

Die Wirkung von Ammoniakgas- und Stickstoffsalzdüngung in Kiefernbeständen

Von H. ZÖTTL und R. KENNEL*

*Aus dem Institut für Bodenkunde und Standortslehre
und aus dem Institut für Ertragskunde der Forstlichen Forschungsanstalt München*

Inhalt

1 Einleitung – 11 Fragestellung – 12 Methoden – 2 Bodenverhältnisse – 21 Ausgangslage – 22 Düngung – 23 Veränderungen der organischen Bodenaufgabe – 23.1 Beobachtungen – 23.2 N_t -Gehalt und N_{min} -Nachlieferung – 3 Bodenvegetation – 4 Ernährungszustand der Bäume – 41 Nadelanalysen Schwabach – 42 Nadelanalysen Amberg – 5 Grundflächen- und Derbholzzuwachs – 6 Rentabilität der Düngung – 7 Schlußbetrachtung – Zusammenfassung – Summary

1 Einleitung

In den vergangenen Jahren hat die Mineraldüngung im Wald an Bedeutung gewonnen. Sie ist zusammen mit anderen waldbaulichen Maßnahmen auf manchen Standorten als unumgänglich anerkannt (LEIBUNDGUT und RICHARD 1957, MITSCHERLICH 1958, WITTICH 1958a). Zahlreiche Versuche erwiesen nämlich, daß sich durch die Anwendung von Handelsdüngemitteln besonders die Humusform des Bodens, der Ernährungszustand der Bäume und damit die Wuchsleistung des Bestandes verbessern lassen (MITSCHERLICH 1955, HAUSSER 1956, 1957, SCHAIRER 1956, ATTENBERGER 1956, WITTICH 1957, 1958a, BRÜNING 1959). Dabei traten nachteilige Nebenwirkungen bislang kaum auf (v. PECHMANN und WUTZ 1960, HAUSSER 1960). Die Kostenberechnungen ergaben vielfach wirtschaftlich bedeutungsvolle Mehrerträge (MITSCHERLICH und WITTICH 1958, HAUSSER 1958, 1961).

11 Fragestellung

Allerdings ist unsere Kenntnis über die komplexe Wirkung der Mineraldüngung auf Bestand und Standort heute noch zu gering, um für jeden Einzelfall das rationellste Verfahren vorschlagen zu können. Weitere langfristige Versuche sind deshalb zur Klärung noch nötig. Vor allem weiß man bei einigen Nährelementen erst wenig über die zweckmäßigste Düngerform. Dies gilt besonders für Stickstoff, der in sehr verschiedenen Düngemitteln ausgebracht werden kann (siehe z. B. ZÖTTL 1958). 1955 und 1956 legte das Institut für Bodenkunde und Standortslehre – teilweise in Zu-

* Von R. KENNEL stammt der ertragskundliche Beitrag in Abschnitt 5 und 6

sammenarbeit mit dem Institut für Ertragskunde¹ – deshalb in 5 schlechtwüchsigen Kiefern- bzw. Fichtenbeständen Versuche an mit der einheitlichen Fragestellung, ob Stickstoff als Ammoniakgas oder als ammonium- und nitrathaltiges Salz die günstigere Wirkung hat. Auf diesen Versuchsflächen wurden seither laufend Untersuchungen ausgeführt über die Humusform und die Mineralisation der organischen Bodenaufgabe, die Zusammensetzung der Bodenvegetation, den Ernährungszustand der Bäume sowie über den Holzzuwachs des Bestandes.

Ein Bericht (ZÖTTL 1958) über die Ergebnisse des ersten bzw. ersten und zweiten Jahres nach der Düngung zeigte, daß die Ernährung der Bäume in dieser Zeit durch die salzförmigen Stickstoffdünger stärker verbessert wurde als durch das Ammoniakgas. Hier seien nun die weiteren Veränderungen bis Herbst 1961 auf den 3 mit Kiefer bestockten Versuchsflächen in den Forstämtern Amberg und Schwabach geschildert. Wie früher (ZÖTTL 1958) und S. 67 beschrieben, sind die Kiefernflächen standörtlich ähnlich und daher gut gemeinsam zu behandeln.

Eine Veröffentlichung über die beiden Fichten-Versuchsflächen in den Forstämtern München-Süd und Mähring folgt später.

Im Interesse einer möglichst vielseitigen Auswertung der Versuche begrüßte Verf. den Wunsch des Instituts für angewandte Zoologie, auf der Fläche im Forstamt Schwabach Untersuchungen über die Beeinflussung der Boden- und Kronenfauna durchzuführen. Auf diese Arbeiten (ZWÖLFER 1957, OLDIGES 1958, 1959, 1960, RONDE 1957, 1958, 1960, SCHWENKE 1960, 1961) ist nachfolgend auch Bezug genommen.

12 Methoden

Die angewandten chemischen und mikrobiologischen Untersuchungsmethoden wurden schon früher ausführlich geschildert (ZÖTTL 1958, 1960a). Die Entnahme der Nadelproben erfolgte nach WEHRMANN (1959a). Pro Versuchsglied untersuchten wir je 10 bis 20 Einzelbäume, und zwar die im September/Oktober geernteten halbjährigen Nadeln der Spitzentriebe aus dem 1. bis 3. Wirtel. Den statistischen Berechnungen (Verfahren nach MUDRA 1952 und WEBER 1956) lagen die Einzelwerte zugrunde².

2 Bodenverhältnisse

21 Ausgangslage

Die Versuchsflächen wurden bereits früher genau beschrieben (ZÖTTL 1958). Der heute ca. 56jährige Kiefernbestand von Amberg I (Bahnschlag II/6b¹) stockt auf einem trockenen³ Podsol aus Grobsand. Fläche Amberg II (Untere Münchseige III/10a¹) ist standörtlich etwas besser: mäßig trockener Braunerde-Podsol aus schwachlehmigem Sand. Die Versuchsfläche im Forstamt Schwabach (Birkenlacherweg VI/1b²) liegt in einem heute ca. 75jährigen Kiefernbestand auf einem trockenen Podsol aus Grobsand. Der durchschnittliche Jahresniederschlag erreicht im Gebiet der Versuchsflächen nur 660 bzw. 600 mm. Alle 3 Versuchsflächen haben nur wenige cm Rohhumusaufgabe (vgl. S. 67).

Zur Ergänzung der früher geschilderten Einzelheiten seien in Tab. 1 noch einige Analysendaten für die Versuchsflächen Amberg I und Schwabach aufgeführt. Sie lassen erkennen, daß es sich um äußerst sorptionsschwache Böden mit sehr saurer organischer Auflage handelt. Sie haben nur sehr kleine Mengen basisch wirksamer

¹ Herrn Prof. Dr. ASSMANN und seinen Mitarbeitern sei für das verständnisvolle Entgegenkommen freundlichst gedankt.

² Herrn Dr. FRANZ (Institut für Ertragskunde, München) dankt Verf. bestens für einschlägige Beratungen.

³ Einstufung des Wasserhaushalts nach KRAUSS (1954).

Tabelle 1

Analysenwerte der Bodenprofile von AMBERG I und SCHWABACH

	pH (KCl)	org. Subst. %	N _t %	T-Wert mval	Ca _{aust} mval	K _{total} ¹ ppm	P _{total} ¹ ppm
<i>AMBERG I</i>							
F-Lage	2,95	77,9	1,29	97	8,9	500	60
A ₂	3,58	0,9	0,01	2,3	0,09	220	19
B	4,30	1,4	0,02	8,9	0,05	480	638
C	4,75	0,3	0,005	2,0	0,04	450	79
<i>SCHWABACH</i>							
F-Lage	2,45	80,7	1,13	110	6,5	550	128
A ₂	3,27	3,0	0,05	7,8	0,14	480	82
B	4,55	0,7	0,01	4,1	0,04	600	310
C	4,68	0,4	0,005	2,4	0,04	910	54

¹ Die Bestimmung von K_{total} und P_{total} erfolgte nach einstündigem Kochen in 10%iger Salzsäure flammenphotometrisch bzw. nach der Molybdatmethode. Die org. Substanz wurde vorher durch Veraschen zerstört.

Kationen austauschbar gebunden (V-Werte ca. 5 bis 10 %). Stickstoff ist in den Mineralbodenhorizonten nur in geringer Menge vorhanden. Andererseits sind die Vorräte an Kalium und Phosphor teilweise erheblich höher als etwa in armen Diluvialsanden Norddeutschlands (WITTICH 1958a, KUNDLER 1956).

Da vor allem die Wirkung von Stickstoffdüngern geprüft wird, sind in Tab. 2 für die ungedüngten Parzellen die zur Charakterisierung der Mineralstickstoffnachlieferung nötigen Daten aufgeführt. Die Gesamtstickstoffmenge (N_t) in der organischen Auflage aller Versuchsflächen ist sehr gering. Dies wird deutlich, wenn man die Werte mit den Vorratsangaben von SÜCHTING und VOLKERT (1934), ZÖTTL (1960b) oder MADL (1960) vergleicht, die mehrere 1000 kg/ha erreichen. Hauptursache hierfür ist die noch im Vorbestand regelmäßig durchgeführte Streuentnahme. Die durch Brutversuche in verschiedenen Jahren ermittelten Mineralisationsraten sind ebenfalls stets sehr klein (Tab. 2).

Tabelle 2

N_t-Vorräte und N_{min}-Nachlieferung der ungedüngten Vergleichsparzellen in SCHWABACH und AMBERG

Versuchsfläche	N _t -Vorrat in org. Auflage (ohne Streu) kg/ha	N _{min} (6 Wochen Bebrütung)		Datum der Probeentnahme
		% N _t	kg/ha	
SCHWABACH	170	0,2	0,34	18. 10. 56
		0,6	1,02	13. 9. 57
		—	—	17. 3. 60
AMBERG I	618	1,23	7,60	17. 5. 56
		0,7	4,33	29. 4. 57
		1,9	11,74	6. 7. 60
AMBERG II	452	0,82	3,72	7. 9. 58

Auffällig sind besonders bei Amberg II die relativ beträchtlichen Unterschiede der in den einzelnen Jahren bei der Bebrütung festgestellten N_{\min} -Mengen. Solche Schwankungen übersteigen die früher (ZÖTTL 1960a) nachgewiesenen Differenzen, die auftreten, wenn man Material der gleichen Versuchsfläche zu verschiedenen Zeitpunkten vom Frühjahr bis Herbst eines Jahres bebrüht. Die Unterschiede lassen sich teilweise dadurch erklären, daß bei den einzelnen Probenahmen (siehe ZÖTTL 1960) nicht immer die genau gleichen Lagen der organischen Auflage erfaßt wurden. Offenbar enthielt das 1957 in Amberg II gesammelte Material etwas mehr L-Lagen-Bestandteile mit hohen C:N-Quotienten, was die Mineralisationsrate herabsetzte (siehe C:N-Werte in Tabelle 3). Die größere N_{\min} -Anhäufung des Brutversuches 1960 könnte durch den höheren pH-Wert der Probe bedingt sein (2,83 statt 2,7, siehe Tabelle 3). Außerdem hat vielleicht die verschiedene Witterung vor der Probenahme die Bebrütungsergebnisse beeinflusst (vgl. BIRCH 1958). Möglicherweise unterliegen die Brutversuchsergebnisse größeren jahreszeitlich bedingten Schwankungen, wenn es sich um Proben von niederschlagsarmen Standorten handelt, die öfter und verschieden stark austrocknen⁴. Im Gegensatz dazu sind im regenreichen Alpenvorland die Versuchsflächen, deren Humusmaterial bei Bebrütung zu verschiedenen Zeitpunkten nur geringe N_{\min} -Differenzen zeigte (ZÖTTL 1960a), von Frühjahr bis Herbst gleichbleibender durchfeuchtet.

Die negativen Werte des Brutversuches Schwabach 1960 werden auf S. 74 gedeutet.

Infolge der niedrigen N_t -Vorräte und Mineralisationsraten ergeben sich – vor allem für Fläche Schwabach – nur sehr kleine Mengen als jährliche N_{\min} -Anlieferung aus der organischen Auflage (N_{\min} -Jahresanlieferung $\approx N_{\min}$ nach 12 bzw. 2mal 6 Wochen Bebrütung, vgl. ZÖTTL 1960 b, d). Diese wenigen kg N_{\min} erhöhen sich noch um einen geringen Betrag, der aus der Mineralisation der Streulage und des im Mineralboden vorhandenen N_t -Vorrates stammt⁵. Ferner muß man ca. 10 kg hinzurechnen, die mit den Niederschlägen (RIEHM und QUELLMALZ 1959) und evtl. durch Gasaustausch aus der Luft (EGNER 1956) in den Boden gelangen. Insgesamt kann man im Durchschnitt mit Nährungswerten von 15 kg auf Fläche Schwabach und 25 kg auf Fläche Amberg I als jährliche N_{\min} -Anlieferung rechnen. Da ein gutwüchsiger Kiefernbestand ca. 60 kg N_{\min} /ha im Jahr braucht, ist die Wuchsleistung der Bestände auf diesen Versuchsflächen sehr schlecht (Höhenbonität IV,6 bzw. IV,0). Auch im niedrigen N-Spiegel der Nadeln (s. Abschnitt 4) kommt das mangelhafte N-Angebot deutlich zum Ausdruck.

22 Düngung

Die angewandten Düngungsmaßnahmen sind ebenfalls bereits ausführlich geschildert (ZÖTTL 1958). Wir beschränken uns deshalb hier auf eine kurze Wiederholung.

Versuch Amberg I wurde im Frühjahr 1955 mit 3 Versuchsgliedern zu je 3 Parzellen (je 750 m²) begonnen:

O = unbehandelt,

A = 50 kg/ha N als Ammonsulfat,

B = 90 bis 185 (Mittel 140) kg/ha N als Ammoniakgas⁶.

Versuch Amberg II weist 7 Versuchsglieder mit je 4 Parzellen (je 20 m²) auf. Ertragskundliche Messungen sind hier nicht möglich. Die Düngung geschah im Frühjahr 1955 nach folgendem Versuchsplan:

O = unbehandelt,

F = Düngung mit 100 kg N/ha als Ammonsulfat,

J = Düngung mit 100 kg N/ha als Ammoniakwasser⁷,

E = Düngung mit 100 kg N/ha als Ammoniakgas,

A = Düngung mit 100 dz/ha kohlensaurem Kalk,

B = Düngung mit 100 dz/ha kohlensaurem Kalk + 3 dz/ha Hyperphosphat,

⁴ Die Frage des Einflusses einer verschieden starken Austrocknung vor der Probenahme auf die Brutversuchsergebnisse wird vom Verf. z. Z. untersucht.

