

# Einfluß der Strohdüngung auf den Verlauf der N-Mineralisation eines Löß-Parabraunerde-A<sub>p</sub>-Horizontes im Säulen-Brutversuch

R. Nieder und J. Richter

Institut für Bodenkunde der Universität Hannover, Herrenhäuser Str. 2, 3000 Hannover 21

Eingegangen: 25. März 85

Angenommen: 22. Juli 85

## Zusammenfassung – Summary

In Säulen-Brutversuchen wurde die N-Mineralisation und Immobilisation eines Löß-Parabraunerde-A<sub>p</sub>-Horizontes (17,5 % Ton, 76,5 % Schluff, 6 % Sand) nach unterschiedlicher Behandlung untersucht. Die Säulen hatten eine Länge von 30 cm und einen Durchmesser von 8 cm; die Bebrütungstemperatur betrug 35°C. Die folgenden Varianten wurden angelegt: „unbearbeitet“, „bearbeitet“ und „Stroh über 30 cm eingearbeitet“ (Menge  $\approx$  8 t/ha, auf 10 cm gehäckselt).

Im Versuchsjahr 1983 wurden in der Strohhvariante (Stroh-C/N: 132:1) im Vergleich zu „bearbeitet“ und „unbearbeitet“ bis zu maximal 65 kg anorganischen Stickstoffs/ha/30 cm mikrobiell festgelegt (N-Sperre). Nach 65 Bebrütungstagen kam es zu einer Aufhebung der Immobilisation. Die Monolithen hatten einen Wassergehalt von 65 % der Feldkapazität.

Im Jahr 1984 betrug die N-Immobilisation bei 65 % der Fk und einem Stroh-C/N-Verhältnis von 80 maximal 55 kg N/ha/30 cm (Vgl. „Stroh eingearbeitet“ mit „unbearbeitet“). Unter Zugrundelegung der Differenz „Stroh eingearbeitet“ zu „bearbeitet“ wurden maximal 45 kg N/ha/30 cm immobilisiert.

Bei Feldkapazität wurden bis zu 55 kg N/ha/30 cm als Differenz zwischen „Stroh eingearbeitet“ und „bearbeitet“ ermittelt. In beiden Wassergehaltsstufen wurde eine Umkehr der Immobilisation nach ca. 65 Tagen beobachtet. Bei „unbearbeitet, FK“ war die Netto-Mineralisation – besonders im Unterkrumenbereich – sehr stark herabgesetzt.

## The influence of straw manure on the course of N-mineralization of a luvisol-A<sub>p</sub>-horizon in incubation experiments with soil columns

In 1983 and 1984, different treated soil columns were incubated at 35°C to investigate N-mineralization and -immobilization of a luvisol-A<sub>p</sub>-horizon (length of the column: 30 cm; diameter: 8 cm). Treatments were as follows: „undisturbed“, „disturbed“ and „disturbed + straw“ (quantity of straw:  $\approx$  8 t/ha/30 cm; particle size: 10 cm). (soil characteristics: 17,5 % clay, 76,5 % silt, 6 % sand)

In 1983 up to 65 kg/ha/30 cm of inorganic nitrogen were assimilated microbially as the result of straw (C/N of straw: 132:1) compared to „undisturbed“ and „disturbed“. After 65 days of incubation immobilization was reserved. The soil water content amounted 65 % of the water holding capacity.

In 1984 incubation under same conditions, but a C/N of straw of about 80:1, yielded an immobilization of about 55 kg/ha/30 cm compared to „undisturbed“. Comparing the straw treatment to „disturbed“ a maximal immobilization of 45 kg/ha/30 cm was registered.

In the treatments with field capacity up to 55 kg/ha/30 cm were determined as difference between „straw incorporated“ and „disturbed“. A reverse of immobilization resulted after ca. 65 days at both

water levels. Concerning the untreated monoliths netto-mineralization was highly reduced particularly in the lower part of the Ap-horizon.

