

Die anaerobe Bebrütung zur Bestimmung des N-Nachlieferungspotentials von Böden und ihre Kalibrierung im Gefäßversuch

G. Dersch, M. Pfeffer und O. H. Danneberg

Determination of the N mineralization potential of different soils by anaerobic incubation as calibrated in a pot-experiment

1. Einleitung

Zur Vermeidung von negativen Umweltauswirkungen und zur Effizienzsteigerung beim Stickstoffdüngereinsatz sind die Ertragserwartung, das Qualitätsziel, die Vorfrucht, der aktuelle mineralische N-Bodenvorrat und auch die N-Nachlieferung des Bodens im Vegetationsverlauf zu berücksichtigen. Denn aus dem organischen Stoffpool des Bodens kann ein hoher Anteil des N-Bedarfes der Kulturpflanzen verfügbar werden, wenn die N-Mineralisierung mit der N-Aufnahme synchron verläuft, was insbesondere bei Mais, Kartoffel, Sonnenblume und Zuckerrübe zutrifft. In den

österreichischen Richtlinien für die sachgerechte Düngung (DANNEBERG et al., 1996) liegen daher die N-Empfehlungen bei diesen Kulturarten viel niedriger als der Gesamtbedarf und teilweise deutlich unter den zu erwartenden N-Entzügen (DERSCH, 1997a).

Die N-Mineralisierung steht im Zusammenhang mit dem Gehalt an organischer Substanz, jedoch ist die Beziehung des organischen C- und N-Gehaltes mit der Rate und der Menge der standörtlichen N-Nachlieferung nicht straff gegeben (STANFORD, 1982; MAHLI et al., 1992). Für eine weitere Verbesserung bei der Prognose des N-Düngebedarfes wird daher seit langem eine genauere Abschätzung der

Summary

In a pot experiment with Italian raygrass as testplant and at optimal conditions for N mineralization from the organic N pool (adequate water supply, no relevant mineral N content in the soil/sand substrate) about 70 % of the N uptake variation from the above ground grass vegetation could be explained by the biological parameter "anaerobic incubation from dried soil samples". Thereby a method is available now, which renders a more accurate quantification of the N mineralization potential of soils compared with humus or total N content.

Since the different soil types behave similarly, there is no need for differentiation in the interpretation of the anaerobic incubation result on arable land with conventional tillage treatment. A restriction should be stressed for sites with higher humus (> 6 %) and total N content (> 0,6 %), as then the actual net N mineralization may be underestimated.

The anaerobic incubation is conducted within the ordinary course of soil testing on air dried samples. Due to this soil pretreatment these values exceed the results obtained from original moist samples, but a strong correlation exists between both soil pretreatment procedures. To some extent the higher values may be caused by the lysis of microbial cells during soil drying.

Without N fertilization the N mineralization potential as indicated by the incubation method is reduced within one vegetative period. Therefore it is assumed, that N fertilizer recommendations based on these results may not be adjustable for a period of about six years as it is possible for P and K soil tests.

These results strongly confirm the present interpretation of anaerobic incubation: At low levels in general a small 10 % increase of the usual N fertilizer rate is recommended, at high levels reductions between 15 and 50 % of the normal N dose depending on the particular N uptake pattern of the crops is intended.

Key words: N mineralization potential, N fertilization, anaerobic incubation, soil types, pot experiment.

Zusammenfassung

In einem Gefäßversuch mit italienischem Raygras als Versuchspflanze und unter optimalen Verhältnissen für die N-Mineralisation (ausreichende Wasserversorgung, kein relevanter mineralischer N-Gehalt im Boden-Sand-Substrat) konnten 70 % der Streuung des N-Entzugs durch den Grasaufwuchs dem bodenbiologischen Parameter „Bebrütungswert aus getrocknetem Boden“ zugeordnet werden. Damit steht eine Laborgröße zur Verfügung, die das N-Nachlieferungspotential eines Bodens deutlich besser quantifiziert als die bisherigen Methoden Humus- oder Gesamt-N-Gehalt.

Es ist nicht erforderlich, die vielfältigen, sehr unterschiedlichen bodenkundlichen Untereinheiten in spezifischer Weise bei der Interpretation zu berücksichtigen, der Bebrütungswert ist generell für Ackerstandorte mit konventioneller Bodenbearbeitung in gleicher Weise zu verwenden und zu bewerten. Einschränkend muss darauf hingewiesen werden, dass Standorte mit sehr hohen Gehalten an organischer Substanz (größer 6 %) und Gesamt-N (über 0,6 %) mit der Bebrütungsmethode hinsichtlich des N-Nachlieferungspotentials wesentlich unterschätzt werden können.

Das Verfahren der „Bebrütung“ wird im Rahmen der Routinebodenuntersuchung an getrockneten Proben durchgeführt. Die Werte sind aufgrund dieser Form der Bodenvorbereitung höher als bei der Inkubation von naturfeuchten Böden, zugleich aber sehr eng mit diesen korreliert. Die höheren Werte sind zum Teil durch die Miterfassung des mineralisierten Stickstoffs der im Verlauf der Trocknung abgestorbenen Mikrobenbiomasse erklärbar.

Bei völliger Unterlassung einer N-Zufuhr wurde das mit der Bebrütungsmethode quantifizierbare N-Nachlieferungspotential innerhalb einer Vegetationsperiode vermindert. Man wird also davon ausgehen müssen, dass eine N-Empfehlung auf der Grundlage eines „Bebrütungswertes“ nicht für bis zu 6 Vegetationsperioden konstant bleibt, wie das bei den P- und K-Empfehlungen der Fall ist.

Die bisherige Vorgangsweise, bei der Empfehlungsgrundlage für die N-Düngung bei einer „niedrigen“ Einstufung des N-Nachlieferungspotentials einheitliche Zuschläge von 10 % und bei „hoch“ kulturartenabhängige Abschläge im Bereich von 15 % bis 50 % vorzunehmen, wurde mit einer wesentlich erweiterten Standortvielfalt bestätigt.

Schlagworte: N-Mineralisationspotential, N-Düngung, anaerobe Bebrütung, Bodentypen, Gefäßversuch.

N-Mengen, die während der Vegetation für die unterschiedlichen Kulturarten aus dem organischen N-Pool zur Verfügung gestellt werden, als notwendig erachtet. Dazu wurden verschiedene Verfahren entwickelt und vorgeschlagen. Diese können vereinfacht in chemische Extraktionen einer leicht mineralisierbaren organischen Fraktion (z. B. heißwasserlöslicher N nach BRONNER (1976); in CaCl_2 nach HOUBA et al. (1986); in KCl nach SMITH and LI (1993); mit Elektroultrafiltration (EUF) nach NEMETH et al. (1988)) und in biologische Inkubationsmethoden differenziert werden. Bei den letzteren werden neben den Sauerstoffverhältnissen (z. B. im anaeroben Brutversuch nach WARING and BREMNER (1964) bzw. KEENEY (1982) oder im aeroben Brutversuch nach HARMSSEN and VAN SCHREVEN (1955) bzw. BECK (1983)) auch die Temperatur und die Dauer der Inkubation variiert.

In Österreich wurde nach umfangreichen Vorarbeiten (DANNEBERG und KANDELER, 1990; DANNEBERG und KANDELER, 1995) und methodischen Vergleichen (DANNEBERG und KANDELER, 1991), die sich auch intensiv mit der Vorbehandlung der Bodenproben befassten (DANNEBERG

et al., 1995), zur Kennzeichnung des N-Nachlieferungspotentials von Ackerstandorten die Methode der anaeroben Inkubation an luftgetrockneten Oberbodenproben gewählt. Die Methodenwahl wurde auch nach den organisatorischen und labortechnischen Vorteilen getroffen; insbesondere sind die Probenahme und der -transport, die Trocknung und Vorbereitung völlig gleich wie bei der Routinebodenuntersuchung für die P- und K-Gehalte nach CAL/DL. Aufgrund von Gefäß- (DERSCH, 1996) und Feldversuchen (DERSCH, 1997b), die eine enge funktionale Beziehung zwischen der Nettomineralisierung und der anaeroben Bebrütung aufzeigten, wurden Düngungsempfehlungen erstellt (DANNEBERG et al., 1996), die kulturartenspezifische Zu- und Abschläge für „niedrige“ und „hohe“ Bebrütungswerte (BW) vorsehen.

