

Auswirkungen erhöhter Stickstoffeinträge auf Fichtenbestände im Nahbereich einer Massengeflügelhaltung

M. SIEGHARDT und H. HAGER

Institut für Forstökologie, Universität für Bodenkultur, Wien

Einleitung und Problemstellung

Waren die Waldökosysteme Mitteleuropas während vieler Jahrhunderte durch extremen Stickstoffmangel infolge des Entzuges von Biomasse durch Ernte, Streunutzung, Schneitelung und andere Nutzungsformen gekennzeichnet, so hat in unserem Jahrhundert die Freisetzung von Stickstoffverbindungen durch menschliche Aktivitäten nicht nur zu einer Kompensation dieser Mängel, sondern vielfach zu erheblichen Stickstoffeinträgen geführt. Neben den Stickstoffemittenten Industrie, Kfz-Verkehr, Acker- und Grünlandwirtschaft tritt in den letzten Jahrzehnten infolge des Agrarstrukturwandels auch vermehrt die Massentierhaltung als Stickstoffemittent in Erscheinung. Aufgrund der unangenehmen Geruchsbelästigung durch Massentierhaltungen werden solche Anlagen häufig in abgelegenen Waldgebieten eingerichtet oder sie werden mit Waldstreifen als Emissionsschutz ummantelt. In den letzten Jahren sind in einer Vielzahl von Fällen Auswirkungen von hohen Stickstoffeinträgen aus Massentierhaltungen auf Waldökosysteme bearbeitet und diskutiert worden (z.B. FERM et al., 1989; HEINSDORF, 1991; HUNGER, 1989, KAUPENJOHANN et al., 1989).

Material und Methoden

Probeflächenauswahl und Probenwerbung

Die Untersuchungsflächen lagen in Niederösterreich rund 150 km westlich von Wien im Nahbereich eines Massengeflügelhaltungsbetriebes, in dessen Umgebung großflächig Nadelrotfärbung bei Fichte infolge verminderter winterlicher Frosthärte nach strengen Winterfrösten vor allem im Leebereich des Geflügelhofes festgestellt worden war. In weiterer Folge war eine hohe Mortalität an den älteren Fichtenbeständen zu beobachten. Es sollte überprüft werden, inwieweit Stickstoffeinträge die Ursache für die starke Destabilisierung der Waldbestände sind

und welche Auswirkungen diese Einträge auf den Nährstoffhaushalt der angrenzenden Waldflächen haben. Dazu wurden im Nahbereich des Geflügelhofes insgesamt 6 Probeflächen ausgewählt. Eine Lageskizze der Probenahmepunkte ist der Abbildung 1 zu entnehmen. 2 Probeflächen (B1, B2) wurden in Fichtenaltbeständen eingerichtet, 4 Probeflächen in Aufforstungen mit unterschiedlicher Distanz zum Geflügelhof (F1 bis F4).

Auf jeder der 6 Meßflächen wurden drei Bulk-niederschlagssammler errichtet; weiters wurden zur Erfassung der chemischen Zusammensetzung des Bodenwassers pro Meßfläche je ein Sauglysimeter in 30 und 60 cm Bodentiefe installiert. Mit Hilfe dieser Meßeinrichtungen wurden wöchentlich Niederschlagsproben und Bodenwasserproben für chemische Analysen im Zeitraum von Juli 1988 bis Jänner 1989 gesammelt.

Auf allen Probeflächen wurden Auflagehumus- und Mineralbodenproben, sowie von 10 Altfichten, die auf je einer südöstlichen und einer südwestlichen Richtung vom Geflügelhof aus gesehen angeordnet waren, Nadelproben gewonnen (1 bis 10). Es wurde der Vergilbungsgrad der Nadeln, die Anzahl der vorhandenen Nadeljahrgänge und die durchschnittliche Trieblänge bestimmt.

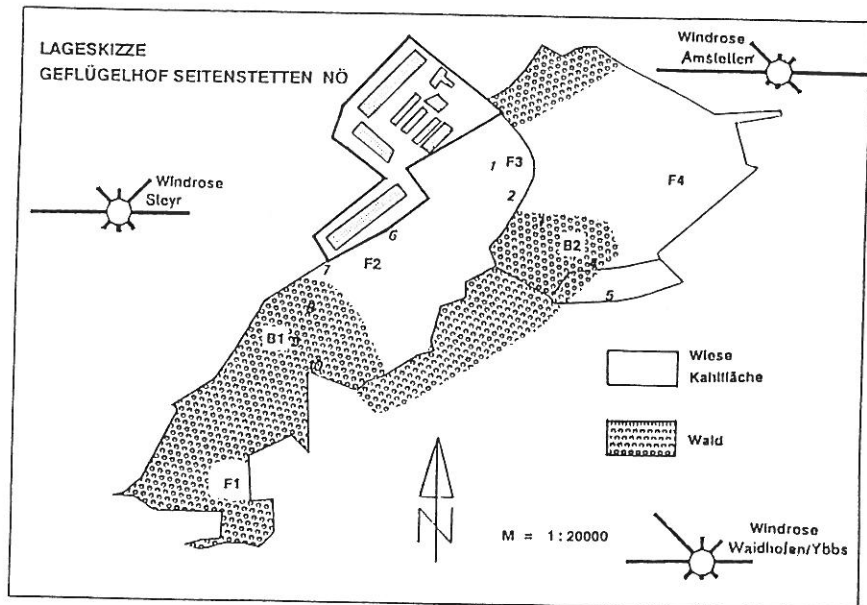


Abbildung 1

Lageplanskizze der Probenahme- und Meßflächen. F1 bis F4: Depositionsmessung Freiflächen; B1 und B2: Depositionsmessung Bestandesflächen; 1 bis 10: Nadelprobenahmepunkte

*Chemische Analysen**Nadelproben*

Für die Nadelanalysen wurde der jüngste (1.) und der vorjährige (2.) Nadeljahrgang herangezogen. Die Nadelproben wurden bei 105 °C bis zur Gewichtskonstanz getrocknet und < 0,5 mm vermahlen.

- Die Gesamtstickstoffbestimmung erfolgte nach Kjeldahl.
- Die Schwefelbestimmungen wurden mittels LECO-Schwefelanalysator durch Verbrennung im Sauerstoffstrom und Messung des gebildeten SO₂ mit Hilfe eines Infrarotdetektors durchgeführt.

- Für die Bestimmung der Phosphor-, Kalium-, Kalzium-, Magnesium- und Mangangehalte wurden die analysefertigen Nadeln mittels Salpetersäure-Perchlorsäuregemisch bei 200 °C naß verascht und auf ein konstantes Volumen verdünnt. Die Phosphorbestimmung erfolgte mittels Fließinjektion spektrometrisch, die Kationen wurden mittels Flammen-Atomabsorptionsspektroskopie (Perkin Elmer 2100) bestimmt.

Auflagehumusproben

Die Auflagehumusproben wurden bei 105 °C bis zur Gewichtskonstanz getrocknet, die Trockenmassen ermittelt und die Proben fein vermahlen.

- Die Kohlenstoffbestimmung erfolgte mit Hilfe eines WOESTHOFF CARM-HOMAT ADG 8 durch Verbrennung der ofentrockenen Probe im Sauerstoffstrom und konduktometrische Bestimmung des gebildeten CO₂.

- Die Bestimmung von Schwefel, Stickstoff, Phosphor, Kalium, Kalzium, Magnesium und Mangan im Auflagehumus erfolgte wie bei den Nadelproben.

Mineralboden

Die Mineralbodenproben wurden nach Bestimmung des Humus- und Bodentyps und Abtrennung des Auflagehumus in geometrische Horizonte von 2 mal 5 cm und anschließend jeweils in 10 cm-Stufen geteilt. Es wurden die Massenanteile von Grob- und Feinboden durch Siebung mit einem 2 mm Sieb ermittelt. Für die Analysen wurde der Feinboden < 2 mm herangezogen.

- Die Bestimmung der pH-Werte erfolgte elektrometrisch in Suspensionen des frischen Bodenmaterials in 0,01 m CaCl₂ und deion. H₂O.

- Die Bestimmung der Kohlenstoff-, Phosphor- und Stickstoffgehalte erfolgte wie bei den Auflagehumusproben.

