

DB 4655 a

UB/TIB Hannover

Der Mineralstickstoffgehalt des Bodens
als Maßstab
für den Stickstoffdüngerbedarf

— Entwicklung und Überprüfung eines Verfahrens
zur N-Düngerbedarfsprognose am Beispiel von Winterweizen —

Von der Fakultät für Gartenbau und Landeskultur
der Technischen Universität Hannover
zur Erlangung des akademischen Grades eines

Doktors der Gartenbauwissenschaften
— Dr. rer. hort. —

genehmigte

DISSERTATION

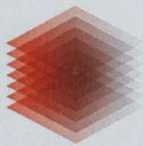
von

Dipl.-Ing. agr. Hans-Christof Scharpf
geboren am 29. 12. 1938 in Schwäbisch Hall

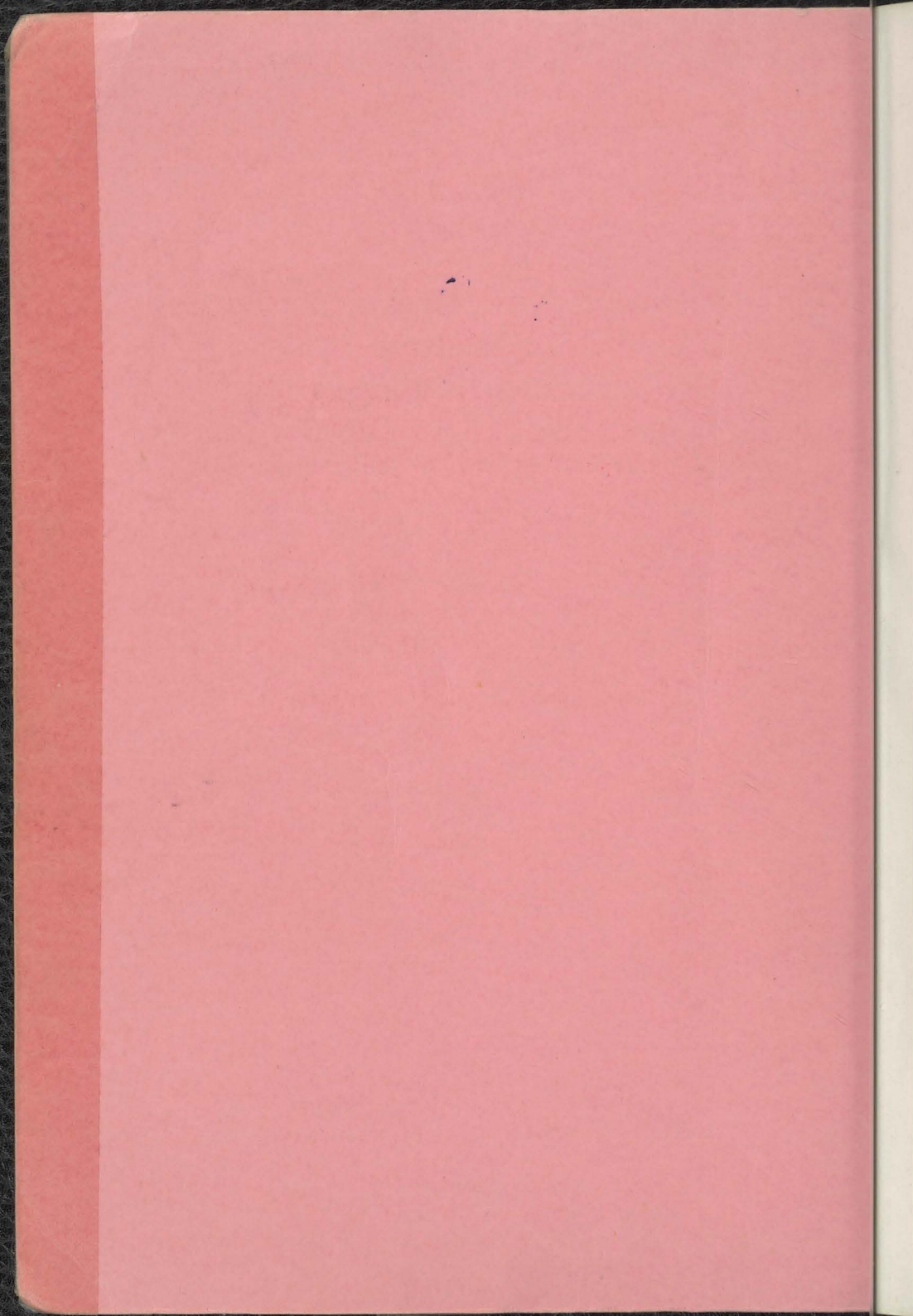
1977

x-rite

colorchecker CLASSIC



TIB LEIBNIZ-INFORMATIONSZENTRUM
TECHNIK UND NATURWISSENSCHAFTEN
UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK



**Der Mineralstickstoffgehalt des Bodens
als Maßstab
für den Stickstoffdüngerbedarf**

— Entwicklung und Überprüfung eines Verfahrens
zur N-Düngerbedarfsprognose am Beispiel von Winterweizen —

Von der Fakultät für Gartenbau und Landeskultur
der Technischen Universität Hannover
zur Erlangung des akademischen Grades eines

Doktors der Gartenbauwissenschaften
— Dr. rer. hort. —

genehmigte

DISSERTATION

von
Dipl.-Ing. agr. Hans-Christof Scharpf
geboren am 29. 12. 1938 in Schwäbisch Hall

1977

UB/TIB Hannover 89

111 050 693



DB 4655 a C

UNIVERSITÄTSBIBLIOTHEK
HANNOVER
TECHNISCHE
INFORMATIONSBIBLIOTHEK

Referent: Prof. Dr. J. Wehrmann

Korreferent: Prof. Dr. H. Krug

Tag der Promotion: 28.6.1977

1981 als Habil.-Schr. anerkannt

Berichterstatter: Prof. Dr. Jungk

Prof. Dr. Naumann

Prof. Dr. Marschner, Hohenheim

Prof. Dr. Fink, Kiel

Datum des Vollzugs: 19.5.1981

akt. unter GQ 159 a

INHALTSVERZEICHNIS

Seite:

1. EINFÜHRUNG	7
2. LITERATURÜBERSICHT	13
2.1 Der N_{\min} -Vorrat als Maß für den N-Düngerbedarf	14
2.2 Die Nutzung von Mineralstickstoff im Unterboden	19
3. MATERIAL UND METHODEN	22
3.1 Bodenuntersuchungsmethoden	22
3.1.1 Analytik	22
3.1.1.1 Nitrat	24
3.1.1.2 Ammonium	28
3.1.1.3 Nitrit	30
3.1.1.4 Gesamtstickstoff	30
3.1.1.5 Lagerungsdichte (Volumengewicht)	31
3.1.1.6 Wassergehalt	32
3.1.2 Probenahmetechnik	32
3.1.3 Probenbehandlung	37
3.2 Böden, Pflanzen, Düngungssystem	40
3.2.1 Böden	41
3.2.2 Pflanzen	41
3.2.3 N-Düngungssystem für Winterweizen im Versuchs- gebiet	42
3.3 Feldversuche und Erhebungsuntersuchungen	43
3.3.1 Versuche 1974	43
3.3.2 Versuche 1975	44
3.3.3 Versuche 1976	47
3.4 Statistische Verrechnung	49
4. ERGEBNISSE	50
4.1 Höhe, Verteilung und Zusammensetzung des N_{\min} -Vorrates des Bodens zu Vegetationsbeginn	50