⁵ Zwar sind in den Mineralbodenhorizonten insgesamt einige 100 kg N_t /ha enthalten; die Mineralisationsraten dieser schwer angreifbaren organischen Stoffe liegen jedoch weit unter denen von A_0 -Material (ZÖTTL 1960d).

⁶ Vorgesehen waren ebenfalls 50 kg N; infolge technischer Schwierigkeiten ergaben sich jedoch verschieden höhere Mengen auf den einzelnen Parzellen.

G = Düngung mit 100 dz/ha kohlenurem Kalk + 3 dz/ha Hyperphosphat + 50 kg N/ha als Ammonsulfat.

Die Versuchsfläche Birkenlacherweg im Forstamt Schwabach umfaßt 3 Versuchsglieder mit je 2 Parzellen (je 700 bzw. 750 m²). Im Frühjahr 1956 erfolgte die Düngung:

O = unbehandelt,
 A = 200 kg/ha N als Ammoniakgas } + 20 dz/ha kohlenurem Kalk, 5 dz/ha
 B = 200 kg/ha N als Ammonsulfatsalpeter } Hyperphosphat, 2 dz/ha Patentkali

Der Vergleich zwischen Stickstoffgabe in Salzform und Ammoniakgas ist bewußt in Amberg I als N-Düngung allein ausgeführt und in Schwabach in Kombination mit einer Grunddüngung von Ca, P, K, Mg. Da beide Standorte sehr ähnlich sind, ermöglichen diese Versuche einen gewissen Vergleich zwischen der Wirkung von Stickstoff allein und in Verbindung mit Volldüngung. Bezüglich weiterer Überlegungen, die zur Aufstellung der Versuchspläne führten, sei auf die frühere Veröffentlichung (ZÖTTL 1958) verwiesen.

23 Veränderungen der organischen Bodenauflage

23.1 Beobachtungen

Die Veränderungen in der organischen Auflage und im Oberboden sind für die ersten beiden Jahre nach der Düngung bei ZÖTTL (1958) eingehend behandelt. Hier seien nun die Befunde der folgenden Jahre bis 1961 besprochen. Auf den nur mit N-Salz bzw. NH₃-Gas gedüngten Parzellen in Amberg I und II zeigten sich keine wesentlichen Veränderungen mehr. Die meist bis etwa 1 1/2 Jahre nach der Begasung im Boden noch erkennbaren Einstichlöcher des Ammoniak-Injektionsgerätes wurden später immer undeutlicher. Auch die infolge Ammonhumatbildung zunächst teilweise schwarz-schmierigen Einstichzonen verwischten sich. Abgesehen von sehr eng begrenzten Stellen mit humusmorphologischen Veränderungen, wie sie KUBIENA (RONDE 1958) von Fläche Birkenlacherweg beschreibt, erfolgte keine Umwandlung der organischen Substanz. Gleiches gilt für die entsprechenden Parzellen des Versuches Amberg II. Es kam somit auf den trockenen und nährstoffarmen Standorten durch NH₃-Gas bzw. N-Salz allein bislang auf größerer Fläche keine visuell bemerkbare Belebung im Abbau und in der Umformung der organischen Auflage gegenüber der unbehandelten Vergleichsreihe zustande.

Auf den mit NH₃-Wasser begossenen Parzellen in Amberg II hatten sich die nach der Behandlung 1955 abgestorbenen Triebe der azidophilen Moose auch 1961 noch nicht regeneriert. Die seither gefallene Kiefern- und Beerkrautstreu war auf der braunen organischen Bodendecke dieser Flächen daher gut zu sehen und nicht von Moos überwachsen. Das Beerkraut (Preißelbeere und Heidelbeere) ließ, wie bereits 1956, keine Beeinträchtigung mehr erkennen.

Alle gekalkten Parzellen (Amberg II und Schwabach) wiesen 1960 in der oberen F-Lage des Rohhumus noch ungelöste Kalkbröckchen auf. Die teilweise schon 1956 beobachtete Schwärzung und Kotkrümelbildung hatte zwar fast nirgends auf tiefere Humuslagen übergreifen, sich aber innerhalb der F-Lage ausgebreitet. Besonders auf den im Wasserhaushalt gegenüber Schwabach etwas besseren Parzellen von Amberg II waren 1961 stellenweise ganze Nester von Kotkrümeln zu sehen. Sie dürften auf die Vermehrung und stärkere Tätigkeit der kleinen, in der organischen Auflage lebenden Regenwurmarten (z. B. *Lumbricus rubellus*, vergl. RONDE 1958) zurückzuführen sein.

Die mit N-Salz (und Ca, P, K, Mg) gedüngten Parzellen von Schwabach fielen vom Winter 1957/58 bis 1959 durch ihren gegenüber der ungedüngten Reihe wesentlich stärkeren Streuanfall auf. An den Parzellengrenzen schnitt der bis 1/2 cm mäch-

⁷ Konz. Ammoniumhydroxyd in Wasser gelöst und mit Gießkanne versprüht, anschließend mit Wasser nachgegossen.

tige Teppich rotbrauner Kiefernadelstreu annähernd geradlinig ab. Diese besonders im Jahr 1958 sehr deutliche Förna-Mehrproduktion war durch die bereits im Düngungsjahr 1956 (siehe ZÖTTL 1958) und 1957 (siehe Fig. 5) vermehrte Nadelmasse bedingt. Eine solche Erhöhung mußte sich bald im Streuanfall bemerkbar machen, da die Kiefernadeln nur 2–3 Jahre alt werden. Der starke Nadelfall auf den mit N-Salz gedüngten Parzellen hatte noch eine weitere Ursache. Die gesamte Versuchsfläche war in den Jahren nach der Düngung mäßig von Schütte (*Lophodermium pinastri*) befallen. Wie OLDIGES (1958, 1959) bereits berichtete, warfen die Bäume der N-Salz-Parzellen im Herbst 1957 fast schlagartig ihre infizierten Nadeln ab, während der Nadelfall auf den Gas- und Vergleichsparzellen normal verlief.

23.2 N_t -Gehalt und N_{min} -Nachlieferung

Alle nachfolgend geschilderten Untersuchungen führten wir an flächenrepräsentativen Mischproben durch. Jede Mischprobe von einer Versuchsreihe setzte sich aus 40 bis 50 Einzelproben zusammen. Diese entnahmen wir in regelmäßigen Abständen jeweils diagonal über die Einzelparzellen verteilt durch Ausstechen mit Metallrahmen (200 bis 400 cm²). Ein solches Vorgehen ist bei dem kleinflächigen Wechsel in der Ausbildung der organischen Waldbodenaufgabe unbedingt nötig, wenn man repräsentative Werte erhalten will.

Über die Wirkung der Düngungsmaßnahmen auf die organische Bodenaufgabe in Amberg II und Schwabach gibt Tabelle 3 Aufschluß⁸. In Amberg II fällt 1956 (also ein Jahr nach der Düngung) die Erniedrigung des C:N-Quotienten auf der Gas-Reihe auf (ZÖTTL 1958, S. 10). Sie ist durch Einbau von Ammoniak in die organische Substanz verursacht. Bei den 1957 und 1960 gezogenen Proben unterscheidet sich die Gas-Parzelle nicht mehr in dieser Weise (Tab. 3). Ein Teil der neu gebildeten, mit Stickstoff angereicherten organischen Substanzen ist also wohl infolge ihrer Wasserlöslichkeit (Ammonhumat u. a.) aus den Rohhumuslagen in den durchlässigen Mineralboden eingewaschen worden. Die ursprünglichen Hoffnungen, durch NH₃-Gas den Rohhumus auf lange Sicht mit Stickstoff anzureichern, haben sich damit zumindest in diesem Versuch nicht erfüllt.

Das gedüngte N-Salz verengte das C:N-Verhältnis nicht, trotzdem die gegebenen 100 kg N etwa ein Sechstel des N_t -Vorrats in der organischen Auflage ausmachten. Es wurde demnach überwiegend von den Wurzeln aufgenommen oder ausgewaschen und nur in geringem Umfange mikrobiell gebunden. Daß Auswaschung eine Rolle spielt, läßt das seit 1957 bemerkbare Zurückgehen der sicherlich sulfatbedingten pH-Erniedrigung der Salzparzellen erkennen.

Alle C:N-Werte 1957 sind höher als 1956. Ursache ist zweifellos nur die während der verschiedenen Jahre nie völlig übereinstimmende Erfassung der organischen Substanz bei der Probenahme. Außerdem muß man trotz der hohen Zahl von Einzelproben mit einer Streuung der Werte von 5 bis 8 % rechnen.

Auf den mit Kalk versehenen Parzellen deutet sich in den C:N-Werten von 1960 der Beginn einer Verengung an. Die oben geschilderte stärkere Tiertätigkeit (und höherer mikrobieller Umsatz, siehe Brutversuchsergebnisse) macht sich damit im 6. Jahr nach der Düngung bemerkbar.

In Amberg II prüften wir 1960 auch, ob sich die Gesamtmenge der organischen Auflage infolge der Düngung verändert hat. Es ergaben sich jedoch keine signifikanten Differenzen zwischen den Versuchsgliedern. Die Mengen an organischem Material im A₀-Horizont lagen alle bei 40 000 kg/ha, die N_t -Vorräte bei über 600 kg/ha. Nur die Volumgewichte der gekalkten Reihen waren mit 0,27 höher als die der übrigen (0,18–0,20), da die organische Auflage in den unteren Lagen dieser Flächen infolge Tiertätigkeit etwas stärker mit Mineralboden vermischt war.

Auch in Schwabach sind die bisher feststellbaren Veränderungen in der orga-

⁸ Amberg I wurde nicht weiter untersucht, weil die Fläche standörtlich ähnlich ist und hier keine gegenüber Amberg II grundsätzlich anderen Düngungsmaßnahmen vorgenommen wurden.

Tabelle 3

C : N-Quotient und pH-Wert der organischen Bodenauflage der Versuchsflächen
AMBERG II und SCHWABACH

AMBERG II						
Versuchsreihe	C : N am			pH _{KCl} am		
	17. 5. 56	29. 4. 57	6. 7. 60	17. 5. 56	29. 4. 57	6. 7. 60
unbehandelt	37	40,4	38,3	2,73	2,71	2,83
Ca	36	39,7	35,6	4,76	6,33	6,50
Ca + P	35	39,1	37,4	4,83	5,33	6,18
Ca + P + N-Salz	37	40,4	n. b.	5,48	7,10	n. b.
NH ₃ -Gas	33	36,4	38,6	2,90	2,70	2,80
N-Salz	37	38,9	40,0	2,64	2,60	2,78
NH ₃ -Wasser	37	37,3	37,6	2,78	2,68	2,80

SCHWABACH						
Versuchsreihe	C : N am			pH _{KCl} am		
	18. 10. 56	13. 9. 57	17. 3. 60	18. 10. 56	13. 9. 57	17. 3. 60
0	42,0	42,0	41,4	2,41	2,35	2,45
NH ₃ -Gas (P, Ca, Mg, K)	43,9	43,7	42,8	3,46	3,87	3,28
NH ₃ -Gas + Ca ¹	n. b.	n. b.	37,2	n. b.	n. b.	6,08
N-Salz (P, Ca, Mg, K)	41,7	42,3	36,9	2,78	3,29	2,87
N-Salz + Ca ¹	n. b.	45,5	34,9	n. b.	6,10	6,16

¹ Die Proben „Gas + Ca“ bzw. „Salz + Ca“ umfaßten nur den mit Kalk stark angereicherten Teil der F-Lage (vergl. S. 74). Die Probe „Salz + Ca“ vom 13. 9. 57 bestand ausnahmsweise fast nur aus L-Lagen-Material. Alle anderen Proben enthielten wie üblich untere L-Lage, F-Lage und H-Lage zusammen.

nischen Auflage gering. Nur bei der Salz-Reihe ist 1960 das C:N-Verhältnis deutlich enger. Ursache hierfür ist vor allem das auf diesen Parzellen seit 1957 starke Aufkommen der Drahtschmiele (s. S. 76). Im Wurzelbereich dieser Grashorste ging die Zersetzung des Rohhumus schneller voran als auf den nur schütter mit Zwergsträuchern und Flechten bewachsenen Flächen. Natürlich ist der C : N-Quotient der mit Kalk angereicherten Humuslage ebenfalls deutlich niedriger. Der Anteil dieser Lage am Gesamtrohhumus ist aber nur gering. Die pH-Werte der Proben von gekalkten Parzellen (in Schwabach und in Amberg II) streuen zum Teil stark. Sie sind davon abhängig, wieviel Kalkbröckchen man bei der Probenahme zufällig mit erfaßt. Ihr Aussagewert ist daher gering. Wir benötigen die Werte jedoch bei der Besprechung der Brutversuche.

Alle in Tab. 3 aufgeführten Proben wurden in Brutversuchen auf ihre CO₂-Produktion und N_{min}-Anhäufung untersucht. Die Brutversuche von 1956 sind bereits früher besprochen (ZÖTTL 1958, Fig. 2 und 5), die weiteren Ergebnisse hier in Fig. 1 bis 4 dargestellt. Zunächst seien die Brut Versuchsergebnisse mit Material von Amberg II (Fig. 1 und 2) behandelt. 1957 (Fig. 1) zeigen die Proben der Vergleichsparzellen sowie der Versuchsglieder N-Salz, Ammoniakgas und -wasser alle eine ziemlich stetige Zunahme der N_{min}-Anhäufung (nur Bildung von NH₄-N). Die Proben der N-gedüngten Reihen ohne Kalk haben eine höhere N_{min}-Anhäufung als das Vergleichsmaterial (niedrigerer C : N-Quotient, siehe Tab. 3). In ihrer CO₂-Produktion

tion liegen sie (vor allem „Gas“) in den ersten Wochen der Bebrütung deutlich unter der Vergleichskurve. Die N-Düngung bewirkte somit bei geringerem mikrobiellem Gesamtumsatz eine Erhöhung der N_{\min} -Nettoanhäufung.