- Für die Ermittlung der pflanzenverfügbaren Kalium-, Kalzium-, Magnesium- und Mangangehalte wurden 5 g lufttrockener Feinboden mit 100 ml einer 0,1 m BaCl₂-Lösung übergossen über Nacht stehen lassen und am nächsten Tag 2

Stunden geschüttelt und filtriert. Die Bestimmung dieser Kationen erfolgte mittels Flammen-Atomabsorptionsspektroskopie (Perkin Elmer 2100).

Niederschlags- und Bodenwasserproben

Die Proben wurden sofort nach Einlangen im Labor durch 0,2 μm Filter filtriert und bis zur Analyse bei 4 °C gelagert.

- Die Bestimmung der pH-Werte erfolgte elektrometrisch.
- Die Kalium-, Kalzium-, Magnesium-, Natrium- und Aluminiumgehalte wurden mittels Flammen-Atomabsorptionsspektroskopie (Perkin Elmer 2100) bestimmt.
- Die Bestimmung des Gesamtstickstoffs in den flüssigen Proben wurde mit Hilfe eines ANTEK-Stickstoffanalysators nach dem Chemolumineszenzprinzip bestimmt.
- Die Bestimmung der Chlorid-, Nitrat- und Sulfatkonzentrationen erfolgte durch Flüssigchromatographie mittels eines DIONEX-Ionenchromatographen Mod. 2010.
- Die Ammoniumgehalte wurden nach Gasdiffusion spektrometrisch mittels Fließinjektionsanalyse (FIA von TECATOR) bestimmt.

Ergebnisse

Humus- und Bodentyp

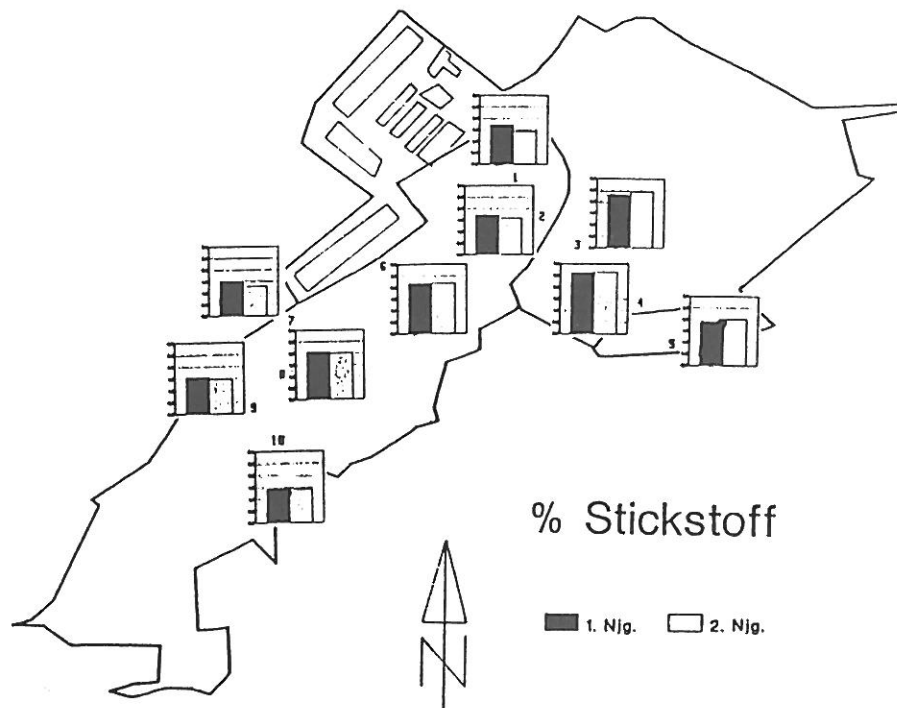
Der Auflagehumus im Probeflächenbereich ist als hydromorpher Moder bis hydromorpher, rohhumusähnlicher Moder zu bezeichnen, je nachdem, ob die Probe von den Freiflächen oder von den Bestandesflächen stammt. Bei Auflichtung bzw. Kahlstellung erfolgt ein rascher Abbau der mächtigen Auflagehumusdecken und es treten dichte Vegetationsdecken von Himbeere und Brombeere auf. Die Böden im Bereich der Aufnahmeflächen sind als Stagnogleye einzustufen. Sie weisen kein Grobskelett und hohen Tonanteil auf. Der 5 bis 15 cm mächtige A_g -Horizont ist dunkelbraun, von schmieriger Konsistenz und plattig-schichtiger Struktur. Er ist stark durchwurzelt und zeigt bereits schwache Konkretionen. Daran schließt die fahlbraune, deutlich rostfleckige Stauzone (P-Horizont). Sie weist stark ausgeprägte Konkretionen auf, die bis zu 1 cm Durchmesser erreichen können. Bemerkenswert sind viele alte Wurzelgänge, die von tannen- und laubholzreichen Vorbeständen stammen dürften. In 30 bis 40 cm Bodentiefe ist ein Übergang zum Staukörper zu beobachten, der einen wesentlich höheren Tonanteil und deutlich geringeres Grob- und Mittelporenvolumen aufweist.

Der Bodenwasserhaushalt ist als wechselnaß mit verdichtungsbedingter, oberflächlicher Vernässung einzustufen. Als Beweis dafür ist das oft großflächige Auftreten von Binsen vor allem in der Auflichtungs- oder Kahlstellungsphase zu werten.

Nadelproben

Bei makroskopischer Beurteilung der Probeäste zeigten sich ohne Ausnahme an den 10 Probeästen schwache Vergilbungen des jüngsten und des zweiten Nadeljahrganges. Die Bäume 1, 2, 3, 4, 5, und 6, die im Lee der Hauptwindrichtung vom Geflügelhof liegen, zeigten im dritten Nadeljahrgang starke Vergilbungen. Sie wiesen auch nur zwischen 3 und 5 komplette Nadeljahrgänge auf, während die außerhalb dieses Leesektors der Hauptwindrichtung liegenden Probeebäume 7 bis 10 jeweils 6 und 7 intakte Nadeljahrgänge besaßen.

In Abbildung 2 sind die Stickstoffgehalte in den Nadeln in ihrer räumlichen Verteilung rund um den Geflügelhof zusammengestellt. Es ist zu beobachten, daß die beiden Fichten mit den Probennummern 3 und 4, deren Nadelstickstoffgehalte deutlich über dem bei Ammoniakbelastung im Forstgesetz festgelegten Grenzwert liegen, sich im Lee des Geflügelhofes für die in diesem Gebiet gegebene Hauptwindrichtung West- bis Nordwest befinden. Bemerkenswert ist weiters, da auch der zweite Nadeljahrgang dieser beiden Bäume sehr hohe Stickstoffgehalte aufweist, die sogar über jenen des ersten Nadeljahrganges liegen. Dies läßt auf eine Störung des Stickstoffhaushaltes der betroffenen Bäume schließen, da im Normalfall durch interne Umverteilung die Stickstoffgehalte in älteren Nadeln regelmäßig niedriger

*Abbildung 2*

Stickstoffgehalte (% TM) im ersten (jüngsten) und zweiten Nadeljahrgang in ihrer räumlichen Verteilung rund um den Geflügelhof

Tabelle 1
**Stickstoff-, Schwefel-, Phosphor-, Kalium-, Kalzium- und Magnesiumgehalte
 des 1. (jüngsten) und zweiten Nadeljahrganges in % Trockenmasse der
 10 beprobte Bäume**

Baum Nr.	Nadel- jg.	% N	% S	% P	% K	% Ca	% Mg
1	1	1,700	0,112	0,205	0,684	0,520	0,122
	2	1,419	0,084	0,107	0,526	0,717	0,098
2	1	1,708	0,107	0,153	0,570	0,368	0,114
	2	1,571	0,099	0,076	0,378	0,568	0,119
3	1	2,204	0,117	0,140	0,601	0,294	0,089
	2	2,435	0,099	0,082	0,331	0,368	0,062
4	1	2,608	0,133	0,150	0,564	0,271	0,081
	2	2,642	0,111	0,081	0,478	0,360	0,072
5	1	1,871	0,129	0,125	0,534	0,350	0,095
	2	2,003	0,114	0,074	0,400	0,548	0,093
6	1	2,155	0,123	0,144	0,490	0,629	0,080
	2	2,194	0,117	0,093	0,411	0,799	0,070
7	1	1,517	0,123	0,124	0,516	0,650	0,147
	2	1,294	0,098	0,096	0,501	0,745	0,113
8	1	2,042	0,096	0,146	0,625	0,586	0,119
	2	2,006	0,084	0,076	0,589	0,766	0,086
9	1	1,535	0,096	0,107	0,439	0,531	0,098
	2	1,467	0,088	0,080	0,380	0,642	0,094
10	1	1,430	0,098	0,110	0,439	0,373	0,098
	2	1,407	0,094	0,066	0,410	0,517	0,091