Es blieb jedoch offen, ob die experimentell feststellbare Nettomineralisierung allenfalls zusätzlich durch andere Bodeneigenschaften wesentlich beeinflusst wird, wodurch die Aussagekraft des Bebrütungswertes relativiert würde. Da die Vielfalt der Böden durch die Unterschiedlichkeit in der lithologischen Zusammensetzung des Ausgangsmateri-

als und die je nach Klima-, Wasser- und Reliefverhältnissen unterschiedlichen Faktoren der Bodenentwicklung geprägt werden, ist eine eingehende Interpretation von Bodenuntersuchungsergebnissen daher oft erst im Kontext mit den Bodentypen möglich. Aus den Ergebnissen der Bodenzustandsinventur Niederösterreichs (BZI-N.Ö.) (BUNDESANSTALT FÜR BODENWIRTSCHAFT, 1994) wurden von DANNEBERG et al. (1994) Einteilungen in bodenkundliche und in geologisch-lithologische Einheiten abgeleitet. Eine Kombination der beiden Einteilungsprinzipien führte zur Kategorie „Bodentyp auf bodenbildendem Substrat“ (Untereinheit). Ein ergänzender Gefäßversuch, mit dem für alle Versuchsböden gleiche äußere Bedingungen hergestellt werden, sollte daher vorteilhaft von dieser Einteilung Gebrauch machen und somit die Vielfalt der vorkommenden Böden Niederösterreichs berücksichtigen, wo 50 % der österreichischen Ackerflächen liegen. Zugleich sollte durch Vergleiche mit den bestehenden Routinemethoden, die auch für eine grobe Abschätzung des N-Nachlieferungspotentials herangezogen werden können (Humus- und Gesamt-N-Gehalt, C/N-Verhältnis des Bodens), die Treffsicherheit und der damit einhergehende Vorteil der anaeroben Bebrütung geprüft und quantifiziert werden.

2. Material und Methoden

2.1 Standortauswahl der Versuchsböden

Auf Basis der Daten der BZI-N.Ö. wurden aus den anteilmäßig bedeutendsten Untereinheiten je 4 Standorte ausgewählt, die möglichst die gesamte Variationsbreite der anaeroben N-Mineralisation abdecken sollten (DANNEBERG und KANDELER, 1995). Dies schien aufgrund der etwa 7

Jahre zurückliegenden Probenahme für die BZI-N.Ö. leicht realisierbar. Bei der folgenden, neuerlichen Untersuchung zeigte sich jedoch, dass einige Standorte, die zuvor sehr hohe Bebrütungswerte aufgewiesen hatten, sich in der Zwischenzeit in Richtung des mittleren Bereichs entwickelt hatten. Es wurden deshalb zusätzlich Standorte mit hoher Nachlieferung aus den laufenden Untersuchungen des Bodenlabors einbezogen. Dadurch konnte das Ziel, von den ausgewählten bodenkundlichen Untereinheiten einen breiten Wertebereich abzudecken, zumeist – außer beim kalkfreien Gley auf jüngerem Schwemmmaterial – realisiert werden. Nach dieser Vorgehensweise wurden insgesamt 39 Standorte ausgewählt (Tabelle 1). Aufgrund des gleichen Ausgangsmaterials für die Bodenbildung (kalkhaltiges Material der Nördlichen Kalkalpen) wurden die darauf vorkommenden Bodentypen Braunlehm bzw. kalkhaltige Felsbraunerde zu einer Untereinheit zusammengefasst. Aus organisatorischen Gründen wurde der Versuch in zwei aufeinanderfolgenden Jahren durchgeführt. Zu Vegetationsbeginn im Frühjahr 1997 und 1998 wurden von den Standorten je 50 kg Boden vom Bearbeitungshorizont bis 25 cm entnommen. Der Boden wurde anschließend bei Raumtemperatur getrocknet und mittels Siebung auf eine einheitliche Korngröße bis max. 4 mm gebracht.

2.2 Angaben zum Gefäßversuch

2.2.1 Herstellung des Substrates

Nach Bestimmung des Wassergehaltes (Trocknung eines Musters bei 105°C bis zur Gewichtskonstanz) wurden im 1. Jahr 4 kg trockener Boden und 4 kg Kristallquarzsand (Körnung 0,2–2,0 mm) gut durchmischt in Kick-Brauck-

Tabelle 1: Ausgewählte bodenkundliche Untereinheiten „Bodentyp auf bodenbildendem Substrat“, deren Anzahl im Versuch und geschätzter Anteil der landwirtschaftlichen Nutzfläche in N.Ö.

Table 1: Selected soil subunits “soil type on soil forming substrates”, their frequency in the experiment and estimated share of the agricultural area in Lower Austria

Bodenkundliche Einheit	Geologisch-lithologische Einheit	Anzahl	Anteil (%)
Kalkhaltiger TschernoSEM (khTSM)	Löß (Lö)	4	10,6
Kalkfreie Felsbraunerde (kfFBE)	Granit der Böhmisches Masse (Gr)	5	6,9
Kalkhaltige Feuchtschwarzerde (khFSE)	älteres Schwemmmaterial, kalkhaltig (äSkh)	4	3,4
Kulturrehoboden (KRB)	Löß (Lö)	4	3,3
Kalkhaltige Lockersedimentbraunerde (khLBE)	Löß (Lö)	4	3,2
Pseudogley (PG)	Deckenlehm (D), Molasse (M)	4	3,1
Relikt pseudogley (RPG)	altes, kristallines Verwitterungsmaterial (akV)	3	2,7
Braunlehm/kalkhaltige Felsbraunerde (BL/khFBE)	nördliche Kalkalpen, kalkhaltig (nKkh)	4	2,7
Kalkfreier Gley (kfG)	jüngeres Schwemmmaterial, kalkfrei (jSkf)	3	1,1
Kalkhaltiges Anmoor (khA)	jüngeres Schwemmmaterial, kalkhaltig (jSkh)	4	0,6

mann-Gefäße gefüllt (im 2. Jahr waren es 5 kg Boden). Um für alle Versuchsböden einheitliche Ausgangsbedingungen hinsichtlich des N-Versorgungszustandes herzustellen, wurden allfällig vorhandene Nitrat-N-Mengen durch dosierte Zugabe von insgesamt 3 Liter entionisiertem Wasser pro Gefäß ausgewaschen (diese Wassermenge übertrifft die maximale Wasserkapazität des Boden-Sand-Substrates um das 2-3-fache). Etwa 2 Wochen später wurden alle Gefäße durch Zugabe einer Düngerlösung, die außer Stickstoff alle Makro- und Mikronährstoffe (P, K, Mg, S, B, Cu, Mn, Zn, Mo) in ausreichender Menge enthielt, in einen optimalen Versorgungszustand gebracht.

2.2.2 Versuchsstruktur

Im Versuch wurden drei Faktoren geprüft: Böden (10 Stufen (Untereinheiten)), N-Mineralisierungspotential (3, 4 oder 5 Stufen) und N-Düngung (2 Stufen: ohne N- und mit mäßiger N-Düngung), also insgesamt 78 Prüfglieder mit je 3 Wiederholungen und somit 234 Gefäßen. Mit der mäßigen N-Düngungsstufe wurde geprüft, ob dadurch eine fördernde Wirkung auf die N-Mineralisierung (priming-Effekt) ausgelöst wird (JENKINSON et al., 1985). Dazu wurde vor dem Anbau und nach jedem Schnitt des Grasaufwuchses 0,1 g N als Ammoniumnitrat pro Gefäß in flüssiger Form aufgebracht.

2.2.3 Versuchsdurchführung

In der Gefäßversuchstation in Wien-Hirschstetten wurden die Töpfe gerecht verteilt aufgestellt. Pro Gefäß wurde 0,3 g Italienisches Raygras (*Lolium multiflorum*) eingesät. Die Wasserversorgung war stets optimal, es wurde täglich auf etwa 75 % der Wasserkapazität ergänzt. Im Verlauf der Vegetation wurde der Grasaufwuchs zu 3 Terminen im Abstand von etwa 7 Wochen ca. 1 cm über der Bodenoberfläche geschnitten. Die Aufwuchsmenge wurde im Trockenschrank bei 105°C getrocknet und die Trockenmasse pro Gefäß ermittelt; anschließend wurden die Proben der 3 Wiederholungen zu Objektproben vereinigt, vermahlen und der N-Gehaltsbestimmung mit dem LECO-Analyser zugeführt.

2.3 Bodenanalytik

Unmittelbar nach der Anlieferung der Böden wurden zwei Muster von je 500 g entnommen. Eine Probe wurde bis zur Analyse tiefgekühlt aufbewahrt, die andere bei 40° C getrocknet, gesiebt (2 mm) und bis zur Analyse bei Raumtemperatur gelagert.

2.3.1 Bestimmung der anaeroben N-Mineralisierung im Brutversuch

3,5 g Boden werden in verschließbare Reagenzgläser eingewogen, mit 12,5 ml dest. Wasser versetzt und geschüttelt. Ein Ansatz wird 7 Tage bei 40° C inkubiert, ein paralleler Ansatz wird sofort analysiert. Zur Analyse werden die Proben mit 12,5 ml 2 M KCl-Extraktionslösung versetzt, 60 Minuten geschüttelt, filtriert und dann die NH_4 -Konzentration bestimmt. Aus der Differenz der beiden Ansätze wird der sog. Bebrütungswert (BW) errechnet und in mg N pro kg Boden und Woche angegeben (KANDELER, 1993, modifiziert nach KEENEY, 1982).

