

Einfluß langjähriger Düngung mit verschiedenen N-Formen auf pH-Wert, Humusfraktionen, biologische Aktivität und Stickstoffdynamik einer Acker-Braunerde

M. Bosch und A. Amberger

Institut für Pflanzenernährung der Technischen Universität München,
D-8050 Freising-Weihenstephan

Eingegangen: 18.1.1983

Angenommen: 5.5.1983

Zusammenfassung - Summary

Nach 53jähriger Versuchsdauer wurde der Boden des N-Formen-Versuchs Weihenstephan (Acker-Braunerde, sul, nFK 160 mm, pH 5,9, Gesamt-C 0,9 %, Gesamt-N 0,1 %, T-Wert 15 mval/100 g Boden) auf verschiedene Eigenschaften untersucht.

Die Düngung mit schwefelsauren Ammoniak (ssa) erbrachte einen pH-Abfall auf 4,9 in der Krume; die Versauerung reicht bis 50 cm Tiefe. Eine jährliche Kalkung zu ssa konnte den pH-Wert trotz gleicher Kalkmengen nicht auf der selben Höhe wie Kalkstickstoff (Kst) halten. Die übrigen Varianten weisen pH-Werte von 5,8 bis 6,0 auf.

C₂- und N₂-Gehalt des Bodens liegen in den Varianten Stallmist Kst und ssa (+CaO) bei 0,91 bis 0,98 % C₂, „ohne N“ bzw. mit Nitraddüngung bei 0,81 bis 0,87 % C.

Stallmist (Stm) und Kalkstickstoff führten zu höheren Gehalten an Huminsäuren und organischer Substanz als Ammonium- und Nitraddüngung. Ammoniumdüngung steigerte den Fulvosäuregehalt.

Die biologische Aktivität der Böden, gemessen an der Aktivität von 5 verschiedenen Enzymen und der O₂-Aufnahme ist im wesentlichen vom pH-Wert abhängig; die höchsten Aktivitäten wurden in der Variante Kalkstickstoff gefunden (außer Katalase). Die Aktivität des stallmistgedüngten Bodens liegt nicht höher als die des ungedüngten. Der Anteil des hydrolysierbaren und nichthydrolysierbaren Stickstoffs wurde durch die Düngung (ausgenommen Stm) nicht verändert (einheitlich 12 % nichthydrolysierbarer N). Stallmistdüngung erhöhte den nichthydrolysierbaren N auf 14 %.

Die Stickstoffnachlieferung im Bebrütungsversuch steht in enger Beziehung zum Gesamt-N-Gehalt des Bodens ($r = 0,94$). Im Pflanzenversuch ist die Abhängigkeit schwächer ($r = 0,72$ bis $0,79$). Andere Einflußfaktoren werden diskutiert.

Influence of long-term fertilizing with different forms of nitrogen fertilizer on pH, humic fractions, biological activity and dynamics of nitrogen in an arable brown earth

The evaluation of soil characteristics in a 53 years field trial (arable brown earth, sandy silty loam, eff. field cap. 160 mm, pH 5,9, total C 0,9 %, total N 0,1 %, CEC 15 meq/100 g soil) gave the following results:

Fertilizing with ammonium sulfate decreased pH in topsoil down to 4,9. The acidification reached a depth of 50 cm. Liming in addition to ammonium sulfate could not keep pH on the same level as calcium cyanamide did.

The other treatments showed pH-values between 5,8 and 6,0. Total carbon and nitrogen in treatments with farm manure, calcium cyanamide and ammonium sulfate were 0,91 to 0,98 % C₂ in

the treatments without N and with nitrate 0,81 resp. 0,87 % C₂. Farm manure and calcium cyanamide produced a higher content of humic acids in organic matter than ammonium and nitrate fertilization did. Ammonium fertilization increased the content of fulvic acids.

Biological activity of soils, measured as activity of 5 enzymes and O₂-consumption depends mainly on pH. Highest activity is found in the soil of treatment calcium cyanamide (except catalase). The proportion of hydrolysable and non-hydrolysable nitrogen (12 % non-hydrolysable N) was not changed by fertilizing (except in the plot with farm manure which increased non-hydrolysable N to 14 %).

Nitrogen mineralisation in laboratory incubation trials were closely correlated with total N ($r = 0,94$).

Lower correlation was found in plant experiments ($r = 0,72$ to $0,79$). Other factors influencing nitrogen mineralisation are discussed.