Höchstzulässiger Grenzwert für den ersten (jüngsten) Nadeljahrgang für Stickstoff bei Ammoniakbelastung gemäß Österreichischem Forstgesetz 1975: 2,2 %. Höchstzulässiger Grenzwert laut Forstgesetz 1975 für Gesamtschwefel für den ersten (jüngsten) Nadeljahrgang: 0,11 %; für den zweiten Jahrgang 0,14 %

sind als in jüngeren. Die außerhalb der Hauptwindrichtung vom Geflügelhof liegenden Probestämme 7, 9, und 10 weisen dagegen niedrige Stickstoffgehalte auf.

Die Phosphorversorgung der Probestämme ist als ausreichend bis mäßig anzusprechen, die Kaliumversorgung als ausreichend. Auch die Kalziumgehalte der Nadeln weisen zum größten Teil auf ausreichende Versorgung hin, ausgenommen die beiden Bäume mit Grenzwertüberschreitungen für Stickstoff. Sie weisen Kalziumgehalte ihrer Nadeln auf, die an der Grenze zur mäßigen Versorgung liegen

(vgl. Tabelle 1). Dieselbe Beobachtung trifft teilweise auch für die Magnesiumgehalte zu. Dieser beschriebene Effekt ist dadurch zu erklären, daß bei hohem Stickstoffeintrag, wie im Falle des Geflügelhofes als Nahemittenten, das Baumwachstum und vor allem das Wachstum von neuer Nadelmasse stark gesteigert wird. Dadurch werden andere Makronährelemente (hier z.B. Ca und Mg) bis auf kritische Gehalte verdünnt. Daher haben Stickstoffgehalte allein nur beschränkte Aussagekraft für die Belastung durch Stickstoffemittenten. Bäume, die ja keine Stickstoffspeicherorgane aufweisen, regeln bei hoher "Zwangsversorgung" mit bestimmten Elementen ihre Elementgehalte durch Wachstum, d.h. durch Verdünnung hoher Elementkonzentrationen durch vermehrte Biomassenbildung. So lag die durchschnittliche Trieblänge bei Bäumen im Lee der Hauptwindrichtung vom Geflügelhof bei 10 cm, bei jenen außerhalb dieses Sektors bei 8,2 cm. Durch solche Verdünnungseffekte werden auch die relativ geringen Schwankungsbreiten der Stickstoffgehalte erklärbar. Gleichzeitig mit dieser Verdünnung von Stickstoff werden aber auch Nährstoffe, die in gerade noch ausreichender Menge vorliegen, mitverdünnt. Sie gelangen damit in den Mangelbereich. Ein weiterer möglicher Mechanismus, der Einfluß auf den Kationengehalt der Nadeln ausübt, ist bei Regen oder nassen Nadeloberflächen der Austausch von NH_4^+ in der benetzenden Lösung gegen Kationen, wie er von ROELOFS et al. (1985) beschrieben wird.

Wie anhand der einschlägigen Fachliteratur nachgewiesen werden kann (vgl. z.B. REHFUESS, 1983; BEESE & MATZNER, 1987; KAUPENJOHANN et al., 1989), kann es bei erhöhter Stickstoffaufnahme in Form von NH_4^+ durch die damit verbundene Freisetzung von einem Proton zu einem Versauerungsschub, zur Auswaschung von Kationen und damit zur Imbalanz im Nährstoffhaushalt kommen.

Dadurch daß Nadelbäume bei hohem Ammonium-Angebot die Stickstoffaufnahme in Nitratform gehemmt ist, und dadurch daß ein reichliches Angebot an NH_4^+ -Stickstoff bei entsprechenden Bedingungen durch Nitrifikation in NO_3^- -Stickstoff umgewandelt wird, kann die Versauerung noch zusätzlich angekurbelt werden; bei der Nitrifikation von 1 NH_4^+ werden 2 Protonen freigesetzt.

Bei den Probebäumen Nummer 1, 3, 4, 5, 6 und 7 liegen die Gesamtschwefelgehalte über dem zulässigen Grenzwert von 0,11 %; dies ist ein Hinweis auf eine Belastung der Waldstandorte mit Schwefel aus Hausbrand und Industrie und läßt direkte Nadelschädigungen über die Bildung von Ammonium-Sulfat (vgl. APSIMON et al., 1987) befürchten (vgl. Tabelle 1). ROELOFS et al. (1985) konnten beobachten, daß Kiefernadeln Ammonium aus Ammonsulfat aufnehmen und zum Ausgleich Kalium, Kalzium und Magnesium abgeben (vgl. auch KAUPENJOHANN et al., 1989; VAN DIJK et al., 1988).

Auflagehumus und Mineralboden

In der untenstehenden Tabelle 2 sind die Stoffgehalte, das C/N-Verhältnis sowie die Trockenmassen des Auflagehumus der 6 beprobten Flächen zusammengestellt.

Tabelle 2
Stickstoff-, Schwefel-, Phosphor-, Kalium-, Kalzium-, Magnesium-, Mangan- und Kohlenstoffgehalte in %, die C/N-Verhältnisse, sowie die Trockenmassen des Auflagehumus der 6 beprobten Flächen (Mittelwerte aus 3 Teilprobenahmen)

N	S	P	K	Ca	Mg	Mn	C	C/N	TM t/ha
				B1					
1,790	0,184	0,056	0,102	0,442	0,067	0,109	46,0	25,8	21,87
				B2					
2,111	0,231	0,065	0,075	0,438	0,060	0,053	47,1	22,5	38,53
				F1					
1,620	0,173	0,067	0,187	0,392	0,145	0,144	38,3	23,7	22,92
				F2					
1,170	0,119	0,037	0,097	0,600	0,088	0,103	43,3	37,3	34,16
				F3					
2,045	0,282	0,055	0,096	0,362	0,080	0,027	47,8	23,4	39,05
				F4					
1,721	0,241	0,061	0,099	0,297	0,061	0,071	46,4	27,0	66,34

Es ist ersichtlich, daß die Stickstoffgehalte der Auflagehumusproben der Bestandesfläche B 2 und der Freifläche F 3 am höchsten sind, dies findet auch im engen C/N-Verhältnis seinen Niederschlag; diese beiden Flächen liegen im unmittelbaren Einflußbereich in Abwindrichtung (Leesektor) vom Betrieb, während sich die Flächen mit den geringsten Stickstoffgehalten in den Auflagehumusproben außerhalb dieser Hauptwindrichtung befinden. Gleiches gilt auch für die Schwefelgehalte. Die pH-Werte der oberen Mineralbodenhorizonte liegen in den beprobten Beständen immer niedriger als auf den Freiflächen (vgl. Tabelle 3), dies kann zum einen durch Versauerung infolge Bestandeswachstum und Humusaufgabenbildung zum anderen durch höhere Deposition von versauernden Luftbeimengungen im Bestand erklärt werden. Ganz allgemein sind die Mineralboden-pH-Werte als sauer einzustufen, jedoch ist bei sämtlichen Profilen eine Oberbodenversauerung zu beobachten, die einerseits auf die nicht standortgemäße Baumartenwahl (Fichte, dadurch Bildung von Moder bis rohhumusähnlichem Moder) andererseits auch auf die Einwirkung von NH_4^+ - und Schwefelmissionen zurückzuführen ist. So konnte PELISEK (1986) eine oberbodenversauernde Wirkung von Bioexhalaten auf Fichtenbestände in der Umgebung von Schweinemästereien verbunden mit einem Anwachsen der Auflagehumusmächtigkeiten nachweisen.