2.3.2 Gesamt-N- und Humusgehalt, C/N-Verhältnis des Bodens

Die Bestimmung des Gesamt-N-Gehaltes nach Kjeldahl erfolgte gemäß ÖNORM L 1082, die des Gehaltes an organischer Substanz oder Humusgehaltes durch Nassoxidation nach ÖNORM L 1081. Zur Berechnung des C/N-Verhältnisses wurde der Humusgehalt mit dem Faktor 0,58 multipliziert.

2.4 Ergänzende bodenbiologische Untersuchungen

Jeweils nach dem 1. und 3. Grasschnitt wurde von den Varianten ohne N-Gabe Boden (etwa 50 g) mit einem Gefäßprobenbohrer entnommen (die Probestelle wurde anschließend wieder mit demselben Boden-Sand-Gemisch verfüllt) und die Bestimmung der N-Mineralisierung sowie des Biomasse-Stickstoffs mittels Fumigation-Extraktion nach ÖHLINGER (1993) an frischen und getrockneten Proben durchgeführt.

2.5 Statistische Versuchsauswertung

Ausgehend von den geernteten Trockenmassen je Schnitt und den jeweiligen N-Gehalten wurde der N-Entzug er-

rechnet. Die Summe der N-Entzüge aller Aufwüchse der ungedüngten Versuchsglieder entspricht der Netto-N-Mineralisation der Böden und stellt die abhängige Zielgröße dar. Die Dimensionen der unabhängigen Laborgröße „Bebrütungswert“ und der abhängigen Zielgröße „N-Entzug im Vegetationsversuch“ sind – bis auf die unterschiedliche Zeitdauer von 20 Wochen – gleich, wenn der N-Entzug auf 1 kg Boden bezogen wird. Deren linearer oder exponentieller Zusammenhang wurde als wesentliches Versuchsziel mittels Regressionsstatistik unter Verwendung von SPSS für Windows (Release 8.0) errechnet.

3. Ergebnisse und Diskussion

3.1 Vergleich des Bebrütungswertes von getrockneten und naturfeuchten Proben

Bodenbiologische Parameter werden von der Probenwerbung und der Probenvorbereitung beeinflusst, weil dadurch wichtige biologische und chemisch-physikalische Vorgänge unterbrochen werden können. Eine Entnahme und Inkubation von ungestörten Proben im Stechzylinder, wobei die Lagerungsdichte und die Luftverhältnisse unverändert bleiben, führt zu deutlich niedrigeren N-Mineralisationsraten als die Entnahme mit Bohrstock und anschließendes Durchmischen und Sieben des Bodenmaterials (CABRERA and KISSEL, 1988; STENGER et al., 1995). Von großer Bedeutung ist klarerweise, ob eine Trocknung oder ein Belassen bei dem ursprünglichen Feuchtigkeitsgehalt erfolgt. Bodenbiologische Parameter werden üblicherweise an naturfeuchtem Boden gemessen und beschreiben somit eher das aktuelle, standörtliche Aktivitätsniveau; eine luftgetrocknete und wieder befeuchtete Bodenprobe erreicht meist nicht mehr ihre ursprüngliche Aktivität. Davon abweichend führt beim Parameter BW das Trocknen des Bodens vor der Inkubation zu deutlich höheren N-Mineralisationsraten, worüber seit langem einhellig berichtet wird (BIRCH, 1958; AGARWAL et al., 1971; POWLSON and JENKINSON, 1976).

Über die Ursache dieses Phänomens gibt es unterschiedliche Erklärungen: Durch die Trocknung stirbt ein Teil der Mikroorganismen ab, es entsteht daher in der Folge aus dem Biomasse-N zusätzlich ein leicht mineralisierbares Substrat, das für die überlebende Population zur Verfügung steht (MARUMOTO et al., 1982; SPARLING and ROSS, 1988). Andere Autoren führen die gesteigerte N-Mineralisierung auf chemische und physikalische Auswirkungen der Trocknung zurück, wodurch die Struktur organischer Kolloide teilweise

zerstört wird und so eine größere Menge leichter abbaubares Material aus dem organischen Stoffpool gebildet wird (JAGER and BRUINS, 1975; GESTEL VAN et al., 1991; APPEL, 1998).

Bei ausgewählten Proben aus diesem Versuch war die N-Mineralisierung aus getrockneten Bodenproben um durchschnittlich 10–20 mg N/kg und Woche höher als von naturfeuchten Proben, vereinzelt auch um über 30 Einheiten. Es besteht ein statistisch gesicherter linearer Zusammenhang zwischen den beiden Verfahren (Abb. 1).

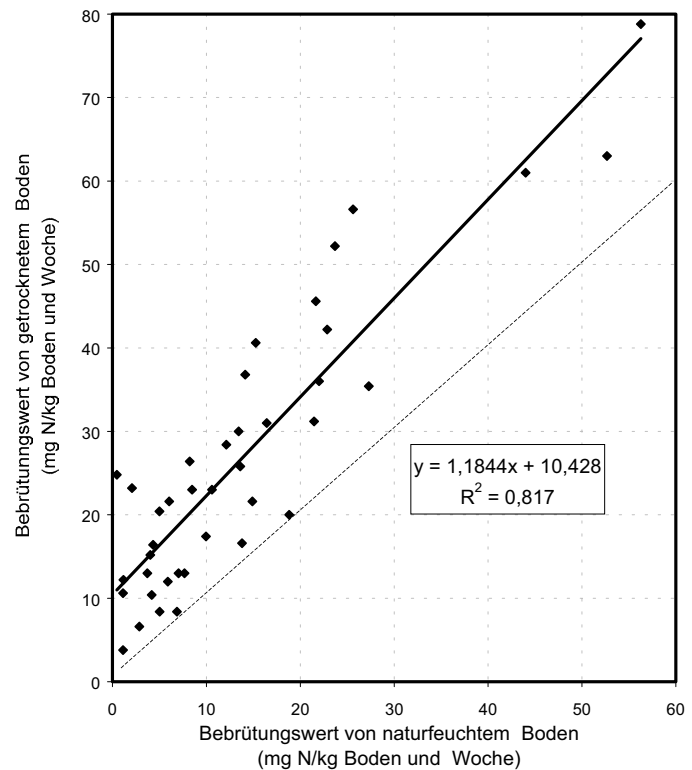


Abbildung 1: Beziehung zwischen der anaeroben N-Mineralisation bei unterschiedlicher Bodenprobenvorbereitung

Figure 1: Relationship between anaerobic N mineralization at different mode of soil pretreatment

Zugleich wurde der Gehalt an Biomasse-N mittels Fumigation-Extraktion bei beiden Probenvorbereitungsverfahren bestimmt. Nach der Trocknung lagen fast durchwegs Werte im Bereich kleiner 10 mg Ninhydrin-reaktiver N/kg Boden vor, bei Belassen der Probe im ursprünglichen Wassergehalt wurden 10–30 Einheiten ermittelt. Mit der multiplen Regression lässt sich belegen, dass neben dem Bebrütungswert aus naturfeuchtem Boden die zusätzliche Einbeziehung der Variablen „Biomasse-N aus naturfeuchtem Boden“ die Zielgröße „Bebrütungswert aus getrocknetem Boden“ mit einer Bestimmtheit von 85,6 % nach dem folgenden, linearen Modell erklärt:

BW (trockener Boden) = $5,3 + 1,1 * BW$ (naturfeuchter Boden) + $0,92 * \text{Biomasse-N}$

Mit der Bodentrocknung wird insgesamt ein größerer Pool leicht mineralisierbarer Verbindungen erfasst, der nach diesen Ergebnissen teilweise vom Biomasse-N stammt (Verbesserung des Bestimmtheitsmaßes von 81,7 auf 85,6 %). Das gewählte Probenvorbereitungsverfahren entspricht ansatzweise der Situation auf dem Feld, weil es auch im

Vegetationsverlauf zu markanten Wassergehaltsveränderungen in der obersten Bodenschicht kommt.