Einleitung

Seit Beginn dieses Jahrhunderts beschäftigt sich die landwirtschaftliche Forschung mit der Wirkung der verschiedenen N-Dünger-Formen auf den Ertrag der Kulturpflanzen. *Niklas et al.*, (1938) fanden bereits eine weitgehende Wirkungsgleichheit bei Beachtung der Voraussetzungen für einen optimalen Einsatz. Unterschiede ergeben sich lediglich aus unterschiedlichen Bodeneigenschaften, z. B. pH-Wert (*Hilpper und Buchner*, 1953) oder C- und N-Gehalt (*Fiedler et al.*, 1964).

Der N-Formen-Dauerversuch Weihenstephan wurde aus diesem Grund eingehend auf seine Bodeneigenschaften untersucht.

Versuchsplan, Material und Methoden

Versuchsplan N-Formen-Versuch Weihenstephan

Blockanlage mit 7 Versuchsgliedern und 4 Wiederholungen (Parzellengröße 50 m²)

Versuchsglieder (VG):

1. ohne N (without N)
2. Stallmist¹ (farm nature)
3. Kalkstickstoff (calcium cyanamide)
4. schwefelsaures Ammoniak (ammonium sulfate)
5. schwefelsaures Ammoniak + Kalk² (ammonium sulfate + lime)
6. Natronsalpeter (sodium nitrate)
7. Kalksalpeter (calcium nitrate)

oN

Stm

Kst

ssa

ssa+CaO

NaS

CaS

Düngung: Grunddüngung (PK) einheitlich zu allen Versuchsgliedern in fruchtspezifischer Höhe (durchschnittliche jährliche Gabe 66 kg/ha P₂O₅, 108 kg/ha K₂O). N-Düngung einheitlich zu der Versuchsgliedern 3 bis 7 in fruchtspezifischer Höhe (durchschnittliche jährliche Gabe 72 kg/ha N). Versuchsbeginn: 1922, Versuchsglieder 2 und 5: 1936

Fruchtfolge: seit 1953 verbesserte Dreifelderwirtschaft
Klima: langjähriges Mittel 814 mm Niederschläge, 7,7°C

Boden: leicht pseudovergleyte Acker-Braunerde (sUL) auf Lösslehm (25% Ton, 45% Schluff), nFK: 160 mm (bis 1.5 m Tiefe), pH 5,9; T-Wert 15mval/100 g Boden, Boden Gesamt-N 0,1%.

Bodenuntersuchung:

Bodenproben September 1974 mit Pflankauer-Bohrstock aus 4 Tiefen entnommen, Lufttrocknung, Feinboden (falls nicht anders angegeben, beziehen sich alle Angaben auf die Ackerkrume 0-25 cm),

pH-Wert: 0,1 n KCl

Gesamt-C: oxidimetrisch mit Chromschwefelsäure

Gesamt-N: Schwefelsäureaufschluß (Jodlbauer)

Hydrolysiertbarer-N: mit 6 n HCl nach *Aldag* und *Kickuth* (1973)

Fixiertes Ammonium: mit KOBr nach *Silva* und *Brenner* (1966)

Humusfraktionierung: Extraktion mit 0,1 n NaOH, Ausfällung der Huminsäuren bei pH 1 (*Schliching* und *Blume*, 1966), Bestimmung der Fraktionen wie Gesamt-C.

Biologische Aktivität: (gesonderte Bodenprobeentnahme 7 und 9/1977 aus 0-10 cm Tiefe), Dehydrogenase (*Thalman*, 1967), Katalase (*Beck*, 1971), alkalische Phosphatase (*Hoffmann*, 1967), Protease (*Beck*, 1973), Amylase (*Beck* 1977), Bodenatmung (*Anderson* und *Domsch*, 1977¹)

N-Mineralisierung: 30-wöchige Bebrütung in Perkolationröhrchen (*Stanford* und *Smith*, 1972)

N-Aufnahme: Gefäßversuch in Ahr-Gefäßen, ohne und mit pH-Ausgleich (Aufkalkung auf pH 6,5), Versuchsdauer: 1 Vegetationsperiode, 3 Schnitte, Versuchsfrucht: Weidelgras.

Ergebnisse**pH-Wert**

In der Krume liegen die pH-Werte in der Regel im sehr engen Bereich zwischen 5,8 und 6,0 (Tab. 1).