Bemerkenswert sind vor allem die geringen austauschbaren Kalzium-, und Magnesiummassen in den obersten Mineralbodenhorizonten der Flächen B2 und

Tabelle 3

pH-Werte, Mengen an Kohlenstoff in t/ha, Stickstoff, Kalium, Kalzium und Magnesium in kg pro ha in den geometrischen Horizonten und die Summe für 40 cm Mineralbodentiefe und 40 cm Bodentiefe inklusive Humusaufgabe, sowie Trockenmasse des Auflagehumus in t pro ha für die 6 Probefläche

	B1	B2	F 1	F 2	F3	F 4
pH-Werte (H₂O)						
0 - 5 cm	3,8	3,8	4,2	4,1	4,0	4,4
5 - 10 cm	4,0	3,8	4,4	4,2	4,3	4,4
10 - 20 cm	4,2	4,0	4,6	4,4	4,4	4,4
20 - 30 cm	4,3	4,2	4,6	4,4	4,2	4,2
30 - 40 cm	4,3	4,3	4,4	4,3	4,2	4,2
pH-Werte (CaCl₂)						
0 - 5 cm	3,1	3,3	3,4	3,4	3,5	3,6
5 - 10 cm	3,4	3,5	3,7	3,6	3,8	3,7
10 - 20 cm	3,7	3,7	4,0	3,7	3,9	3,9
20 - 30 cm	3,9	4,0	4,2	3,9	3,8	3,8
30 - 40 cm	4,0	4,1	3,9	3,9	3,8	3,8
Kohlenstoff (t/ha)						
Auflage	10,14	19,60	10,10	15,10	26,50	31,10
0 - 5 cm	19,13	16,57	23,00	23,95	23,95	25,75
5 - 10 cm	12,62	9,01	10,61	13,66	10,12	11,55
10 - 20 cm	13,33	14,21	11,42	15,52	10,95	14,21
20 - 30 cm	6,39	8,26	7,50	7,76	5,11	6,78
30 - 40 cm	5,81	8,45	6,08	3,48	3,96	5,68
Summe Min. Bd.	57,28	56,50	58,62	64,37	54,09	63,97
Summe gesamt	67,42	76,10	68,72	79,47	80,59	95,07
Stickstoff (kg/ha)						
Auflage	388	878	445	403	1127	1147
0 - 5 cm	1014	945	1163	1175	1114	1393
5 - 10 cm	690	590	587	733	502	680
10 - 20 cm	799	905	870	826	703	958
20 - 30 cm	483	648	679	538	471	700
30 - 40 cm	410	462	628	418	522	428
Summe Min. Bd.	3395	3549	3926	3689	3311	4159
Summe gesamt	3783	4427	4371	4092	4438	5306

	B1	B2	F 1	F 2	F3	F 4
Kalium (kg/ha)						
Auflage	25	31	54	38	49	67
0 - 5 cm	21	29	28	55	36	24
5 - 10 cm	19	27	23	41	23	20
10 - 20 cm	34	58	41	46	35	32
20 - 30 cm	34	55	46	37	48	49
30 - 40 cm	45	50	48	49	56	65
Summe Min. Bd.	153	218	186	228	198	189
Summe gesamt	178	249	240	266	247	256
Kalzium (kg/ha)						
Auflage	102	190	119	216	205	208
0 - 5 cm	64	25	70	141	37	161
5 - 10 cm	46	20	43	66	26	51
10 - 20 cm	67	38	55	105	43	97
20 - 30 cm	74	33	45	81	37	90
30 - 40 cm	78	32	67	94	66	91
Summe Min. Bd.	329	148	280	486	208	490
Summe gesamt	431	338	399	702	413	698
Magnesium (kg/ha)						
Auflage	12	25	44	35	42	43
0 - 5 cm	15	11	14	21	12	34
5 - 10 cm	13	9	12	12	8	19
10 - 20 cm	23	18	17	18	13	34
20 - 30 cm	27	15	13	15	13	30
30 - 40 cm	29	15	22	20	34	34
Summe Min. Bd.	106	68	78	86	79	151
Summe gesamt	118	93	122	121	121	194

F3 (vgl. Tabelle 3), die auf eine Auswaschung dieser Elemente infolge von Versauerung hinweisen und das, obwohl auf dieser Fläche keine extrem großen versauernd wirkenden Auflagehumusmassen angehäuft sind (vgl. Tabelle 2). Auf beiden Flächen treten im Auflagehumus sehr hohe Stickstoffgehalte auf, die als Hinweis auf Stickstoffdeposition im Leebereich des Geflügelhofes zu werten sind. Im Lauf der Stickstoffmineralisierung stellen sie eine Protonenquelle dar, die einen großen Beitrag zu den oben beschriebenen Versauerungs- und damit Standortsverschlechterungsprozessen leistet.

Niederschläge und Bulkdeposition

Die auf den vier Freiflächenmeßstellen ermittelten Niederschlagsmengen sind gleichlaufen und zeigen einen durchaus ähnlichen Gang wie auf den Bestandesmeßflächen, die jedoch aufgrund der Kronenbenetzung systematisch weniger effektiven Niederschlag aufweisen. Abbildung 3 zeigt die wöchentlichen Depositionsflußdichten für Ammonium (NH_4^+), Abbildung 4 für Nitrat (NO_3), Abbildung 5 für Gesamtstickstoff (N_{ges}) auf den 6 Meßflächen.

Besonders bemerkenswert sind die nach einer kurzen Trockenperiode zwischen 21. September und 12. Oktober in den Niederschlägen auftretenden Depositionsflüsse: auffällig hohe Nitratmengen sind in den Niederschlagsproben auf der Freifläche F 2 unmittelbar neben der Geflügelfarm und auf der Bestandesfläche B 2 im Leebereich des Geflügelhofes zu beobachten. Diese letztgenannte Fläche zeigt auch die absolut höchsten Ammoniumeinträge mit dem Niederschlag. Augenfällig ist auch ein Anstieg der Gesamtstickstoff-, Nitrat- und Ammoniumkonzentrationen vor allem auf den beiden Bestandesflächen gegen das Jahresende hin, wobei auch hier wieder die absolut höchsten Werte auf der im Leebereich des Geflügelhofes befindlichen Bestandesfläche B 2 zu verzeichnen sind. Aber auch auf der direkt im Abwindbereich des Hofes liegenden Freifläche F 3 sind gegen Jahresende sehr hohe Ammoniumwerte meßbar. Auch bei Chlorid und Sulfat ist ein Anstieg der Mengen gegen das Jahresende zu beobachten; ein Phänomen, das mit dem verstärkten Hausbrand in der Umgebung zu erklären ist. Hier kann es durch die Bildung von Ammonchlorid und Ammonsulfat zu direkten Nadelschädigungen kommen.

Auf den Bestandesflächen machen sich im Frühherbst nach längeren, niederschlagsarmen Wetterlagen Auswaschungseffekte aus absterbenden Nadeln bei den Kationenkonzentrationen bemerkbar, die sich bis Jahresende verstärken.

Chemismus des Bodenwassers

Im Laufe der Meßperiode kam es immer wieder vor, daß aufgrund von Trockenperioden kein Bodenwasser aus den Saugkerzen gewonnen werden konnte. Die chemischen Analysedaten des Bodenwassers spiegeln die starke Immissionsbelastung der Bestandesfläche B 2 wider (Abbildung 6). So sind verglichen mit den übrigen Flächen die pH-Werte der Bodenlösung auf dieser Fläche in 30 cm Bodentiefe um 0,5 bis 1 pH-Einheiten niedriger. Ebenso sind eine Gesamtstickstoff- und vor allem eine Nitratbelastung dieses Standortes aus den Bodenwasseranalysen abzulesen. Dagegen zeigt sich bei den Ammoniumgehalten der Bodenlösung kein eindeutiger Trend, was bei wöchentlicher Probenahme durch die rasche bakterielle Umsetzung des Ammoniums auch nicht verwunderlich ist.