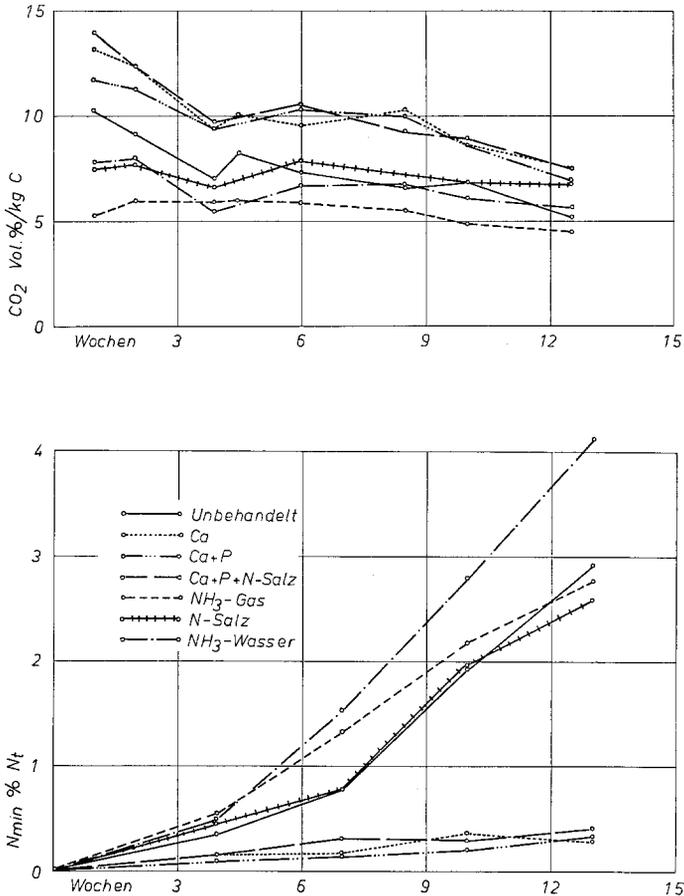


Fig. 1. CO₂-Produktion und N_{\min} -Anhäufung im Brutversuch Amberg II von 1957

Alle gekalkten Proben (Ca; Ca + P; Ca + P + N-Salz) verhalten sich übereinstimmend anders: sie häufen nur sehr wenig N_{\min} an (trotz pH-Werten von 5–7 keine Nitratanhäufung – auch nicht nach Impfung mit nitrifizierendem Bodenmaterial), laufen in ihrer CO₂-Produktion aber stets merklich über den nicht gekalkten Proben. Eine solche Erscheinung spricht für hohe biologische Festlegung von N_{\min} (vergl. ZÖTTL 1960 c). Andererseits muß man auch an die Möglichkeit chemischer Fixierung oder gasförmiger N-Verluste denken (ZÖTTL 1960 e). Gelegentlich ließen sich nämlich Spuren von Nitrit nachweisen. Nitrit könnte laufend nach der van-Slyke-Reaktion oder durch Reduktion zu NO bzw. N₂O in gasförmige N-Verbindungen übergehen (ALLISON u. DOETSCH 1950, TYLER u. BROADBENT 1960, SMITH u. CLARK 1960). N-Verluste durch Abdestillation von NH₃ oder Denitrifikation des gebildeten Nitrats scheiden bei unseren Brutversuchsbedingungen aus (ZÖTTL 1960 a). Auf jeden Fall ist also die N_{\min} -Nettoanhäufung des gekalkten Materials sehr gering.

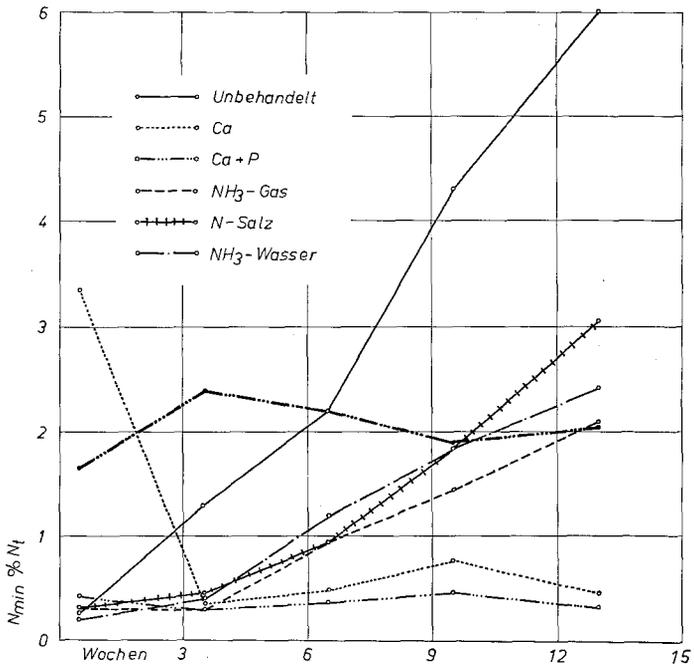
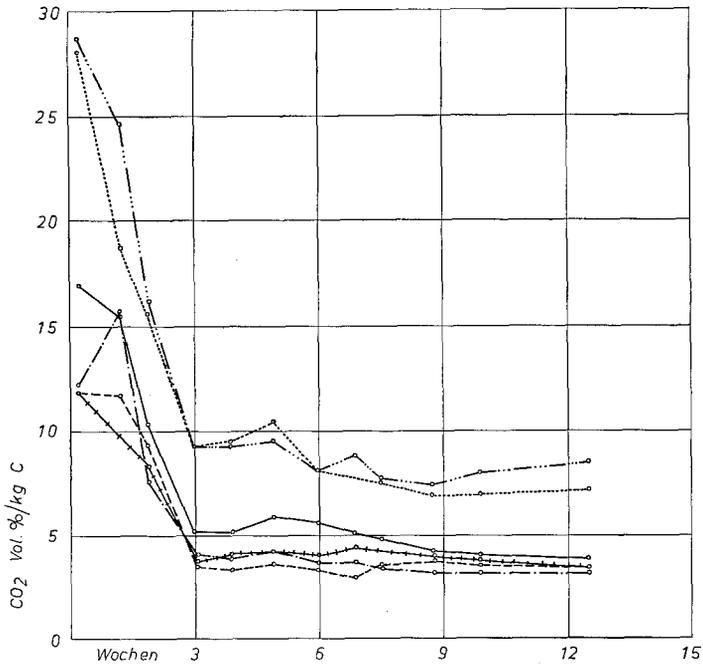


Fig. 2. CO₂-Produktion und N_{min}-Anhäufung im Brurversuch Amberg II von 1960.
Dünne Linien: NH₄-N; dicke Linie: NO₃-N

Der 1960 durchgeführte Brutversuch (Fig. 2) zeigt eine gegenüber 1957 höhere N_{\min} -Anhäufung des Vergleichsmaterials. Die Proben der N-gedüngten Reihen liegen in N_{\min} -Anhäufung (Gegensatz zu 1957) und CO_2 -Produktion unter den Vergleichskurven. Bei den gekalkten Proben sehen wir das Gleiche wie 1957: Hohe CO_2 -Produktion bei verschwindend geringer N_{\min} -Anhäufung. Hier treten zudem noch zwei schwer deutbare Befunde auf: Ein hoher Anfangsgehalt von $\text{NH}_4\text{-N}$, der dann rasch abnimmt, bei der Probe aus der Ca-Reihe und eine von Anfang an im wesentlichen gleichbleibende Nitratmenge bei der Ca + P-Reihe. Beides deutet darauf hin, daß am Standort vor der Probenahme in diesen Versuchsreihen viel N_{\min} gebildet wurde, bei der Ca + P-Probe vielleicht als Folge der P-Düngung bereits in Form von Nitrat.

Auf Grund dieser Brutversuchsergebnisse läßt sich folgendes über die Beeinflussung der N_{\min} -Nachlieferung am Standort Amberg II durch die Düngungsmaßnahmen aussagen. Die in Form von N-Salz, Ammoniakgas und -wasser 1955 mit N gedüngten Versuchsreihen sind 1957 in ihrer N_{\min} -Nachlieferung der O-Reihe gering überlegen, sinken aber 1960 darunter ab. *Es ist also durch diese Düngungsmaßnahmen keine länger anhaltende Erhöhung der N_{\min} -Nachlieferung aus der organischen Auflage eingetreten.* Zwischen den Versuchsgliedern „Salz“, „Gas“ und „Wasser“ bestehen keine wesentlichen Unterschiede in der N_{\min} -Nachlieferung.

Die Brutversuchsergebnisse der gekalkten Reihen sind nur mit großem Vorbehalt auf den Standort zu übertragen. Erst bei der Probenahme mischt man nämlich den größtenteils noch in der oberen F-Lage konzentrierten Kalk gleichmäßig mit der gesamten organischen Auflage. Hierdurch ändert man die Bedingungen gegenüber dem Standort grundlegend. Im Brutversuch herrscht in der gesamten Probe nun ein hoher pH-Wert, wodurch ein Großteil des organischen Materials mit einem Schlag mikrobiell verfügbar wird. Die Folge ist ein rasch einsetzender und wochenlang anhaltender hoher Bruttoumsatz bei nur geringer N_{\min} -Nettoanhäufung. Am Standort spielt sich dies nur in einer begrenzten Lage der organischen Auflage ab, eben dort, wo die meisten Kalkbröckchen gerade in Lösung gehen. So erklärt sich auch, warum die 1960 in Amberg II gemessenen Gesamtmengen organischer Auflage (siehe S. 70) zwischen den einzelnen Versuchsgliedern kaum differieren.

Betrachten wir nun die Brutversuche mit Material der Versuchsfläche Schwabach (Fig. 3 und 4). Hier bemühten wir uns, bei der Probenahme möglichst wenig Kalk mit zu erfassen. Dadurch sind – im Gegensatz zu Amberg II – die pH-Werte der Proben „ NH_4 -Gas + Ca, P, K, Mg“ und „N-Salz + Ca, P, K, Mg“ lediglich auf über 3 erhöht (Vergleichsprobe pH = 2,4, siehe Tab. 3; dort auch die C : N-Quotienten). Im Brutversuch 1957 (Fig. 3) haben die Proben beider Düngungsreihen eine geringere CO_2 -Produktion als das Vergleichsmaterial; auch die N_{\min} -Anhäufung ist schwächer. Dieses Verhalten ähnelt dem des Materials aus Amberg II. Es ist also 1½ Jahre nach der Düngung keine erhöhte N_{\min} -Anlieferung aus der organischen Bodenaufgabe mehr festzustellen. Die nach längerer Brutdauer bei der „Salz“-Probe bemerkbare Nitratbildung ist zweifellos nur Resultat der günstigen Brutbedingungen; sie bedeutet nicht, daß auch am Standort Nitrifikation abläuft. Hoher Bruttoumsatz bei verschwindend geringer N_{\min} -Anhäufung kennzeichnet die kalkreichen Humuslagen („Kalkreiche Lage“ in Fig. 3). Wir sahen schon oben bei den kalkreichen Proben von Amberg II die gleiche Erscheinung. Sie ist bei ZÖTTL (1960 c) ausführlich diskutiert und zeigt, daß aus diesen Lagen auch am Standort derzeit kaum eine N_{\min} -Anlieferung für die Pflanzenwurzeln zu erwarten ist.

Im Brutversuch 1960 (Fig. 4) wurde nur die N_{\min} -Anhäufung gemessen. Die relativ hohen N_{\min} -Gehalte bei der Probenahme sind durch den jahreszeitlich frühen Entnahmetermine (17. März) bedingt. Wir erfaßten zu diesem Zeitpunkt offenbar noch die N_{\min} -Frühjahrsanhäufung (EHRHARDT 1961). Die Vergleichsprobe zeigt eine deutliche Anlaufperiode (ZÖTTL 1960 c), während der fast aller N_{\min} immobilisiert wird. Dadurch ergibt sich der negative 6-Wochen-Wert in Tab. 2. Hingegen weist das nicht stark mit Kalk angereicherte Material der gedüngten Reihen nun – vier Jahre nach der Düngung – eine höhere N_{\min} -

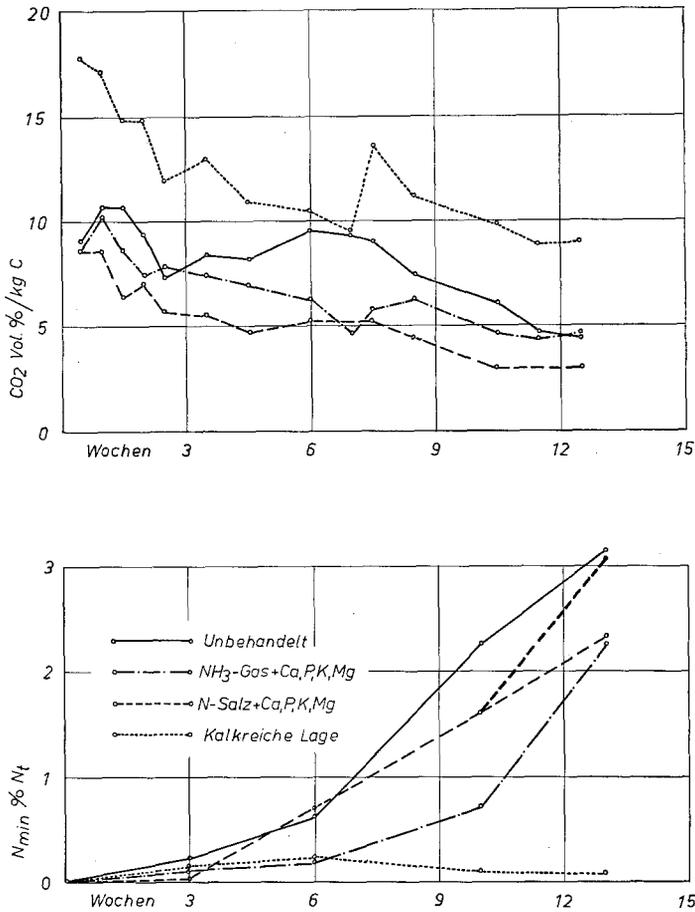


Fig. 3. CO₂-Produktion und N_{min}-Anhäufung im Brutversuch Schwabach von 1957.
Dünne Linien: NH₄-N; dicke Linie: NO₃-N

häufung auf⁹. In diesem Brutversuch 1960 hatten also die wenig Kalk enthaltenden Humuslagen der beiden gedüngten Reihen eine wesentlich stärkere N_{min}-Anhäufung als das unbehandelte Material. Wir schließen daraus auf eine auch am Standort nun erhöhte N_{min}-Anlieferung. Infolge der gesteigerten Mikroorganismen- und Tiertätigkeit (RONDE 1958) hat sich in der organischen Auflage nun allmählich eine entsprechende Steigerung der mikrobiellen Umsatzaktivität bemerkbar gemacht. Diese ist lediglich in den sehr kalkreichen Lagen (Proben „Salz“-kalkreich und „Gas“-kalkreich, Fig. 4) noch mit einer hohen N-Immobilisation verbunden.