## Einleitung

Betriebswirtschaftliche Überlegungen führten in der Vergangenheit besonders in den ertragreichen Gebieten zur Abschaffung der Viehbestände landwirtschaftlicher Betriebe. Zwangsläufig wird das anfallende Getreidestroh heute nicht mehr über den Stall zurückgeführt, sondern vielfach mit einer N-Ausgleichsdüngung unmittelbar in die Krumen als organischer Dünger eingearbeitet. In getreidereichen Fruchtfolgen setzen Lößböden nach *Kick* und *Poletschny* (1974), *Debruck* (1974) sowie *Debruck* und *Boguslawski* (1976) hohe Strohmassen ohne Beeinträchtigung ihrer Ertragsfähigkeit um. Aus anderen Untersuchungen gingen nach Strohdüngung erhebliche Ertragsdepressionen hervor (*Bachthaler* und *Wagner*, 1973; *Graff* und *Kühn*, 1977). In zahlreichen Feldversuchen wurde eine Abnahme an mineralisiertem Stickstoff nach Zusatz von Getreidestroh gemessen (z.B. *Myers* und *Paul*, 1971; *Freytag* und *Rausch*, 1981). Als Ursache hierfür wurde die Überführung anorganischen Stickstoffs in organisch gebundenen über mikrobielle N-Festlegung angesehen. Auch anhand von Gefäßversuchen wurden bereits Angaben zum möglichen Ausmaß der Immobilisation ermittelt (z.B. *Vilsmeier* und *Amberger*, 1981; *Scherer* und *Mengel*, 1981; 1983; *Nordmeyer* und *Richter*, 1985).

In den folgenden Ausführungen soll eine Charakterisierung des Gangs der mikrobiellen N-Immobilisation mit Hilfe der aus den Inkubationsversuchen ermittelten Ergebnisse erfolgen. Von den oben zitierten Autoren konnten zwar schon grundsätzlich Mineralisations- und Immobilisationsverläufe beschrieben werden. Durch die Säulen-Brutversuchstechnik werden jedoch einige zusätzliche wichtige Aspekte berücksichtigt. Unter anderem besteht die Möglichkeit, unterschiedliche Wassergehalte in den Bodensäulen einzustellen. Daneben kann durch differenzierte Entnahme das Mineralisations-Immobilisationsgeschehen für Ober- und Unterkrume getrennt erfaßt werden. Als weiterer wichtiger Aspekt soll der Einfluß des Stroh-C/N-Verhältnisses auf die Prozesse behandelt werden.

## Material und Methoden

Als Versuchsboden wurde Löß-Parabraunerde-Krumenmaterial eines Schlages der Calenberger Börde mit der für diese Gegend typischen Rotation Zuckerrüben/Winterweizen/Wintergerste bzw. Zuckerrüben/Winterweizen/Winterweizen verwendet. Die Bodenmonolithen wurden in stabilen PVC-Röhren (30 cm lang, 8 cm Durchmesser) mit Hilfe von Aufsatzhaube und Fallhammer dem Ap-Horizont entnommen. In Tabelle 1 sind die Bodeneigenschaften aufgeführt:

**Tabelle 1:** Eigenschaften des Versuchsbodens (Probenahme: August 1983)

**Table 1:** Soil characteristics (samples taken in august 1983)

| Org. C (%) | N <sub>total</sub> (%) | C/N | pH (n/50 CaCl <sub>2</sub> ) | Ton (%) | Schluff (%) | Sand (%) |
|------------|------------------------|-----|------------------------------|---------|-------------|----------|
| 1,06       | 0,11                   | 9,7 | 7,05                         | 17,5    | 76,5        | 6,0      |

Die Entnahme der zur Bebrütung vorgesehenen Proben wurde im Versuchsjahr 1983 unmittelbar nach der Winterweizenernte im August durchgeführt. Gleichzeitig wurden aus Ober- und Unterkrume Stechzylinderproben (je 4 Wiederholungen) zur Ermittlung der Lagerungsdichten gezogen. Anschließend wurden die Monolithen auf ca. 65 % der Feldkapazität aufgesättigt. Folgende Bearbeitungsvarianten wurden angelegt:

- „unbearbeitet, d.h. die Original-Bodenstruktur wurde für den Inkubationsversuch belassen
- „bearbeitet“: das Bodenmaterial wurde nach Entnahme aus den PVC-Röhren und Durchsieben (Maschenweite des Siebes 5 mm) in die Röhren unter vorsichtigem Andrücken schichtweise zurückgeführt, so daß eine nahezu homogene Struktur im ganzen 30 cm – Röhrenabschnitt vorlag
- „Stroh eingearbeitet“: eine praxisübliche Menge an Weizenstroh ( $\Delta 8$  t/ha, auf etwa 10 cm Partikelgröße gehäckselt) wurde über die gesamte Säulenlänge hinweg verteilt.

Tabelle 2 zeigt die Eigenschaften des Weizenstrohs:

**Tabelle 2:** Eigenschaften des Weizenstrohs ( $C_{org.}$  und  $N_{total}$ ) im Versuchsjahr 1983

**Table 2:** Properties of wheat straw ( $C_{org.}$  and  $N_{total}$ ) in 1983

| Org. C (%) | $N_{total}$ (%) | C/N | Partikelgröße |
|------------|-----------------|-----|---------------|
| 41,0       | 0,31            | 132 | etwa 10 cm    |

Im Versuchsjahr 1984 fand die Probenahme auf demselben Schlag bereits im Monat April statt, was die Möglichkeit zur Charakterisierung des Mineralisationsverhaltens noch nicht abgesetzter Krumen bieten sollte. Zur Vorbereitung auf die Folgefrucht Zuckerrüben war die Krume im vorhergehenden September gepflügt worden. Entnahme und Behandlung der Säulen-Proben erfolgten nach den gleichen Methoden wie vorher beschrieben. Neben dem Bodenstruktur-Parameter Lagerungsdichte wurde 1984 auch die Porenverteilung in Ober- und Unterkrume anhand einer größeren Anzahl Stechzylinderproben (8 Wiederholungen je Tiefe) bestimmt. Im Gegensatz zu 1983 wurden diesmal in den Säulen zwei Wassergehaltsstufen eingestellt. Es handelt sich also um einen 2·3-faktoriellen Versuch:

Reihe 1 mit einem Wassergehalt entsprechend 65 % der Feldkapazität

„unbearbeitet“

„bearbeitet“

„Stroh eingearbeitet“

Reihe 2 mit einem Wassergehalt entsprechend der Feldkapazität (Bearbeitungsvarianten wie oben)

Pro Variante wurden vier Wiederholungen angelegt. Die Eigenschaften des 1984 eingearbeiteten Strohs sind in Tabelle 3 aufgeführt:

**Tabelle 3:** Eigenschaften des Weizenstrohs ( $C_{org.}$  und  $N_{total}$ ) im Versuchsjahr 1984

**Table 3:** Properties of wheat straw ( $C_{org.}$  and  $N_{total}$ ) in 1984

| Org. C (%) | $N_{total}$ (%) | C/N | Partikelgröße |
|------------|-----------------|-----|---------------|
| 41,0       | 0,50            | 80  | etwa 10 cm    |