4.1.1 Streubreite der N_{\min} -Vorräte des Bodens zu Vegetationsbeginn	50
4.1.1.1 Erhebungsuntersuchungen 1975	50
4.1.1.2 Erhebungsuntersuchungen 1976	53
4.1.2 Tiefenverteilung der N_{\min} -Vorräte	56
4.1.3 Zusammensetzung des N_{\min} -Vorrates	59
4.2 Veränderungen des N_{\min} -Vorrates des Bodens	61
4.2.1 Veränderungen des N_{\min} -Vorrates vor Vegetationsbeginn	61
4.2.2 Veränderungen des N_{\min} -Vorrates während der Vegetationsperiode	66
4.2.2.1 Abnahme der N_{\min} -Vorräte	67
4.2.2.2 Jahresunterschiede in der Abnahme der N_{\min} -Vorräte	70
4.2.2.3 Abnahme bei extrem hohen N_{\min} -Vorräten	74
4.2.2.4 Ursachen für die Abnahme der N_{\min} -Vorräte	75
4.2.3 Veränderungen des N_{\min} -Vorrates auf Bracheflächen	78
4.3 Der Einfluß des N_{\min} -Vorrates des Bodens auf Wachstum, N-Gehalt, N-Aufnahme und Ertrag von Winterweizen	84
4.3.1 Beziehung zwischen N_{\min} -Vorrat und Sproßmasse	85
4.3.2 Beziehung zwischen N_{\min} -Vorrat und N-Aufnahme bzw. N-Gehalt von Winterweizen	90
4.3.3 Beziehung zwischen N_{\min} -Vorrat und Kornertrag	96
4.3.4 Einfluß der untersuchten Bodenschicht und des Zeitpunktes der Bodenuntersuchung auf die Beziehung zwischen N_{\min} -Vorrat und Pflanzendaten	102
4.3.5 "Bilanz": N-Angebot - N-Entzug bei N_0 -Parzellen	106
4.4 Der N_{\min} -Vorrat des Bodens als Bemessungsgrundlage für die Frühjahrs-N-Düngung von Winterweizen	113
4.4.1 N-Düngungsversuche 1975	113

	Seite:
4.4.2 N-Düngungsversuche 1976	118
4.4.3 Düngungsberatung auf der Grundlage von N_{\min} - Bodenanalysen	123
4.4.4 Erprobung der praktischen Anwendung der Düngungs- beratung auf der Grundlage von N_{\min} -Bodenunter- suchungen	126
5. DIE N_{\min} -METHODE	136
6. DISKUSSION	143
7. ZUSAMMENFASSUNG	155
8. LITERATURVERZEICHNIS	159

4.4.2 N-Düngungsvorgänge 148

4.4.3 Bodenanalyse 149

4.4.4 Anwendung der praktischen Anwendung der Düngung 150

4.4.5 Bedeutung der Düngung 151

4.4.6 Bedeutung der Düngung 152

4.4.7 Bedeutung der Düngung 153

4.4.8 Bedeutung der Düngung 154

4.4.9 Bedeutung der Düngung 155

4.4.10 Bedeutung der Düngung 156

4.4.11 Bedeutung der Düngung 157

4.4.12 Bedeutung der Düngung 158

4.4.13 Bedeutung der Düngung 159

4.4.14 Bedeutung der Düngung 160

4.4.15 Bedeutung der Düngung 161

4.4.16 Bedeutung der Düngung 162

4.4.17 Bedeutung der Düngung 163

4.4.18 Bedeutung der Düngung 164

4.4.19 Bedeutung der Düngung 165

4.4.20 Bedeutung der Düngung 166

4.4.21 Bedeutung der Düngung 167

4.4.22 Bedeutung der Düngung 168

4.4.23 Bedeutung der Düngung 169

4.4.24 Bedeutung der Düngung 170

4.4.25 Bedeutung der Düngung 171

4.4.26 Bedeutung der Düngung 172

4.4.27 Bedeutung der Düngung 173

4.4.28 Bedeutung der Düngung 174

4.4.29 Bedeutung der Düngung 175

4.4.30 Bedeutung der Düngung 176

4.4.31 Bedeutung der Düngung 177

4.4.32 Bedeutung der Düngung 178

4.4.33 Bedeutung der Düngung 179

4.4.34 Bedeutung der Düngung 180

4.4.35 Bedeutung der Düngung 181

4.4.36 Bedeutung der Düngung 182

4.4.37 Bedeutung der Düngung 183

4.4.38 Bedeutung der Düngung 184

4.4.39 Bedeutung der Düngung 185

4.4.40 Bedeutung der Düngung 186

4.4.41 Bedeutung der Düngung 187

4.4.42 Bedeutung der Düngung 188

4.4.43 Bedeutung der Düngung 189

4.4.44 Bedeutung der Düngung 190

4.4.45 Bedeutung der Düngung 191

4.4.46 Bedeutung der Düngung 192

4.4.47 Bedeutung der Düngung 193

4.4.48 Bedeutung der Düngung 194

4.4.49 Bedeutung der Düngung 195

4.4.50 Bedeutung der Düngung 196

4.4.51 Bedeutung der Düngung 197

4.4.52 Bedeutung der Düngung 198

4.4.53 Bedeutung der Düngung 199

4.4.54 Bedeutung der Düngung 200

4.4.55 Bedeutung der Düngung 201

4.4.56 Bedeutung der Düngung 202

4.4.57 Bedeutung der Düngung 203

4.4.58 Bedeutung der Düngung 204

4.4.59 Bedeutung der Düngung 205

4.4.60 Bedeutung der Düngung 206

4.4.61 Bedeutung der Düngung 207

4.4.62 Bedeutung der Düngung 208

4.4.63 Bedeutung der Düngung 209

4.4.64 Bedeutung der Düngung 210

4.4.65 Bedeutung der Düngung 211

4.4.66 Bedeutung der Düngung 212

4.4.67 Bedeutung der Düngung 213

4.4.68 Bedeutung der Düngung 214

4.4.69 Bedeutung der Düngung 215

4.4.70 Bedeutung der Düngung 216

4.4.71 Bedeutung der Düngung 217

4.4.72 Bedeutung der Düngung 218

4.4.73 Bedeutung der Düngung 219

4.4.74 Bedeutung der Düngung 220

4.4.75 Bedeutung der Düngung 221

4.4.76 Bedeutung der Düngung 222

4.4.77 Bedeutung der Düngung 223

4.4.78 Bedeutung der Düngung 224

4.4.79 Bedeutung der Düngung 225

4.4.80 Bedeutung der Düngung 226

4.4.81 Bedeutung der Düngung 227

4.4.82 Bedeutung der Düngung 228

4.4.83 Bedeutung der Düngung 229

4.4.84 Bedeutung der Düngung 230

4.4.85 Bedeutung der Düngung 231

4.4.86 Bedeutung der Düngung 232

4.4.87 Bedeutung der Düngung 233

4.4.88 Bedeutung der Düngung 234

4.4.89 Bedeutung der Düngung 235

4.4.90 Bedeutung der Düngung 236

4.4.91 Bedeutung der Düngung 237

4.4.92 Bedeutung der Düngung 238

4.4.93 Bedeutung der Düngung 239

4.4.94 Bedeutung der Düngung 240

4.4.95 Bedeutung der Düngung 241

4.4.96 Bedeutung der Düngung 242

4.4.97 Bedeutung der Düngung 243

4.4.98 Bedeutung der Düngung 244

4.4.99 Bedeutung der Düngung 245

4.4.100 Bedeutung der Düngung 246

DER MINERALSTICKSTOFFGEHALT DES BODENS ALS MASSTAB
FÜR DEN STICKSTOFFDÜNGERBEDARF

- Entwicklung und Überprüfung eines Verfahrens zur
N-Düngerbedarfsprognose am Beispiel von Winterweizen