Insgesamt machen die geschilderten Brutversuche deutlich, daß die Düngungsmaßnahmen bemerkenswerte Änderungen im Mineralisationsablauf bewirkten. Allerdings wird die Übertragung der Ergebnisse auf den Standort stark erschwert durch die teilweise erst bei der Probenahme erfolgende Einmischung der langsam löslichen Dünger, besonders des Kalkes. Ohne Zeitkurven von N_{min}-Anhäufung und CO₂-Produktion ließe sich überhaupt kaum eine sichere Aussage machen. *Jedenfalls ist aber klar, daß*

⁹ Die größere N_{min}-Anhäufung der „Gas“-Probe ist wohl durch den höheren pH-Wert bedingt, der aus einer zufällig stärkeren Kalkbeimischung resultiert.

N-Salz und NH_3 -Gas bei alleiniger Anwendung auf den untersuchten Flächen nur ein bis zwei Jahre lang nach der Düngung eine Mehranlieferung von N_{\min} verursachen. Alle zusätzlich mit Kalk (und P, K, Mg) gedüngten Reihen weisen in den

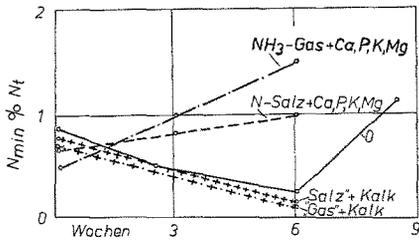


Fig. 4. CO_2 -Produktion und N_{\min} -Anhäufung im Brutversuch Schwabach von 1960

ersten Jahren lediglich in den mit Kalk stark durchsetzten Humuslagen einen erhöhten Abbau organischen Materials auf. Dieser ist im Umfang sehr begrenzt (Zahlen Seite 70!) und mit N-Immobilisation verknüpft. Infolgedessen ist in den vier bis fünf Jahren nach der Düngung noch keine N_{\min} -Mehranlieferung auf Grund dieser Düngungsmaßnahmen zu erwarten¹⁰. Die aus den Nadelanalysen (Abschn. 4) für mehrere Versuchsjahre erkennbaren höheren N-Gehalte der Kiefern müssen daher im wesentlichen durch die im Düngungsjahr aufgenommenen

N_{\min} -Mengen und deren Speicherung in den Bäumen bedingt sein.

In späteren Jahren ist auch mit einer N_{\min} -Mehranlieferung aus der größeren und N-reicheren Streumenge der gedüngten Parzellen zu rechnen. Derzeit dürften diese zusätzlich in den biologischen Kreislauf gelangten Beträge noch keine nennenswerte Rolle spielen. Untersuchungen zu ihrer Erfassung sind angelaufen.

3 Bodenvegetation

Die Ausgangslage und die 1955/57 eingetretenen Veränderungen schilderte ZÖTTL (1958). Außerdem finden sich über die Fläche Schwabach Angaben von KRISO und LUTZ bei RONDE (1958). In den Jahren 1957/61 änderten sich auf den beiden Versuchsfeldern in Amberg die Verhältnisse nur noch geringfügig. Auffällig war hingegen in Schwabach ein Fluktuieren der schon im Düngungsjahr 1956 auf den „Gas“- und „Salz“-Parzellen spärlich vermehrten Drahtschmiele (*Aira flexuosa*). Dieses horstbildende Gras hatte sich im Sommer 1957 auf den „Gas“-Parzellen mit Deckungsgrad 1 ausgebreitet und erreichte auf den „Salz“-Parzellen sogar Deckungsgrad 3 (= 25–50 % der Fläche deckend). Die Stöcke blühten reichlich. 1958–1960 erfolgte keine weitere Ausdehnung mehr, auch blühten in diesen Jahren immer nur wenige Exemplare. Erst 1961 trat dies wieder in größerem Umfang ein.

Die früher vereinzelt beobachteten nitrophilen Ubiquisten, wie *Epilobium angustifolium* oder *Taraxacum officinale*, verschwanden in den letzten Jahren größtenteils wieder. Gleiches gilt für die noch 1957 deutlich vermehrten Hutpilze *Boletus badius* und *Paxillus involutus*.

Offenbar reagierte die Bodenvegetation auf das vor allem durch die Ammonsulfat-salpeter-Düngung erhöhte N-Angebot. Da dieses nur 1956/57 gegeben war, ist der Rückgang in den Folgejahren verständlich. Im übrigen zeigt sich am Verhalten der Bodenvegetation, daß die Kalk- und Phosphatgaben bislang noch wenig wirksam wurden. Dies steht im Einklang mit den in Abschnitt 23.2 geschilderten Ergebnissen.

Eine Vernichtung oder auch nur Schwächung des Beerkrautes durch die Ammoniakgaben trat nicht ein. Das ist nur möglich, wenn sehr große Mengen Ammoniak über dem

¹⁰ Hauptthemmnis ist die Trockenheit der Standorte. Sie verhindert jahrelang eine umfangreichere Lösung von Kalk und Phosphat. In den das ganze Jahr hindurch überwiegend feuchten Humuslagen von Standorten im Alpenvorland ist schon nach ca. drei bis vier Jahren kein Kalk als Bröckchen oder Krusten mehr festzustellen. Hier ist dann auch nach dieser Zeit bereits — vor allem durch die starke Regenwurmtätigkeit — eine lagenweise Umformung von Rohhumus in kotkrümelreichen Mull zu sehen.

Boden austreten und starke Verätzungen der Pflanzen hervorrufen. Für die Erhöhung des N-Angebotes im Boden ist dieser NH_3 -Anteil jedoch verloren.

4 Ernährungszustand der Bäume

Auch eingehende chemische und mikrobiologische Bodenuntersuchungen geben uns keinen Aufschluß, welche Nährelementmengen ein Baumbestand tatsächlich aufnimmt. Einen Maßstab hierfür erhält man jedoch durch die Auswertung von Nadelanalysen. Wir stellten daher auf den Flächen Schwabach und Amberg 1 jährlich im Herbst die Gehalte der Hauptnährelemente in den jeweils halbjährigen Kiefernadeln der Spitzentriebe des 1.—3. Wirtels fest. Wie unveröffentlichte Untersuchungen des Verf. zeigten, ändern sich die Nährelementgehalte der Spitzentriebnadeln in diesem Kronenbereich von Zweig zu Zweig nicht stärker als von Baum zu Baum.

41 Nadelanalysen Schwabach

Die nadelanalytischen Ergebnisse sind in Fig. 5a–c und Tab. 4 dargestellt. Betrachten wir zunächst den Ernährungszustand der ungedüngten Bäume. Die N-Konzentrationen kommen hier mit Werten um 1,2 % an die untere Grenze des Bereichs, den WEHRMANN (1959 b) für verschiedenwüchsige Kiefernbestände in Bayern ermittelte. Die N-Versorgung der Bäume ist also – entsprechend dem in Abschn. 23.2 festgestellten sehr geringen N_{\min} -Angebot – schlecht. Auch die P- und Ca-Werte (Tab. 4 linke Spalten) liegen nur wenig über dem ausgesprochenen Mangelbereich.

Wie wirkte nun die Düngung? Sie brachte schon im Düngungsjahr 1956 einen überaus starken Anstieg der N-Konzentration, die bei der „Salz“-Reihe mit 1,8 % das Niveau von Kiefernbeständen I. Höhenbonität erreicht (Fig. 5 a). In den Folgejahren fielen die Werte stetig wieder ab, wobei die „Salz“-Reihe der „Gas“-Reihe fast immer überlegen blieb. Erst 1961 waren zwischen den Versuchsgliedern keine signifikanten Differenzen¹¹ mehr festzustellen, die Düngewirkungen – was den N-Spiegel anlangt – somit abgeklungen.

Der Variationskoeffizient der N-Konzentration liegt bei 10–20 Einzelwerten zwischen 5 und 12 %. Dabei haben die gedüngten Parzellen niedrigere Koeffizienten als die unbehandelten. Das durch Düngung vermehrte N-Angebot wirkte also ausgleichend auf die im Bestand anzutreffenden Unterschiede in der N-Ernährung der Einzelbäume.

Auch die Nadelgewichte (Fig. 5 b) stiegen nach der Düngung stark an (siehe auch Abb. 1 oben), um dann ebenso wie die N-Konzentrationen bis 1960/61 auf das ursprüngliche Niveau abzusinken. Die Differenzen sind hier weniger gut statistisch zu sichern, da die Nadelgewichte stärker streuen (Variationskoeffizienten von 15–25 %). Interessant ist, daß der Höchstwert der Nadelgewichte der „Salz“-Reihe bereits im Düngungsjahr erreicht wurde. Ähnlich hohe Werte kommen im übrigen auch bei gutwüchsigen ungedüngten Kiefernbeständen vor (WEHRMANN 1959 b). Zweifellos besteht ein ursächlicher Zusammenhang zwischen der nun besseren N-Ernährung der Bäume und der im Nadelgewicht ablesbaren höheren Trockensubstanzproduktion.

Ein guter Maßstab für die aufgetretene Differenzierung des N-Ernährungszustandes der Bäume ist das Produkt der beiden oben diskutierten Größen, also etwa der in 100 Nadeln enthaltene Stickstoff (Fig. 5 c)¹². Die Ammonsulfatsalpeter-Düngung

¹¹ Die Kästchen in Fig. 5 u. 6 zeigen, ob die Differenzen zwischen den Versuchsgliedern signifikant sind. *** bedeutet Sicherung bei $P = 0,001$, ** = 0,01, * = 0,05.

¹² Bei WEHRMANN (1959 b) ist die in 100 Nadeln enthaltene N-Menge kein besserer Maßstab für den Ernährungszustand als die Nährelementkonzentration. Dies gilt wohl nur für den Vergleich vieler Bestände, bei denen die Verschiedenheit der Nadelgewichte teilweise mehr von der Baumrasse als vom Ernährungszustand abhängt. Auf eng begrenzten Versuchsfeldern haben wir aber genetisch einheitliches oder gleichmäßig gemischtes Pflanzenmaterial mit normaler Streuung der Nadelgewichte.

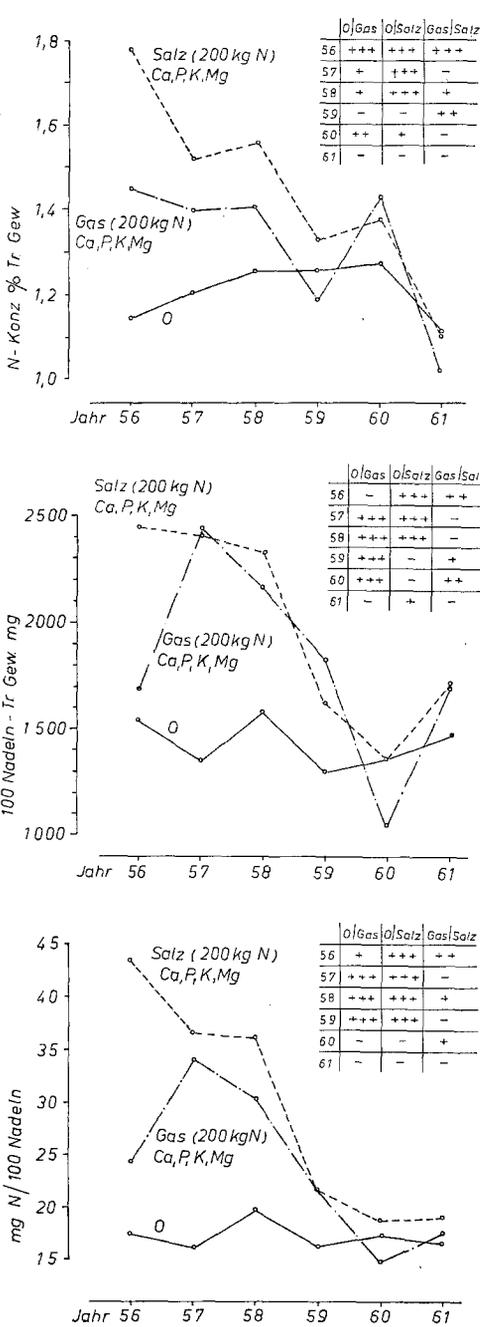


Fig. 5a—c. Nadelanalysen Schwabach
 oben: N-Konzentration der halbjährigen Nadeln;
 Mitte: Trockengewicht von 100 Nadeln;
 unten: N-Menge in 100 Nadeln

ließ diesen Wert auf beinahe 250 % der Vergleichsfläche ansteigen; das Ammoniakgas erbrachte stets nur geringere Erhöhungen. Ab 1960 lagen die Werte der gedüngten Reihen im Streubereich der Vergleichsflächenzahlen. Die N-Düngung manifestierte sich demnach vier Jahre lang im erhöhten N-Spiegel der Assimilationsorgane.

Das tatsächliche Ausmaß der N-Aufnahme spiegelt auch die in einer bestimmten Nadelzahl enthaltene N-Menge nur unvollständig wider. Man erfaßt nämlich nicht eine durch Triebverlängerung und häufigere Verzweigung bedingte Vermehrung der Nadelzahl. Wie Abb. 1 erkennen läßt, trat dies auf der Versuchsfläche ein. Allerdings ist die Erhöhung der Nadelzahl nicht direkt proportional der Triebverlängerung. Verlängern sich z. B. die Spitzenzweige um 60 %, so steigt die Nadelzahl nur um 20 % an. Außerdem nimmt auch der Holzteil der Bäume gewisse N-Mengen auf (siehe S. 80).

Im Gegensatz zu den N-Werten änderten sich die P-, Ca- und K-Konzentrationen der gedüngten Reihen bisher kaum (Tab. 4). Die aufgenommenen Mengen jedoch mußten demnach in den Jahren mit erhöhten Nadelgewichten diesen entsprechend gestiegen sein. Ob diese zeitweilige Mehraufnahme von P, Ca und K auf die Düngung mit Phosphat, Kalk und Patentkali (vergl. S. 69) zurückzuführen ist oder ob es sich um verstärkte Ausnützung der Bodenvorräte (etwa durch infolge besserer N-Ernährung vergrößertes Wurzelwerk) handelt, läßt sich bei der gegebenen Versuchsanstellung nicht sicher sagen. Bei P und Ca spricht jedoch manches gegen eine Düngerwirkung. Phosphat und Kalk lösten sich nämlich (vergl. ZÖTTL 1958 und Abschnitt 23) auf dem trockenen Standort nur sehr langsam. Diese Düngemittel mußten daher eher in den späteren Jahren nach Versuchsbeginn zu einem Anstieg der nadelanalytischen Werte führen. Das ist bisher nicht der Fall. Außerdem zeigte sich auf dem ähnlichen Standort Amberg I, wo nur N-Düngemittel

ausgebracht wurden, ebenfalls ein Gleichbleiben des P- und Ca-Spiegels in der Zeit der erhöhten Nadelgewichte (Abschn. 42). Durch den starken Anstieg des N-Spiegels erweiterte sich auch das Verhältnis von N zu den übrigen Nährelementen. Allerdings ist die Erhöhung z. B. des bedeutungsvollen N:P-Quotienten nicht so groß, daß außerhalb des von WEHRMANN (1959 b) festgestellten natürlichen Rahmens liegende Werte erreicht werden. Das für harmonisches Wachstum nötige Nährelementgleichgewicht (LAATSCH 1957) ist demnach nicht gestört.