Tabelle 1: pH-Werte N-Formen-Versuch in 4 Tiefen**Table 1:** pH-values N-form-trial in 4 depths

Tiefe cm	1 oN	2 Stm	3 Kst	4 ssa	5 ssa+CaO	6 Nas	7 Cas
0-25	5,84	5,78	5,90	4,85	5,58	5,99	5,81
25-50	5,44	5,66	5,85	5,24	5,93	5,85	5,66
50-75	5,40	5,69	6,11	5,86	6,19	5,79	5,71
75-100	5,48	5,73	6,03	5,69	6,00	5,74	5,68

Der Umstand, daß die Reaktion des mit Kst gedüngten Bodens nicht höher ist, muß als Ausnahmereignis des Jahres 1974 gewertet werden. Messungen früherer Jahre wiesen für Kst stets etwas höhere pH-Werte aus (*Bosch*, 1980). Nach über 50jähriger Düngung mit schwefelsaurem Ammoniak sinkt die Bodenreaktion in der Krume um etwa eine pH-Einheit im Verhältnis zu physiologisch alkalischer Düngung. Die Versauerung reicht bis 50 cm Tiefe. Die jährliche Kalkung zu sSA im Versuchsglied 5 (berechnet auf der Basis des Gesamt-Ca im Kalkstickstoff) konnte einen leichten pH-Abfall im Vergleich zu Kst nicht verhindern. Dieser bleibt jedoch auf die Krume beschränkt. Ursache dafür ist die über die Kalkwirkung hinausgehende alkalische Wirksamkeit des beim Kalkstickstoffabbau entstehenden Ammoniaks. Die auffällig hohen pH-Werte in der Schicht 50-75 cm der Varianten Kst, sSA und sSA + CaO sind bedingt durch den auf einigen Parallelen auftretenden freien Kalk („Kalknester“) im Unterboden (*Bosch*, 1980).

Gesamt-C und Humusfraktionen

Die Unterlassung der N-Düngung erbrachte den niedrigsten Gesamt-C-Gehalt im Boden (Tab. 2). Da zu Versuchsbeginn keine C-Gehaltsbestimmung vorliegt, kann nicht entschieden werden, ob es sich um eine Abnahme handelt, oder ob der Gehalt gleich geblieben ist. Erwartungsgemäß führte die Düngung mit Stallmist zum höchsten C-Gehalt. Ferner haben die mit Ammonium bzw. Kst gedüngten Böden höhere C-Gehalte als die nitratgedüngten.

Tabelle 2: Gesamt-C und Humusfraktionen in mg C/100 g Boden und Anteil der Humusfraktionen in % (in Klammern)

Table 2: Total C and humic fractions in mg C/100 g soil and quota of humic fraction in % (in brackets)

	1 oN	2 Stm	3 Kst	4 ssa	5 ssa+CaO	6 Nas	7 Cas
Gesamt-C	807	978	910	911	933	865	836
Fulvosäuren	388 (42)	375 (35)	299 (33)	453 (46)	379 (42)	332 (38)	350 (41)
Huminsäuren	202 (22)	269 (25)	207 (23)	143 (15)	115 (13)	128 (15)	114 (13)
Humine und Streustoffe	342 (36)	428 (40)	407 (45)	384 (39)	404 (45)	404 (47)	388 (46)
Summe d. Frakt.	932	1 072	913	980	898	864	852

Humusfraktionierung (Tab. 2): Der Anteil an niedermolekularen Fulvosäuren ist im versauerten Boden des VG sSA hoch, im Kst-Boden mit relativ hohem pH-Wert dagegen deutlich niedriger. Huminsäuren wurden besonders durch Stallmist und durch Kst-Düngung angereichert als Folge einer längeren Ammoniumphase, die den Huminstoffaufbau begünstigt (*Sandhoff*, 1962).

Die Fraktion der Humine und Streustoffe (an Tonminerale gebundene Fulvo- und Huminsäuren, unzersetztes Pflanzenmaterial) erfordert wegen ihrer Heterogenität eine vorsichtige Beurteilung. Die Düngung mit sSA hat den Anteil dieser Fraktion jedenfalls stark vermindert; der niedrige pH-Wert beeinträchtigt wohl die Ausbildung von Ca-Brücken zwischen organischer und mineralischer Substanz.