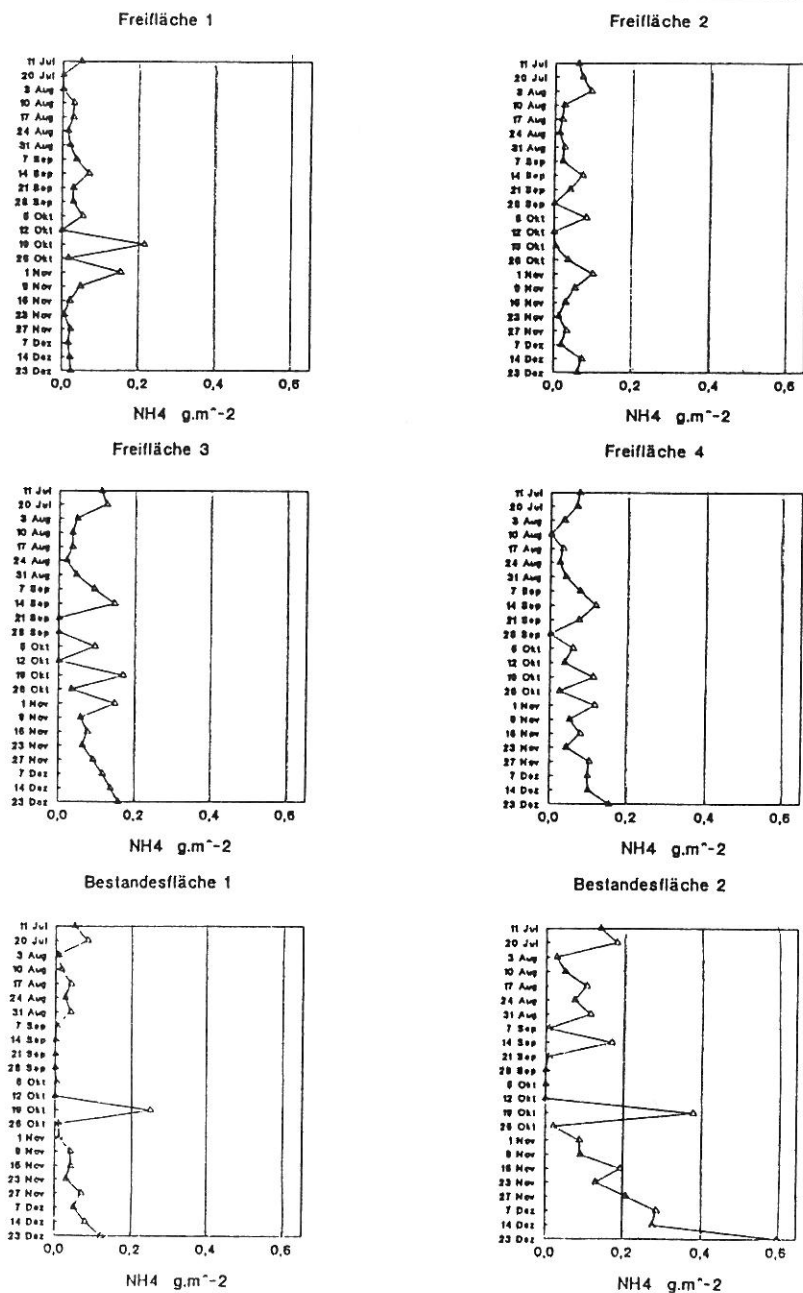


Abbildung 3

Wöchentliche Depositionsflußdichte für Ammonium (NH_4) in g.m^{-2} während des Beobachtungszeitraumes vom 11. Juli bis 23. Dezember 1989 auf den vier Freiflächenmeßflächen und den beiden Bestandesmeßflächen

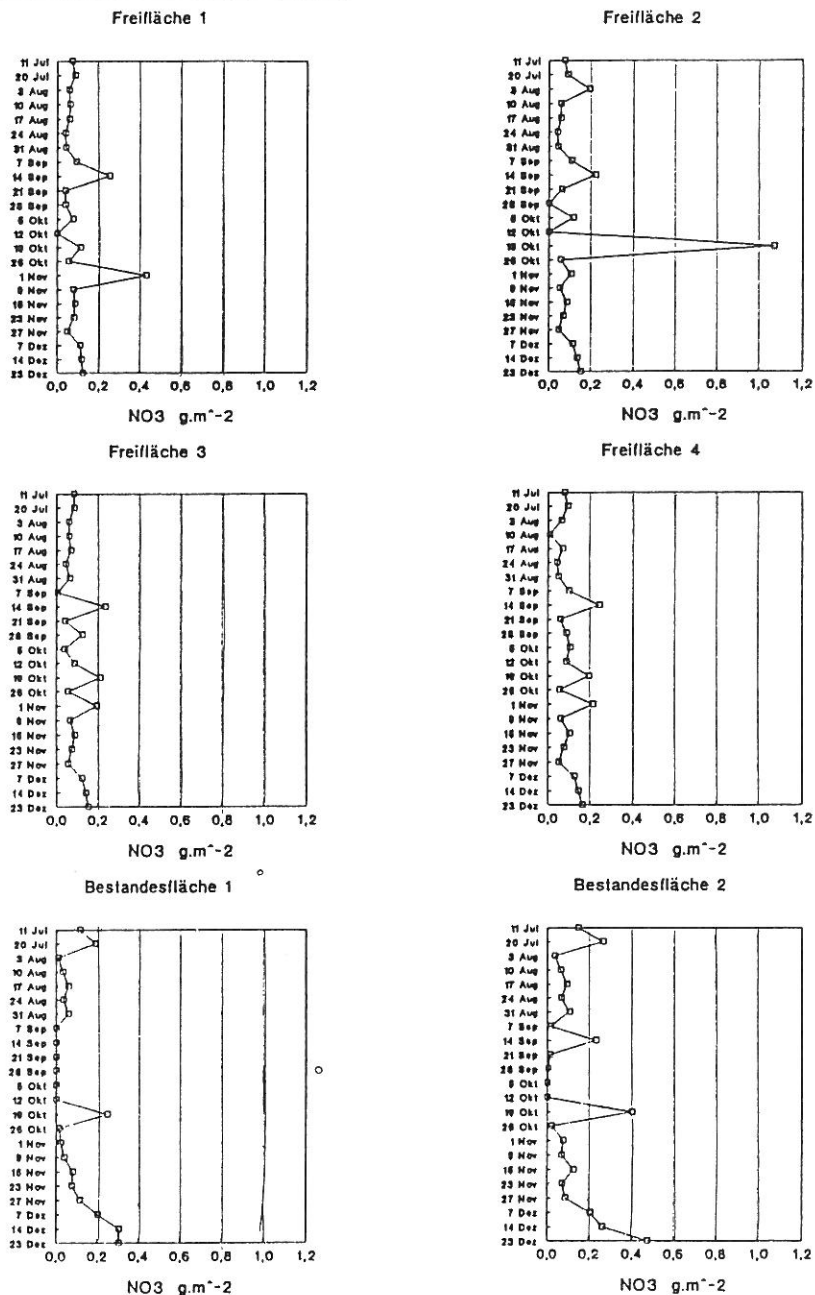


Abbildung 4

Wöchentliche Depositionsflußdichte für Nitrat (NO_3) in g.m^{-2} während des Beobachtungszeitraumes vom 11. Juli bis 23. Dezember 1989 auf den vier Freiflächenmeßflächen und den beiden Bestandesmeßflächen