Aus den angeführten Daten ist bei der „Gas“-Reihe keine erhöhte P-Aufnahme gegenüber der „Salz“-Reihe festzustellen. Die von THEM-LITZ (1960) beschriebene Phosphormobilisierung nach Ammoniakbe-gasung spielte demnach in Schwabach keine für die Baumernäh-rung bedeutsame Rolle.

Auffällig ist in Tab. 4, daß die Werte 1960 höher als in den übrigen Jahren liegen. Dies dürfte auf den im Herbst 1959 erfolgten weitgehenden Kahlfraß der Ver-suchsfläche durch die Kiefern-buschhornblattwespe (*Diprion pini*) zurückgehen. Der im Spätherbst 1959 fast völlig kahle Bestand trieb 1960 erst im Juni wieder aus und bildete überwiegend nur büschelartige Kurztriebe mit relativ leichten Nadeln (Fig. 5 b). 1960 war daher höchstens ein Viertel der normalen Gesamtnadel-masse vorhanden. Die schon ge-speicherten und die laufend auf-genommenen P-, Ca- und K-Men-gen konnten sich in diesem Jahr auf wesentlich weniger Nadel-masse verteilen, was zu höheren Konzentrationen führte. Gleiches gilt für die N-Konzentrationen. Besonders die „Salz“- und „Gas“-Werte zeigten 1960 einen sprung-haften, gegen den Abwärtstrend gerichteten Anstieg. Diese Beein-flussung der Assimilationsorgane durch den Schädlingsbefall über-deckte in Schwabach offenbar den auf anderen trockenen Kiefern-standorten 1960 beobachteten Ab-fall der N-Werte als Folge des Trockenjahres 1959 (s. Abschn. 42).

Die Erörterungen in Abschnitt 23 sowie Tab. 4 machen wahrscheinlich, daß die in Fig. 5 ablesbare erhöhte N-Aufnahme der gedüngten Reihen überwiegend aus dem gegebenen Ammoniakgas bzw. Ammonsulfatsalpeter resultiert. Hierfür spricht auch die prinzipielle Ähnlichkeit des N-Kurvenverlaufs in Amberg I (Abschn. 42), wo *nur* mit N-haltigen Mitteln gedüngt wurde. Man kann daher in Schwabach die ge-düngte N-Menge von je 200 kg/ha mit den im Düngungsjahr vom Bestand aufge-nommenen N-Mengen vergleichen, um einen Anhalt für den Ausnutzungsprozentsatz zu erhalten. Rechnet man (siehe ZÖTTL 1959) die Ergebnisse der Nadelanalysen mit Hilfe der Nadelmengenangaben von BURGER auf den Hektar um, so ergibt sich eine

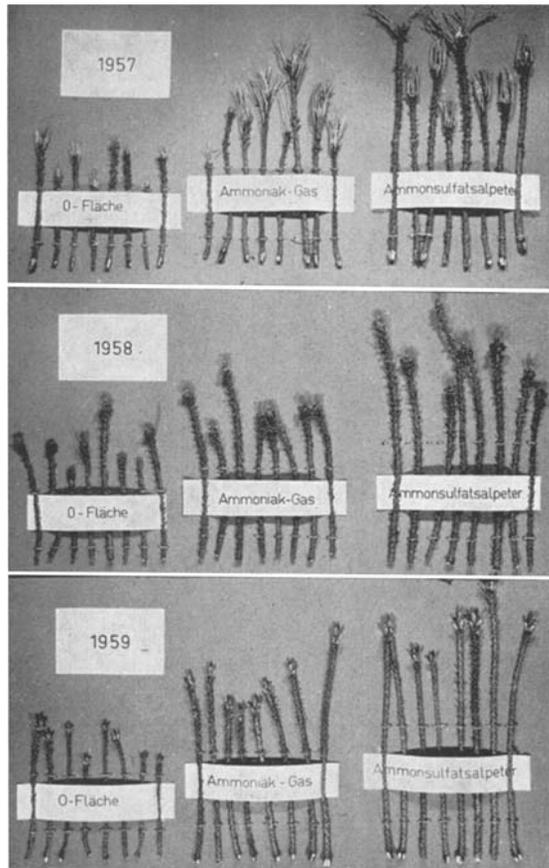


Abb. 1. Versuchsfläche Schwabach: Auswahl halbjähriger Spitzentriebe von Seitenzweigen des 1.—3. Wirtels aus den Jahren 1957—1959

Tabelle 4

Gehalt an P, Ca und K in halbjährigen Nadeln der Versuchsfläche SCHWABACH
Angaben in % Trockensubstanz

Jahr	O-Fläche			NH ₃ -Gas + Ca, P, K, Mg			N-Salz + Ca, P, K, Mg		
	P	Ca	K	P	Ca	K	P	Ca	K
1956	0,13	0,19	0,58	0,14	0,22	0,55	0,14	0,24	0,60
1957	0,12	0,16	0,63	0,13	0,21	0,62	0,15	0,20	0,71
1958	0,13	0,26	0,56	0,15	0,28	0,63	0,16	0,27	0,65
1959	0,12	0,20	0,60	0,13	0,30	0,58	0,14	0,24	0,61
1960	0,15	0,22	0,63	0,18	0,26	0,71	0,17	0,25	0,67
1961	0,12	0,23	0,58	0,11	0,25	0,50	0,12	0,26	0,51

zusätzliche Aufnahme auf Grund der N-Salzdüngung von 28 kg N/ha. Diese Zahl berücksichtigt jedoch lediglich grob die in den Assimilationsorganen feststellbare N-Menge. Der tatsächliche Anteil muß aber höher sein, da wohl auch Zweige, Stamm und Wurzeln mehr Stickstoff speicherten. Aus den Zahlen bei EHWALD (1957, Tab. 6, Zeile 5 und 8) läßt sich der in diese Organe aufgenommene N-Anteil mit knapp 50 % der in die Nadelmasse gehenden Menge errechnen. Unterstellt man, daß sich der N-Gehalt in Wurzeln, Stamm und Zweigen durch die Düngung prozentual in gleichem Ausmaß erhöhte wie in den Nadeln, so kommt man für die Ammonsulfat-peterdüngung zu einer N-Mehraufnahme von $28 + 14 = 42$ kg/ha im Düngungs-jahr. Das bedeutet eine Ausnutzung der Düngergabe von 21 %. Verglichen mit den meist über 60 % liegenden, teils 90 % erreichenden Werten bei Topfdüngungs-versuchen mit Baumsämlingen (JUNG 1961) oder landwirtschaftlichen Kulturen ist dies gering. Man darf jedoch annehmen, daß ein weiterer, allerdings nicht allzu hoher Teil (vergl. Abschn. 23.2) zunächst von den Mikroorganismen des Bodens verarbeitet wurde und bis etwa 1½ Jahre nach der Düngung infolge Remineralisation dem Bestand wieder zur Verfügung stand. Außerdem ist der Verbrauch durch die Boden-vegetation zu berücksichtigen. Schließlich kann man in dem durchlässigen Grobsand-boden Auswaschungsverluste nicht ausschließen. Addiert man zu den 42 kg Mehr-aufnahme die in Abschn. 21 errechneten 15 kg als ungefähre, auf der ungedüngten Fläche aufgenommene Menge, so erhält man rund 55–60 kg/ha N-Gesamtaufnahme im Düngungsjahr. Diese Menge entspricht der für Kiefernbestände 1. Ertragsklasse vielfach angenommenen Jahresaufnahme.

Laut Abschnitt 23.2 hält das erhöhte N_{\min} -Angebot als Folge der einmaligen Düngung nicht länger als zwei Jahre an. Der N-Spiegel der Nadeln (Fig. 5) ist jedoch vier Jahre lang erhöht. Auch aus diesem Grund muß man mit einer nennens-werten N-Speicherung in den Bäumen außerhalb der Nadeln rechnen. Offensichtlich geht die Kiefer überhaupt mit dem aufgenommenen N-Kapital sehr haushälterisch um. Nach WITTICH (1953) wiesen abgefallene Nadeln nur etwa ein Drittel des Stick-stoffgehalts auf, den sie im frischen Zustand hatten. Es ist anzunehmen, daß der Differenzbetrag überwiegend nicht durch Auslaugung verloren geht, sondern vor dem Abwurf der Nadeln aus ihnen zurückgezogen wird. Da die Kiefernadel nur zwei bis drei Jahre alt wird, stand dem Versuchsbestand vom hohen N-Gehalt der 1956 und 1957 gebildeten Nadeln bereits 1958 und 1959 wieder ein großer Teil zur Bildung dieser Jahrgänge zur Verfügung. Auf längere Sicht ist auch mit einer erhöhten N_{\min} -Nachlieferung aus der in den biologischen Kreislauf gelangten Streu zu rechnen (siehe Abschn. 23.2).

Zusammenfassend können wir den nadelanalytischen Befunden entnehmen, daß

die Düngung mit Ammonsulfatsalpeter die N-Ernährung der Kiefern deutlich stärker verbesserte als die Einbringung von Ammoniakgas. Die günstigen Veränderungen im N-Haushalt der gedüngten Bäume müssen sich auch in vermehrtem Holzzuwachs äußern. Dabei ist eine entsprechende Abstufung der „Salz“- und „Gas“-Reihe zu erwarten. Schon die zur Nadelharnte abgeschnittenen Spitzentriebe der Seitenzweige (Abb. 1) zeigen dies deutlich.

42 Nadelanalysen Amberg I

Gemäß den ähnlichen Standortbedingungen gleicht der Ernährungszustand des Bestandes Amberg I dem von Schwabach. Die N-Konzentration (Fig. 6 a) liegt im Mittel der Untersuchungsjahre bei 1,2 % und bedeutet sehr schlechte Versorgung mit diesem Mineralstoff. Die übrigen Hauptnährelemente sind aus Platzmangel hier nicht aufgeführt; sie stimmen in ihren Werten weitgehend mit Schwabach überein.

Die Schwankungen im N-Gehalt von Jahr zu Jahr sind in Amberg I im Vergleich zu WEHRMANN (1959 b) relativ groß. Auffällig ist das Absinken im Jahr 1960. Wir deuten es mit WEHRMANN (1961) als Folge der durch das Trockenjahr 1959 verursachten Verminderung der N_{\min} -Nachlieferung.

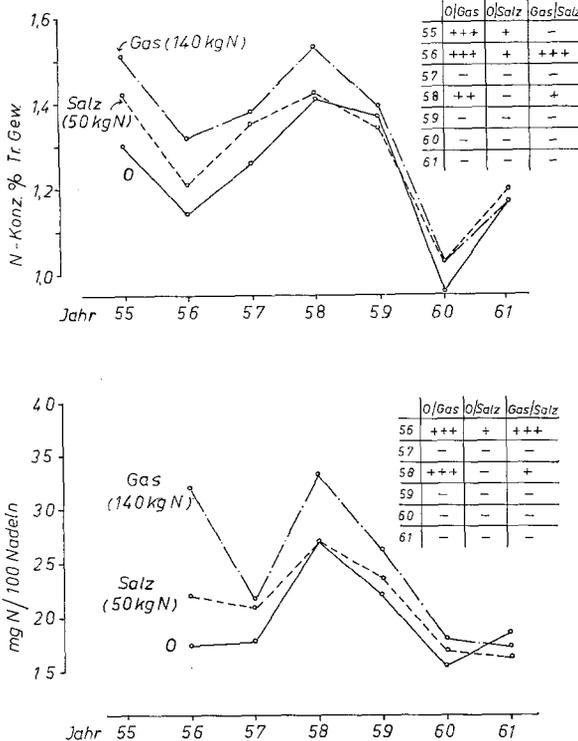


Fig. 6a—b. Nadelanalysen Amberg I
oben: N-Konzentration der halbjährigen Nadeln;
unten: N-Menge in 100 Nadeln

Die als Ammoniakgas bzw. Ammonsulfat ausgebrachte N-Menge war in Amberg I verschieden (s. Abschn. 2.2 bzw. Fig. 6). Daher wies die „Gas“-Reihe hier die größeren Anstiege der nadelanalytischen Werte auf. Entsprechend den niedrigeren N-Gaben waren die Ausschläge kleiner als in Schwabach. Jedoch hielten sich die Werte der gedüngten Versuchsglieder wie in Schwabach vier Jahre lang auf höherem Niveau als die der unbehandelten Parzellen, um dann in deren Streurahmen abzusinken. Die Konzentrationen der anderen Hauptnährelemente veränderten sich kaum. In den Jahren mit gestiegenen Nadelgewichten muß daher eine erhöhte Aufnahme aus dem Boden erfolgt sein. Man sieht somit im ganzen eine ähnliche Reaktion auf die Düngung wie in Schwabach. Wie dort lassen die eingetretenen Veränderungen

im N-Ernährungszustand der gedüngten Bestandteile eine entsprechende Zunahme des Holzzuwachses erwarten.

5 Grundflächen- und Derbholzzuwachs

(R. Kennel)

Die Höhenbonität des Kiefernbestandes in Schwabach ist etwa IV,5 (WIEDEMANN, mäßige Durchforstung) bei einem mittleren Alter von 70 Jahren im Frühjahr 1956. Die Grundflächenwerte liegen auf dem trockenen Standort mit 15,8 bis 18,9 m²/ha zu Beginn der Zuwachsperiode sehr nieder.