3.2 Übersicht der Bodenanalysedaten und der N-Entzüge im Versuch

In Tabelle 2 sind alle Angaben und die erzielten Analyse- und Versuchsergebnisse der ausgewählten Böden, sortiert

Tabelle 2: Charakterisierung der Einzelböden, sortiert nach steigendem N-Nachlieferungspotential
Table 2: Characteristics of the individual soils ordered after increasing N-mineralization potential

Nummer	Npot (BW)	Bodentyp	Substrat	Humus	N-Gesamt	C/N	Npot/Gesamt-N	NNMin	NNMin/Gesamt-N
1	14	khFSE	äSkh	1,97	0,09	12,7	1,56	18,45	2,05
2	15	khTSM	Lö	2,46	0,11	13,0	1,36	25,16	2,29
3	15	PG	M	1,48	0,10	8,6	1,50	27,69	2,77
4	19	khLBE	Lö	2,13	0,11	11,2	1,73	29,89	2,72
5	27	khTSM	Lö	2,95	0,15	11,4	1,80	26,79	1,79
6	31	khFSE	äSkh	3,61	0,18	11,6	1,72	26,72	1,48
7	33	PG	M	2,30	0,16	8,3	2,06	35,07	2,19
8	35	khLBE	Lö	1,41	0,11	7,4	3,18	31,8	2,89
9	40	khFSE	äSkh	4,59	0,18	14,8	2,22	25,36	1,41
10	40	RPG	akV	1,4	0,11	7,4	3,64	33,29	3,03
11	42	kffBE	Gr	1,97	0,11	10,4	3,82	28,2	2,56
12	46	khA	jSkh	1,90	0,16	6,9	2,88	43,38	2,71
13	50	khTSM	Lö	3,28	0,17	11,2	2,94	24,93	1,47
14	51	khLBE	Lö	2,46	0,14	10,2	3,64	32,66	2,33
15	53	kffBE	Gr	3,61	0,18	11,6	2,94	29,64	1,65
16	54	KRB	Lö	1,30	0,10	7,5	5,40	35,88	3,59
17	58	kffBE	Gr	3,93	0,21	10,9	2,76	35,38	1,68
18	60	kfG	jSkf	1,90	0,17	6,5	3,53	44,66	2,63
19	61	KRB	Lö	1,50	0,12	7,3	5,08	32,02	2,67
20	61	kfG	jSkf	2,7	0,24	6,5	2,54	63,85	2,66
21	62	khA	jSkh	3,6	0,34	6,1	1,82	35,5	1,04
22	66	PG	D	2,38	0,14	9,9	4,71	33,64	2,40
23	66	kfG	jSkf	2,00	0,18	6,4	3,67	34,52	1,92
24	70	khTSM	Lö	2,25	0,22	5,9	3,18	38,69	1,76
25	70	RPG	akV	1,60	0,14	6,6	5,00	48,18	3,44
26	71	BL	nKkh	1,60	0,15	6,2	4,73	33,77	2,25
27	74	PG	D	2,50	0,25	5,8	2,96	31,52	1,26
28	82	RPG	akV	2,00	0,15	7,7	5,47	34,97	2,33
29	84	khA	jSkh	8,76	1,09	4,7	0,77	113,52	1,04
30	89	khFSE	äSkh	5,08	0,30	9,8	2,97	38,27	1,28
31	90	khFBE	nKkh	2,10	0,19	6,4	4,74	42,63	2,24
32	100	khLBE	Lö	4,30	0,43	5,8	2,33	41,15	0,96
33	105	KRB	Lö	2,20	0,18	7,1	5,83	43,04	2,39
34	118	KRB	Lö	2,30	0,18	7,4	6,56	57,48	3,19
35	118	BL	nKkh	3,10	0,26	6,9	4,54	50,03	1,92
36	120	kffBE	Gr	5,60	0,57	5,7	2,11	42,75	0,75
37	135	KhA	jSkh	5,52	0,57	5,6	2,37	62,80	1,10
38	156	kffBE	Gr	5,42	0,40	7,9	3,90	89,24	2,23
39	161	BL	nKkh	5,04	0,39	7,5	4,13	73,27	1,88

N-Nachlieferungspotential aus der anaeroben Bebrütung getrockneter Proben (mg N/kg u. Woche), Bodentyp (bodenkundliche Einheit siehe Tab. 1), Substrat (bodenbildendes Ausgangsmaterial siehe Tab. 1), Humus- und Gesamt-N-Gehalt (%), C/N-Verhältnis, Npot/Gesamt-N (%), Netto-N-Mineralisierung (mg N/ kg) ermittelt durch kumulativen N-Entzug durch 3 Grasschnitte während der Versuchsperiode ($GD_{5\%} = 5,01$) und NNMin/Gesamt-N (%)

nach steigenden „Bebrütungswerten“, enthalten. Dabei wird anhand des Standortes 29 (Anmoor) offensichtlich, dass sehr stark humose Böden (> 8 %) bei zugleich sehr hohem N-Gesamtgehalt (> 1 %) ein Nachlieferungsvermögen im Vegetationsversuch zeigen (113 mg N/kg), dass mit der anaeroben Inkubation (84 mg N/kg) bei weitem nicht angezeigt wird. Für solche extreme Ackerflächen, deren Flächenanteil minimal ist, bietet die geprüfte Methodik daher keinen zusätzlichen Informationsgewinn; in den weiteren Auswertungen ist dieser Datensatz nicht mehr enthalten.

Ausgehend von dem Auswahlverfahren liegen bei den verbleibenden 38 Standorten große Schwankungsbreiten bei allen Bodenparametern vor: Humusgehalt 1,4–5,6 %; Gesamt-N-Gehalt 0,09–0,57 %; C/N-Verhältnis 5,7–14,8 und anaerobe Mineralisation 14–161 mg N/kg Boden und Woche. Es bestehen gesicherte lineare Korrelationen zwischen der anaeroben Inkubation (Bebrütungswert) und den bisherigen Bodenparametern, die einen Hinweis auf das N-Nachlieferungspotential geben (Humus: $r = +0,576$; Gesamt-N: $r = +0,748$; C/N-Verhältnis: $r = -0,547$). Im Bereich der Humusgehalte von 1,5–3,5 % bzw. der Gesamt-N-Gehalte von 0,10–0,25 %, in dem der überwiegende Anteil der Ackerstandorte in N.Ö. liegt, gelingt mit dieser Methode eine wesentlich stärkere Differenzierung des N-Nachlieferungspotentials (Werte von 15 bis 120 mg N/kg Boden und Woche). Dabei wurden zwischen 1,36–6,56 % des gesamten N-Bodenvorrates mineralisiert. Vergleichbare N-Mineralisationsraten von 1,23 bis 8,63 % wurden von BRONSON et al. (2001) unter denselben Vorbereitungs- und Inkubationsbedingungen bei Reisböden ermittelt, zwischen beiden Parametern bestand ebenfalls eine enge positive lineare Beziehung. Im gegenständlichen Gefäßversuch mit Gras als Testpflanze wurden zwischen 0,75 bis 3,59 % des Gesamt-N-Pools entzogen. Mit diesem Entzugswert wird Übereinstimmung mit den in Standardwerken angegebenen jährlichen Mineralisationsraten in Mineralböden von 1–3 % des organisch gebunden N erzielt (z. B. LÜTKE ENTRUP und ÖEHMICHEN, 2000).

3.3 N-Entzug im Gefäßversuch und Bebrütungswert in Abhängigkeit von den bodenkundlichen Untereinheiten

In Abbildung 2 ist – gruppiert nach den in Tabelle 1 angeführten bodenkundlichen Untereinheiten – der N-Entzug im Verlauf der Vegetation durch Gras, mit dem experimen-

tell die Netto-N-Mineralisation quantifiziert wird, dem im Labor mit der anaeroben Inkubationsmethode ermittelten N-Nachlieferungspotential gegenübergestellt. Obwohl die einzelnen bodenkundlichen Untereinheiten nicht gleichermaßen den gesamten Variationsbereich des Bebrütungswertes abdecken und somit ein Vergleich nur eingeschränkt möglich ist, ist für 5 bodenkundliche Untereinheiten der nahezu gleiche Funktionsverlauf offensichtlich: Tschernoseme, Feuchtschwarzerden, Kalkfreie Felsbraunerden, Kulturrohböden und Böden der Nördl. Kalkalpen (Tabelle 3). Für die Lockersedimentbraunerden und die Pseudogleye verlaufen die Funktionen etwas flacher und zeigen bei niedrigen Bebrütungswerten höhere N-Entzüge an, die Grenzdifferenz für diesen Parameter im Gefäßversuch (Tabelle 2) wird damit jedoch nur im BW-Bereich < 25 übertroffen. Bei Relikt-Pseudogleyen und Anmooren, die mit nur je 3