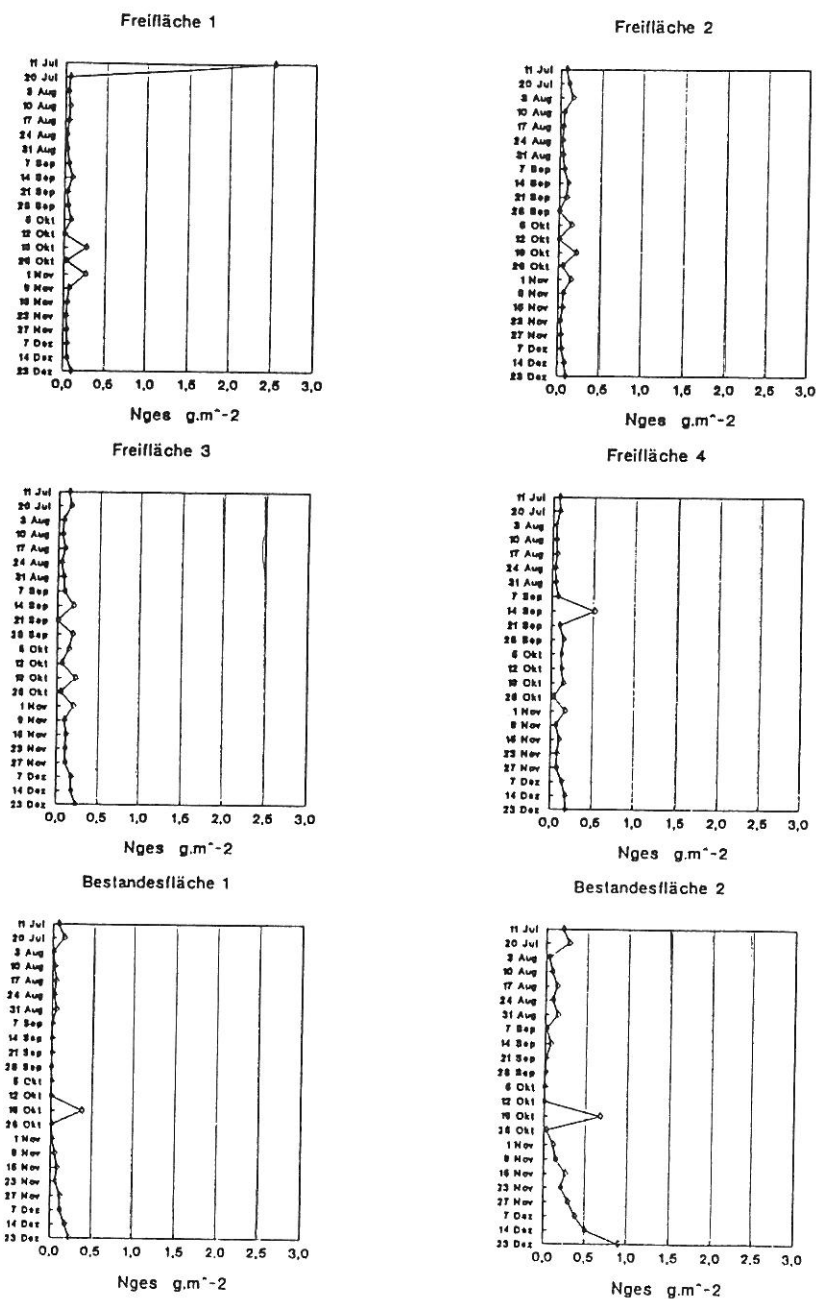


Abbildung 5

Wöchentliche Depositionsflußdichte für Gesamtstickstoff (N_{ges}) in $g \cdot m^{-2}$ während des Beobachtungszeitraumes vom 11. Juli bis 23. Dezember 1989 auf den vier Freiflächenmeßflächen und den beiden Bestandesmeßflächen

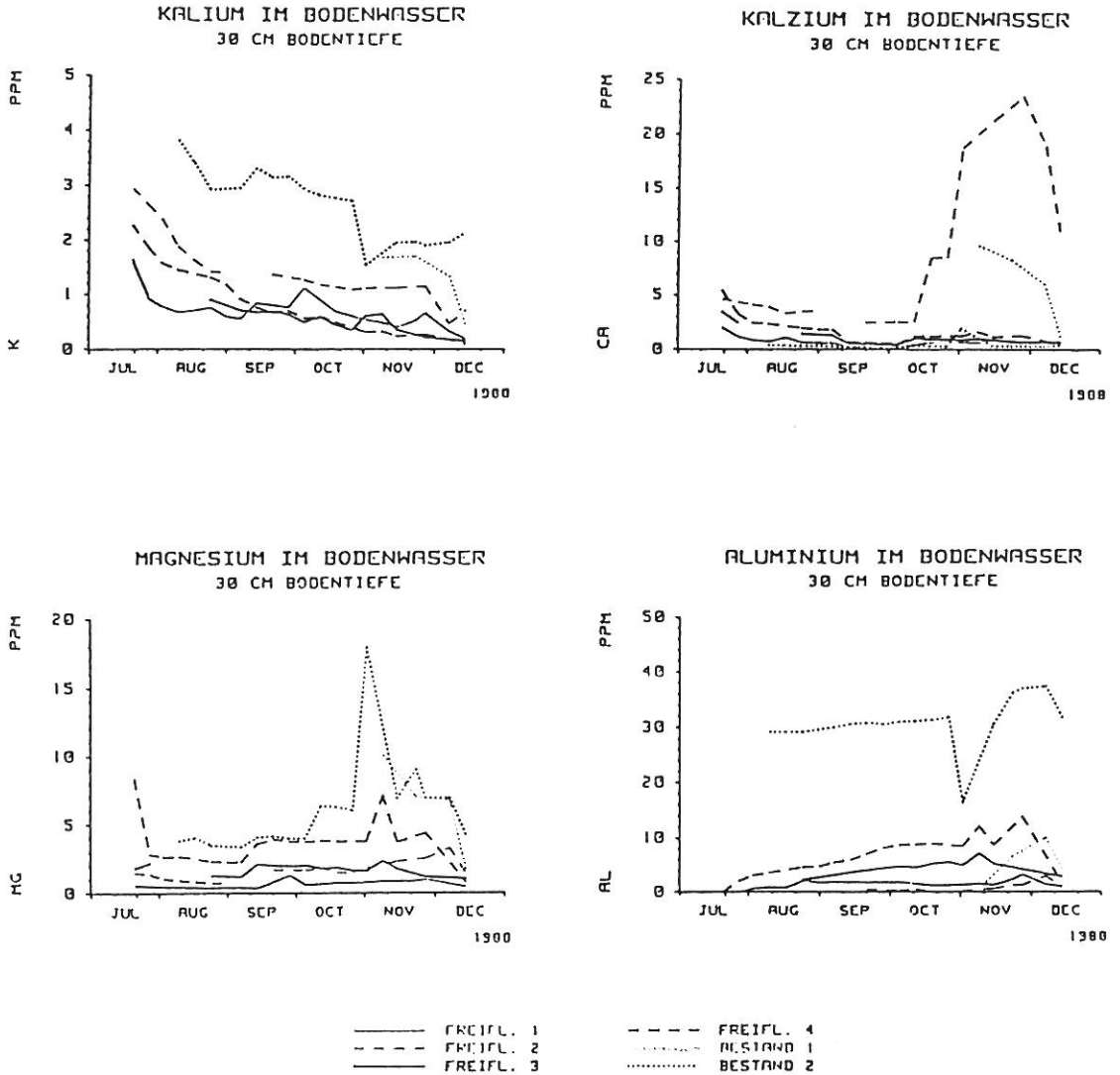


Abbildung 6
 pH-Werte, Gesamtstickstoff- (N_{ges}), Nitrat- (NO_3) und Ammoniumgehalte (NH_4)
 in ppm ($mg \cdot kg^{-1}$) der wöchentlich aus 30 cm Bodentiefe geworbenen Boden-
 wasserproben während des Beobachtungszeitraumes vom 11. Juli bis 23. Dezember
 1989 auf den vier Freiflächenmeßflächen und den bieden Bestandesmeßflächen