In den Bestand wurden sechs Parzellen mit je 700 bzw. 750 m² gelegt, die durch breite Zwischenstreifen voneinander getrennt sind. Die erste Aufnahme erfolgte im Herbst 1956 nach der Düngung, die im Frühjahr durchgeführt wurde. Die Zuwachsmessung erfaßt somit die Vegetationsperiode des Düngungsjahres nicht, was beim Vergleich mit Amberg I berücksichtigt werden muß. Die zweite Aufnahme folgte nach drei Jahren im Herbst 1959 (Tab. 5)¹³. Für die Bestimmung des Grundflächen-

Tabelle 5
Grundflächenzuwachs Schwabach

Parzelle Nr.	Düngung	Parzellen- größe	Herbst 1956				H 1956 — H 1959	
			Stamm- zahl	mittl. Durchm.	mittl. Höhe	Grundfläche pro ha	jährlicher Grund- flächenzuwachs pro ha	
	kg/ha	m ²	St/ha	cm	m	m ²	m ²	%
O 1	—	750	1400	13,1	11,6	18,8511	0,4798	98,4
O 2	—	700	1129	13,3	11,6	15,7761	0,4951	101,6
						Mittel:	0,4874	100,0
A 1	200 N (Gas) + P, Ca, K, Mg	700	1157	14,0	11,9	17,8247	0,6875	141,0
A 2	200 N (Gas) + P, Ca, K, Mg	750	1453	12,5	11,4	17,8675	0,7312	150,0
						Mittel:	0,7093	145,5
B 1	200 N (Salz) + P, Ca, K, Mg	750	1427	12,7	11,3	18,1887	1,0145	208,1
B 2	200 N (Salz) + P, Ca, K, Mg	700	1200	13,4	11,1	16,8423	0,8838	181,3
						Mittel:	0,9491	194,7

zuwachses hat sich die Anwendung von Umfangmeßbändern ausgezeichnet bewährt. Die Volldüngung unter Verwendung von Ammoniakgas hat drei Jahre lang einen Mehrzuwachs an Grundfläche von 45,5 % ergeben, bei der gleichen Menge Reinstickstoff in Salzform betrug die Steigerung 94,7 %. Die Zuwachsunterschiede sind statistisch gesichert, wie die Varianzanalyse zeigt (Tab. 6).

Der Kiefernbestand in Amberg I hatte im Frühjahr 1956 ein mittleres Alter von 50 Jahren und eine Höhenbonität von IV,0 (WIEDEMANN, mäßige Durchforstung). Von den zwölf Parzellen mit je 750 m² blieben sechs ungedüngt¹⁴. Die erste Auf-

¹³ Auf eine weitere Aufnahme wurde bisher wegen des starken Diprion-Befalles 1959/60 (siehe Abschn. 41) verzichtet.

¹⁴ Zur Ertragsmessung wurden neben den mit 0 bezeichneten drei Parzellen noch weitere drei ebenfalls ungedüngte Parzellen (C) herangezogen, die ursprünglich anders behandelt werden sollten.

nahme erfolgte im April 1956 vor der Düngung. Zur ersten dreijährigen Zuwachsperiode gehört daher auch das Düngungsjahr, während in Schwabach die dreijährige Zuwachsperiode mit dem Folgejahr beginnt, in dem erst die volle Wirkung der Düngung auf den Zuwachs zu erwarten ist. Durch diese Verschiebung sind in Schwabach die Jahre des stärksten Mehrzuwachses auf den gedüngten Parzellen besser erfaßt, das heißt, der durchschnittliche Mehrzuwachs pro Jahr müßte in Schwabach größer sein, auch wenn die gleichen Düngermengen und -wirkungen wie in Amberg unterstellt würden.

Wie aus Tab. 7 hervorgeht, bewirkte die Düngung mit 140 kg/ha Stickstoff in Form von Ammoniakgas während der ersten drei Jahre einen Mehrzuwachs an Grundfläche von 34,7 %, 50 kg/ha Stickstoff als Ammonsulfat brachten eine Steigerung um 15,6 %. In der zweiten Periode von 1958 bis 1961 ließ die Wirkung auf den Zuwachs nach. Die 10 % Mehrzuwachs auf den gedüngten Flächen sind nicht mehr gesichert, wie die Varianzanalyse (Tab. 8) ergibt.

Tabelle 6
Varianzanalyse Schwabach

Düngung	200 kg N (Gas) + Ca, P, K, Mg	200 kg N (Salz) + Ca, P, K, Mg
Ungedüngt	+	++
200 kg N (Salz) + Ca, P, K, Mg	+	

+ = gesichert bei P = 0,05.
++ = gesichert bei P = 0,01.

Tabelle 7
Grundflächenzuwachs Amberg I

Parzelle Nr.	Düngung	Frühjahr 1956				Jährlicher Grundflächenzuwachs pro ha			
		Stammzahl	mittl. Durchmesser	mittl. Höhe	Grundfläche pro ha	H 1956 — H 1958		H 1958 — H 1961	
		kg/ha	St/ha	cm	m	m ²	%	m ²	%
O 1	ungedüngt	1680	11,5	10,0	17,3471	0,8400	112,6	0,5330	96,7
		1640	11,1	9,7	15,9073	0,7177	96,2	0,4748	86,1
		2213	9,9	9,5	16,9488	0,7598	101,9	0,5671	102,9
C 1	ungedüngt	1627	11,5	9,8	16,8100	0,7887	105,8	0,5756	104,4
		1787	10,2	9,2	14,4953	0,5865	78,6	0,5173	93,8
		1640	11,7	10,1	17,5525	0,7817	104,8	0,6401	116,1
				Mittel:	16,5102	0,7457	100,0	0,5511	100,0
A 1	50 N (Salz)	1453	12,4	10,6	17,6293	0,9324	125,0	0,5979	108,4
		1853	10,7	9,5	16,7152	0,8369	112,2	0,6114	110,9
		1613	11,7	10,2	17,3209	0,8165	109,5	0,6184	112,2
				Mittel:	17,3318	0,8619	115,6	0,6092	110,5
B 1	140 N (Gas)	1973	10,9	9,9	18,4951	0,9419	126,3	0,6294	114,2
		1667	11,6	10,0	17,5922	1,1299	151,5	0,6589	119,5
		2053	10,1	9,5	16,5347	0,9425	126,4	0,5296	96,1
				Mittel:	17,5407	1,0048	134,7	0,6060	109,9

Für die Umrechnung des Grundflächenzuwachses in Derbholzzuwachs wurde das Verhältnis unterstellt, wie es sich aus der Ertragstafel von WIEDEMANN bei entsprechendem Alter und entsprechender Höhenbonität ergibt. Die Vorratsfestmeter

Tabelle 8
 Varianzanalyse Amberg I

Zuwachsperiode	1956 bis 1958			1959 bis 1961			1956 bis 1961		
	C ung.	A 50 N (Salz)	B 140 N (Gas)	C ung.	A 50 N (Salz)	B 140 N (Gas)	C ung.	A 50 N (Salz)	B 140 N (Gas)
O ungedüngt	—	—	+++	—	—	—	—	—	+
C ungedüngt		+	+++		—	—		—	+
A 50 kg N (Salz) ..			+			—			—

— = nicht gesichert. + = gesichert bei P = 0,05. +++ = gesichert bei P = 0,001.

mit Rinde der Ertragstafel wurden durch Abzug von 20 % in Erntefestmeter ohne Rinde umgerechnet. In Schwabach entsprechen unter diesen Voraussetzungen 1m² Grundflächenzuwachs 7,60 Efm Derbholz ohne Rinde, in Amberg ist das Verhältnis 1 : 6,88.

Der Zuwachs betrug in Schwabach auf den Nullparzellen in drei Jahren 11,1 Efm, auf den „Gas“-Flächen 16,2 Efm und auf den „Salz“-Flächen 21,6 Efm Derbholz o. R. (Tab. 9). Die Wirkung von 200 kg Reinstickstoff in Salzform war also in den ersten drei Jahren nach dem Düngungsjahr doppelt so groß wie die Wirkung der gleichen Menge Stickstoff in Gasform. In Amberg I brachten 140 kg Reinstickstoff in Gasform in sechs Jahren 6,5 Efm, 50 kg Stickstoff als Salz 3,6 Efm Derbholz mehr als die ungedüngten Parzellen. Umgerechnet auf die gleiche Stickstoffmenge war die Wirkung der N-Salzgabe in Amberg I in sechs Jahren um 55 % größer als die der N-Begasung. Dieses Verhältnis wird sich voraussichtlich in den folgenden Jahren nicht mehr wesentlich verschieben, da auf Grund der Nadelanalysen zu erwarten ist, daß der Mehrzuwachs auch auf den „Gas“-Flächen abklingt. Das wird auch durch

Tabelle 9
 Derbholzzuwachs Schwabach und Amberg I

Forstamt Zuwachsperiode	Düngung	Zuwachs pro ha in 3 Jahren		Mehrzuwachs pro ha	
		Efm	%	in 3 Jahren	in 6 Jahren
Derbholz o. R.					
	kg/ha	Efm	%	Efm	
Schwabach 1957—1959	ungedüngt	11,11	100,0	—	—
	200 N (Gas) + Ca, P, K, Mg	16,17	145,5	5,06	—
	200 N (Salz) + Ca, P, K, Mg	21,64	194,7	10,53	—
Amberg I 1956—1958	ungedüngt	15,39	100,0	—	—
	140 N (Gas)	20,74	134,7	5,35	—
	50 N (Salz)	17,79	115,6	2,40	—
Amberg I 1959—1961	ungedüngt	11,37	100,0	—	—
	140 N (Gas)	12,51	109,9	1,14	—
	50 N (Salz)	12,57	110,5	1,20	—
Amberg I 1956—1961	140 N (Gas)	—	—	—	6,49
	50 N (Salz)	—	—	—	3,60

das Ergebnis der zweiten Aufnahmeperiode in Amberg I bestätigt, wo der Mehrzuwachs der „Gas“-Parzellen von 35 % in der ersten Periode auf 10 % zurückging.

6 Rentabilität der Düngung

(R. Kennel und H. Zöttl)

Zur Prüfung der Wirtschaftlichkeit der angewandten Maßnahmen seien hier die Düngungskosten und der Wert des bisher gemessenen Mehrzuwachses einander gegenübergestellt (Tab. 10 und 11).

Auf der Ausgabenseite stehen die Kosten der Handelsdünger und der Ausbringung. Dabei sind runde Jahresdurchschnittspreise, entsprechend der üblichen Bezugsart, verwendet: dz Ammonsulfatsalpeter bzw. Ammonsulfat 24,- DM, dz kohlen. Kalk 2,20 DM, dz Hyperphosphat 12,- DM, dz Patentkali 10,- DM. Als Ausbringungskosten sind Erfahrungssätze von 4,- DM pro dz für sackverpackte Düngemittel, die in relativ geringer Menge von Hand gestreut werden, und von 3,- DM für den meist maschinell verblasenen Kalk zugrunde gelegt. Für Ammoniak-

Table 10

Aufwand und Ertrag pro ha in Schwabach

Düngung	Düngemittel- und Ausbringungs-kosten	Mehrzuwachs in 3 Jahren Derbholz o. R.		Überschuß in 3 Jahren
	DM	Efm	DM	DM
8 dz Ammonsulfatsalpeter, 20 dz Kalk, 5 dz Hyperphosphat, 2 dz Patentkali	436	10,53	579	143
200 kg N als Ammoniakgas, 20 dz Kalk, 5 dz Hyperphosphat, 2 dz Patentkali	472	5,06	278	—

Table 11

Aufwand und Ertrag pro ha in Amberg I

Düngung	Düngemittel- und Ausbringungs-kosten	Mehrzuwachs in 6 Jahren Derbholz o. R.		Überschuß in 6 Jahren
	DM	Efm	DM	DM
2,5 dz Ammonsulfat	70	3,60	198	128
140 kg N als Ammoniakgas	182	6,49	357	175

gas ist der 1961 gültige Preis von 1,30 DM pro kg ausgebrachten Stickstoffes eingesetzt. Bei Anlage der Versuche kostete das Ammoniakgas allerdings 42 % mehr.

Für den Mehrzuwachs wurde der erntekostenfreie Wert des Durchschnittsfestmeters des Bestandes am Ende der Aufnahmeperiode eingesetzt. Dabei diente die Sortenertragstafel von MITSCHERLICH zur Aufgliederung in Verkaufssorten. Die

Preise wurden der Holzpreisstatistik der Bayerischen Staatsforstverwaltung für das Forstwirtschaftsjahr 1960 entnommen und davon die Erntekosten abgesetzt. Die so errechneten erntekostenfreien Erlöse betragen für Schwabach 55,40 DM, für Amberg 54,60 DM, im Mittel (für unsere Berechnung verwendet) 55,- DM pro Erntefestmeter Derbholz ohne Rinde.

Die Tabellen weisen für Amberg und die „Salz“-Reihe von Schwabach beachtliche Überschüsse aus. Auf Grund der Darlegungen in Abschn. 23.2 und 41 ist wahrscheinlich, daß in Schwabach bisher nur die N-Düngung das Wachstum beeinflusste. Setzt man daher die Kosten der übrigen Düngemittel von 212,- DM auf der Ausgabenseite ab, so ergibt sich für die „Salz“-Reihe sogar ein Überschuß von 365,- DM. Im übrigen ist der Mehrzuwachs in Schwabach durch die bisherigen Messungen sicher noch nicht vollständig erfaßt.

7 Schlußbetrachtung

Aus den vorhergehenden Abschnitten erhellt, daß die durch Boden- und Nadelanalysen feststellbare Wirkung von Ammoniakgas und salzförmigem N-Dünger im Herbst 1961 abgeklungen und auch der größte Teil des Mehrzuwachses bereits erfaßt ist. Eine weitgehend abschließende Beantwortung der eingangs gestellten Frage, ob Ammoniakgas oder N-Salzdünger günstigere Veränderungen des Bodens und des Bestandes hervorruft, ist somit möglich. Alle geprüften Faktoren ergeben, verglichen auf gleicher Reinstickstoffbasis, eine mehr oder minder große *Überlegenheit der salzförmigen N-Düngemittel*. Es ist in Amberg und Schwabach nicht gelungen, mit einer einmaligen hohen Ammoniakgabe den Rohhumus mit Stickstoff so anzureichern, daß er sich in eine günstige, längere Zeit fließende N_{min} -Quelle umwandelt (vgl. hierzu die ebenfalls unbefriedigenden Ergebnisse von DUCHAUFOUR u. TURPIN 1960). Zwar traten die schon früher beobachteten Veränderungen des Humus (WITTICH 1951, THEMLITZ 1954) in der unmittelbaren Umgebung der Einstichlöcher der Ammoniakwalze teilweise ein (sofern das Ausblasen in den Humuslagen geschah – siehe ZÖTTL 1958), jedoch erfolgte keine flächenmäßige Ausbreitung durch anschließende mikrobielle Prozesse. Der Grund für die geringere Hebung der N-Versorgung des Bestandes durch die Ammoniakbegasung ist einerseits die Humusarmut der Versuchsstandorte. Eine vollständige Speicherung des Ammoniaks im organischen Bodenmaterial war nicht möglich. Auch ging ein Teil des Gases wohl schon beim Ausbringen in die Luft verloren. Andererseits blieben die erwünschten Wirkungen des Ammoniaks punktförmig beschränkt. Die Bedingungen in den Zentren der Walzeneinstichlöcher (siehe ZÖTTL 1958, Tab. 1) schädigten die dort vorhandenen Feinwurzeln, während die zur Nährstoffaufnahme günstigen Randzonen wohl erst verstärkt durchwurzelt werden mußten, um die Ammoniumvorräte voll auszunützen.