Die Diskrepanz zwischen der Summe des C_i der Fraktionen und dem getrennt bestimmten Gesamt-C-Gehalt resultiert aus dem bekannt hohen analytischen Fehler der Humustraktionierung.

Biologische Aktivität

In Abb. 1 ist die biologische Aktivität für jede Düngungsart als „Muster“ dargestellt; das Mittel aus den 7 Einzelaktivitäten wird als „summarische Gesamtaktivität“ bezeichnet (Beck, 1975).

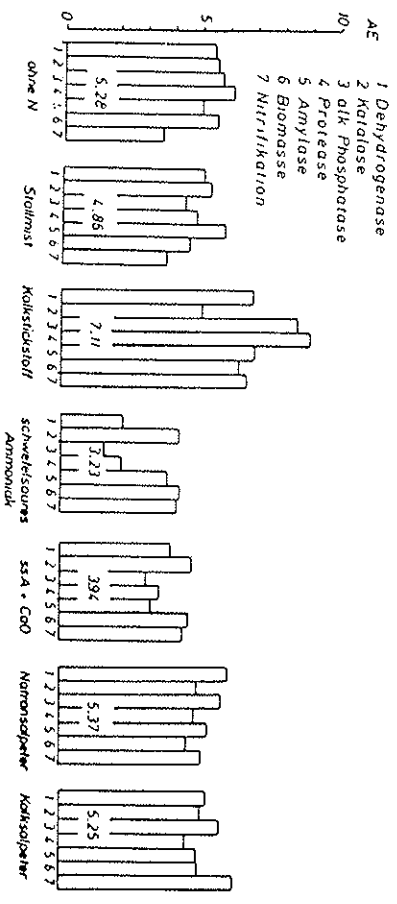


Abbildung 1: Aktivität von 7 Enzymen in Aktivitätseinheiten (AE) und summarische Gesamtaktivität (in Zahlen)
Figure 1: Activity of 7 enzymes in activity units (AE) and average activity (in figures)

Alle Aktivitätsparameter haben ihr Maximum im Kst-gedüngten, das Minimum im sSA gedüngten Boden. Eine Ausnahme macht nur Katalase (Amberger 1961); sie liegt im Versuchsglied Kst auf ungewöhnlich niedrig. Die Aktivität von DHG, Phosphatase und Protease sowie Biomasse ist mit Stallmistdüngung geringer als ohne N.

Ordnet man die Varianten nach der summarischen Gesamtaktivität, ergibt sich folgendes Bild: Kst > NaS > ON > CaS > Sum > sSA + CaO > sSA. Diese Reihenfolge läßt auf eine starke pH-Abhängigkeit schließen.

Stickstoffdynamik

Vergleicht man die Werte für Gesamt-C und Gesamt-N (Tab. 2 und 3), so zeigt sich, daß der Quotient aus beiden, das CN-Verhältnis sich kaum verändert. Im Anteil der

N-Fractionen am Gesamt-N (Tab. 3, Werte in Klammern) unterscheiden sich die Varianten ebenfalls nur geringfügig; einzige Ausnahme ist der Sum-gedüngte Boden mit deutlich mehr nicht-hydrolysierbarem N und Aminosäuren-N.

Tabelle 3: N-Fractionen in mg/100 g Boden und Anteil der N-Fractionen in % vom Gesamt-N (in Klammern)

	1	2	3	4	5	6	7
	ON	Sum	Kst	sSA	sSA+CaO	NaS	CaS
Gesamt-N	95,6 (100)	110,9 (100)	105,2 (100)	108,4 (100)	106,9 (100)	100,1 (100)	98,8 (100)
hydrolysierb. N	84,5 (88,4)	95,8 (86,4)	92,5 (87,9)	95,5 (88,1)	94,5 (88,4)	88,2 (88,1)	87,1 (88,2)
nicht-hydrolysierbarer N	11,1 (11,6)	15,1 (13,6)	12,7 (12,1)	12,9 (11,9)	12,4 (11,6)	11,9 (11,9)	11,7 (11,8)
Ammonium-N ⁺	17,0 (17,8)	19,1 (17,2)	18,6 (17,7)	19,1 (17,6)	19,8 (18,5)	17,8 (17,8)	18,5 (18,7)
Aminosäuren-N ⁺	33,4 (34,9)	40,5 (36,5)	37,0 (35,2)	38,7 (35,7)	36,8 (34,4)	35,0 (35,0)	34,9 (35,3)
fixiertes Ammonium ⁺⁺	11,6 (12,1)	13,5 (12,1)	13,4 (12,7)	14,8 (13,7)	13,4 (12,5)	11,6 (11,6)	11,4 (11,5)
C/N-Verhältnis	8,4	8,8	8,7	8,4	8,7	8,6	8,5