1. EINFÜHRUNG

"Da praktisch alle Mineralböden mit Stickstoff gedüngt werden müssen, damit mittlere und hohe Erträge erzielt werden, ist das Interesse, Methoden zur Bestimmung der Stickstoffbedürftigkeit der Böden zu entwickeln, immer gering gewesen ... "

Mit diesem Satz beginnt RAUTERBERG (1966) den insgesamt nur 10 Zeilen umfassenden Abschnitt "Die Bestimmung der Stickstoffbedürftigkeit" im Handbuch der Pflanzenernährung und Düngung.

Es ist fraglich, ob die im einleitenden Satz genannte Annahme vor ca. 10 Jahren zutreffend war.

Mit Sicherheit läßt sich das heute verneinen, denn:

- Landwirtschaft und Gartenbau stehen vor der Notwendigkeit, nicht "mittlere und hohe", sondern höchste Erträge zu produzieren.
- Der Optimalbereich der Versorgung mit Stickstoff ist im Gegensatz zu den meisten übrigen Nährelementen sehr eng. Schon geringfügiger N-Mangel führt zu Mindererträgen. N-Überschuß kann zu Ertragseinbußen oder Qualitätsminderungen am Ernteprodukt führen, z.B. Lager bei Getreide oder Rückgang des Zuckergehaltes und Erhöhung des "schädlichen Stickstoffs" bei Zuckerrüben.
- Die Preise für Stickstoffdüngemittel steigen wegen der Abhängigkeit von Rohöl und Energie langfristig an.
- Langjährig relativ hohe N-Düngergaben und eine Reihe von verhältnismäßig niederschlagsarmen Jahren haben

dazu geführt, daß in speicherfähigen Böden zum Teil hohe Restmengen an Mineral-N angehäuft wurden, die bei der Ernährung der Folgekulturen mitwirken.

Trotz der sicher noch zunehmenden Notwendigkeit, die N-Düngung genau zu dosieren, d.h. sie dem bodenbürtigen Mineral-N anzupassen, wird in der Bundesrepublik Deutschland bis heute hierfür keine Bodenuntersuchungsmethode angewandt. Nach wie vor sind Landwirt und Gärtner sowie deren Berater darauf angewiesen, die für die Düngung entscheidende Menge an bodenbürtigem Mineralstickstoff, das N-Angebot des Bodens jeweils zu schätzen. Da diese N-Menge von vielen Faktoren wie Klima, Witterung, Bodeneigenschaften und Bewirtschaftungsmaßnahmen abhängt (s. Abb. 1), unterliegt sie großen Schwankungen.

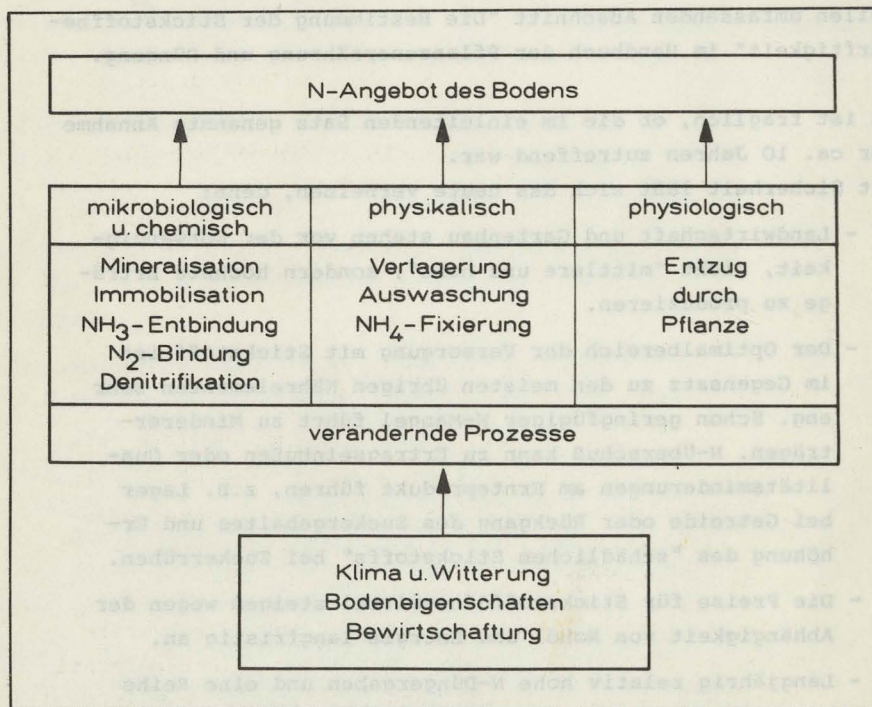


Abb. 1: Faktoren des N-Angebotes des Bodens

Die bei der Veränderung des Mineralstickstoffgehaltes des Bodens oft gleichzeitig ablaufenden Prozesse wie Mineralisation, Immobilisation, Denitrifikation, Verlagerung, Auswaschung u.a. häufen Mineralstickstoff im Boden an, führen zu Verlusten oder heben sich in der Wirkung gegenseitig auf.

Für die Erfassung der Einflüsse von Witterung, Bodeneigenschaften und Bewirtschaftung stehen eine Reihe von Methoden zur Verfügung (Zu- und Abschlagstabellen, Stickstoffbilanzen, Bodenwasserbilanzen, Simulationsmodelle, statistische Rechenverfahren u.a.). Trotzdem verbleibt für den Einzelfall eine hohe Unsicherheit bei der Schätzung und damit bei der Dosierung der N-Düngung. Dies gilt insbesondere dann, wenn die Düngung zu Vegetationsbeginn ausgebracht werden muß und deshalb noch keine Orientierung am Bestandeswachstum möglich ist.

Es ist kaum verständlich, warum sich die landwirtschaftliche Forschung und die landwirtschaftlichen Untersuchungsanstalten seit Jahrzehnten sehr intensiv mit der Bodenuntersuchung zur Bestimmung des Bedarfs an Kalium, Phosphorsäure, Kalk u.a. befassen, der Ermittlung des Bedarfs an N-Dünger durch eine Bodenanalyse jedoch nur geringe Aufmerksamkeit gewidmet haben.

Naheliegende Gründe können sein:

- Ca. 95 - 98 % des gesamten Boden-N sind organisch gebunden und damit nicht direkt pflanzenverfügbar.
- Die Bestimmung des leicht mineralisierbaren N, d.h. des Mineralisationspotentials eines Bodens, befriedigt bisher nicht. Außerdem ist die Mineralisationsrate unter anderem witterungsabhängig und damit nicht exakt vorher-sagbar.
- Der in der Krume vorhandene Mineral-N unterliegt starken und raschen Veränderungen, vor allem in Abhängigkeit von der Witterung. Seine Messung ist deshalb jeweils nur eine "Momentaufnahme".