In den Untersuchungen über den Kleintierbesatz der Fläche Schwabach (Birkenlacher Weg) kam RONDE (1958, 1960) zu einer etwas stärkeren Erhöhung der Gesamt tierzahlen auf der „Gas“-Reihe gegenüber der „Salz“-Reihe. Nur hier zeigte sich somit eine bessere Wirkung des Ammoniakgases. Möglicherweise erfolgte jedoch die Probenahme nicht in unserem Sinne (vgl. Abschn. 23.2) flächenrepräsentativ. Auf den Gasparzellen wurden nämlich die Einstichstellen absichtlich bevorzugt erfaßt (RONDE, briefl.), um in erster Linie die starken Veränderungen zu studieren. Hier sind aber die Besiedlungsherde, dazwischen trifft man völlig freie Partien an (RONDE 1958). Im übrigen nahmen die für die Umformung der organischen Auflage bedeutungsvollen Regenwurmarten (Lumbriziden) auf der „Salz“-Reihe mehr zu. Sie fanden sich vor allem im Wurzelfilz der Drahtschmiele (RONDE 1958), die sich auf der „Salz“-Reihe seit 1957 bedeutend vermehrt hatte (siehe Abschn. 3).

Es erscheint beim derzeitigen Kenntnisstand schwierig, Veränderungen des Besatzes mit Bodenkleintieren im Hinblick auf den Nährstoffhaushalt zu deuten. Sicherlich ist bei einer Vermehrung der am Abbau des organischen Bodenmaterials beteiligten Arten oder Gruppen in Richtung auf die Verhältnisse guter Standorte mit einem erhöhten Angebot mikrobiell an-

greifbarer Substanzen zu rechnen (vergl. ZÖTTL 1960 e), also eine günstige Wirkung zu erwarten. Im welchem Ausmaß und nach welcher Zeit sich dies jedoch auf die Anlieferung wichtiger Nährelemente auswirkt, dürfte angesichts des vielfältigen ökologischen Beziehungsgefüges im Boden und der Möglichkeit zeitweiliger biologischer Festlegung von Nährstoffen kaum für den Einzelfall zu sagen sein. Jedenfalls muß eine Bereicherung der Tiergruppen- und Artenzahl nicht gleichzeitig bereits einen günstigeren Ernährungszustand und damit besseres Wachstum des Bestandes mit sich bringen. Dies geht beispielsweise aus der Untersuchung eines anderen Kiefernbestandes im Forstamt Schwabach hervor, der ähnlich gedüngt wurde wie die oben geschilderte Versuchsfläche. RONDE (1958) beobachtete auf diesen gedüngten Parzellen in Abt. „Kothige Weiher“ eine starke Vermehrung der Tierpopulationen bereits kurz nach Versuchsbeginn. Zuwachsmessungen in einem unmittelbar benachbarten, standörtlich vergleichbaren und gleich gedüngten Versuchsbestand ergaben jedoch für die drei Jahre nach dem Düngungsjahr keinen Mehrzuwachs der Düngungsreihe. Die Nadelanalysen zeigten für den Bestand eine relativ gute Mineralstoffernährung auch ohne Düngung. Wahrscheinlich wirken sich Umstellungen im Tierbesatz häufig erst in späterer Zeit auf die Nährstoffnachlieferung aus, was bei der langfristigen Planung der Forstwirtschaft nützlich ist. In Schwabach „Birkenlacher Weg“ dürfte allerdings wegen der geringen Rohhumusmächtigkeit auch auf längere Sicht kein großer Effekt zu erwarten sein.

Wie oben dargelegt, erbrachte die Düngung mit salzförmigen N-Düngemitteln bereits jetzt wirtschaftlich belangvolle Mehrerträge. Bei der Wirkungsweise der N-Dünger ist nicht anzunehmen, daß der durch sie verursachte laufende Mehrzuwachs länger als insgesamt ca. 5–7 Jahre anhält. Ähnlich verlief beispielsweise auch ein von FABRICIUS (1940) beschriebener Kieferndüngungsversuch. Zur ständigen Aufrechterhaltung des laufenden Mehrzuwachses wären Wiederholungen der N-Gaben nötig, jedenfalls so lange, bis die Produktion höherer und N-reicher Streumengen die N_{\min} -Anlieferung des Bodens nennenswert gesteigert hat (oder in Schwabach eine erhöhte Mineralisation auf Grund der Kalk- und Phosphatgaben einsetzt). Entsprechend den Vorschlägen von LAATSCH (1958) sollte man in der Praxis die pro Jahr gegebene N-Menge unter 100 kg/ha halten und etwa alle drei bis fünf Jahre wiederholen¹⁵. Dabei wäre durch weitere Nadelanalysen zu überprüfen, ob die Nährelementversorgung noch harmonisch ist. Wenn nötig, könnte man dann zur Aufrechterhaltung eines günstigen Nährelementgleichgewichts die Düngung später entsprechend abwandeln. Jedenfalls zeigen unsere Ergebnisse, daß derartig arme Standorte mit äußerst schlechtwüchsigen Beständen verheißungsvolle Düngungsobjekte darstellen, bei denen gerade mit N-Düngung rasch Erfolge zu erzielen sind. Dies gilt vor allem für streugenutzte Flächen, wo die N-Vorräte und ihre Ausnutzbarkeit in besonders gravierender Weise vermindert wurden (WITTICH 1954), während die Anlieferung der übrigen Hauptnährelemente für eine bessere Wuchsleistung meist ausreicht. Es sei betont, daß die Verbesserung der N-Versorgung in geeigneten Beständen natürlich auch durch Lupinenanbau oder ähnliche Maßnahmen sehr wirksam erfolgen kann (WITTICH 1954). Freilich zeigen die von ASSMANN (1961, S. 417) angestellten Überlegungen, daß die Eignung des Bestandes für Lupineneinbringung jeweils unter dem Gesichtspunkt der Wirtschaftlichkeit zu prüfen ist. Befürchtungen wegen einer durch Düngung ungünstig veränderten Holzqualität sind auf den geschilderten Versuchsflächen wohl nicht zu hegen. Von PECHMANN u. WUTZ (1960) wiesen an Kiefern mit ähnlich gesteigertem Zuwachs nach, daß die Veränderungen des Holzes innerhalb des auf natürlichen Standorten auftretenden Streubereichs blieben. Bei den meist geringen Stärken der schlechtwüchsigen Kiefern dürfte auch eine sprunghafte Änderung der Jahrringbreiten keine stark wertmindernde Rolle spielen.

Auf Grund der in Schwabach-„Birkenlacherweg“ durchgeführten Untersuchungen von OLDIGES (1958, 1959, 1960) kann man damit rechnen, daß die durch Düngung

¹⁵ Die in Schwabach versuchsweise angewandten 200 kg N/ha waren dadurch bedingt, daß N-Salz mit Ammoniakgas auf gleicher N-Basis verglichen werden mußte und mit der Gaswalze nur diese hohe Dosis exakt auszubringen war.

besser ernährten Bäume nicht nur mehr Holz liefern, sondern auch widerstandsfähiger gegen Befall durch Schadinsekten sind bzw. eine höhere Mortalität der Schädlinge verursachen. Freilich kann dies bei blatt- oder nadelfressenden Schädlingen nur solange der Fall sein, als der Ernährungszustand der Bäume tatsächlich besser ist. Dies traf für die Versuchsfläche „Birkenlacherweg“ in den Untersuchungsjahren von OLDIGES zu. In einer dem N-Spiegel der Nadeln entsprechenden Abstufung fand OLDIGES die Mortalität der getesteten Schädlingsraupen, z. B. der Nonne (*Lymantria monacha*) oder des Kiefernspanners (*Bupalus piniarius*) auf den Düngungsreihen stark gesteigert. Im Jahre des *Diprion*-Befalls (1959, s. Abschn. 41) war dagegen die N-Wirkung in den Assimilationsorganen (Fig. 5) bereits weitgehend abgeklungen. Die gedüngten Parzellen wurden ebenso kahl gefressen wie die unbehandelten Bestandteile (vergl. SCHWENKE 1960). Im übrigen sei mit dem Aufzeigen der Parallelität zwischen N-Ernährungszustand der Bäume und ihrer Schädlingsdisposition keine kausale Erklärung versucht, denn sicherlich verändern sich mit dem N-Gehalt noch eine Reihe anderer physiologischer Eigenschaften der Bäume. Welche dabei die entscheidende Rolle für die Schadinsekten spielen, scheint noch wenig geklärt (siehe SCHWENKE 1961). Sicherlich kommen auch mannigfache Beeinflussungen der Schädlinge durch die veränderte Bodenkleinfaua in Frage (ZWÖLFER 1957).

Über die vergleichende Prüfung von Ammoniakgas und salzförmigem N-Dünger hinaus brachten die bisherigen Ergebnisse Einblick in die Beziehung zwischen dem Nährelementspiegel der Nadeln und dem Holzzuwachs nach einer Düngung. Unter den herrschenden Versuchsbedingungen ergab sich eine klare Korrelation zwischen der N-Menge in den Nadeln und dem Holzzuwachs (vergl. Abschn. 4 u. 5). Es entsprechen sich sogar die Ausmaße der jeweiligen Veränderungen in ihrer Größenordnung. So ist bei der N-Salz-Düngung in Schwabach anfangs der N-Spiegel auf eine Höhe gestiegen, wie man sie nach WEHRMANN (1959 b) in Beständen I. Höhenbonität antrifft. Ebenso erreichte der laufende Holzzuwachs etwa die Werte eines Bestandes I. Höhenbonität. Insgesamt wurden also die Daten von besten, ungedüngten Beständen nicht überschritten. Man darf daher annehmen, daß keine Disharmonie in der Versorgung der Bäume eingetreten ist (vergl. LAATSCH 1958). Die Ergebnisse wären noch aufschlußreicher, wenn man die nadelanalytischen Werte mit den jährlichen Zuwachsdaten verglichen hätte. Hierzu benötigte man jedoch Bohrspananalysen. Jedenfalls erwiesen sich die jährlichen Nadelanalysen als sehr brauchbares Mittel, um die Änderungen im Ernährungszustand der Bäume nach der Düngung festzustellen und – *cum grano salis* – den Mehrzuwachs vorherzusagen.

Abschließend sei noch darauf hingewiesen, daß die hier besprochenen Versuche gewissermaßen das *experimentum crucis* darstellen für die von WEHRMANN (1959 b), STREBEL (1960) und ZÖTTL (1960 b) in bayerischen Kiefern- und Fichtenbeständen aufgezeigte Kausalkette zwischen N_{\min} -Anlieferung des Bodens, N-Ernährungszustand der Bäume und Wuchsleistung des Bestandes. Das Resultat zeigt, daß auf den untersuchten Standorten in erster Linie tatsächlich ein unzureichendes N-Angebot das Wachstum der Bestände hemmt. Der ungünstige Wasserhaushalt dieser trockenen Versuchsstandorte (siehe Abschn. 21) ist somit nicht direkte Ursache für das schlechte Wachstum; offenbar fanden die tiefwurzelnden Kiefern noch ausreichend Wasser zur Produktion der bei verbesserter N-Zufuhr zeitweilig um nahezu 100 % vermehrten Trockensubstanz. Indirekt ist allerdings die Trockenheit des Standorts dennoch wachstumshemmend, da die Tätigkeit der Mikroorganismen in den am stärksten austrocknenden Humuslagen oft eingeschränkt wird, somit die N_{\min} -Nachlieferung durch die mikrobielle Mineralisation des organischen Bodenmaterials zurückgeht.

Zusammenfassung

In Kiefernbeständen IV.–V. Höhenbonität auf armen, früher streugenutzten Standorten der bayerischen Forstämter Amberg und Schwabach wurden 1955/56 Düngungsversuche angelegt. Es wird Ammoniakgas mit salzförmigem Stickstoffdünger hinsichtlich der Wirkung auf den Humus, die Nährelementversorgung der Bäume und den Holzzuwachs verglichen. Die Stickstoffdüngung ist teilweise mit Kalk-, Phosphat- und Patentkaligaben kombiniert.

Der ausgestreute Stickstoffsalzdünger hatte nur eine geringe mikrobiologische Wirkung im Boden. Das mittels einer Einstichwalze in den Oberboden eingeblasene Ammoniakgas verursachte punktweise chemische Veränderungen des Humus und starke mikrobielle Umstellungen. Zwei Jahre nach der Ausbringung zeigte sich jedoch in Inkubationsversuchen mit flächenrepräsentativen Mischproben keine erhöhte Mineralstickstoffanlieferung mehr.

Die jeden Herbst vorgenommenen Nadelanalysen ergaben, daß die Stickstoffkonzentration in den halbjährigen Nadeln bereits im Düngungsjahr bei Stickstoffsalzdüngung stark (bis auf die in gutwüchsigen Beständen festgestellte Höhe) und bei Gasdüngung mäßig angestiegen war. In den Folgejahren bis 1961 sanken die Konzentrationen allmählich wieder auf das Niveau der Vergleichswerte ab. Die Nadelgewichte nahmen, vor allem bei Salzdüngung, anfangs stark zu. Die Konzentrationen der übrigen Hauptnährelemente blieben gleich.

Der laufende Holzzuwachs erhöhte sich bei einmaliger Düngung mit 200 kg/ha Reinstickstoff in Salzform in den drei Jahren nach dem Düngungsjahr um 95 %, bei vergleichbarer Ammoniakgasdüngung nur um 46 %. Hierdurch wurde bei der salzförmigen Stickstoffgabe bereits eine beachtliche Rentabilität der Düngung erreicht.