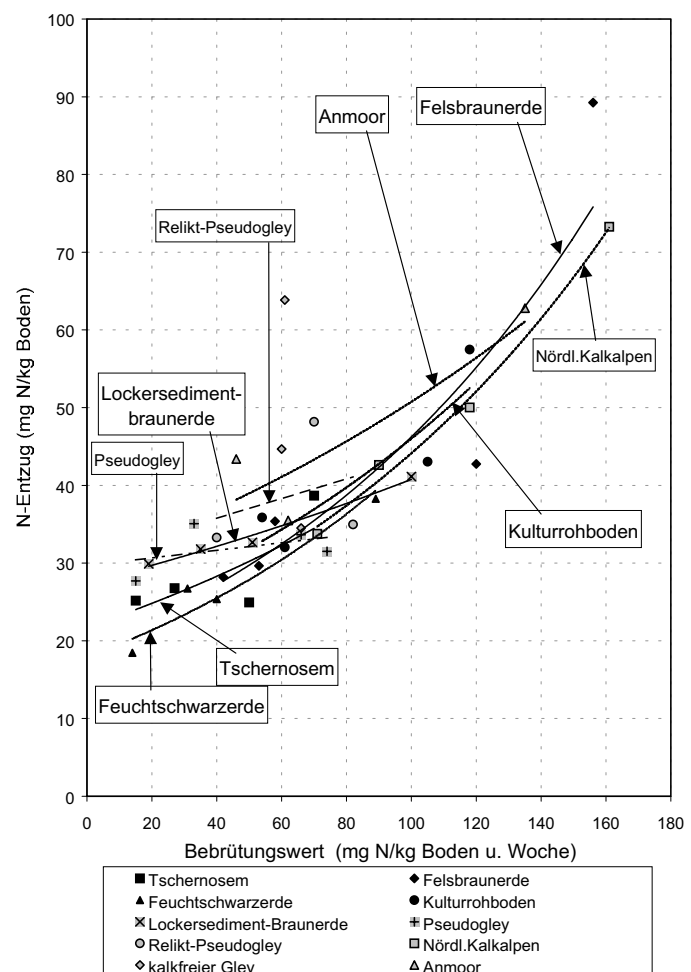


Abbildung 2: Beziehung zwischen kumuliertem N-Entzug und Bebrütungswert der ausgewählten bodenkundlichen Untereinheiten

Figure 2: Relationship between cumulative N uptake and incubation value arranged by the selected pedological subunits

Standorten vertreten sind, wird die im Vergleich zu den anderen bodenkundlichen Untereinheiten deutlich höhere N-Mineralisation im mittleren BW-Bereich durch jeweils einen Standort verursacht. Bei der Untereinheit „Kalkfreier Gley“ erbrachte das Auswahlverfahren nicht die beabsichtigte Differenzierung. Zwei der drei Gley-Böden zeigen im Experiment einen im Vergleich zu den anderen Bodentypen signifikant höheren N-Entzug bei anaeroben Inkubationswerten von 60 mg N/kg u. Woche. Da Gley-Standorte natürlicherweise durch ungünstige Sauerstoffverhältnisse geprägt sind, könnte die Beseitigung dieses Nachteils im Gefäßversuch (Sandbeimengung, kein stagnierendes Bodenwasser bei optimaler Bewässerung) zu den höheren Netto-N-Mineralisierungsraten geführt haben.

Die in einem hohen Maß deckungsgleichen Funktionen der flächenanteilmäßig bedeutendsten bodenkundlichen Untereinheiten und die erwähnten nicht signifikanten Abweichungen (bei LBE und Pseudogleyen) sowie die einzelnen markanten Differenzen (bei Relikt-Pseudogleyen und Anmooren) geben insgesamt keinen Hinweis auf einen systematischen, kausalen Zusammenhang mit den bodenkundlichen Untereinheiten: Es wird vielmehr deutlich belegt, dass bei allen Untereinheiten der N-Entzug durch den Grasaufwuchs primär mit der Höhe des Bebrütungswertes in einem ursächlichen Zusammenhang steht. Das Erfordernis der zusätzliche Einbeziehung der bodenkundlichen Untereinheit bei der Interpretation des standörtlichen N-Nachlieferungspotentials kann aus diesen Ergebnissen nicht folgert werden.

3.4 Beziehung zwischen dem kumulierten N-Entzug im Vegetationsversuch und dem Bebrütungswert, Humus-, Gesamt-N-Gehalt und C/N-Verhältnis

In Abbildung 3 sind alle Ergebnisse der 38 Standorte zusammengefasst, um die entscheidenden Zusammenhänge zu verdeutlichen: Bei Vorliegen sehr niedriger BW (< 30)

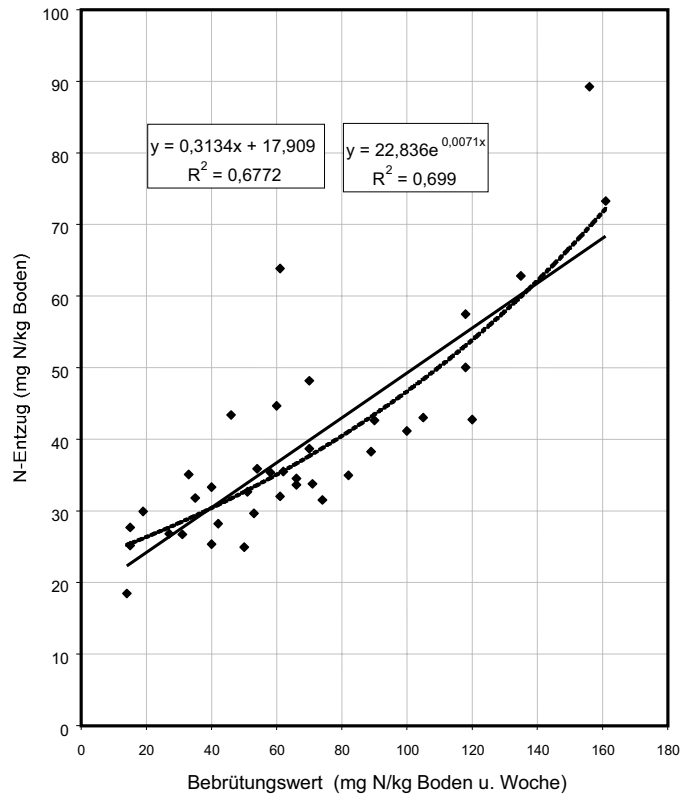


Abbildung 3: Exponentielle und lineare Beziehung zwischen kumuliertem N-Entzug und dem Bebrütungswert aller Böden
 Figure 3: Exponential and linear relationship between cumulative N uptake and incubation value of all soils

Tabelle 3: Funktionen der ausgewählten bodenkundlichen Untereinheiten: Bebrütungswert als unabhängige Variable x; Netto-N-Mineralisation (N-Entzug im Versuch) als abhängige Variable y

Table 3: Functions of selected soil subunits: incubation value – independent variable x; net N mineralization (N uptake in the experiment) as dependent variable y

Bodenkundliche Untereinheit	Bereich von x	Funktion: linear oder exponentiell	Bestimmtheitsmaß: R ²	Signifikanz
Tschernoseme	15– 70	$y = 20,42 + 0,209x$	0,603	0,224
Felsbraunerden	42– 156	$y = 19,11e^{0,0088x}$	0,882	0,018
Feuchtschwarzerden	14– 89	$y = 16,37 + 0,249x$	0,951	0,025
Kulturohrböden	54– 118	$y = 22,09e^{0,0073x}$	0,833	0,087
Lockersediment-Braunerden	19– 100	$y = 27,45e^{0,0040x}$	0,982	0,009
Pseudogleye	15– 74	$y = 29,43e^{0,0017x}$	0,205	0,547
Relikt-Pseudogleye	40– 82	$y = 30,96e^{0,0033x}$	0,128	0,767
Böden der Nördl.Kalkalpen	71– 161	$y = 19,27e^{0,0083x}$	0,989	0,006
Kalkfreier Gleye	60– 66	Nicht sinnvoll	–	–
Anmoore	46– 135	$y = 25,67 + 0,266x$	0,808	0,289

bleibt der N-Entzug auf einem sehr niedrigen Niveau von 20–30 mg N/kg Boden. Im mittleren Bereich (30–75) ist der Zusammenhang mit dem N-Entzug eher lose und weist eine relativ große Streuung zwischen 25 und 45 mg N/kg Boden auf. Bei hohen und vor allem sehr hohen Inkubationswerten steigen die korrespondierenden N-Entzüge deutlich an. Das etwas höhere Bestimmtheitsmaß des exponentiellen Funktionstyps (B = 69,9 %) im Vergleich zur linearen Beziehung (B = 67,7 %) wird durch die sehr hohen N-Entzüge bei BW über 125 verursacht.

Der Humusgehalt (Abbildung 4) weist eine lose Beziehung mit dem N-Entzug auf (B = 19%), eine deutlich höhere Aussagekraft (B = 39,1 %) kann für die Parameter Gesamt-N-Gehalt (Abbildung 5) und für das C/N-Verhältnis (B = 38,9%; Abbildung 6) festgestellt werden. Auch MENGEL et al. (1999) ermittelten bei einem ähnlich angelegten Gefäßversuch ein Bestimmtheitsmaß von 49 % für die experimentelle Netto-N-Mineralisation mit dem Gesamt-N-Gehalt.