⁺ Ammonium-N + Aminosäuren-N + Hydrolysat-Rest-N = hydrolysierb. N (Hydrolysat-Rest-N nicht aufgeführt)
⁺⁺ kann nicht auf die Fraktion Ammonium-N angerechnet werden (siehe Hinweis im Text)

Der ständig mit sSA gedüngte Boden verfügt ferner über deutlich mehr fixiertes Ammonium (absolut wie auch relativ) neben sSA + CaO, Kst und Stallmist. Da nur ein Teil des an Ton fixierten Ammonium durch Hydrolyse freigesetzt wird (Bremner, 1959), kann es nicht auf pflanzenverfügbare Fraktion Ammonium-N angerechnet werden.

Die Mineralisierungsrate nach Stanford und Smith (1972) gibt Auskunft über den mineralisierbaren Stickstoff eines Bodens (Tab. 4) Die höchsten Raten weisen sSA, Kst und Sum auf; die beiden Salpeterformen liegen an der unteren Grenze.

Tabelle 4: Mineralisierungsrate (Stanford und Smith, 1972) in mg N/100 g Boden · Wochen^{1/2}

Table 4: Mineralisation rate (Stanford and Smith, 1972) in mg N/100 g soil · weeks^{1/2}

	1	2	3	4	5	6	7
	ON	Sum	Kst	sSA	sSA+CaO	NaS	CaS
	1,70	1,87	1,90	1,92	1,65	1,59	1,55

Auch im Gefäßversuch liefern letztere am wenigsten Stickstoff nach; $0N$ mobilisierte etwas mehr (Tab. 5). Ohne pH -Ausgleich liefern Stm , Kst , ssa und $ssa + CaO$ etwa gleich hohe N -Mengen. Der pH -Ausgleich führt in den Varianten Stm , $ssa + CaO$ und CaS zu einer vorübergehenden Stickstoff-Blockierung. Im Versuchsglied ssa hat die Aufkalkung hohe Reserven mobilisiert.

Tabelle 5: N-Aufnahme von Weidelgras (Gefäßversuch) aus den Böden des N-Formen-Versuchs (Kraume 0–15 cm) (mg N/100 g Boden)

Table 5: N uptake of ryegrass (pot trial) from the soils of the N form yield trial (top soil 0–15 cm) (mg N/100 g soil)

	1	2	3	4	5	6	7
	$0N$	Stm	Kst	ssa	$ssa + CaO$	Nas	CaS
ohne pH Ausgl.	1,51	1,85	1,77	1,80	1,92	1,22	1,38
mit pH Ausgl.	1,51	1,46	1,83	3,45	1,69	1,27	0,96
Ges.-N d. Bodens [†]	106	116	112	123	103	95	98
pH (ohne pH -Ausgleich)	5,9	6,0	6,2	5,3	6,0	6,6	6,1

[†] Ges.-N-Gehalt und pH des Bodens weichen von den Angaben in Tab. 1 und Tab. 3 ab, da die Proben für die Mineralisierungsversuche erst im Jahr 1976 und nur aus einer Tiefe von 0–15 cm entnommen wurden.

Diskussion

Die Aktivität der im Boden bestimmten Enzyme ist stark vom pH -Wert abhängig (Tab. 6). Die summarische Gesamtaktivität, aufgetragen gegen den mittleren pH -Wert aus den beiden Probenahmen weist eine sehr hohe Korrelation auf ($r = 0,94^{++}$).

Die auffällige Depression der Katalaseaktivität im VG Kst ist auf die spezifische Hemmung durch Cyanamid zurückzuführen (Amberger, 1961); im übrigen wirkt Kst aber auf alle Enzyme positiv. Die gelegentlich geäußerte Befürchtung, Kst könne die

Table 6: Beziehung zwischen Enzymaktivität und pH -Wert des Bodens: lineare Korrelationskoeffizienten (FG 1 und 5)

Table 6: Relationship between enzyme activity and pH of the soil (1st and 2nd sampling): Linear correlation coefficients (DF 1 and 5)