- Die Beschränkung der Bodenuntersuchung auf den Oberboden (Krume), die bei langsam beweglichen Nährstoffen wie Kali und Phosphat zulässig erscheint, wurde dem leicht beweglichen Nitrat nicht gerecht.

Insbesondere der letztgenannte Grund scheint ein Hindernis für die Entwicklung von Methoden zur Ermittlung des N-Düngerbedarfs zu sein. Zur Lösung dieses Problems werden der vorliegenden Arbeit folgende Hypothesen zugrunde gelegt:

1. Das Mineralstickstoffangebot des Boden besteht aus zwei Komponenten, nämlich dem Mineralstickstoffvorrat (N_{\min} -Vorrat)¹⁾, der zu Vegetationsbeginn, zur Saatzeit oder zu einem bestimmten Düngungstermin im Boden vorhanden ist, und dem aus der Nachlieferung während der Vegetationszeit stammenden Mineralstickstoff.

N-Angebot des Bodens	
N_{\min} -Vorrat zu Vegetationsbeginn in nutzbarer Bodenschicht (messen)	N-Nachlieferung von Vegetationsbeginn bis Ernte (schätzen)

- 1) Der Begriff N_{\min} -Vorrat bezeichnet im Gegensatz zu "residual nitrogen" oder "initial nitrogen" eine N_{\min} -Menge die genutzt werden kann. Er darf streng genommen erst gebraucht werden, wenn diese Nutzungsmöglichkeit zu erwarten oder gesichert ist. Zur Vereinfachung wird jedoch die N_{\min} -Menge, die zu Vegetationsbeginn in der durchwurzelbaren Bodenschicht enthalten ist in dieser Arbeit grundsätzlich als N_{\min} -Vorrat bezeichnet.

2. Der N_{\min} -Vorrat kann im gesamten von der Wurzel erreichbaren Bodenraum vorliegen, er wird in diesem Bereich von der Pflanze aufgenommen.
3. Die N_{\min} -Vorräte der Böden unterscheiden sich so wesentlich, daß sie bei der N-Düngung berücksichtigt werden müssen.
4. Die N_{\min} -Vorräte können gemessen werden. Ihre Kenntnis vermindert die Unsicherheit bei der bisher üblichen Schätzung der N-Anlieferung des Bodens. Der Fehler wird erheblich kleiner, wenn nur noch die zweite Komponente des N-Angebotes, nämlich die von Vegetationsbeginn bis Ernte nachgelieferte N-Menge, geschätzt werden muß.

Diesen Hypothesen liegt die Überlegung zugrunde, daß der N_{\min} -Vorrat zu Vegetationsbeginn schon das Ergebnis eines wesentlichen Anteils der Prozesse ist, die das Mineral-N-Angebot des Bodens und damit die N-Düngebedürftigkeit beeinflussen.

Im N_{\min} -Vorrat zeigen sich die Auswirkungen von Bewirtschaftungsmaßnahmen wie Fruchtfolge, Vorfrucht, organischer Düngung, mineralischer N-Düngung, Bodeneigenschaften wie Speicherfähigkeit für Wasser, Durchlüftung, pH-Wert, C-Gehalt, N-Gehalt und Witterungsverlauf bis zum Meßtermin (Temperatur, Niederschläge, Evapotranspiration) also der Einflußfaktoren, die üblicherweise zur Schätzung der N-Anlieferung des Bodens herangezogen werden.

Unter der Voraussetzung, daß sich die aufgestellten Hypothesen bestätigen, was aufgrund des Literaturstudiums wahrscheinlich war, sollten Wege gesucht werden, die Messung des N_{\min} -Vorrates bei Winterweizen praktisch nutzbar zu machen.

An methodischen Fragen waren zu klären:

- Welche Probenahmetechnik soll angewandt werden?
- Welche Bodentiefe muß berücksichtigt werden?
- Wie werden die Bodenproben vor der Analyse behandelt?

- Welche Analysemethoden eignen sich für große Serien und sind hinreichend genau bzw. empfindlich?
- Können unter den Bedingungen der praktischen Landwirtschaft Bodenuntersuchungen auf N_{\min} durchgeführt werden?

Für den Einsatz einer N_{\min} -Bestimmung als Grundlage der Düngernachfrageermittlung war weiterhin zu klären:

- Wie unterscheiden sich verschiedene Standorte im N_{\min} -Vorrat?
- Welchen Einfluß übt der N_{\min} -Vorrat auf Wachstum, Ertrag und N-Entzug von Winterweizen aus?
- Welche Beziehung besteht zwischen dem N_{\min} -Vorrat und dem N-Düngerbedarf von Winterweizen?

Unter der Voraussetzung, daß sich die aufgestellten Hypothesen bestätigen, was aufgrund des Literaturstudiums wahrscheinlich war, sollten Wege gesucht werden, die Messung des N_{\min} -Vorrats bei Winterweizen praktisch nutzbar zu machen. Ein Hinweis auf die Tatsache, daß die "empirische" Methode zur Ermittlung des N_{\min} -Vorrats zu ungenügender Genauigkeit führt, ist auch schon in der Literatur zu finden. Welche Vorgehensweise bei der Ermittlung des N_{\min} -Vorrats zu wählen ist, hängt von den Umständen ab. Welche Methoden zur Bestimmung des N_{\min} -Vorrats geeignet sind, ist ebenfalls von den Umständen abhängig. Die Analyse der Bodenproben ist ein wichtiger Bestandteil der Ermittlung des N_{\min} -Vorrats.

2. LITERATURÜBERSICHT

In einem Sammelreferat, das die Literatur von 1900 bis 1970 berücksichtigt, haben DAHNKE und VASEY (1973) die Ergebnisse von Bodenuntersuchungsmethoden zur Bestimmung des verfügbaren Stickstoffs zusammengestellt und hinsichtlich des Erfolges, den Stickstoffdüngerbedarf vorherzusagen, ausgewertet.

In 28 von 33 Untersuchungen wird der N_{\min} -Vorrat des Bodens (initial NO_3-N) als geeignet bezeichnet, den N-Düngerbedarf vorherzusagen. Der Gesamtstickstoffgehalt des Bodens (ähnlich häufig zitiert wie Nitrat-N) wird nur in ungefähr der Hälfte der Untersuchungen für die Düngerbedarfsermittlung als geeignet bezeichnet.

Alle anderen Wege zur Messung des verfügbaren Stickstoffs wie Bestimmung von NH_4-N , organischer Substanz, Extraktion von N mit Kaliumpermanganat, verdünnter Schwefelsäure, Calciumhydroxid, Bariumhydroxid, Natriumbikarbonat, Natriumpyrophosphat, Salzsäure, Kaliumchlorid, heißem Wasser, heißem Calciumchlorid und Kaliumsulfat wurden weniger häufig untersucht und zeigten mit Ausnahme der Bikarbonatextraktion einen niedrigeren Anteil positiver Ergebnisse.

Zwar liegen eine Reihe von Ergebnissen mit der Bestimmung von Nitrat-N als Maß für den N-Düngebedarf schon aus der Zeit zwischen 1900 und 1925 vor, doch konnte sich diese Arbeitsrichtung damals offensichtlich nicht durchsetzen. Erst in den vergangenen 20 Jahren, vor allem jedoch in allerjüngster Zeit, wurden Arbeiten mit ähnlicher Fragestellung an vielen Stellen unternommen.