Mit der linearen, multiplen Regressionsanalyse (Methode: Rückwärts) wurde getestet, ob die Eingabe aller vier relevanten Bodenparameter eine Verbesserung der Bezie-

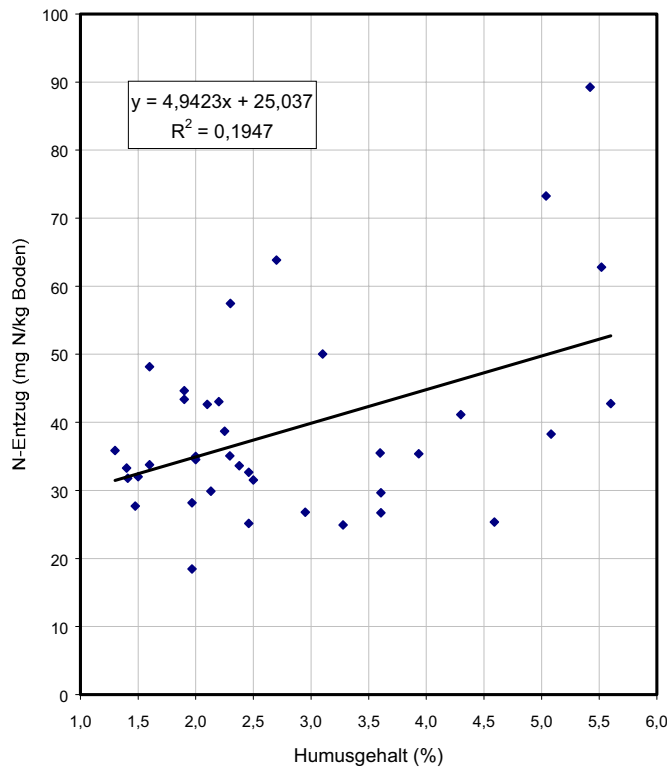


Abbildung 4: Lineare Beziehung zwischen kumuliertem N-Entzug und dem Humusgehalt
 Figure 4: Linear relationship between cumulative N uptake and humus content

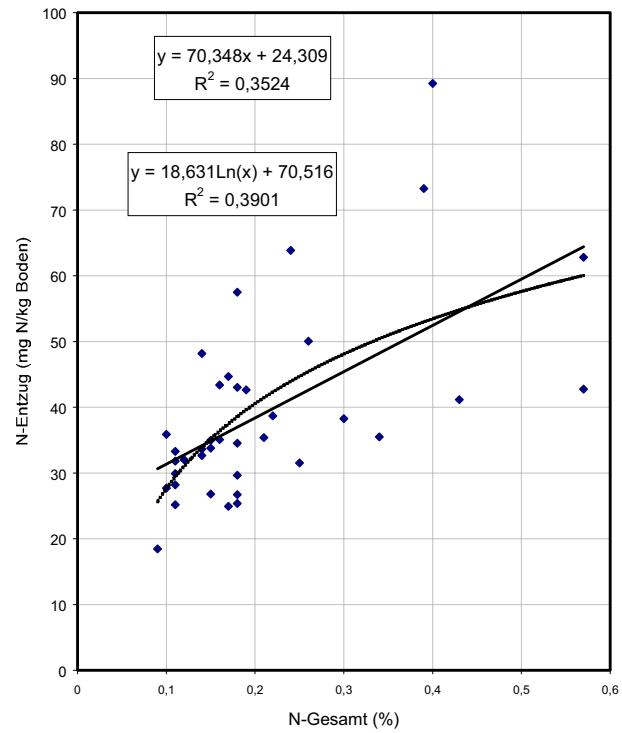


Abbildung 5: Lineare und logarithmische Beziehung zwischen kumuliertem N-Entzug und dem Gesamt-N-Gehalt
 Figure 5: Linear and logarithmic relationship between cumulative N uptake and total N content

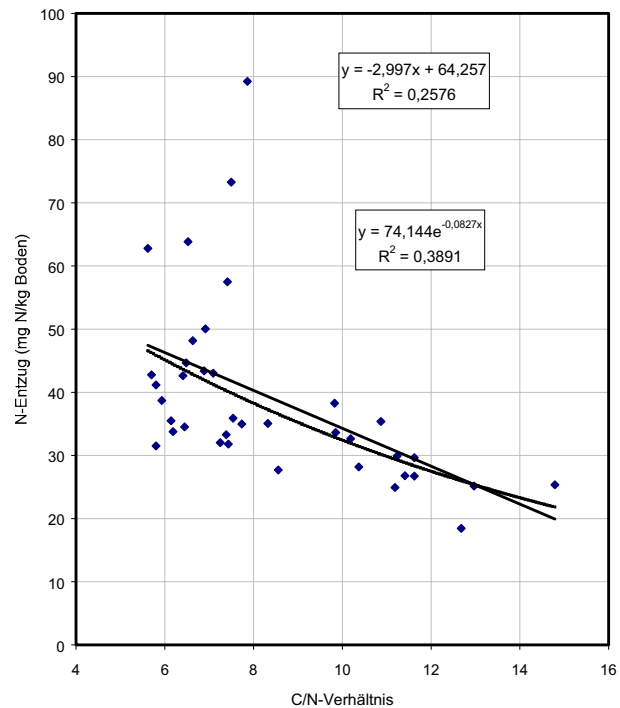


Abbildung 6: Lineare und exponentielle Beziehung zwischen kumuliertem N-Entzug und dem C/N-Verhältnis der Böden
 Figure 6: Linear and exponential relationship between cumulative N uptake and C:N ratio of the soils

hungsgüte zur Netto-N-Mineralisation ermöglicht. Dabei wurden die Variablen Humusgehalt, Gesamt-N-Gehalt und C/N-Verhältnis in dieser Abfolge wieder entfernt, einzig der Bebrütungswert verblieb im Modell. Unter den Bedingungen des Gefäßversuches mit Gras als Testpflanze überdeckte die anaerobe Inkubation klar den schwächeren Einfluss der anderen Parameter.

Bei der Einbeziehung der drei bisherigen Parameter (Humus, Gesamt-N und C/N-Verhältnis) in das multiple Regressionsverfahren (Methode: Rückwärts) verblieben alle Variablen im Modell:

$$\text{N-Entzug in mg N/kg Boden} = 74 - 127 \cdot \text{Gesamt-N (\%)} + 16 \cdot \text{Humus (\%)} - 6,4 \cdot \text{C/N}$$

Die Bestimmtheit blieb jedoch mit 54,9 % deutlich unter den 70 %, die mit dem BW allein erreicht werden können.

3.5 Veränderung des Bebrütungswertes durch den N-Entzug der Vegetation

Bei der Bewertung von bodenbiologischen Parametern ist zu beachten, dass es sich dabei um eine aktuelle Momentaufnahme von spezifischen Aktivitäten handelt. Grundsätzlich sind biologische Parameter bezüglich des zeitlichen Geltungsbereiches wesentlich unschärfer, sie reagieren stärker und rascher auf sich ändernde Rahmenbedingungen als Parameter, die durch chemische Extraktionsverfahren ermittelt werden, wie z. B. „pflanzenverfügbare“ P- oder K-Gehalte. Bei den hier beschriebenen Versuchen wurde deshalb ermittelt, ob und in welchem Ausmaß der Bebrütungswert der ungedüngten Böden durch die N-Aufnahme der dreimaligen Grasschnitte absinkt.

Wie in Abbildung 7 ersichtlich, war nach dem 1. Grasschnitt bereits im Mittel eine Verminderung um fast 30 % gegeben, die lineare Beziehung zu den Ausgangswerten war jedoch noch sehr straff ($B = 70\%$). Nach dem 3. Schnitt zu Versuchsende war die Bestimmtheit mit 46,5 % bereits wesentlich geringer, was vor allem durch die deutlichen Steigerungen der Bebrütungswerte im Vegetationsverlauf bei der Mehrzahl der Böden mit sehr niedrigen Ausgangswerten verursacht wurde. Bei den meisten Böden, für die zuerst ein mittleres bis sehr hoher N-Nachlieferungspotential ermittelt wurde, kam es dagegen zu deutlichen Verringerungen der Bebrütungswerte, nur vereinzelt konnte das ursprüngliche Niveau erhalten werden.