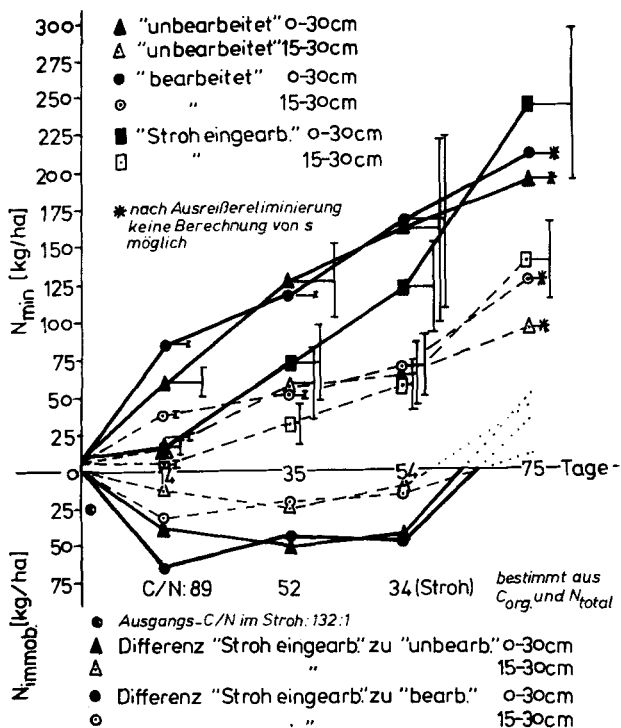
Das obere Ende der PVC-Röhren wurde mit einem Verdunstungsschutz (gasdurchlässige Folie) versehen. In Anlehnung an *Stanford and Smith* (1972) sowie *Nordmeyer and Richter* (1985) erfolgte die Bebrütung der Proben bei 35° C. Der Bodenwassergehalt blieb über den gesamten Bebrütungszeitraum hinweg konstant.

Im Anschluß an die zeitlich gestaffelten Probenahmen aus den Säulen erfolgte die Nitrat- (UV-spektrometrisch in der Extraktionslösung) und Ammonium-Bestimmung (mit  $\text{NH}_4$ -Elektrode). Die Kohlenstoffanalyse (org. C) der Pflanzen- und Bodenproben wurde mit Hilfe der Lichterfeld-Methode (nasse Veraschung) durchgeführt, die  $\text{N}_{\text{total}}$ -Bestimmung erfolgte nach Kjeldahl.

## Ergebnisse und Diskussion

### Versuchsjahr 1983

Die Mineralisations-Immobilisationsverläufe der einzelnen Varianten gehen aus Abb. 1 hervor:



**Abbildung 1:** N-Mineralisations- und Immobilisationsverläufe im Säulenbrutversuch 1983 bei 65 % der Feldkapazität

**Figure 1:** Courses of N-mineralization and -immobilization in incubation experiment with soil columns (soil water content: 65 % of field capacity)

Aufgetragen wurden die Daten für die Verläufe von 0–30 cm ebenso wie für 15–30 cm. Die aus der Stechzylinderbeprobung ermittelte Lagerungsdichte betrug für Ober- wie für Unterkrume durchschnittlich  $1,51 \text{ g/cm}^3$ . Aus dem Gang der Mineralisation ist zu erkennen, daß die Unterkrume stets zu annähernd 50 % an der Gesamtmineralisation beteiligt ist. Im Vergleich zu „unbearbeitet“ liegt bei „bearbeitet“ bei den meisten Terminen eine geringfügig höhere Mineralisation vor. Die von Anfang der Bebrütung starken Differenzen zwischen den unbehandelten Varianten und der Strohvariante deuten auf den schnellen Beginn einer N-Immobilisation größeren Ausmaßes hin. Dies wird im unteren Teil der Abbildung 1 verdeutlicht, in der die Differenzen aus den Verläufen „Stroh eingearbeitet“ zu „unbearbeitet“ bzw. „Stroh eingearbeitet“ zu „bearbeitet“ aus 0–30 cm und 15–30 cm aufgetragen wurden. Während der Immobilisationsphase besteht lediglich zum 2. Termin zwischen den „Kurvenverläufen“ der Varianten in beiden Krumenabschnitten ein geringer Unterschied. Maximal werden  $65 \text{ kg N}_{\min}/\text{ha}/30 \text{ cm}$  nach 14 Tagen festgelegt. Die C/N-Verhältnisse im abbauenden Stroh unterliegen einer raschen Einengung und ab C/N ca. 34 beginnt die Remineralisation. Die Immobilisation ist nach ca. 65 Tagen aufgehoben.