Die Aufmerksamkeit wurde über Umwege auf den Mineralstickstoff des Bodens gelenkt. LEHR und VEEN (1952) fanden, daß zwischen der Winterwitterung, genauer den Niederschlägen von November

bis Februar und dem Ertrag von Roggen eine negative Korrelation besteht. Dieser Anstoß wurde von VAN DER PAUW (1958, 1962a, 1962b, 1966) und HARMSSEN (1961) aufgegriffen. Sie stellten fest, daß die Wirkung der Winterniederschläge mindestens zu einem Teil dem niederschlagsabhängigen Vorrat an Mineralstickstoff zuzuschreiben ist, der im Boden unterhalb der Krume "überwintern" kann (HARMSSEN).

Dies führte zu Empfehlungen zur Anpassung der N-Düngung an den Witterungsverlauf. HANUS (1968) entwickelte darauf aufbauend ein Verfahren zur frühzeitigen Ertragsprognose und einer daraus folgenden N-Düngerberatung (HANUS 1973, 1976).

2.1 Der N_{\min} -Vorrat als Maß für den N-Düngerbedarf

Empfehlungen für die Stickstoffdüngung aufgrund von Witterungsdaten werden naturgemäß nicht standortspezifisch, sondern für größere Regionen durchgeführt. Dies bedeutet, daß für den Einzelfall weiterhin Unsicherheit über den tatsächlichen N-Bedarf bestehen kann, zumal die ebenfalls wirksamen Bodeneigenschaften und Bewirtschaftungsmaßnahmen damit nicht berücksichtigt werden.

Es liegt daher nahe, das Ergebnis der Winterwitterung und der übrigen Faktoren (Bodeneigenschaften und Bewirtschaftungsmaßnahmen) mit Hilfe einer Bodenanalyse auf Mineralstickstoff auf dem einzelnen zu düngenden Schlag festzustellen. Solche Untersuchungen wurden in neuester Zeit in verschiedenen Ländern vermehrt vorgenommen. Sie haben dort zum Teil zu Verfahren geführt, die für die Düngerberatung eingesetzt werden.

Vorweg muß allerdings die für das jeweilige Klimagebiet, die Bodenart und die angebaute Kultur optimale Tiefe der Probenahme bestimmt werden. In den meisten Fällen geschieht dies dadurch,

daß in Erhebungsuntersuchungen die engste Korrelation zwischen den N_{\min} -Vorräten verschieden mächtiger Bodenschichten und den Erträgen von N_0 -Parzellen gesucht wird.

NOMMIK (1966) stellte in Versuchen, die 1956 begonnen wurden, auf schweren Tonböden in Zentralschweden fest, daß Sommergetreidearten Mineralstickstoff aus einem 1 m mächtigen Bodenprofil aufzunehmen vermögen. Er fand einen deutlichen Zusammenhang zwischen dem N_{\min} -Vorrat zur Saatzeit, der N-Aufnahme und dem Ertrag von Hafer und Gerste. In Abhängigkeit von der N-Düngung der Vorjahre waren zur Saatzeit zwischen 34 und 247 kg Mineralstickstoff im Bodenprofil vorhanden. Der Autor weist darauf hin, daß dieser bei der Abschätzung des N-Düngerbedarfs von Sommergetreide berücksichtigt werden müsse.

SOPER und HUANG (1962) veröffentlichten als Ergebnis aus neun Düngungsversuchen in Manitoba einen Korrelationskoeffizienten von $r = 0,95$ zwischen dem Nitrat-N-Gehalt in 0 - 120 cm Bodentiefe zur Saatzeit und dem Relativertrag (Höchstertag = 100) von Sommergerste auf N_0 -Parzellen. Diese Beziehung war deutlich enger als bei Verwendung anderer zum Vergleich untersuchter Bodendaten wie organische Substanz, permanganatoxidierbarer Stickstoff (KREIGE u. MERKLE, zit in SOPER u. HUANG 1962), potentiell verfügbarer Stickstoff (PURVIS und LEO 1961), und Nitrifikationspotential (COOK et. al. zit. in SOPER und HUANG 1962). Beim Ährenschieben hatten die Nitratgehalte, auch die des Unterbodens, deutlich abgenommen, was mit der Aufnahme durch die Pflanzen erklärt wird. Die Autoren weisen darauf hin, daß die enge Korrelation zwischen dem Nitrat-N-Gehalt des Bodens und dem Ertrag nur noch wenig Spielraum für die Wirkung anderer N-Fractionen oder der N-Nachlieferung läßt, es sei denn diese korrelierten mit dem Nitratgehalt.

In weiteren Arbeiten dieser Gruppe wird die Düngerbedarfsermittlung mit Hilfe der Messung von Nitrat in 0 - 61 cm Tiefe als praktikabel dargestellt (SOPER, RACZ und FEHR 1970). Sie wird

in Kanada¹⁾ für Weizen, Hafer, Gerste, Triticale, Mais, Sonnenblumen, Kartoffeln, Zuckerrüben, Raps, Erbsen, Senf, Buchweizen, Flachs und Futterpflanzen angeboten und durchgeführt (FEHR 1973).

In Holland wurde von BORST und MULDER (1971) die Bodenuntersuchung auf mineralischen Stickstoff zu Vegetationsbeginn (ca. 1. März) in 0 - 100 cm Bodentiefe als brauchbares Maß zur Ermittlung des Stickstoffdüngerbedarfs von Winterweizen bezeichnet. Diesem Ergebnis lagen mehrjährige Düngungsversuche auf Böden mit unterschiedlichem N_{\min} -Vorrat zugrunde. Die N-Versorgung von Winterweizen war dann optimal, wenn der N_{\min} -Vorrat zu Vegetationsbeginn durch die Düngung - in geteilten Gaben - auf ca. 200 kg/ha aufgefüllt wurde. Nur für den Fall einer vorausgehenden Gründüngung lag der anzustrebende "Sollwert" niedriger.

Der holländische Beratungsdienst, Consulentenschap voor bodemaangelegenheden in de landbouw, und die Bodenuntersuchungsanstalt in Oosterbeek (Bedrijfslaboratorium voor grond-en-gewas-onderzoek) benutzen diese Ergebnisse für die N-Düngerberatung (BAKKER 1974, 1977).

RIS (1974, 1975, 1976) zeigte die Abhängigkeit des Ertrages und des N-Düngerbedarfes von Kartoffeln und Zuckerrüben vom N_{\min} -Vorrat des Bodens in 0 - 60 cm Tiefe. Da jedoch noch nicht die gesamte mögliche Streubreite der N_{\min} -Vorräte untersucht ist, und da der Einfluß organischer Düngung noch nicht bekannt ist, wird der Landwirtschaft vorläufig noch nicht empfohlen, die Kartoffel- und Zuckerrübenschläge generell auf den N_{\min} -Vorrat in 0 - 60 cm Tiefe untersuchen zu lassen (BAKKER 1976).

1) nach HOFFMANN (1977) allerdings in erster Linie in den Trockengebieten.