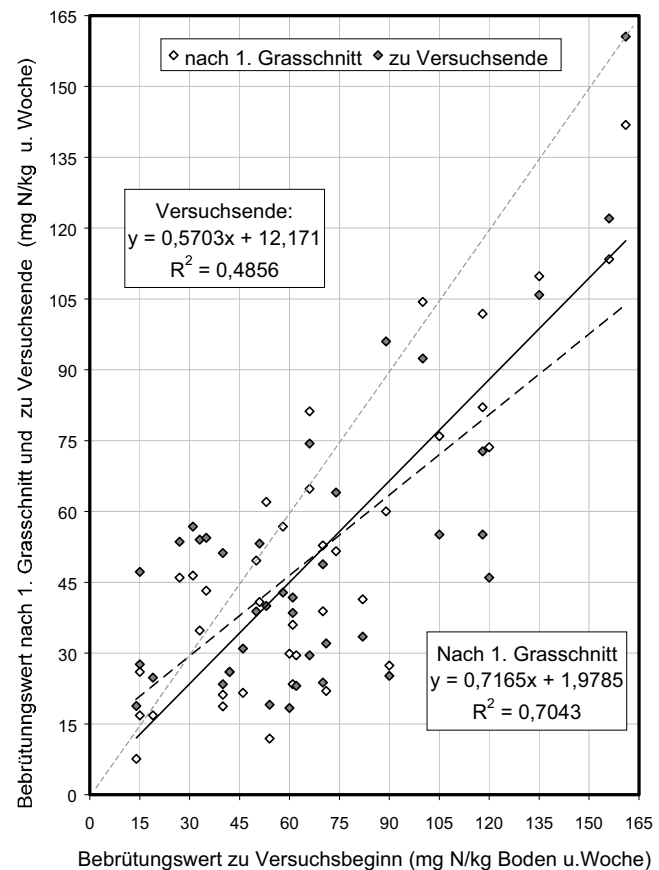


Abbildung 7: Beziehungen zwischen den Bebrütungswerten zu Versuchsbeginn, nach dem 1. Grasschnitt und am Ende des Vegetationsversuches

Figure 7: Relationships between incubation values at the beginning, after the first grass cutting and at the end of the pot experiment

Die Ergebnisse zeigen, dass es unter den spezifischen Bedingungen mit Grasbewuchs von etwa 6 Monaten und Düngungsverzicht in der Tendenz zu einer Angleichung des anaeroben N-Mineralisationspotentials auf insgesamt niedrigerem Niveau kommt. Damit wird deutlich, dass mit diesem Parameter ein eher labiler N-Pool erfasst wird, der je nach Ausgangsniveau durch die N-Aufnahme der Pflanzen deutlich vermindert oder durch die veränderte Nutzungsform als Grünland trotz eines geringen N-Entzuges etwas erhöht werden kann. Die Erhebungen von DANNEBERG und KANDELER (1995) zeigten die signifikant höhere Bebrütungswerte bei Grünland im Vergleich zur Ackernutzung.

4. Einbeziehung der Ergebnisse der anaeroben Bebrütung in die N-Düngungsempfehlungen

Zunächst ist die Übereinstimmung hervorzuheben, dass mit den Bebrütungsverfahren zur Kennzeichnung des N-Nachlieferungspotentials mittel- bis langfristig unterschiedliche Bewirtschaftungsweisen auf einem Standort angezeigt werden (RASMUSSEN et al., 1998; KANDELER et al., 1999, HÖSCH et al., 2000). Auch regional unterschiedliche Agrarstrukturen werden in einem – wegen der unterschiedlichen Anzahl und der Vorgangsweise bei der Standortauswahl – nur bedingt zulässigen Vergleich der Verteilung des N-Nachlieferungspotentials von Ackerflächen der Bundesländer Nieder- und Oberösterreich erfasst (Tab. 4). Die Differenzen dürften vor allem auf die sehr unterschiedlichen Wirtschaftsdüngerinputs in den beiden Ländern beruhen. Während es in N.Ö. einen relativ großen Anteil von Äckern mit sehr geringen Bebrütungswerten gibt, die hauptsächlich den reinen Marktfruchtbetrieben zuzuordnen sind (20 % < 34, 30 % zwischen 34 und 50), liegt in O.Ö. der überwiegende Flächenanteil im mittleren Bereich (60 % zwischen 52 und 71). Der Anteil der Standorte mit hohen Bebrütungswerten (> 70) liegt in N.Ö. bei knapp unter 20 und in O.Ö. etwas darüber.

Tabelle 4: Verteilung von Bebrütungswerten auf Ackerflächen Nieder- und Oberösterreichs (Daten von N.Ö. aus DANNEBERG und KANDELER, 1995; Daten von O.Ö. aus eigenen Erhebungen in Zusammenarbeit mit der O.Ö. Boden- und Wasserschutzberatung)

Table 4: Distribution of incubation values on arable land in Lower and Upper Austria (Data from Lower Austria according to DANNEBERG und KANDELER, 1995; data from Upper Austria by own survey in cooperation with the Soil- and Water Protection Advisory Board of Upper Austria)

	N.Ö. (n = 576)	O.Ö. (n = 170)
20 % der Proben kleiner	34	52
Mittelwert	53	61
Median	50	62
20 % der Proben größer	69	71

Unter den standardisierten Bedingungen eines Gefäßversuches wurde die Netto-N-Mineralisierung durch die Applikation geringer mineralischer N-Mengen (0,1 g N pro Gefäß nach jedem Grasschnitt) bei allen Böden vermindert. Auch die Kulturart und die Nutzungsform üben einen entscheidenden Einfluss auf die standörtliche N-Nachlieferung aus. MENGEL et al. (1999) berichten von einer im Durchschnitt vierfach höheren Netto-N-Mineralisierung

in einer unbewachsenen Variante im Vergleich zu Grasbewuchs. In eigenen Gefäßversuchen (DERSCH, 1996a) wurden bei Sommerweizen vergleichbare N-Mengen pro kg Boden mineralisiert wie in diesem Versuch mit Gras, mit Kartoffel als Testpflanze jedoch bis zum Zweifachen. Die Aussagekraft von Methoden, die ein N-Nachlieferungspotential beschreiben, ist daher eingeschränkt, weil die standörtliche Netto-N-Mineralisierung von den konkreten Bewirtschaftungsmaßnahmen und den jeweiligen Witterungsbedingungen wesentlich mitbestimmt wird.

Die Einbeziehung in konkrete Düngungsempfehlungen für die Praxis hat daher eher vorsichtig und zurückhaltend zu erfolgen. Es wurde deshalb, wie u. a. von WODSAK und WERNER (1991) bei der Umsetzung von Norg-Werten vorgeschlagen, ein grobes, dreistufiges Gehaltsklassenkonzept entwickelt. Bei Vorliegen sehr niedrigerer BW (< 35) erfolgt generell ein geringer 10 %iger Zuschlag bei der N-Düngungsempfehlung, bei hohen Werten (> 70) kommt bei Getreide und Raps ein etwas höherer, jedoch moderater Abschlag von 15 % zur Anwendung. Denn bei Winterweizen konnte bei Kenntnis des aktuellen Nmin-Vorrates durch die zusätzliche Miteinbeziehung eines Bodenparameters, der die nachlieferbare Fraktion erfasst (z. B. Norg aus CaCl_2 oder EUF), keine wesentliche Verbesserung der N-Düngebedarfsprognose erreicht werden (OLFS, 1995). Von größerer Bedeutung ist das N-Nachlieferungspotential bei Kulturen, deren intensivste N-Aufnahme jahreszeitlich später einsetzt oder sich über einen längeren Zeitraum erstrecken kann. Bei Mais, Kartoffel und Sonnenblume liegen deshalb die Reduktionen bei 25 %, bei Zuckerrübe zwischen 30–50 %.

Durch die Einbeziehung des N-Nachlieferungspotentials kommt es zu einer standortspezifischen Anpassung der N-Düngermengen, die geringen Zu- und die unterschiedlich höheren Abschläge führen insgesamt zu einer Verringerung der N-Düngermengen. Bei eutrophen Böden mit sehr hohen Umsetzungsraten leicht mineralisierbarer organischer Stoffe werden damit die in ökologischer Hinsicht geforderten deutlich negativen N-Bilanzsalden erreicht.

Literatur

- AGARWAL, A. S., R. B. SINGH and Y. KANEHIRO (1971): Soil nitrogen and carbon mineralization as affected by drying-rewetting cycles. Soil Sci. Society of America Proceedings 35, 96–100.
- APPEL, T. (1998): Non-biomass soil organic N – the substrate for N mineralization flushes following soil drying-