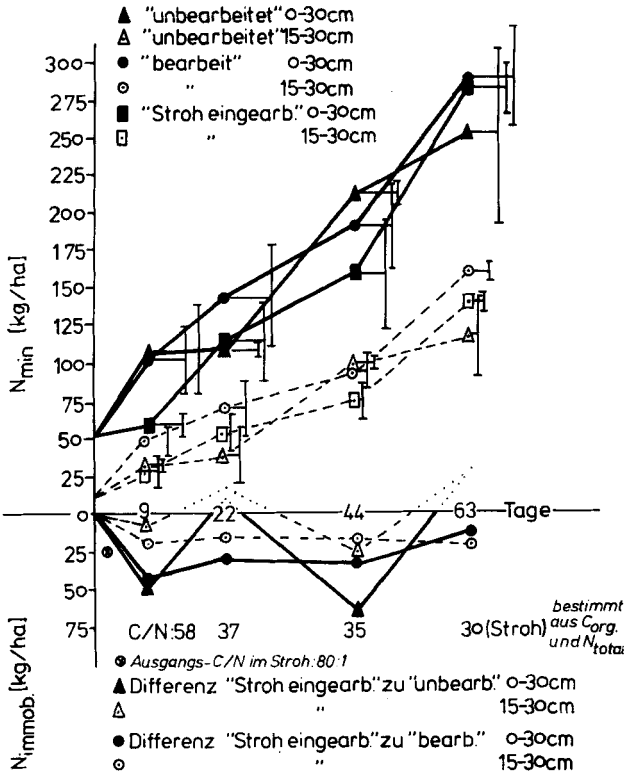
#### *Versuchsjahr 1984*

##### *a) N-Dynamik bei 65 % der FK*

Abb. 2 zeigt die Mineralisation und Immobilisation in der Versuchsreihe mit einem Wassergehalt entsprechend 65 % der Feldkapazität.

Bei dieser Versuchsreihe liegt am 22. und 63. Tag ein deutlich höherer  $\text{N}_{\min}$ -Gehalt in der bearbeiteten Variante im Vergleich zu „unbearbeitet“ vor. Für die Charakterisierung der mikrobiellen N-Immobilisation sollte in erster Linie der Vergleich „bearbeitet“ mit „Stroh eingearbeitet“ interessieren, da diese Varianten nach dem gleichen Modus – Entnahme des Bodens aus den Säulen, Sieben und Wiedereinfüllen in die Säulen – behandelt wurden. Die Differenzen der Verläufe sind im unteren Teil der Abbildung 2 dargestellt. Besonders auffällig ist der Knick der Immobilisationskurve bei der Differenz „Stroh eingearbeitet“ zu „unbearbeitet“ zum 3. Termin. Dies ist aber nicht etwa auf eine Umkehr der Immobilisation zu diesem Termin zurückzuführen, was die Daten zum 4. Termin bestätigen. Vielmehr wurden bei der Bergung des unbearbeiteten Bodens aus den Säulen Verdichtungen mit Reduktionszonen in den Unterkrumen aller Wiederholungen festgestellt, die Ursache für gegenüber der Strohvariante verminderte Mineralisation bzw. für Denitrifikation sein können. Dies deutet auch der Verlauf der Mineralisationskurve (siehe Abb. 2, beide Krumenabschnitte) dieser Variante an.

Im Vergleich zum Versuchsjahr 1983 liegt die Immobilisationskurve bei der Differenz „Stroh eingearbeitet“ zu „bearbeitet“ innerhalb der ersten 55 Tage auf einem um ca. 20 kg niedrigerem Niveau. Das weitere Stroh-C/N-Verhältnis bewirkt also offenbar eine höhere N-Festlegung (maximal bis  $65 \text{ kg}/\text{ha}/30 \text{ cm}$ ). Nach ca. 50–55 Bebrütungstagen liegen dann in beiden Versuchen in etwa gleiche C/N-Verhältnisse des Strohs vor. Das zu diesem Zeitpunkt vorliegende C/N-Verhältnis von ca. 35 ist kennzeichnend für



