgen et al. (2009) bzw. seiner Weiterentwicklung (Haenel et al., 2010) beschrieben.

## 5 Zur Motivation

Warum das Ganze, mögen Sie fragen - und was steckt dahinter? Das war immer auch meine Frage: „Was steckt dahinter?“

Keine Angst, ich bin nicht fromm. Ich bin nicht einmal religiös. Ich denke, ich bin Ökologe, also jemand, der den Stoffhaushalt, den Energiehaushalt eines Systems zu analysieren gedenkt und die Informationsflüsse, die diese Stoff- und Energieströme und -umsetzungen steuern. Konkret: Natürlich stecken hinter den Wirkungen von Luftverschmutzungen auf ein Waldökosystem die Stoffeinträge.

Hinter den Stoffeinträgen stecken die chemischen Reaktionen und Transportvorgänge in der Atmosphäre. Unter dahinter stecken die Emissionen. Genauer, die Emissionen, die in ihrer Art und ihrem Ausmaß so sind, dass sie die Flüsse und Funktionen von Ökosystemen so ändern, dass die Systeme nicht unter Systemerhalt auf sie reagieren können.

Wer steckt hinter diesen Emissionen? Die Menschen - genauer: die Menschen mit dem Bild, das sie von sich selber entwickelt haben und in ihren Kulturen vermitteln.

Beschäftigung mit Ökologie schließt deshalb auch eine Auseinandersetzung mit den Triebfedern menschlichen Handelns und damit einer kritischen Betrachtung der in einer Kultur - in unserer Kultur - vermittelten Werte ein.

Man hat zumindest mir in der Schule und auch im Konfirmandenunterricht vermittelt, die Menschen seien die Krone der Schöpfung und dazu da, die Erde zu beherrschen, auch, dass alles um uns herum nur darauf wartet, von Menschen genutzt zu werden - wie die Tanne in Hans Christian Andersens Märchen „Der Tannenbaum“, der im Wald steht und davon träumt, in ein Schiff verbaut zu werden und dann, weil er nicht groß genug ist, „bestimmt ist, diesen strahlenden Weg zu betreten“ - also Weihnachtsbaum zu werden

Unser Weltbild beruhte und beruht immer noch darauf, dass Menschen etwas Besonderes sind. Es erscheint mir angemessener - über den Weg zu dieser Erkenntnis reden wir, wenn wir mehr Zeit und Geduld haben -, ihn als eine Sackgasse der Evolution zu betrachten. Ich denke auch, dass es falsch ist, den Lebewesen einen höheren Wert einzuräumen als den unbelebten Geschöpfen, die ihr Dasein mit uns teilen. Wir benutzen eine Reihung Menschen, Wirbeltiere, andere Tiere, Pflanzen, Pilze, Boden, Wasser, Luft - die Reihe ist nicht vollständig - als Reihung nachlassender Verantwortlichkeit von Menschen gegenüber diesen Geschöpfen.

Auch hier taucht die Frage auf: „Was steckt dahinter?“

Dazu muss man die Menschen beobachten und analysieren und ihre Wege der Alltagsbewältigung, vor allem ihre Wege des Umgangs mit ihrer existentiellen Angst.

Viele Probleme, die wir als Menschen miteinander haben, die wir im Umgang mit den Systemen haben, die uns als Nahrung dienen, mit unseren energetischen Rohstoffquellen, haben ihre Ursache in der menschlichen Neigung, sich dem Umgang mit dieser Angst nicht zu stellen. Man kann das aber tun, und wenn man das tut, dann braucht man nicht mehr Krone der Schöpfung zu sein, sondern kann akzeptieren, dass der Nächste, den man achten soll wie sich selbst, ein jedes Gegenüber sein kann, das man als Gegenüber annimmt. Und dazu zählen dann auch Bäume, Böden, Wasser und Luft, für die und für deren Nutzung ich Verantwortung trage.

Mit dem Regen stimmt was nicht mehr, weil mit den Menschen was nicht mehr stimmt.

## **Dank**

Bei der Arbeit über Luftverschmutzung, die bei mir zum Beruf wurde, haben viele Zufälle eine Rolle gespielt, etwa der Bau von Buschhaus oder der Umstand, dass Luftverschmutzung und Waldsterben zueinander in Beziehung gesetzt wurden, sicher auch das vermehrte Umweltbewusstsein weiter Teile der Bevölkerung zum Ende der 70er Jahre.