	1. Probenahme	2. Probenahme
DHG	0,97 ⁺⁺	0,96 ⁺⁺
alkal. Phosphatase	0,96 ⁺⁺	0,96 ⁺⁺
Protease	0,76 ⁺	0,95 ⁺⁺
Katalase	0,58 ⁻	0,83 ⁺
Amylase	0,69 ⁻	0,76 ⁺
Biomasse	0,63 ⁻	0,77 ⁺

erwünschten Mikroorganismen des Bodens schädigen, trifft demnach keinesfalls zu. Erst weimehr ein geeignetes Mittel, die mikrobiologische Aktivität des Bodens zu fördern (Glathe, 1971). Die Düngung mit Stm läßt eine höhere Enzymaktivität erwarten als eine mangelnde N -Düngung (Beck, 1975). Da aber im vorliegenden Versuch der pH -Wert in der Stm -Parzelle nicht höher liegt als der von $0N$, ist auch die biologische Aktivität nicht erhöht. Enge Beziehungen zwischen pH -Wert und der Aktivität von Dehydrogenase (DHG) und Protease fand auch Dutzler-Franz (1977).

Da die Staffelung der pH -Werte für die einzelnen Varianten über den gesamten Versuchszeitraum hinweg im wesentlichen die gleiche war (Bosch, 1980), kann angenommen werden, daß auch das Verhältnis der biologischen Aktivitäten stets gleich war. Bei niedrigem pH -Wert (ssa) wird die organische Substanz langsamer abgebaut und damit leicht zersetzliche organische Masse im Boden angereichert (Nehring und Wiesemüller, 1968). Da der niedrige pH -Wert die abiotische Humifizierung fördert, sind im VG ssa die Fulvosäuren angereichert; bei hohem pH -Wert (Kst) geht dagegen der Abbau der organischen Substanz schneller. Damit ist aber aufgrund der Strukturverbesserung (Bosch, 1980) ein verstärktes Wurzelwachstum und somit ein erhöhter Anfall an organischer Substanz anzunehmen. Die biologische Humifizierung überwiegt und führt zur Anreicherung hochmolekularer Huminstoffe. In Modellversuchen (Springer, 1962, Rassadi, 1969) wurde festgestellt, daß Kalkstickstoff die Bildung von „echten Huminstoffen“ bzw. Huminsäuren aus Stroh fördert.

Kalkung führt zu einer Verringerung der Fulvosäuren und einer Zunahme nicht-extrahierbarer Substanzen (Humine) sowie Grauhuminsäuren (Nehring und Wiesemüller, 1968). Ein solcher Einfluß deutet sich durch die zu ssa gegebene Kalkung an: weniger Fulvosäuren und mehr nicht-extrahierbare Substanzen gegenüber ohne Kalk. In den Varianten CaS und Nas ist die Bildung hochmolekularer Huminstoffe wegen des fehlenden reaktionsfähigen Ammoniak geringer. Der hohe pH -Wert fördert den Abbau der organischen Substanz; jedoch sind auch die Verluste an mineralischem Stickstoff (Auswaschung, Denitrifikation) wahrscheinlich höher. Demzufolge sind die C_p - und N_p -Gehalte relativ niedrig. Ohne mineralische N -Düngung ist der Gehalt an organischer Substanz aufgrund des niedrigen Pflanzenertrags am niedrigsten. Durch die Zufuhr von Stallmist wird dagegen bei leicht verminderter biologischer Aktivität (Abb. 1) ein vergleichsweise hoher C_p -Gehalt erreicht; die im Stallmist bereits vorliegenden Huminsäuren (ca. 1/4 vom C_p) erhöhen deren Anteil im Boden beträchtlich.

Die Verteilung des Gesamt-Stickstoffs auf die verschiedenen Fraktionen (hydrolysiertbar, nicht-hydrolysiertbar, Aminosäuren-N) ist offenbar standortbedingt und von Düngungsmaßnahmen weitgehend unabhängig. Der im Fall von Stm leicht erhöhte nicht-hydrolysiertbare N ist vermutlich auf die Zufuhr von stabilen heterozyklischen Verbindungen zurückzuführen, die bereits während der Stallmistrotte entstanden sind.

Der Gehalt an fixiertem Ammonium ist in den Varianten am höchsten, die ständig mit Ammonium gedüngt wurden (ssa , $ssa + CaO$) bzw. mit Stoffen, aus deren Umsetzungen Ammonium entsteht (Kst , Stm). Da in der ssa -Variante wegen des niedrigeren pH -Wertes im Boden das Ammonium langsamer nitrifiziert wird als in $ssa + CaO$, kann es in ersterem Falle in größerem Umfang fixiert werden (VG ssa – höchster Wert).

