

2749-7735

**Gabi Bruckner**

**Deposition und oberirdische Aufnahme  
von gas- und partikelförmigem Stickstoff  
aus verschiedenen Emissionsquellen  
in ein Fichtenökosystem**

Dissertation aus dem  
Institut für Pflanzenökologie  
der Universität Bayreuth

Mai 1996

gefördert aus Mitteln  
des Bundesministeriums für Bildung, Wissenschaft, Forschung und  
Technologie (BMBF) Vorhaben-Nr. PT BEO 51 - 0339476 A und  
dem Forschungsprojekt NIPHYS der Europäischen Gemeinschaft

<b>1 Einleitung</b> .....	<b>1</b>
<b>2 Stand der Forschung</b> .....	<b>4</b>
2.1 Emissionsquellen von atmosphärischem NH <sub>3</sub> , NO <sub>2</sub> , HNO <sub>3</sub> , Partikel-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> und Partikel-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> .....	4
2.2 Die Deposition von atmosphärischem Stickstoff in Waldökosysteme .....	6
2.3 Die Messung der Stickstoff-Aufnahme in Fichten .....	11
<b>3 Material und Methoden</b> .....	<b>13</b>
3.1 Pflanzenanzucht für die Expositions-kammerversuche .....	13
3.2 Expositions-kammern .....	15
3.2.1 Expositions-kammern der GSF München .....	15
3.2.2 Taukammer .....	15
3.2.3 Aerosolgenerator.....	16
3.3 Freilandstandort .....	17
3.4 Messung der Freilandkonzentrationen von NH <sub>3</sub> , HNO <sub>3</sub> , NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> .....	23
3.4.1 Wet-Annular-Denuder (HN <sub>3</sub> , HNO <sub>3</sub> ).....	23
3.4.1.1 Theorie .....	23
3.4.1.2 Denuder-Messungen.....	27
3.4.1.3 Konzentrationsberechnungen für Gase.....	27
3.4.2 Impaktoren (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> und NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ).....	28
3.4.2.1 Theorie .....	28
3.4.2.2 Impaktor-Messungen.....	29
3.4.2.3 Konzentrationsberechnungen für Aerosole .....	30
3.5 Methoden zur Bestimmung von Depositionsgeschwindigkeiten und Flüssen von NH <sub>3</sub> , HNO <sub>3</sub> , NO <sub>x</sub> , NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> und NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> .....	30
3.5.1 Das Modell DEPOSITE .....	30
3.5.2 Stammflußmessungen .....	31
3.6 Stickstoffaufnahme und Stickstoffadsorption in <sup>15</sup> N-Tracerversuchen : Versuchsdesign .....	33
3.6.1 Aufnahme von <sup>15</sup> NH <sub>3</sub> in Expositions-kammern .....	34
3.6.2 Aufnahme von <sup>15</sup> NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> / <sup>15</sup> NO <sub>3</sub> über Kutikula und Rinde im Freiland .....	35
3.6.3 Aufnahme von <sup>15</sup> NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> / <sup>15</sup> NO <sub>3</sub> über Kutikula und Rinde in Expositions-kammerversuchen .....	37
3.7 Probenaufarbeitung für die Massenpektrometrie.....	38
3.7.1 Pflanzenmaterial : <sup>15</sup> N Tracereperimente.....	38
3.7.2 Wässrige Proben : Natürliche N-Isotope .....	38
3.7.3 Mögliche Fehlerquellen bei der Aufarbeitung der wässrigen Lösungen .....	39