Wesentlich waren aber diejenigen, die Fragen gestellt, Anregungen und Erklärungen gegeben und helfend Kopf und Hände bereitgestellt haben. Da ist zunächst die Familie Weber zu nennen, dann meine Frau, und gewiss die Mitglieder des BUND Helmstedt, die manchen Meter Graben geschachtet und Leitungen gelegt, Baumaterial bereitgestellt und mit fröhlichen Gesichtern dafür gesorgt haben, dass die gute Laune erhalten blieb.

Die Stadt Königslutter hat die Arbeiten finanziell und mit Material vom Bauhof unterstützt. Der BUND Helmstedt hat erste technische Assistenz finanziert.

Freunde und Bekannte haben Geld gesammelt und gespendet, von dem Messeinrichtungen gekauft wurden. Das Institut für Produktions- und Ökotoxikologie stellte „dem Gast“ Räume und Geräte zur Verfügung.

Als die Arbeit zu Beruf geworden war, haben die Kolleginnen und Kollegen engagiert ihre Arbeitskraft in dieses „Projekt“ gesteckt. Es waren die Kolleginnen und Kollegen am Institut für Geographie und Geoökologie der TU Braunschweig, am Institut für agrarrelevante Klimaforschung der FAL in Müncheberg und am Institut für Agrarökologie der FAL in Braunschweig.

Der Bau von Messeinrichtungen wurde vor allem von der Firma Herrmann vorangetrieben.

Die Modellierung von Prozessen in der Landwirtschaft ist ohne die Zusammenarbeit im Agriculture and Nature Panel der UNECE Task Force on Emission Inventories and Projections nicht vorstellbar.

Schließlich wäre die Arbeit ohne zwei wissenschaftliche Weggefährten nicht denkbar, die mit mir gemeinsam von Anfang an zusammen gearbeitet haben: Prof. Dr. Ludger Grünhage, jetzt Justus-Liebig-Universität, und Dr. Hans-Dieter Haenel, jetzt vTI.

Bei allen möchte ich mich herzlich bedanken.