Die beiden Methoden zur Bestimmung des nachlieferbaren Stickstoffs erbringen eine enge Beziehung zum Gesamt-N-Gehalt des Bodens; die besonders hohe Korrelation zwischen N_i und der Mineralisierungsrate nach Stanford und Smith ($r = 0,94^{**}$) beweist den geringen Einfluß von Faktoren wie pH-Wert und biologischer Aktivität auf den nachlieferbaren Stickstoff.

Die N-Aufnahme im Pflanzenversuch zeigt demgegenüber nur eine lockere Beziehung zum N-Gehalt des Bodens. Wahrscheinlich spielen hier Wechselbeziehungen zwischen Pflanzenwurzel und Boden, bzw. Wurzeln und Mikroorganismen (Borrels 1961) eine Rolle. In der N-Aufnahme ohne pH-Ausgleich besteht für die VG 1, 2, 3, 6, 7 eine klare Abhängigkeit vom N-Gehalt des Bodens (Abb. 2). Die geringe biologische Aktivität in VG 4 (ssA) verhindert dagegen eine hohe N-Mineralisierung.

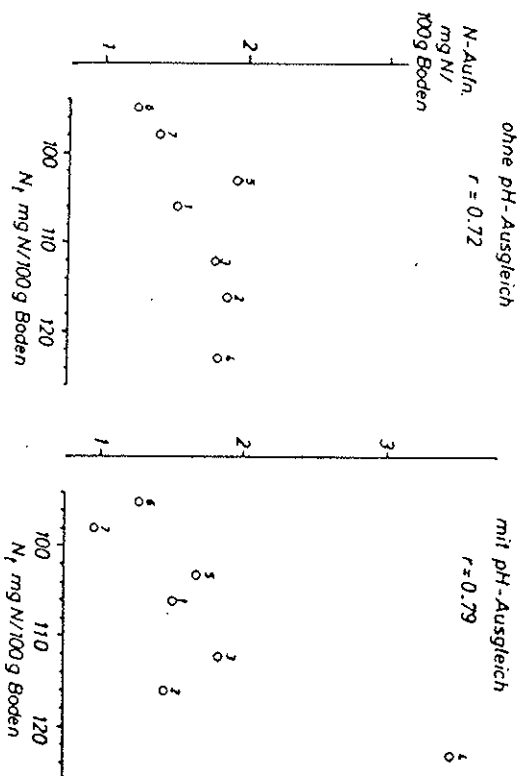


Abbildung 2: Beziehung zwischen N-Aufnahme (Gefäßversuch) und N_t-Gehalt des Bodens (mit und ohne pH-Ausgleich)

1 bis 7: Nummern der Versuchsglieder (Versuchsplan)

Figure 2: Relationship between N-uptake (pot experiment) and total N (N_t) in soil (without and with pH compensation)

1 to 7: numbers of the plots (plan of experiment)

Die Aufkalkung auf pH 6.5 im Pflanzenversuch (Abb. 2, rechte Seite) führt im Fall von ssA offenbar zu einer schlagartigen Erhöhung der biologischen Aktivität; die dadurch geschaffenen günstigeren Lebensbedingungen für die Mikroorganismen führen zu einem verstärkten Abbau der akkumulierten organischen Substanz, vorwiegend Fulvosäuren (Nehring und Wiesmüller 1968), und einer erhöhten N-Aufnahme durch die Pflanze.

Ursache für die Verringerung der N-Aufnahme in VG 5 ist vermutlich eine verstärkte biologische N-Fixierung. Mit Kalkzufuhr ist eine stärkere Huminstoffbildung und damit chemische Stickstofffestlegung denkbar.

Dankagung

Herrn Dr. Theo Beck und den Mitarbeitern seines Labors sei an dieser Stelle herzlich für die Durchführung der mikrobiologischen Untersuchungen gedankt.