Aus Nebraska, USA, berichten HERRON et al. (1968), daß der Maisertrag ungedüngter Parzellen eng mit dem Nitratgehalt des Bodens zu Vegetationsbeginn in 0 - 180 cm Tiefe korreliert war. Die Korrelationen waren allerdings schwach, wenn mehrere Jahre und viele Standorte verrechnet wurden, was auf ein von Jahr zu Jahr unterschiedliches Ertragsniveau zurückgeführt wird.

JAMES et al. (1968) stellten in Central Washington eine Beziehung zwischen dem Nitratgehalt aus der Bodentiefe von 0 - 150 cm und dem Ertrag von Zuckerrüben fest.

REUSS und RAO (1971) fanden in der gleichen Zeit in Colorado auf 60 Standorten Unterschiede im N_{\min} -Vorrat in 0 - 150 cm Tiefe zwischen ca. 60 und 220 kg/ha und eine Beziehung zum Zuckerrübenenertrag von ungedüngten Parzellen mit einem Korrelationskoeffizienten von $r = 0,8$. Für die Düngungsberatung empfehlen die Autoren, vom N-Bedarf des erwarteten Ertrages den Nitrat-N-Vorrat der Bodenschicht 0 bis 150 cm abzuziehen. Da eine enge Beziehung zwischen dem Nitratgehalt geringerer Schichtstärken und dem ganzen nutzbaren Profil besteht, kann die Bodenprobe auch aus geringeren Schichttiefen entnommen und der Meßwert entsprechend umgerechnet werden.

GILES (1974), der 1972 und 73 in Colorado zusammen 33 Düngungsversuche mit den erforderlichen Bodenanalysen durchführte, bestätigte die oben genannten Ergebnisse. Der höchste Zuckerertrag wurde in diesen Versuchen erzielt, wenn die NO_3 -N-Menge des Bodens (0 - 120 cm Tiefe) im Frühjahr (15.2. bis 30.3.) zwischen 125 und 140 kg/ha betrug. Eine Stickstoffdüngung brachte keinen Erfolg, wenn diese Menge schon als N_{\min} -Vorrat im Boden enthalten war.

CARTER et al. (1974, 1975) bezeichnen nach eigenen Untersuchungen Nitrat-N in 0 - 60 cm Bodentiefe als brauchbaren Indi-

kator für den N-Düngerbedarf. Sie schlagen jedoch vor, zusätzlich das Mineralisationspotential einzubeziehen, da dieses nur bei einheitlicher Bewirtschaftung zeitlich hinreichend konstant sei.

In der DDR wurden 1967 Arbeiten begonnen, die sich mit den vorfruchtbedingten Unterschieden in der Stickstoffversorgung des Getreides befaßten (STUMPE und GARZ 1974). Auch hier wurden deutliche Beziehungen zwischen dem anorganischen Stickstoff im Boden vor Vegetationsbeginn und dem Kornertrag, dem N-Entzug und dem N-Düngerbedarf von Sommergerste gefunden. Umfangreiche Düngungsversuche an Wintergetreide seit 1972 (MÜLLER et al. 1976) zeigten, daß die Berücksichtigung des N_{\min} -Vorrates zu Vegetationsbeginn in 0 - 60 cm Tiefe im Vergleich zu der sonst üblichen EDV-Düngungsempfehlung (ANSORGE et al. 1971) zu einer Verbesserung der Prognose der Frühjahrsdüngung führt.

Für das Gebiet um Châlons sur Marne, Frankreich, veröffentlichte MULLER (1973, 1974) die Formel:

$$\begin{aligned} & \text{Stickstoffdüngung des Wintergetreides (kg/ha)} \\ & = 180 - N_{\min} \text{-Vorrat zum Ende des Winters (kg/ha)}. \end{aligned}$$

Die Böden werden dort 60 cm tief untersucht.

Zuvor hatten DUTIL und BALLIF (1971) einen "Sollwert" von 170 kg N/ha - allerdings bei Berücksichtigung einer nur 40 cm mächtigen Bodenschicht ermittelt .

Aus orientierenden Untersuchungen von BRUMMER und AURA (1974) in Finnland geht hervor, daß sich der Mineralstickstoff des Bodens in gleicher Weise auf den Ertrag und die Qualität von Zuckerrüben auswirkt wie Düngerstickstoff. Die besten Produktionsergebnisse wurden erzielt, wenn im Oberboden Anfang Juli 150 bis 180 kg Mineral-N vorhanden waren.

Aus der Bundesrepublik Deutschland liegen bisher keine reprä-

sentativen Untersuchungen über die Bedeutung des Mineralstickstoffvorrates der gesamten von den Wurzeln nutzbaren Bodenschicht vor, sind jedoch jetzt an verschiedenen Stellen u.a. auch von Seiten der Zuckerfabriken im Gange (MÜLLER und WINNER 1977, GUTSER und TEICHER 1977).

BRAUN (1972, 1974a, 1974b) und BRAUN und FISCHBECK (1973) fanden zwar zwischen dem Nitratgehalt (0 - 20 cm Bodentiefe) unbewachsener und ungedüngter Parzellen im April und dem Kornertrag von Weizen eine Beziehung. Bei diesem Verfahren handelt es sich jedoch nicht um eine N_{\min} -Vorratsbestimmung im eigentlichen Sinne, da hierfür die untersuchte Bodentiefe nicht ausreicht, sondern eher um die Messung des Mineralisierungspotentials.

2.2 Die Nutzung von Mineralstickstoff im Unterboden

In den Arbeiten, die die Messung des Mineralstickstoffvorrates des Bodens zur Ermittlung des N-Düngerbedarfs behandeln, wird als selbstverständlich oder als erwiesen vorausgesetzt, daß mineralischer Stickstoff - hauptsächlich Nitrat - im Unterboden von den Pflanzen genutzt werden kann.

Für diese Annahme spricht zunächst die Tatsache, daß die Wurzeln der meisten Kulturpflanzen mehr oder weniger tief in den Unterboden reichen und aus größeren Tiefen Wasser entnehmen können (KMOCH et al. 1957, RENGGER, STREBEL u. GIESEL 1974, STREBEL, RENGGER u. GIESEL 1975). Zudem ist auch die Aufnahme von Nährstoffen aus dem Unterboden häufig nachgewiesen. FOX und LIPPS (1960) z.B. fanden mit Hilfe von P^{32} , daß bei Luzerne 62 % des aufgenommenen Phosphates aus Tiefen unterhalb 2 Meter stammte, wenn der darüberliegende Boden trocken gehalten wurde.

WIERSUM (1967) untersuchte die Unterbodennutzung durch Sommer-

weizen, Puffbohnen, Schnittkohl (*Snijmoes*, *Brassica napus* var. *pabularia*) und Kartoffeln, indem er Wurzeln durch Plastikröhren führte und dann in verschiedenen Tiefen in den Boden austreten ließ. Er stellte fest, daß jede Wurzel im Unterboden als potentielle Aufnahmeeinheit für Nährstoffe angesehen werden muß, deren Aktivität aber von den jeweiligen Bedingungen (Nährstoffkonzentration, Wasser- und Sauerstoffgehalt von Ober- und Unterboden u.a.) abhängig sei.

Für die Aufnahme von Mineralstickstoff aus dem Unterboden spricht weiterhin die Beobachtung, daß die oft überraschend engen Korrelationen zwischen N_{\min} -Vorrat und Ertrag auf N_0 -Parzellen erst erreicht werden, wenn auch Bodenschichten weit unterhalb der Krume berücksichtigt werden (STUMPE u. GARZ 1974, SOPER, RACZ u. FEHR 1970).