**Abbildung 2:** N-Mineralisation und -Immobilisation im Säulenbrutversuch 1984 bei 65 % der Feldkapazität

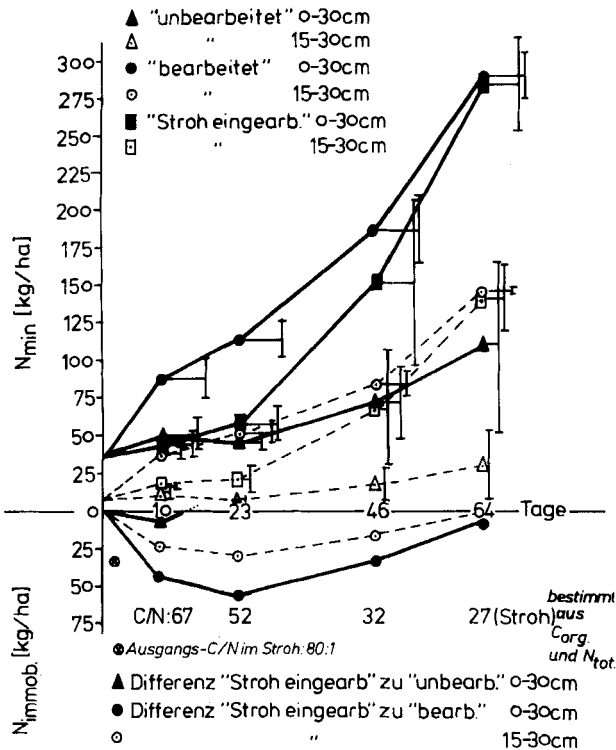
**Figure 2:** N-mineralization and -immobilization in incubation experiment 1984 with soil columns (soil water content: 65 % of field capacity)

beginnende Remineralisation. Das ist in etwa vergleichbar mit den Ergebnissen von Lefèvre et al. (1981), die einen Wert für das kritische Stroh-C/N-Verhältnis von 28 bestimmten. Die Aufhebung der Immobilisation, die durch den Schnittpunkt auf der Zeitachse charakterisiert ist, wird in den Versuchen 1983 und 1984 im etwa gleichen Zeitraum erreicht (zwischen 54. und 70. Tag, vgl. Abb. 1 u. 2). Dies erstaunt insofern, als die C/N-Verhältnisse des Strohs in den beiden Versuchen sich sehr stark voneinander unterscheiden. Nach Verona (1971) liegt in Stroh mit weiteren C/N-Verhältnissen ein höherer Anteil an Kohlenhydraten als bei engen C/N-Verhältnissen vor, während die Proteinfraction relativ konstant bleibt. Innerhalb des Kohlenhydratspektrums nimmt in erster Linie der Anteil leicht abbaubarer Verbindungen mit Streckung des C/N-Verhältnisses zu. So betragen im Stroh die Schwankungsbreiten der Anteile an Zellulose und Hemizellulosen zwischen 32 % und 40 % bzw. 18 % und 30 %. Dagegen betragen die

Gehalte an resistantem Lignin zwischen 12 % und 15 % (Verona, 1971). Der Substanzverlust im Stroh ist in der Anfangsphase in erster Linie verbunden mit dem Abbau von Zellulose und Hemizellulosen (Harper und Lynch, 1981).

### b) N-Dynamik bei FK

Die Mineralisations- und Immobilisationsverläufe dieser Versuchsreihe sind aus Abb. 3 zu ersehen:



**Abbildung 3:** N-Mineralisations- und Immobilisationsverläufe im Säulenbrutversuch 1984 bei Feldkapazität

**Figure 3:** Courses of N-mineralization and -immobilization in incubation experiment (soil water content: field capacity)

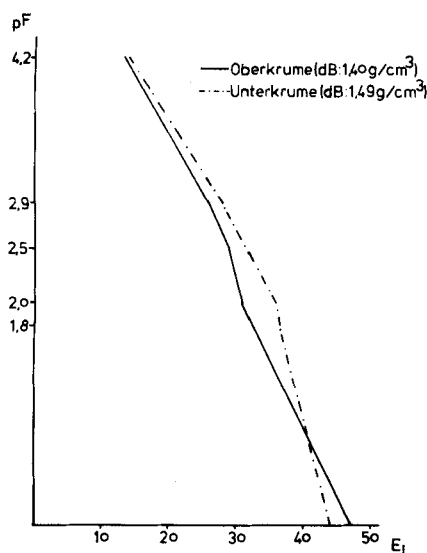
Auffallend ist der fast identische Verlauf der Mineralisationskurven der Varianten „bearbeitet“ aus den Abb. 2 und 3. Das um ca. 15 kg/ha/30 cm niedrigere Anfangsniveau bei der FK-Reihe deutet auf N-Verluste während der Aufsättigungsphase hin.