Literatur

- Adlag, R., Kickuth, R. (1973). Stickstoffverbindungen in Böden und ihre Beziehung zur Humusdynamik. 1. Mitt. Fraktionierung und Bilanzierung der Aminosäuren und der Aminosäuren in den A₀-Horizonten einer Rendzina und vier Sauer-Braunerden des Göttinger Waldes. Z. Pflanzenernähr. Bodenkde. 136, 193-202.
- Amberger, A. (1961). Wirkung von Cyanamid auf Katalase und Peroxidase in Pflanzen. Z. Pflanzenernähr. Düng. Bodenkde. 95, 123-130.
- Anderson, J. P. E., Domsch, H. K. (1978). A physiological method for the quantitative measurement of microbial biomass in soils. Soil. Biol. Biochem. 10, 215-221.
- Beck, Th. (1971). Die Messung der Katalaseaktivität von Böden. Z. Pflanzenernähr. Bodenkde. 130, 68-81.
- Beck, Th. (1973). Über die Eignung von Modellversuchen bei der Messung der biologischen Aktivität von Böden. Bayer. landwirtsch. Jb. 50, 270-288.
- Beck, Th. (1975). Der Einfluß langjähriger Monokultur auf die Bodenbelebung im Vergleich zur Fruchtfolge. Landwirtsch. Forsch. 28, SH 31/VI, 268-276.
- Beck, Th. (1977). Vorschriften zur Bestimmung der biologischen Aktivität von Böden. Unveröffentlicht.
- Bosch, M. (1980). Bodeneigenschaften, Erträge und Mineralstoffkonzentrationen einer Ackerbrunne unter dem Einfluß langjähriger Düngung mit verschiedenen Stickstoff-Formen. Diss. TU München.
- Borrels, H. (1961). Probleme der Bodenmikrobiologie. Landwirtsch. Forsch. 14, SH 15, 89-100.
- Durzer-Franz, G. (1977). Der Einfluß einiger chemischer und physikalischer Bodenmerkmale auf die Enzymaktivität verschiedener Bodentypen. Z. Pflanzenernähr. Bodenkde. 140, 329-350.
- Fiedler, G., Linke, E., Streuber, E. (1964). Ergebnisse eines 10jährigen statischen Stickstoff- und Stickstoffdüngungsversuches. Thier-Arch. 8, 649-673.
- Glahde, H. (1971). Kalkstickstoff und Mikroflora des Bodens. Z. Pflanzenernähr. Bodenkde. 128, 41-50.
- Hoffmann, Gg. (1967). Eine photometrische Methode zur Bestimmung der Phosphatase-Aktivität in Böden. Z. Pflanzenernähr. Bodenkde. 118, 161-172.
- Hupperl, V., Buchner, A. (1953). Neue Versuchsergebnisse über die Wirkung der N-Formen unter besonderer Berücksichtigung der Umverhältnisse. Z. Pflanzenernähr. Düng. Bodenkde. 60, 62-92.
- Nehring, K., Wiesmüller, W. (1968). Untersuchungen über den Einfluß der Mineraldüngung auf den Humusgehalt der Ackerböden. Z. Pflanzenernähr. Bodenkde., 119, 11-24.
- Niklas, H., Schropp, W., Scharer, K. (1938). Feldversuche mit verschiedenen Stickstoffdüngemitteln. Landwirtsch. Jb. 85, 501-533.
- Rassadi, F. (1969). Untersuchungen über die Verrottung von Weizen- bzw. Maisstroh und Wirkung der Rotteprodukte im Vegetationsversuch. Diss. TU München/Weihenstephan.
- Sandhoff, H. (1962). Ergebnisse von Strohdün-

- gungsversuchen auf verschiedenen Böden. *Landwirtsch. Forsch.* 15, 218-224.
- Schlichting, E., Blume, H. P.* (1966). *Bodenkundliches Praktikum*. Parey, Hamburg und Berlin.
- Silva, J. A., Brenner, J. M.* (1966). Determination and isotope ratio analysis of different forms of nitrogen in soils: V. Fixed ammonium. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 30, 587-594.
- Springer, U.* (1962). Über die Verrottung von Stroh unter dem Einfluß verschiedener Stickstoffdünger. *Landwirtsch. Forsch.* 15, 218-224.
- Stanford, G., Smith, S. J.* (1972). Nitrogen mineralisation potentials of soils. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 36, 465-472.
- Thalman, A.* (1967). Über die mikrobielle Aktivität und ihre Beziehungen zu Fruchtbarkeitsmerkmalen einiger Böden unter besonderer Berücksichtigung der Dehydrogenaseaktivität. *Diss. Univ. Giessen.*
- [P 4225 P]