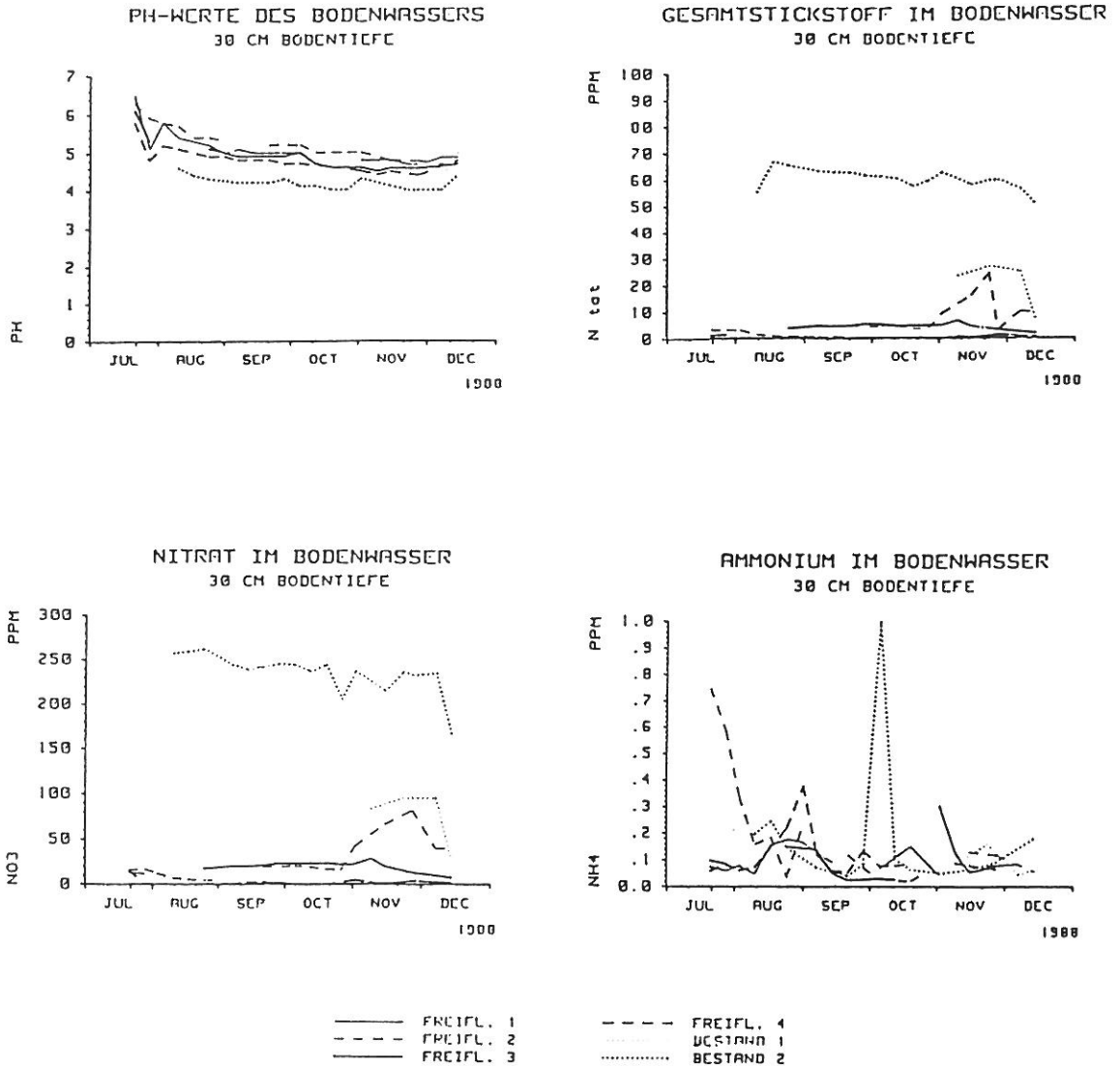


Abbildung 7

Kalium- (K), Kalzium- (Ca), Magnesium- (Mg) und Aluminiumgehalte (Al) in ppm (mg.kg^{-1}) der wöchentlich aus 30 cm Bodentiefe geworbenen Bodenwasserproben während des Beobachtungszeitraumes vom 11. Juli bis 23. Dezember 1989 auf den vier Freiflächenmeßflächen und den beiden Bestandesmeßflächen

Bei den Kationen (Abbildung 7) sind vor allem die großen Kalium- und Magnesiumgehalte in der Bodenlösung der Bestandesfläche B 2 in 30 cm Bodentiefe erwähnenswert, die die oben aufgestellte Behauptung der Kationenauswaschung durch Versauerungsprozesse unterstützt. Diese Beobachtungen stimmen mit Arbeiten von ROELOFS et al (1985) überein, die eine klare Korrelation zwischen zunehmenden Ammoniumkonzentrationen in der Bodenlösung verbunden mit einer Abnahme der Kalium-, Kalzium- und Magnesiumgehalte und Waldschäden beobachten. Daß dies in unseren Untersuchungen für das Element Kalzium nicht zutrifft, ist weiter nicht verwunderlich, weil aufgrund der an sich schon geringen Kalziummassen im Mineralboden die für die Auswaschung zur Verfügung stehende Gesamtmenge sehr gering ist (vgl. Tabelle 3). Besonders augenfällig sind auch die hohen Aluminiumgehalte die durch die sauren Boden-pH-Werte verursacht sind und eine Aluminiumtoxizität sowie erhöhte Pflanzenaufnehmbarkeit von toxischen Schwermetallen nicht mehr ausschließen.

Ein durchaus gleichlaufender Trend zeigt sich in 60 cm Bodentiefe.

Diskussion

Generell kann festgestellt werden, daß Wälder bei ausschließlich natürlichem Stickstoffeintrag durch Stickstoffmangelsituationen gekennzeichnet sind. Waldökosysteme zeigen relativ kurzgeschaltete Kreisläufe, um solchen Mangelsituationen zu begegnen. Darüber hinaus besitzen sie durch die Entwicklung dauerhafter Wurzelsysteme ein ausgezeichnetes Aufnahmevermögen für Stickstoff. Die gegenwärtig weltweit ständig steigenden Stickstoffeinträge in Waldökosysteme durch nasse und trockene Deposition aufgrund von anthropogen verursachten Emissionen - so stellen KRUSE et al. (1989) fest, daß in den letzten 30 Jahren durch Düngereinsatz und Massentierhaltung allein die Ammoniumemissionen in Europa um 50 % und mehr gestiegen sind - führen zu erhöhter Primärproduktion und damit zu vermehrter Biomassenbildung. Vielfach wird in diesem Zusammenhang von "neuartigen Waldschäden" berichtet: Triebsterben, Abnahme der Anzahl intakter Nadeljahrgänge, Auftreten gelber Nadeln u. dgl. m. sind die augenfälligsten Erscheinungen in der Nähe von Stickstoffemittenten (vgl. z.B. VAN BREEMEN & JORDENS, 1983; KAUPENJOHANN & ZECH, 1989; FERM et al., 1989; HUNGER, 1989; KAUPENJOHANN et al., 1989). Ein bedeutendes Problem, das aus vermehrtem N-Eintrag vor allem in Form von Ammonium resultiert, ist die Säurebelastung des Bodens. Die versauernde Wirkung von Ammoniumionen beruht auf der Tatsache, daß einerseits die Umwandlung von Ammonium in Aminosäuren mit einer H^+ -Produktion einhergeht, daß andererseits bei der Nitrifikation von $1 \text{ mol } NH_4^+ + 2 \text{ mol } H^+$ gebildet werden und daß schließlich bei der Ammoniumaufnahme durch die Wurzeln zum Ladungsausgleich Protonen freigesetzt werden. Solche Versauerungen haben vielfältige Auswirkungen auf Waldökosysteme. Sie führen u. a. zu Veränderungen in der Zusammensetzung der Bodenflora und -fauna, zu

Veränderungen im Mykorrhizabesatz, zu verstärkter Kationenauswaschung sowie zu höherer Pflanzenaufnehmbarkeit von toxischen Schwermetallen aus dem Boden. Eine Zunahme der Totwurzelmasse in hochbelasteten Beständen ist die Folge. In diesem Zusammenhang weisen BEESE & MATZNER (1987) darauf hin, daß das NH_4/NO_3 -Verhältnis in durch starke Ammoniak- und Ammoniumemissionen aus der Massentierhaltung beeinflussten Gebieten zu besonders starker Säurebelastung führt und daß sich bei anschließender Nitratauswaschung das Versauerungspotential noch weiter erhöht. Vermehrter Stickstoffeintrag in Waldbeständen führt zum Absterben der Triebe infolge von Frostschäden, zu Störungen des Wasserhaushaltes durch erhöhte Transpirationsraten und zu verringerter Trockenresistenz. Störungen des Nährstoffhaushaltes sind vielfach zu beobachten (vgl. z.B. VAN DER EERDEN et al., 1989; FERM et al., 1989; HOGREBE & MENGEL, 1989; RAITIO, Persönliche Mitteilung). Infolge von direkten Ammoniumsulfat- und Ammonchloridschäden kommt es zur Kationenauswaschung aus Nadeln und damit zu Nährstoff-imbalancen und vorzeitigen Nadelverlusten (vgl. VAN DIJK et al., 1989).