3.8	Basisanalysen- und Meßmethoden .....	42
3.8.1	Messungen klimatischer Parameter .....	42
3.8.2	Oberflächen und Oberflächenstrukturen .....	42
3.8.3	Destillation und Gefriertrocknung .....	43
3.8.4	$\text{NH}_4^+$ - und $\text{NO}_3^-$ -Konzentrationsmessungen .....	44
3.8.5	C/N-Gehalte von Pflanzenproben .....	45
3.8.6	Massenspektrometrische Messungen .....	45
3.9	Berechnung der N-Aufnahme anhand von $^{15/14}\text{N}$ -Isotopenverhältnissen .....	47
3.9.1	$^{15}\text{N}$ -Tracer-Experimente .....	47
3.9.2	N-Isotopenverhältnisse im natürlichen Bereich .....	48
3.10	Software und Statistik .....	48
<b>4</b>	<b>Ergebnisse .....</b>	<b>50</b>
4.1	Expositionsexperimente zur Deposition und Aufnahme von $^{15}\text{NH}_3$ .....	50
4.1.1	$\text{NH}_3$ -Aufnahme über die Stomata und $\text{NH}_3$ -Deposition an Kutikula und Rinde .....	53
4.1.1.1	Stomatäre Leitfähigkeiten .....	53
4.1.1.2	$\text{NH}_3$ -Aufnahme in die Stomata .....	53
4.1.1.3	$\text{NH}_3$ -Adsorption an Kutikula und Rinde .....	55
4.1.1.4	Vergleich der $\text{NH}_3$ -Adsorption an Kutikula und Rinde und der $\text{NH}_3$ -Aufnahme über die Stomata .....	56
4.1.2	Abhängigkeit der $\text{NH}_3$ -Aufnahme von der $\text{NH}_3$ -Konzentration, dem Alter und der N-Ernährung der Fichten .....	57
4.1.3	$^{15}\text{N}$ -Verlagerung in die Wurzeln .....	62
4.1.4	Abhängigkeit der $\text{NH}_3$ -Aufnahme von der Windgeschwindigkeit .....	63
4.1.5	Abhängigkeit der $\text{NH}_3$ -Aufnahme von der Luftfeuchte und der Präsenz von $\text{SO}_2$ und $\text{NO}_x$ .....	64
4.1.6	Zusammenfassung und Diskussion .....	68
4.2	Aufnahme von $^{15}\text{NH}_4^+$ und $^{15}\text{NO}_3^-$ über Kutikula und Rinde .....	75
4.2.1	Abhängigkeit der $^{15}\text{NH}_4^+$ - und $^{15}\text{NO}_3^-$ - Aufnahme von der Konzentration .....	80
4.2.2	Abhängigkeit von der N-Konzentration, dem Alter der Gewebe und der Kronenposition .....	82
4.2.3	Zeitkinetik .....	84
4.2.4	Verlagerung von aufgenommenem Stickstoff .....	86
4.2.5	Abhängigkeit vom pH-Wert .....	87
4.2.6	Abhängigkeit vom Wasserpotential .....	89
4.2.7	Abhängigkeit von der Oberflächenbenetzung und damit der Luftfeuchte .....	90
4.2.8	Abhängigkeit von der Jahreszeit .....	93
4.2.9	Einfluß von Epiphyten .....	94
4.2.10	Zusammenfassung und Diskussion .....	95

4.3	Berechnung der NH <sub>3</sub> -EMISSION in Oberfranken: Quellen und Quellstärken im Untersuchungsgebiet .....	101
4.3.1	Abschätzungen der regionalen Ammoniak-Emissionen .....	103
4.3.1.1	Berechnungsgrundlagen für industrielle Ammoniak-Emissionen .....	103
4.3.1.2	Berechnungsgrundlagen für landwirtschaftliche Ammoniak-Emissionen.....	105
4.3.1.3	Erfassung der NH <sub>3</sub> -Emissionsquellen im Untersuchungsgebiet.....	105
4.3.1.4	Der regionale Bezug für einen Vergleich der Emissionen aus Landwirtschaft und Kraftwerken.....	106
4.3.2	NH <sub>3</sub> -Emissionen aus Industrie und Landwirtschaft im Untersuchungsgebiet .....	107
4.3.3	Zusammenfassung und Diskussion .....	110
4.4	<sup>15</sup> N/ <sup>14</sup> N-Isotopenverhältnisse im atmosphärischen N-Verbindungen: Bedeutung für die Identifizierung von N-Emissionsquellen und die Berechnung der oberirdischen N-Aufnahme in Fichten anhand von <sup>15</sup> N/ <sup>14</sup> N-Isotopenverhältnissen .....	112
4.4.1	<sup>15</sup> N/ <sup>14</sup> N-Isotopenverhältnisse von NH <sub>3</sub> , HNO <sub>3</sub> , Partikel-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , Partikel-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , Regen-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> und Regen-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> .....	113
4.4.1.1	NH <sub>3</sub> -Immissionen über einem Fichtenbestand .....	113
4.4.1.2	NH <sub>3</sub> -Emissionen nach Gülleausbringung .....	114
4.4.1.3	HNO <sub>3</sub> -Immissionen über dem Wald.....	116
4.4.1.4	Partikel-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -Immissionen über dem Wald.....	117
4.4.1.5	Partikel-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -Immissionen über dem Wald .....	119
4.4.1.6	Partikel-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> nach Gülleausbringung .....	121
4.4.1.7	Regen-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> und Regen-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> über dem Wald .....	121
4.4.2	Diskussion.....	122
4.4.2.1	Die Berechnung des δ <sup>15</sup> N-Wertes im NO <sub>2</sub> über dem Fichtelgebirge.....	122
4.4.2.2	Identifizierung von N-Emissionsquellen im Untersuchungsgebiet anhand von <sup>15</sup> N/ <sup>14</sup> N-Isotopenverhältnissen in atmosphärischen N-Spurenstoffen ...	123
4.4.2.2.1	NH <sub>3</sub> .....	123
4.4.2.2.2	HNO <sub>3</sub> und NO <sub>2</sub> .....	125
4.4.2.2.3	Partikel-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> .....	127
4.4.2.2.4	Partikel-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> .....	127
4.4.2.2.5	Regen-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> und Regen-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> .....	128
4.4.2.3	Berechnung der oberirdischen N-Aufnahme in Fichten über <sup>15</sup> N/ <sup>14</sup> N-Isotopenverhältnisse .....	128
4.4.2.3.1	Theoretische Überlegungen .....	128
4.4.2.3.2	Isotopeneffekte bei der oberirdischen N-Aufnahme .....	128
4.4.3.1.2	Anmerkungen zu den δ <sup>15</sup> N-Werten im Xylem und Phloem .....	130
4.4.3.2	Berechnungen des δ <sup>15</sup> N-Wertes der atmosphärischen N-Spurenstoffe.....	131
4.4.3.3	Berechnungen der N-Aufnahme in Fichten .....	132