Die Steigung der Variante „unbearbeitet, FK“ ist über den gesamten Verlauf hinweg wesentlich flacher als bei „bearbeitet“. Auch beim Vergleich mit „unbearbeitet, 65 % der

FK“ (siehe Abb. 2) fällt eine starke Verminderung der Netto-Mineralisation bei hohem Wassergehalt auf. Verminderte  $O_2$ -Zufuhr bewirkte offensichtlich eine reduzierte Mineralisation oder gar Denitrifikation. Die Differenz zwischen „bearbeitet, FK“ und „unbearbeitet, FK“ ist offenbar strukturbedingt, denn in den beiden Varianten lag eine unterschiedliche Verteilung der Lagerungsdichte und des GPV in den Säulen vor. Aus der im April 1984 im Felde durchgeführten Stechzylinderbeprobung wurde für den Krumenabschnitt 15–30 cm eine durchschnittliche Lagerungsdichte von  $1,49 \text{ g/cm}^3$  im Vergleich zu  $1,40 \text{ g/cm}^3$  in der Oberkrume ermittelt. Durch die Probenbehandlung bei „bearbeitet“ wurde dagegen eine homogene Dichteverteilung über den gesamten Krumenabschnitt geschaffen, die damit ähnliche Mineralisationsbedingungen schaffte wie bei 65 % der FK. Wie Abb. 3 zeigt, ist es in erster Linie der Unterkrumenbereich, der bei „unbearbeitet“ von der verminderten Netto-Mineralisation betroffen ist. Bei der Bergung des Bodens aus den PVC-Röhren zwecks N-Analyse wurden in diesem Bereich praktisch bei allen Terminen schwach ausgebildete Reduktionszonen gefunden. Wie die pF-Kurve (Abb. 4) zeigt, liegt auch bezüglich der Porenverteilung im ungestörten Boden ein deutlicher Unterschied zwischen beiden Tiefen vor. Besonders die schnell dränenden, luftführenden Poren ( $pF < 1,8$ ) sind in der Unterkrume sehr stark reduziert:

Bei einem strukturlabilen Lößboden ist offensichtlich bereits im Frühjahr (Zeitpunkt der Probenahme: April!) der Unterkrumenbereich soweit abgesetzt, daß bei hoher Wassersättigung zwangsläufig mit Denitrifikation gerechnet werden muß. Besonders tiefere Krumen dürften hiervon betroffen sein (Richter, 1982).

Der Verlauf der Immobilisation zeigt – abgesehen vom 3. Termin – keinen Unterschied zwischen den zwei Wassergehaltsstufen bei der Differenz „Stroh eingearbeitet“ zu „bearbeitet“. Im Vergleich zu Abb. 2 liegt in der FK-Reihe eine gleichmäßigere



**Abbildung 4:** Wassergehalts-Saugspannungs-Charakteristik für Ober- und Unterkrume des Versuchsbodens

**Figure 4:** Water retentivity curve in upper and lower part of top soil of experimental soil



Einengung des C/N-Verhältnisses im Stroh vor. Aus den Daten (C/N) zum 4. und 5. Termin läßt sich ein geringfügig schnellerer Strohabbau unter den feuchteren Bedingungen ableiten. *Schröder* und *Gewehr* (1977) stellten anhand von Gefäßversuchen mit Böden aus Löß einen günstigeren Strohabbau bei 80 % Feldkapazität im Vergleich zu 60 % fest. Der vergleichsweise bessere Strohabbau im Brutversuch bei FK bringt aber keine schnellere Umkehr der Immobilisation mit sich.