Aufgrund der Meßdaten wurde der Versuch unternommen Stickstoffeinträge durch Niederschläge während der Meßperiode vom 11. Juli bis zum 23. Dezember 1988 für die 6 Probeflächen zu errechnen. In der untenstehenden Tabelle 4 sind die Ergebnisse zusammengestellt:

Es ist darauf hinzuweisen, daß mit der Bestimmung der Ammoniumstickstoff- und Nitratstickstofffraktion nicht alle in Niederschlagsproben vorhandenen Stickstoffverbindungen erfaßt werden. So wurden Stickstoffteilfraktionen wie z.B. Nitrite aber auch organische Stickstoffverbindungen mengenmäßig nicht erfaßt. Daher ergibt sich bei Aufsummierung der Ammonium- und Nitratstickstoffeinträge eine Differenz zu den Gesamtstickstoffeinträgen, wo diese Teilfraktionen sehr wohl berücksichtigt sind. Besonders bemerkenswert sind die vergleichsweise hohen Einträge auf der Freifläche F 3 und auf der Bestandesfläche B 2 im Leesektor des Geflügelhofes. Durch den Bestandesniederschlag werden auf

Tabelle 4
Stickstoffeinträge durch Niederschlag während der Meßperiode
vom 11. Juli bis 23. Dezember 1988 auf den 6 Probeflächen
in kg pro ha^{-1}

Fläche	N_{ges}	N-NO_3	N-NH_4
F 1	15,5	4,7	6,8
F 2	17,3	6,7	4,6
F 3	26,9	4,9	14,0
F 4	23,5	4,9	11,9
B 1	16,4	4,3	7,6
B 2	46,0	6,5	24,8

N_{ges} = Gesamtstickstoff; N-NO_3 = Nitratstickstoff; N-NH_4 = Ammonstickstoff

der Fläche B 2 Stickstoffeinträge erreicht, die sonst nur aus landwirtschaftlichen Intensivbewirtschaftungsgebieten der Niederlande bekannt sind (vgl. BUIJSMAN et al., 1987). FERM et al. (1989) geben für Kiefernstandorte in unmittelbarer Nachbarschaft von Pelztierfarmen in Finnland einen jährlichen Ammonstickstoffeintrag von 33 kg pro ha bei 1 bis 3 kg Nitratstickstoffeintrag an. Diese Werte werden von den in Tabelle 4 errechneten Halbjahreswerten bei weitem überstiegen. Bei den Flächen im Leesektor des Geflügelhofes treten auch auffällige Verschiebungen im Verhältnis von Nitrat zu Ammonstickstoff auf. So werden auf den Flächen F3, F 4 und B 2 mehr als 50 % des Gesamtstickstoffs als Ammonstickstoff eingetragen.

Zusammenfassung

Es ergibt sich eine eindeutige Korrelation zwischen der Wandleelage zum Geflügelhof und Nadelvergilbungen verbunden mit vorzeitigen Nadelverlusten.

Zwei Probestämme im Leebereich des Geflügelhofes zeigten Stickstoffgehalte ihrer Nadeln, die über den gesetzlich festgelegten Höchstwerten bei Ammoniakbelastung liegen. Diese Grenzwertüberschreitung war gekoppelt mit Kalzium- und Magnesiumunterversorgung. Ursache dafür ist einerseits ein Verdünnungseffekt durch vermehrte Biomassenproduktion, andererseits auch ein Ammoniumaustausch aus dem benetzenden Niederschlag an der nassen Nadeloberfläche gegen Kationen. Die grenzwertüberschreitenden Sulfatgehalte lassen in Verbindung mit den hohen Ammoniumkonzentrationen im Niederschlagswasser eine direkte Schädigung der Nadeln durch gebildetes Ammonsulfat nicht ausschließen.

Auch die Stickstoffgehalte im Auflagehumus im Leebereich des Geflügelhofes sind gegenüber den übrigen Flächen deutlich erhöht. Sie tragen im Laufe des Mineralisierungszyklus weiters zur Stickstoffübersorgung und zur Bodenversauerung bei.

Die pH-Werte des Mineralbodens weisen eindeutig auf eine Oberbodenversauerung hin, die auf Immissionen zurückzuführen ist.

Im Oberboden der beiden im Leesektor des Geflügelhofes liegenden Untersuchungsflächen ist eine deutliche Kationenauswaschung zu beobachten, die auf die vermehrte Protonenproduktion durch Nitrifikation zurückzuführen ist.

Sowohl auf der im Leebereich des Geflügelhofes gelegenen Freifläche als auch im Bestand sind überhöhte Ammonium- und Nitratgehalte im Niederschlag zu beobachten.

Auch die Bodenwasseruntersuchungen zeigen erhöhte Stickstoffbelastungen verbunden mit niedrigen pH-Werten und Kationenauswaschung auf den im Leesektor des Geflügelhofes gelegenen Flächen.

Literatur

APSIMON, H. M., KRUSE, M. & BELL, J. N., 1987. Ammonia emissions and their role in acid deposition. *Atmospheric Environment*. 21. (9) 1939-1946.

- BEESE, F. & MATZNER, E., 1987. Langzeitperspektiven vermehrten Stickstoffeintrages in Waldökosysteme: Droht Eutrophierung? In: Möglichkeiten und Grenzen der Sanierung Immissionsgeschädigter Waldökosysteme. (Hsgb. GLATZEL, G.) 34-53. FIW. Universität für Bodenkultur, Wien.
- VAN BREEMEN, N. & JORDENS, E. R., 1983. Effects of atmospheric ammonium sulfate on calcareous and non-calcareous soils of woodlands in the Netherlands. In: Effects of accumulation of air pollutants in forest ecosystems. (Eds.: ULRICH, B. & PANKRATH, J.). 171-182. D. Reidel Publishing Co.
- BULISMAN, E., MAAS, H. F. M. & ASMAN, W. A. H., 1987. Anthropogenic NH_3 emissions in Europe. *Atmospheric Environment*. 21. (5) 1009-1022.
- VAN DIJK, H. F. G. & ROELOFS, J. G. M., 1988. Effects of excessive ammonium deposition on the nutritional status and condition of pine needles. *Physiol. Plant*. 73. 494-501.
- VAN DER EERDEN, L. J., PEREZ-SOBA, M. & DUECK, T. A., 1989. Responses of *Pinus sylvestris* on atmospheric ammonia. In: Internationaler Kongreß Waldschadensforschung: Wissensstand und Perspektiven. Band II.
- FERM, A. et al., 1989. Effects of nitrogen deposition on forest trees close to fur animal farms. In: Internationaler Kongreß Waldschadensforschung: Wissensstand und Perspektiven. Band II.
- HEINSDORF, M., 1991. Einfluß der Emission N-haltiger Abprodukte auf Ernährungszustand und Mykorrhizaentwicklung von benachbarten Kiefernstangenhölzern. *Beitr. Forstwirtschaft*. 25. (2) 62-65.
- HOGREBE, A. M. R. & MENGEL, K., 1989. Effect of acidic or NH_4^+ enriched fog on needle surface, cation leaching, and water relations of Norway spruce. In: Internationaler Kongreß Waldschadensforschung: Wissensstand und Perspektiven. Band II.
- HUNGER, W., 1989. Neue Beobachtungen zu Waldschäden in der Nähe einer Schweinemastanlage. *Beiträge für die Forstwirtschaft*. 23. 64-68.
- KAUPENJOHANN, M. & ZECH, W., 1989. Effects of N-immissions on conifers. In: Internationaler Kongreß Waldschadensforschung: Wissensstand und Perspektiven. Band II.
- KAUPENJOHANN, M., DÖHLER, H. & BAUER, M., 1989. Effects of N-immissions on nutrient status and vitality of *Pinus sylvestris* near a hen-house. *Plant & Soil*. 113. 279-282.
- KRUSE, M., APSIMON, H. M. & BELL, J. N. B., 1989. Validity and uncertainty in the calculation of an emission inventory for ammonia arising from agriculture in Great Britain. *Environ. Pollut.* 56. 237-257.
- PELISEK, J., 1986. Schadwirkung von Biogasen auf Waldböden und Bestände. *Lesnicka prace, Praha*. 6. 271-272.
- REHFUESS, K. E., 1983. Walderkrankungen und Immissionen. *Allgem. Forstzeit-schr.* 38.- 601-610.
- ROELOFS, J. G. M. et al., 1985. The effect of air-borne ammonium sulphate on *Pinus nigra* var. *maritima* in the Netherlands. *Plant & Soil*. 84. 45-56.