4.5 IMMISSION von atmosphärischem Stickstoff im Fichtelgebirge:	
NH <sub>3</sub> , HNO <sub>3</sub> , Partikel-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> und Partikel-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> .....	137
4.5.1 Ammoniak (NH <sub>3</sub> ) .....	138
4.5.2 Partikel .....	142
4.5.3 Salpetersäure (HNO <sub>3</sub> ) .....	146
4.5.4 Stickoxide (NO <sub>x</sub> ) .....	147
4.5.5 Verteilung im Bestand .....	149
4.5.6 Abhängigkeit der NH <sub>3</sub> -, HNO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , und Partikel-Konzentrationen von meteorologischen Parametern .....	150
4.4.7 Zusammenfassung und Diskussion.....	152
4.6 Modellierung der DEPOSITION und oberirdischen AUFNAHME von atmosphärischem Stickstoff.....	158
4.6.1 Deposition.....	160
4.6.1.1 NH <sub>3</sub> -Deposition.....	160
4.6.1.2 HNO <sub>3</sub> -Deposition .....	162
4.6.1.3 NO <sub>2</sub> - Deposition .....	163
4.6.1.4 Deposition von Partikel-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> und Partikel-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> .....	164
4.6.2 Bilanz der N-Einträge und der N-Aufnahme in einen Fichtenbestand .....	165
4.6.3 Diskussion und Fehlerabschätzung der Ergebnisse .....	168
4.6.3.1 Der Einfluß von Bestandeskonzentrationsgradienten auf die N-Deposition .....	168
4.6.3.2 Kritische Betrachtung der Kronendachleitfähigkeiten .....	169
4.6.3.3 Fehlerabschätzung der Gesamtdosition .....	170
4.6.3.4 Fehlerabschätzung der oberirdischen Deposition und Aufnahme von NH <sub>3</sub> .....	171
4.6.3.5 Fehlerabschätzung der oberirdischen Deposition und Aufnahme von NO <sub>x</sub> .....	172
4.6.3.6 Fehlerabschätzung der oberirdischen Deposition und Aufnahme von HNO <sub>3</sub> .....	173
4.6.3.7 Fehlerabschätzung der oberirdischen Deposition und Aufnahme von Partikel-N .....	174
4.6.4 Antworten auf Fragen zur N-Deposition und N-Aufnahme in einen Fichtenbestand .....	176
4.6.5 Stickstoff-Bilanz im untersuchten Ökosystem .....	177
<b>5 Zusammenfassende Diskussion .....</b>	<b>180</b>
<b>6 Zusammenfassung .....</b>	<b>189</b>
<b>7 Summary .....</b>	<b>194</b>
<b>8 Literaturverzeichnis .....</b>	<b>198</b>
<b>Anhang.....</b>	<b>.....</b>