Die Oberforstdirektionen Ansbach und Regensburg sowie die Herren Amtsvorstände und das Personal der B. Forstämter Amberg und Schwabach unterstützten den Verf. bei der Durchführung der Versuche an Ort und Stelle. Herr Professor Dr. W. Laatsch bekundete stetes Interesse an der Arbeit und gestattete den Einsatz der Institutsmittel hierzu. Fräulein J. Schild führte als chem.-techn. Assistentin die Analysen aus. Herr M. Mair, Präparator, und Fräulein K. Zellner, Laborgehilfin, nahmen an der Probenahme teil. Ihnen allen sei hiermit bestens gedankt.

Summary

Fertilizing experiments have been established in the years 1955/56 in pine stands (*Pinus silvestris*) of very bad site quality in the forest districts of Amberg and Schwabach (Bavaria). The sites have a pure nutrient supply and have been gathered of forest litter in former time. In the plots anhydrous ammonia is compared with solid nitrogen fertilizers. In part the nitrogen fertilization is combined with application of lime, phosphate and KMg-fertilizer. The effects on the humus, the mineral nutrition of the trees, and their growth are investigated.

Solid nitrogen fertilizers had only a weak effect in the soil. Anhydrous ammonia, which was injected in the humus layers and the mineral soil respectively, caused point by point chemical changes of humus and microbial conversions. 2 years after the application no higher mineral nitrogen supply was stated any more by incubation tests. The needle analysis, which were made every autumn showed, that after application of solid N-fertilizer the N-concentration in the half-year old needles had risen strongly (until the value, which is observed in well growing stands) already in the year of fertilization. Anhydrous ammonia caused only a moderate rising of the N-concentration. In the following years until 1961 the concentrations fell down again to the level of the non-treated plots. The weights of the needles increased very much in the first years, especially in the plots with solid N-fertilization. The concentrations of the other important elements remained on the same level.

The current tree-growth risen in the 3 years after the year of fertilization in the plots with 200 kg/ha N in salt form at 95 %, in the plots with anhydrous ammonia at 46 %. This means in the case of solid N-fertilization already a lucrative rent.

Literatur

- ASSMANN, E.: Waldertragskunde. München-Bonn-Wien. 1961. — ALLISON, T. E., u. DOETSCH, J.: Nitrogen gas production by the reactions of nitrites with amino acids in slightly acid media. *Soil Sc. Soc. Am. Proc.* **15**, 163 (1950). — ATTENBERGER, J.: Düngerwirkung an Fichten auf Hochmoor. *Phosphors.* **16**, 44 (1956). — BRÜNING, D.: Ein Beitrag zur Anwendung von Handelsdüngemitteln im Kiefern-Baumholz. *Forst-Holzwirt* **14** (1959). — BRÜNING, D.: Forstdüngung. Radebeul, 1959. — DUCHAUFOUR, P., u. TURPIN, P.: Essais de fertilisation sur humus brut contrôlés par l'analyse foliaire sur pin sylvestre et épicéa. *Ann. École Nat. Eaux Forêts* **17**, 209 (1960). — EGNÉR, H.: Die Bedeutung der Nährstoffzufuhr durch Luft und Niederschläge für die Bodenfruchtbarkeit. *Landw. Forsch. Sonderh.* **7**, 90 (1956). — EHRHARDT, F.: Untersuchungen über den Einfluß des Klimas auf die Stickstoffnachlieferung von Waldhumus in verschiedenen Höhenlagen der Tiroler Alpen. *Forstw. Cbl.* **80**, 193 (1961). — EHWALD, E.: Über den Nährstoffkreislauf des Waldes. *Sitzungsber. d. Akad. Landwirtschaftsw.* **6**, 1 (1957). — FABRICIUS, L.: Ein zehnjähriger N-Düngungsversuch. *Forstw. Cbl.* **62**, 76 (1940). — FRANZ, H., u. LOUB, W.: Bodenbiologische Untersuchungen an Wald-Düngungsversuchen. *Cbl. ges. Forstw.* **76**, 129 (1959). — HAUSSER, K.: Ertragssteigerung in der Forstwirtschaft durch mineralische Düngung. *Phosphors.* **16**, 9 (1956). — HAUSSER, K.: Ergebnisse von neueren Forstdüngungsversuchen auf Altmoräne und Deckenschotter im württembergischen Oberschwaben. *Allg. Forstz.* **12**, 131 (1957). — HAUSSER, K.: Waldbauliche und betriebswirtschaftliche Erfolge der Forstdüngung, erläutert an Beispielen aus dem Buntsandsteingebiet des Württembergischen Schwarzwaldes. *Allg. Forstz.* **13**, 125 (1958). — HAUSSER, K.: Düngungsversuche zu Kiefern mit unerwarteten Auswirkungen im bad.-württ. Forstbezirk Hofstett. *Allg. Forstz.* **15**, 497 (1960). — HAUSSER, K.: Ergebnisse von Düngungsversuchen zu 50- bis 70jährigen Fichtenbeständen auf oberem Buntstandstein des Württ. Schwarzwaldes. *Allg. Forst-Jagdz.* **132**, 269 (1961). — HAUSSER, K., u. SCHAIRER, E.: Ergebnisse von Forstdüngungs- und Meliorationsversuchen in Südwürttemberg. *Mitt. Württ. Forstl. Vers.-Anst.* **10** (1953). — JUNG, J.: Wirkung und Ausnutzung des bei der Behandlung von Rohhumus zugeführten Düngerstickstoffs. *Landw. Forsch.* **14**, 168 (1961). — KUNDLER, P.: Beurteilung forstlich genutzter Sandböden im nordostdeutschen Tiefland. *Archiv Forstw.* **5**, 585 (1956). — KRAUSS, G. A., u. SCHLENKER, G.: Regionale Arbeitsgemeinschaften für forstliche Standortskunde. *Allg. Forst-Jagdz.* **125**, 249 (1954). — LAATSCH, W.: Die wissenschaftlichen Grundlagen der Waldbodenmeliorationen. *Mitt. Staatsforstverw. Bayerns* **29**, 50 (1957). — LAATSCH, W.: Die Stickstoffernährung des Waldes. *Jahresber. Bayer. Forstverw.* 1958/59. — LEIBUNDGUT, H., u. RICHARD, F.: Beitrag zum Problem der Düngung im schweizerischen Waldbau. *Schweiz. Z. Forstw.* **3** (1957). — MADL, W.: Bindung und Verteilung des Phosphors in Böden der Bayerischen Moränenlandschaft. *Diss. Naturwiss. Fak. Univ. München*, 1960. — MITSCHERLICH, G.: Untersuchungen über das Wachstum der Kiefer in Baden. 2. Teil: Die Streunutzungs- und Düngungsversuche. *Allg. Forst-Jagdz.* **126**, 193 (1955). — MITSCHERLICH, G.: Bodenverschlechterung und Düngung in ertragskundlicher Sicht. *Forst-Holzwirt* **13**, 415 (1958). — MITSCHERLICH, G.: Besprechung von White and Leaf, *Forest Fertilization* in *Allg. Forst-Jagdz.* **129**, 230 (1958). — MITSCHERLICH, G., u. WITTICH, W.: Düngungsversuche in älteren Beständen Badens. *Allg. Forst-Jagdz.* **129**, 169 (1958). — MUDRA, A.: Einführung in die Methodik der Feldversuche. Leipzig, 1952. — OLDIGES, H.: Waldbodendüngung und Schädlingsfauna des Kronenraumes. *Allg. Forstz.* **13**, 138 (1958). — OLDIGES, H.: Der Einfluß der Waldbodendüngung auf das Auftreten von Schadinsekten. *Z. ang. Entomologie* **45**, 49 (1959). — OLDIGES, H.: Waldbodendüngung und Kronenfauna. *Z. ang. Entomologie* **47**, 57 (1960). — PECHMANN, H. von, u. WUTZ, A.: Haben Mineraldüngung und Lupinenanbau einen Einfluß auf die Eigenschaften von Fichten- und Kiefernholz? *Forstw. Cbl.* **79**, 91 (1960). — RIEHM, H., u. QUELLMALZ, E.: Die Bestimmung der Pflanzennährstoffe im Regenwasser und in der Luft und ihre Bedeutung für die Landwirtschaft. *Festschr. Landw. Forsch.-Anst. Augustenberg*, 177 (1959). — RONDE, G.: Studien zur Waldbodenkleinfaua. *Forstw. Cbl.* **67**, 95 (1957). — RONDE, G.: Bodenzoologische Untersuchungen von Stickstoff-Meliorationsflächen im Bayer. Staatsforstamt Schwabach (Mittelfranken). *Ruhrstickstoff A.G. Bochum*, 1958. — RONDE, G.: Waldbodendüngung und Lebensgemeinschaft-Bodenfauna. *Z. ang. Entomologie* **47**, 52 (1960). — SCHAIRER, E.: Bodenkundliches über forstliche Düngungsversuche im Schwarzwald und in Oberschwaben. *Phosphors.* **16**, 28 (1956). — SCHWENKE, W.: Über die Wirkung der Walddüngung auf die Massenvermehrung der Kiefernbuschhornblattwespe (*Diprion pini* L.) 1959 in Mittelfranken und die hieraus ableitbaren gradologischen Folgerungen. *Z. ang. Entomologie* **46**, 371 (1960). — SCHWENKE, W.: Walddüngung und Schadinsekten. *Anzeig. Schädlingskunde* **34**, 129 (1961). — SMITH, D. H., u. CLARK, F. E.: Volatile losses of nitrogen from acid or neutral soils or solutions containing nitrite and ammonium ions. *Soil Sc.* **90**, 86 (1960). — STREBEL, O.: Mineralstoffernährung und Wuchsleistung von Fichtenbeständen (*Picea abies*) in Bayern. *Forstw. Cbl.* **79**, 17 (1960). — SÜCHTING, H., u. VOLKERT, E.: Über den Nachweis des Abbaues von Auflagehumus bei

Waldböden. Mitt. Forstw. Forstwiss. **5**, 296 (1934). — THEMLITZ, R.: Die Anwendung von Kalkstickstoff zur Rohhumusumwandlung und Ertragssteigerung im Wald. Z. Pflanzenern. Düngg. Bodenkd. **64**, 54 (1954). — THEMLITZ, R.: Phosphorsäuremobilisierung, eine Nebenwirkung der Düngung mit Ammoniak. Forst-Holzwirt **15**, 6 (1960). — TYLER, K. B., u. BROADBENT, F. E.: Nitrite transformation in California soils. Soil Sc. Soc. Am. Proc. **24**, 279 (1960). — VIRO, P. J.: Fertilization trials on forest soil. Comm. Inst. Forest. Fenn. **37**, 7 (1949/50). — WEBER, E.: Grundriß der biologischen Statistik. Jena, 1956. — WEHRMANN, J.: Methodische Untersuchungen zur Durchführung von Nadelanalysen in Kiefernbeständen. Forstw. Cbl. **78**, 77 (1959 a). — WEHRMANN, J.: Die Mineralstoffernährung von Kiefernbeständen (*Pinus silvestris*) in Bayern. Forstw. Cbl. **78**, 129 (1959 b). — WEHRMANN, J.: Die Auswirkung der Trockenheit von 1959 auf die Nährelementversorgung bayerischer Kiefernbestände. Forstw. Cbl. **80**, 272 (1961). — WITTICH, W.: Der Einfluß der Streunutzung auf den Boden. Forstw. Cbl. **70**, 65 (1951). — WITTICH, W.: Untersuchungen über den Verlauf der Streuzersetzung auf einem Boden mit starker Regenwurmtätigkeit. Schriftenreihe Forstl. Fak. Univ. Göttingen **9** (1953). — WITTICH, W.: Die Melioration streugennutzter Böden. Forstw. Cbl. **73**, 211 (1954). — WITTICH, W.: Stand und Aussichten der forstlichen Düngung. Phosphors. **17**, 42 (1957). — WITTICH, W.: Auswertung eines forstlichen Düngungsversuches auf einem Standort mit für weite Gebiete Deutschlands typischem Nährstoffhaushalt. Ruhrstickstoff A.G. Bochum, 1958 a. — WITTICH, W.: Bodenkundliche und pflanzenphysiologische Grundlagen der mineralischen Düngung im Walde und Möglichkeiten für die Ermittlung des Nährstoffbedarfes. Allg. Forstz. **13**, 121 (1958 b). — ZÖTTL, H.: Ein Vergleich zwischen Ammoniakgas- und Stickstoffsalzdüngung in Kiefern- und Fichtenbeständen Bayerns. Forstw. Cbl. **77**, 1 (1958). — ZÖTTL, H.: Voraussetzungen für eine wirkungsvolle Verbesserung der Stickstoffversorgung von Nadelholzbeständen. Z. Pflanzenern. Düngg. Bodenkd. **84**, 116 (1959). — ZÖTTL, H.: Methodische Untersuchungen zur Bestimmung der Mineralstickstoffnachlieferung des Waldbodens. Forstw. Cbl. **79**, 72 (1960 a). — ZÖTTL, H.: Die Mineralstickstoffanlieferung in Fichten- und Kiefernbeständen Bayerns. Forstw. Cbl. **79**, 221 (1960 b). — ZÖTTL, H.: Dynamik der Stickstoffmineralisation im organischen Waldbodenmaterial. I. Beziehung zwischen Bruttomineralisation und Nettomineralisation. Pl. a. Soil **13**, 166 (1960 c). — ZÖTTL, H.: Dynamik der Stickstoffmineralisation im organischen Waldbodenmaterial. II. Einfluß des Stickstoffgehaltes auf die Mineralstickstoff-Nachlieferung. Pl. a. Soil **13**, 183 (1960 d). — ZÖTTL, H.: Dynamik der Stickstoffmineralisation im organischen Waldbodenmaterial. III. pH-Wert und Mineralstickstoff-Nachlieferung. Pl. a. Soil **13**, 207 (1960 e). — ZWÖLFER, W.: Ein Jahrzehnt forstentomologischer Forschung 1946—1956. Z. ang. Entomologie **40**, 422 (1957).

Der wirtschaftliche Kreislauf in einem Forstbetrieb

Von F. JÖRGENSEN

Einleitung

In Skandinavien hat sich die forstliche Betriebswirtschaftslehre im Laufe der letzten 30 Jahre in anderer Richtung entwickelt als in Deutschland. Der Ausgangspunkt für die skandinavische Entwicklungslinie ist die Bodenreinertragslehre; aber unter dem Einfluß der industriellen Betriebswirtschaftslehre, besonders der Investitionstheorie, hat sich die skandinavische Forstwirtschaftslehre nach und nach zu einem eigenen Lehrsystem entwickelt, das von der deutschen Forstwirtschaftslehre zum Teil verschieden ist.