Darüberhinaus wird die Abnahme des N_{\min} -Vorrates im Verlaufe der Vegetation (HARMSSEN (1961), SOPER u. HUANG (1962), NOMMIK (1966), FOX u. KACAR (1970), GUIOT (1973), WINNER et al. (1976), GUTSER u. TEICHER (1976)) als Effekt pflanzlicher N-Aufnahme gedeutet.

Diese Deutung ist indessen nicht unwidersprochen. MEYER (1974), MBA-CHIBOGU, MEYER u. NARAIN (1975) und CAPELLE (1976) schließen aufgrund von Bilanzuntersuchungen mit 15 N-Gaben auf eine Denitrifikation des unterhalb der Krume vorhandenen Nitrates, sobald die Bodentemperaturen in diesem Bereich über 15°C ansteigen (etwa ab Anfang Mai).

Die Autoren kommen zu dem Ergebnis, daß der N-Entzug von Sommerweizen auf die oberste 20 cm starke Bodenschicht beschränkt ist.

Nach MEYER (mündliche Mitteilung 1976) besteht keine kausale Beziehung zwischen dem N_{\min} -Vorrat des Bodens unterhalb der Krume und dem Ertrag bzw. N-Düngerbedarf. Seiner Ansicht nach

kann der Nitratstickstoff des Unterbodens nicht von den Pflanzen verwertet werden. Die Nitratvorräte zu Vegetationsbeginn seien Anzeiger für das Mineralisationspotential der Krume, das die tatsächliche Ursache für die genannten Beziehungen sei.

Dieser Interpretation stehen Versuchsergebnisse entgegen, nach welchen Nitratstickstoff, der in verschiedenen Tiefen in den Unterboden eingebracht wurde, in den Pflanzen wiedergefunden wird. Solche Arbeiten, die in den USA zum Teil mit ^{15}N markiertem Stickstoff durchgeführt wurden, zeigen, daß Futtergräser, Mais, Winterweizen und Zuckerrüben in tiefgründigen Lössböden Mineral-N aus Bodentiefen von 100 bis 180 cm aufnehmen können (HERRON et al. 1968, OGUS u. FOX 1970, GASS et al. 1971, ANDERSON et al. 1972, DAIGGER u. SANDER 1976). Dabei wird meist deutlich, daß der Stickstoff zu einem umso geringeren Prozentsatz aufgenommen wird, je tiefer er plaziert wird. Die Nutzung des Unterbodens ist allerdings dann besonders ausgeprägt, wenn die Krume keine großen N_{min} -Mengen enthält. Bezogen auf die Masse, sind die Wurzeln im Unterboden z.T. vielfach effektiver bezüglich der N-Aufnahme als die Wurzeln in der Krume.

Die Annahme, daß Nitrat aus dem Unterboden genutzt wird, erscheint nach diesen Ergebnissen gerechtfertigt, wenn die angebaute Pflanzenart, die Bodeneigenschaften und die klimatischen Gegebenheiten eine entsprechend tiefe Durchwurzelung des Bodens ermöglichen.

3. MATERIAL UND METHODEN

3.1 Bodenuntersuchungsmethoden

Um die gestellten Versuchsfragen (s. S. 11) bearbeiten zu können, mußten eine geeignete Probenahmetechnik (Geräte, Zahl der Einstiche je Mischprobe), die Probenbehandlung zwischen Entnahme und Analyse und Analysenmethoden gefunden und festgelegt werden. Da jeweils aufgrund von Analysenergebnissen über die sonstigen methodischen Fragen entschieden wurde, soll die Analytik vorweg dargestellt werden.

3.1.1 Analytik

Die geplanten Versuche erforderten eine große Zahl von Nitrat- und Ammoniumanalysen. Die Meßergebnisse sollten - umgerechnet in kg N/ha - auf ihre Brauchbarkeit für die Düngerbedarfsermittlung geprüft werden.

Die Analysenmethoden mußten demnach drei Bedingungen erfüllen:

- a) Eignung für größere Serien, d.h. möglichst geringer Arbeitsaufwand.
- b) Hohe Genauigkeit, d.h. untere Meßgrenze unter 5 kg N/ha in einer 20 cm tiefen Bodenschicht.
- c) Geringe Störanfälligkeit, wenig Fehlermöglichkeiten.

Zur Analyse kamen im allgemeinen feldfeuchte Bodenproben, die sich nach dem Sieben zum Teil nur sehr schwer homogenisieren ließen. Um die damit verbundene Fehlergefahr zu vermindern (s. Tab. 1) wurde die Bodeneinwaage von 10 - 20 g, wie sie bei trockenen Böden üblich ist, auf 150 g je Probe erhöht. Das Verhältnis Boden : Extraktionsmittel betrug 1 : 4. Nach GERLACH (1973) könnte Mineralstickstoff auch noch aus einem 1 : 2-Extrakt bestimmt werden. Eigene Vorversuche ergaben bei diesem Mischungs-

Tab. 1: Die Streuung des Nitratgehaltes in Abhängigkeit von der eingewogenen Menge feldfeuchten Bodens (kg NO₃-N/ha)

Wiederholung	eingewogene Bodenmenge (g)				
	10	20	50	100	150
a	31	30	38	37	34
b	30	36	33	35	35
c	35	43	36	36	36
d	37	34	37	33	35
\bar{x}	33,25	35,75	36,00	35,25	35,00
s	3,30	5,40	2,20	1,70	0,84
s %	9,9	15,1	6,1	4,8	2,4

verhältnis jedoch bei austauschbarem Ammonium niedrigere Meßwerte.

Als Extraktionslösung wurde zunächst die in Holland für N_{min}-Analysen übliche 1 N NaCl-Lösung verwendet (COTTE u. KAHANE 1946). Um die Filtrationsgeschwindigkeit zu erhöhen, wurde später 0,1 N CaCl₂ zugesetzt.

Andere Extraktionslösungen wie z.B. 0,025 N CaCl₂, KAl(SO₄)₂ (1 %) bzw. K₂SO₄ (1 %) führten bei Nitrat zu den gleichen Ergebnissen, bei Ammonium traten im niedrigen Konzentrationsbereich (unter 1 ppm) gelegentlich Unterschiede auf.

Werden Bodenextrakte nicht sofort verarbeitet, so kommt es früher oder später zu Trübungen, die das Meßergebnis beeinträchtigen. Verglichen mit den anderen Extraktionslösungen, blieben die Bodenextrakte in 1 N NaCl am längsten, d.h. 3 - 4 Tage klar. Deshalb wurde im weiteren Versuchsverlauf ausschließlich 1 N NaCl + 0,1 N CaCl₂ verwendet.

Für Arbeiten mit ionenspezifischen Nitratelektroden mußte wegen der Chloridempfindlichkeit auf $KAl(SO_4)_2$ (1 %) (DRESSEL 1975) bzw. eine Pufferlösung aus Aluminiumsulfat, Silbersulfat, Borsäure und Amidosulfonsäure (MILHAM et al. 1970) umgestellt werden.