## Literatur

- Bachthaler, G.* und *A. Wagner*, 1973: Ergebnisse langjähriger Vergleichsversuche Stroh-Gründüngung und Strohverbrennung unter verschiedenen Standortbedingungen. Bayer. landw. Jahrb. 50, 436–461
- Debruck, J.*, 1974: Die Veränderung von Faktoren der Bodenfruchtbarkeit durch langjährige Stroh-Gründüngung. Landwirtsch. Forsch. 30, II. Sonderh., 167–177
- Debruck, J.* und *E. v. Boguslavski*, 1976: Folgerungen aus langjährigen Versuchen nach Strohdüngung. Landwirtsch. Forsch. 33/I, 188–202
- Freytag, H.E.* und *H. Rausch*, 1981: Zeitliche Veränderung des löslichen Stickstoffs im Boden nach Zusatz verschiedener organischer Dünger im Feldmodellversuch ohne Bewuchs. Arch. Acker- und Pflanzenbau und Bodenk. 25, 445–450
- Graff, O.* und *Kühn, H.*, 1977: Einfluß des Regenwurms *Lumbricus terrestris* L. auf die Ertrags- und Nährstoffwirkung einer Strohdüngung. Landwirtsch. Forsch. 30, 86–93
- Harper, S.H.T.* und *J.M. Lynch*, 1981: The kinetics of straw decomposition in relation to its potential to produce the phytotoxin acetic acid. J. Soil Sci. 32, 627–637
- Kick, H.* und *H. Poletschny*, 1974: Erfahrung mit langjähriger, kontinuierlicher Strohdüngung. Landw. Forsch. 30, II, Sonderh., 146–152
- Lefèvre, G.*, *G. Hiroux* und *B. Yvart*, 1981: Effets des apports organiques et minéraux sur le comportement de l'azote dans le sol. Science du sol, No. 1, 31–54
- Myers, R.J.K.* und *E.A. Paul*, 1971: Plant uptake and immobilization of  $^{15}\text{N}$ -labelled ammonium nitrate in a field experiment with wheat Nitrogen-15 in Soil-Plant Studies, I.A.E.A., 55–64
- Nordmeyer, H.* und *J. Richter*, 1985: Incubation experiments on nitrogen mineralization in loess and sandy soils. Plant and Soil 83, 433–445
- Richter, J.*, 1982: Gefügeänderungen in intensiv genutzten Lößböden – ihre Erfassung, Tendenzen, Bedeutung. Mitteilg. Dtsch. Bodenkundl. Gesellsch., 34, 173–180
- Scherer, H.W.* und *K. Mengel*, 1981: Einfluß von Stroh und Nitrapyrin auf den verfügbaren Stickstoff im Boden, den Ertrag und den Stickstoffentzug von *Lolium perenne*. Z. Pflanzenernähr. Bodenk., 144, 254–262
- Scherer, H.W.* u. *K. Mengel*, 1983: Umsatz von  $^{15}\text{N}$  markiertem Nitratstickstoff im Boden in Abhängigkeit von Strohdüngung und Bodenfeuchte. Z. Pflanzenernähr. Bodenk., 146, 109–117
- Schröder, D.* u. *H. Gewehr*, 1977: Stroh- und Zelluloseabbau in verschiedenen Bodentypen. Z. Pflanzenernähr. Bodenk., 140, 273–284
- Stanford, G.* und *S.J. Smith*, 1972: Nitrogen mineralization potentials of soils. Proc Soil Sci. Soc. Amer. 36, 465–472
- Verona, O.*, 1971: Mikrobiologische Gesichtspunkte beim Einpflügen von Stroh in den Boden. Landwirtsch. Forsch., 24, 139–151
- Vilsmeier, K.* und *A. Amberger*, 1981: Modellversuche zur Mineralisation verschiedenen Pflanzenmaterials in Abhängigkeit von der Temperatur. Landwirtsch. Forsch. 34, 234–241

[P4389B]