- rewetting and for organic N rendered CaCl_2 -extractable upon soil drying. *Soil Biol. & Biochem.* 30 (10), 1445–1456.
- BECK, T. (1983): Die N-Mineralisation von Böden im Laborbrutversuch. *Z. Pflanzenern. Bodenkde.* 146, 243–252.
- BIRCH, H. F. (1958): The effect of soil drying on humus decomposition and nitrogen availability. *Plant and Soil* 10, 9–31.
- BRONNER, H. (1976): Kenndaten des pflanzenverfügbaren Bodenstickstoffs in Beziehung zum Wachstum der Zuckerrübe. *Die Bodenkultur* 27, 18–59, 120–161.
- BRONSON, K. F., E. B. ABOA, B. SINGH, YAD. SINGH, Y. SINGH, G. M. PANUALLAH and A. P. REGMI (2001): Predicting potential anaerobic nitrogen mineralization of rice-rice and rice-wheat soils of Asia. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 32 (15 & 16), 2411–2424.
- BUNDESANSTALT FÜR BODENWIRTSCHAFT (1994): Niederösterreichische Bodenzustandsinventur. Amt der Niederösterreichischen Landesregierung, Wien.
- CABRERA, M. L. and D. E. KISSEL (1988): Potentially mineralizable nitrogen in disturbed and undisturbed soil samples. *Soil Sci. Society of America Journal* 52, 1010–1015.
- DANNEBERG, O. H. und E. KANDELER (1990): Bewertung eines biologischen Index der N-Verfügbarkeit. *VDLUFA-Schriftenreihe* 32, Kongressband 1990, 265–270.
- DANNEBERG, O. H. und E. KANDELER (1991): Stickstoffnachlieferung von Proben der Bodenzustandsinventur – erste Ergebnisse. *VDLUFA-Schriftenreihe* 33, Kongressband 1991, 275–280.
- DANNEBERG, O. H. und E. KANDELER (1995): Kennzeichnung der Stickstoffnachlieferung der landwirtschaftlich genutzten Böden Niederösterreichs durch den anaeroben Brutversuch. *VDLUFA-Schriftenreihe* 40, Kongressband 1995, 281–284.
- DANNEBERG, O. H. (1995): Chemische und physikalische Eigenschaften von Bodeneinheiten der landwirtschaftlich genutzten Fläche Niederösterreichs. *Mitt. d. Österr. Bodenk. Ges.*, Heft 52, 13–92.
- DANNEBERG, O. H., E. KOHLMANN und E. KANDELER (1995): Der Einfluss der Vorbehandlung auf die anaerobe Stickstoffmineralisierung. *VDLUFA-Schriftenreihe* 40, Kongressband 1995, 575–578.
- DANNEBERG, O. H., I. POVOLNY, H. GOTTSCHLING und O. NESTROY (1994): Soil units and their distribution in the agricultural area of Lower Austria. *Mitt. d. Österr. Bodenk. Ges.*, Heft 50, 61–110.
- DANNEBERG, O. H. et al. (1996): Richtlinien für die sachgerechte Düngung. 4. Auflage. Fachbeirat für Bodenfruchtbarkeit und Bodenschutz beim Bundesministerium für Land- u. Forstwirtschaft, Wien.
- DERSCH, G. (1996): Abschätzung der Stickstoffnachlieferung ackerbaulich genutzter Böden im Gefäßversuch durch die anaerobe Stickstoffmineralisierung. *VDLUFA-Schriftenreihe* 44, Kongressband 1995, 659–662.
- DERSCH, G. (1997a): Schlagbezogene und regionale „einfache“ Nährstoffbilanzen im Ackerbau. In: *UMWELTBUNDESAMT WIEN* (Hrsg.): *Stoffbilanzierung in der Landwirtschaft*. Tagungsberichte Band 20, 139–145.
- DERSCH, G. (1997b): N-Düngung an Standort und Ertrag ausrichten. *Mais*, 25. Jg. (1), 12–13.
- GESTEL VAN, M., J. N. LADD and M. AMATO (1991): Carbon and nitrogen mineralization from two soils of contrasting texture and microaggregate stability: Influence of sequential fumigation, drying and storage. *Soil Biology & Biochemistry* 23, 313–322.
- HARMSSEN, G. W. and D. A. VAN SCHREVEN (1955): Mineralization of organic nitrogen in soil. *Advances in Agronomy* 7, 299–398.
- HOUBA, V. J. G., I. NOVOZAMSKY, A. W. M. HUYBRIGTS and J. J. VAN DER LEE (1986): Comparison of soil extractions by 0,01 M CaCl_2 , by EUF and by some conventional extraction procedures. *Plant and Soil* 96, 433–437.
- HÖSCH, J., M. PFEFFER und G. DERSCH (2000): Die anaerobe Stickstoffmineralisation als Indikator für die Bewertung der Nachhaltigkeit organischer Düngermanagement. *VDLUFA-Schriftenreihe* 55, Kongressband 2000, Teil II.
- JAGER, G. and E. H. BRUINS (1975): Effects of repeated drying at different temperatures on soil organic matter decomposition and characteristics, and on the soil microflora. *Soil Biology & Biochemistry* 7, 153–159.
- JENKINSON, D. S., R. H. FOX and J. H. RAYNER (1985): Interactions between fertilizer nitrogen and soil nitrogen – the so-called “priming”-effect. *Journal of Soil Science* 36, 425–444.
- KANDELER, E. (1993): Bestimmung der N-Mineralisation im anaeroben Brutversuch. In: SCHINNER, F. et al. (Hrsg.): *Bodenbiologische Arbeitsmethoden*. Springer Verlag, Berlin.
- KANDELER, E., M. STEMMER und E. M. KLIMANEK (1999): Response of soil microbial biomass, urease and xylanase within particle size fractions to long-term soil management. *Soil Biology & Biochemistry* 31, 261–273.
- KEENEY, D. R. (1982): Nitrogen-availability indices. In: PAGE, A. L. et al. (eds.): *Methods of Soil Analysis, Part 2*. Am. Soc. Agron. Inc., Soil Sci. Am. Inc., Madison Wisconsin USA, p. 711.

- LÜTKE ENTRUP, N. und J. OEHMICHEN (2000): Lehrbuch des Pflanzenbaues. Verlag Th. Mann, Gelsenkirchen.
- MAHLI, S. S., M. NYBORG and D. J. HEANEY (1992): Potential for nitrogen mineralization in central Alberta soils. *Fertilizer Research* 28, 251–262.
- MARUMOTO, T., J. P. E. ANDERSON and K. DOMSCH (1982): Decomposition of ^{14}C - and ^{15}N -labelled microbial cells in soil. *Soil Biology & Biochemistry* 14, 461–467.
- MENGEL, K., B. SCHNEIDER and H. KOSEGARTEN (1999): Nitrogen compounds extracted by electroultrafiltration (EUF) or CaCl_2 solution and their relationships to nitrogen mineralization in soils. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 162, 139–148.
- NEMETH, K., H. BARTELS, M. VOGEL and K. MENGEL (1988): Organic nitrogen compounds extracted from arable and forest soils by electroultrafiltration and recovery rates of amino acids. *Biol. Fertil. of Soils* 5, 271–275.
- ÖHLINGER, R. (1993): Photometrische Bestimmung des Biomasse-Stickstoffs mittels Fumigation-Extraktion. In: SCHINNER, F. et al. (Hrsg.): *Bodenbiologische Arbeitsmethoden*. Springer Verlag, Berlin.
- OLFS, H. W. (1995): Ermittlung des N-Düngerbedarfs von Winterweizen: Eignung verschiedener Fraktionen und Düngerberatungssysteme. *Agribiological Research* 48 (2), 127–137.
- POWLSON, D. S. and D. S. JENKINSON (1976): The effects of biocidal treatments on metabolism in soil – II. Gamma irradiation, autoclaving, air-drying and fumigation. *Soil Biology & Biochemistry* 8, 179–188.
- RASMUSSEN, P. E., C. L. DOUGLAS, H. P. COLLINS and S. L. ALBRECHT (1998): Long term cropping system effects on mineralizable nitrogen in soil. *Soil Biology & Biochemistry* 30 (13), 1829–1837.
- SMITH, K. A. and S. LI (1993): Estimation of potentially mineralisable nitrogen in soil by KCl extraction. *Plant and Soil* 157, 167–174.
- SPARLING, G. P. and D. J. ROSS (1988): Microbial contributions to the increased nitrogen mineralization after air-drying of soils. *Plant and Soil* 105, 163–167.
- STANFORD, G. (1982): Assessment of soil nitrogen availability. In: F. J. STEVENSON (ed.): *Nitrogen in Agricultural Soils*. *Agronomy* 22, 651–688.
- STENGER, R., E. PRIESACK and F. BEESE (1995): Rates of net nitrogen mineralization in disturbed and undisturbed soils. *Plant and Soil* 171, 323–332.
- WARING, S. A. and J. M. BREMNER (1964): Ammonium production in soil under waterlogged conditions as an index of nitrogen availability. *Nature* 201, 951–952.
- WODSAK, H. P. und W. WERNER (1991): Eignung organischer N-Fraktionen zur Kennzeichnung des N-Nachlieferungspotentials von Böden. *Mitteilgn. Dtsch. Bodenkdl. Gesellsch.* 66/II, 1051–1054.

Anschrift der Verfasser

Dipl.-Ing. Dr. Georg Dersch, Österreichische Agentur für Gesundheit und Ernährungssicherheit GmbH, Spargelfeldstr. 191, A-1226 Wien; e-mail: georg.dersch@ages.at

Dipl.-Ing. Dr. Michael Pfeffer, Bundesamt und Forschungszentrum für Wald, Seckendorff-Gudent-Weg 8, A-1131 Wien.

Univ.-Doz. Dipl.-Ing. Dr. Otto H. Danneberg, Johann Hörbiger-Gasse 18, A-1230 Wien.

Eingelangt am 18. Dezember 2002

Angenommen am 22. Mai 2003