## Literatur

- Dämmgen U (1984) Feststellung von Schwefel-Depositionen und -Immissionen im Ostbraunschweiger Raum. Braunschweiger Naturkundliche Schriften **2**, 237-252.
- Dämmgen U (1985) Luftbelastung durch Schwefeldioxid im Raum Königslutter (Elm). Braunschweiger Naturkundliche Schriften **2**, 373-382.
- Dämmgen U (Hrsg.) (1996) Untersuchungen zum chemischen Klima in Südostniedersachsen. Landbauforschung Völkenrode, **Sonderheft 170**, 333 S.
- Dämmgen U (2006) Atmospheric nitrogen dynamics in Hesse, Germany: Creating the data base : 1. Bulk deposition of acidifying and eutrophying species. Landbauforschung Völkenrode **56**, 117-138.
- Dämmgen U, Bieber E, Bunzel F, Gocht T, Kallweit D, Lumpp R, Noll G, Plegnière P, Topp O, Wallasch M (2008) Messung atmosphärischer Depositionen - eine erste VDI-Richtlinie zu Grundsatzfragen bei der Erfassung der Deposition sedimentierender Partikel. Gefahrstoffe - Reinhaltung der Luft **68**, 441-444.
- Dämmgen U, Erisman JW (2005) Emission, transmission, deposition and environmental effects of ammonia from agricultural sources. In: Kuczynski T, Dämmgen U, Webb J, Myczko A (Hrsg.) Emissions from European agriculture. Wageningen Academic Publishers, Wageningen, S. 97-112.
- Dämmgen U, Erisman JW, Cape JN, Grünhage L, Fowler D (2005) Practical considerations for addressing uncertainties in monitoring bulk deposition. Environmental Pollution **134**, 535-548.
- Dämmgen U, Grünhage L, Haenel H-D, Jäger H-J (1993) Climate and Stress in Ecotoxicology. A Coherent System of Definitions and Terms. Angewandte Botanik **67**, 157-162.
- Dämmgen U, Haenel H-D, Rösemann C, Conrad J, Lüttich M, Döhler H, Eurich-Menden B, Laubach P, Müller-Lindenlauf M, Osterburg B (2009) Calculations of Emissions from German agriculture - National Emission Inventory Report (NIR) 2009 for 2007. Methods and Data. GAS-EM. vTI Agriculture and Forestry Research **Sonderheft 324**, 9-385.
- Dämmgen U, Matschullat J, Zimmermann F, Strogies M, Grünhage L, Conrad J (2010) Effect of emission reduction measures on the bulk deposition of eutrophying and acidifying species as well as basic cations in Southeast Lower Saxony, Brandenburg, Saxony and Hesse - results of long-term measurements. In Vorbereitung.
- EU (2001) Directive 2001/81/EC of the European Parliament and of the Council on national emission ceilings for certain atmospheric pollutants. Official Journal of the European Communities L 309/22, 27-11-2001.
- Georgii H-W, Perseke C, Rohbock E (1982) Feststellung der Deposition von sauren und langzeitwirksamen Spurenstoffen aus Belastungsgebieten. Abschlußbericht Forschungsprojekt 104 02 600, Umweltbundesamt. Institut für Meteorologie und Geophysik der Universität, Frankfurt/M.
- Grünhage L, Jäger H-J (Hrsg.) (1992) Auswirkungen luftgetragener Stoffe auf ein Grünlandökosystem. Ergebnisse siebenjähriger Ökosystemforschung. Teil I. Landbauforschung Völkenrode **Sonderheft 128**. 300 S.
- Grünhage L, Jäger H-J (Hrsg.) (1994) Auswirkungen luftgetragener Stoffe auf ein Grünlandökosystem. Ergebnisse siebenjähriger Ökosystemforschung. Teil II. Landbauforschung Völkenrode **Sonderheft 143**. 227 S.
- Haenel H-D, Rösemann C, Dämmgen U, Döhler H, Eurich-Menden B, Laubach P, Müller-Lindenlauf M, Osterburg B (2010) Calculations of Emissions from German Agriculture - National Emission Inventory Report (NIR) 2010 for 2008. Methods and Data. vTI Agriculture and Forestry Research, Sonderheft. In Vorbereitung.
- Mylona S (1996) Sulphur dioxide emissions in Europe 1880-1991 and their effect on sulphur concentrations and deposition. Tellus **48B**, 662-689.
- NitroEurope (2009) <http://www.nitroeuropa.eu/about>

- NLÖ - Niedersächsisches Landesamt für Ökologie (1998) 20 Jahre Lufthygienisches Überwachungssystem Niedersachsen. Datenkatalog zur Luftgüte in Niedersachsen 1978 – 1997. Nachhaltiges Niedersachsen 7, NLÖ, Hildesheim.
- Richtlinie VDI 3869, Teil 3 (2008) Messen von Ammoniak in der Außenluft. Probenahme mit beschichteten Diffusionsabscheidern (Denudern). Beuth, Berlin. Gründruck 2008. Endfassung im Druck..
- Richtlinie VDI 3869, Teil 4 (2010) Messen von Ammoniak in der Außenluft. Probenahme mit Passivsammlern. Gründruck in Vorbereitung.
- Richtlinie VDI 4320, Teil 1 (2008) Messung atmosphärischer Depositionen. Probenahme mit Bulk- und Wet-Only-Sammlern. Beuth, Berlin. Gründruck September 2008. Endfassung im Druck.
- Riehm H, Quellmalz E, Kraus M (1965) Ergebnisse atmosphärisch chemischer Untersuchungen in Mitteleuropa. Zentralblatt biologische Aerosolforschung **12**, 431-454.
- UNECE (1979) UNECE Convention on Long-Range Transboundary Air Pollution. <http://www.unece.org/env/lrtap/>
- UNFCCC (1982) UN Framework Convention on Climate Change. <http://unfccc.int>
- Vetter F (1982) Die Bestimmung von Schwefel-Spuren im Regen. Examensarbeit. Technische Universität Braunschweig. 71 S.
- Zimmerling R (1994) Denuder-Filter-Messungen zur Bestimmung von Konzentrationen und vertikalen Flüssen von S- und N-Spezies in der bodennahen Atmosphäre über landwirtschaftlichen Nutzflächen. Dissertation, TU Braunschweig. 197 S.