3.1.1.1 Nitrat

Die Nitratbestimmung wurde überwiegend mit Hilfe der von der Fachgruppe Bodenuntersuchung der VDLUFA empfohlenen UV-Absorptionsmethode (nach NAVONE 1964) durchgeführt. Unter Berücksichtigung der auf S. 22 genannten Auswahlkriterien war diese Methode der Dampfdestillation (BREMNER u. KEENY 1964) (Arbeitsaufwand, Meßgrenze), der ionenselektiven Elektrode Orion Typ 93-07 (ORION-Research 1975) (Störanfälligkeit), der Brucinmethode (BARKER 1974) (Meßgrenze, Störanfälligkeit, Fehlermöglichkeiten) und der Chromotropsäuremethode nach MÖLLER (1972) (Meßgrenze, Störanfälligkeit) überlegen.

UV-Absorptionsmethode zur Bestimmung von Nitrat

Prinzip

Die Methode nutzt die Absorption des Nitrat-Ions bei 210 nm. Da jedoch eine Reihe anderer - vor allem organischer - Stoffe ebenfalls UV-Licht absorbieren, wird eine zweite Messung an einer Probe vorgenommen, deren Nitrat mit Hilfe von verkupferten Zinkgranalien in angesäuertem Medium reduziert wurde.

Reagenzien

- Schwefelsäure, p.a. 10 Vol. %

- verkupferte Zinkgranalien:

100 g Zink (Metall gekörnt) p.a. im Becherglas mit 50 ml aqua dest. und 5 ml verd. Schwefelsäure (10 Vol. %) versetzen und so lange rühren, bis das Zink eine saubere Oberfläche zeigt. Angesäuerte Flüssigkeit abgießen und 2 - 3 mal mit je 50 ml H_2O nachwaschen. Dann 50 ml Wasser und 25 ml

5 % $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ zugeben, umrühren evtl. unter Zugabe weiterer CuSO_4 -Lösung, bis die gesamte Oberfläche der Zinkgranalien mit einer schwarzen Kupferschicht bedeckt ist. Flüssigkeit abgießen und mit Wasser mehrmals nachwaschen. Zinkgranalien dann an der Luft trocknen.

Analysengang

150 g feldfeuchten Boden (gesiebt) in 1-l-Kunststoffschüttelflaschen (Weithalsschraubverschluß) einwiegen, mit 600 ml Extraktionslösung (1N NaCl + 0,1 N CaCl_2) versetzen und eine Stunde schütteln. Anschließend durch Faltenfilter (595 1/2 M + N) filtrieren, erste Filtratanteile verwerfen.

Je 25 ml des klaren Filtrates in zwei Reagenzgläser (Wiederholung) pipettieren (bei Konzentrationen über 3 ppm N mit Extraktionslösung verdünnen). Je 1 ml verdünnte H_2SO_4 zupipettieren und gründlich mischen. Die Temperatur soll 18 - 22° C betragen. Extinktion dieses Extraktes in 1-cm-Quarzküvetten bei 210 nm gegen reine Extraktionslösung messen.

Anschließend je 2 verkupferte Zinkgranalien in jedes Reagenzglas geben und mindestens 6 - 8 Stunden staubgeschützt, aber nicht verschlossen bei 18 - 22° C stehen lassen. Dann die 2. Messung der Lösungen, die jetzt kein Nitrat enthalten, gegen eine gleich behandelte Extraktionslösung vornehmen.

Eichkurve in gleicher Weise erstellen (der Meßbereich reicht bei einem Zeiss-Photometer PMQII von 0 - 3 ppm NO_3 -N bzw. von 0 - 75 μg NO_3 -N/25 ml; die Eichkurve ist im gesamten Bereich linear).

Nitratgehalte der Bodenextrakte aus der Differenz der Extinktionswerte vor und nach der Nitratreduktion mit Hilfe einer Eichkonstanten errechnen.

Besondere Hinweise

Da auch geringfügige Verschmutzungen der Quarzküvetten zu spürbaren Fehlern führen, müssen die Quarzküvetten vor der Benutzung gründlich gereinigt werden. Als Extink-

tionsabweichungen zwischen mehreren Küvetten wurden höchstens $\pm 0,002$ Skalenteile geduldet. Bei Absaugküvetten muß die Reinheit mit einer Kontrolllösung überprüft werden, spätestens wenn zwei Wiederholungen voneinander abweichen.

Um die mögliche Verschmutzung der Reagenzgläser als weitere Fehlerquelle auszuschließen, wurde abweichend von dem auf NAVONE zurückgehenden Methodenvorschlag der Fachgruppe Bodenuntersuchung des VDLUFA die nicht reduzierte und die reduzierte Lösung aus demselben Reagenzglas entnommen.

Die Extinktion von UV-Licht durch Nitrat-Ionen ist temperaturabhängig. Sie steigt unabhängig von der Nitratkonzentration um ca. 0,08 Skalenteile bei einer Temperaturerhöhung von 10 auf 30° C (Tab. 2).

Tab. 2: Einfluß der Temperatur auf die Extinktionswerte im UV-Bereich bei NO_3 -Bestimmung nach NAVONE

Temperatur ° C	oberer Meßbereich	unterer Meßbereich
10	0,900	0,090
	0,900	0,098
15	0,920	0,098
	0,920	0,103
20	0,940	0,118
	0,935	0,123
25	0,942	0,125
	0,950	0,132
30	0,980	0,172
	0,990	0,168

Dieser Anstieg bedeutet unter den gegebenen Verhältnissen 3 bis 4 kg N/ha bei 20 cm Bodentiefe oder 15 bis 20 kg N/ha bei 100 cm Bodentiefe. Es ist deshalb notwendig, bei einer annähernd gleichen Temperatur zu arbeiten oder die Meßwerte entsprechend zu korrigieren.

Die Wiederfindung von zugesetztem Nitrat wird bei Wasseranaly-

sen von NAVONE (1964) mit 93 % angegeben. Eigene Analysen erbrachten bei Zusatz zum Bodenextrakt meist deutlich bessere Ergebnisse (s. Tab. 3).

Tab. 3: Wiederfindung von zugesetztem $\text{NO}_3\text{-N}$

Boden	μ g/25 ml zugesetzte $\text{NO}_3\text{-N}$ -Menge	
	15	30
	wiedergefundene $\text{NO}_3\text{-N}$ -Menge (%)	
1	15,0 (100)	29,6 (99)
2	14,6 (97)	29,2 (97)
3	13,6 (91)	29,6 (99)
4	14,9 (99)	30,5 (102)
5	14,7 (98)	29,8 (99)
6	15,3 (102)	30,8 (103)
7	14,9 (99)	29,9 (100)
8	15,0 (100)	31,1 (104)
9	14,5 (97)	30,1 (100)
10	14,5 (97)	29,8 (99)

Die Bestimmungsgrenze läßt sich nach GOTTSCHALK (1962) folgendermaßen berechnen:

$$Bg = \sqrt{2} \cdot t_{99\%} \cdot s$$

Bg = Bestimmungsgrenze

$t_{99\%}$ = Tabellenwert Studententabelle bei 1 % Irrtumswahrscheinlichkeit

s = Standardabweichung $\sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$

Sie ergibt bei einer Standardabweichung von 0,0224 mg N/100 g Boden (ermittelt aus vier Wiederholungen) und einem t-Wert von 3,71 den Wert

$$0,118 \text{ mg N/100 g Boden}$$

oder bei einer Schichtstärke von 20 cm und einer Lagerungs-

dichte von 1,5

3,5 kg N/ha

oder bei einer Probenahme bis in 1 m Tiefe und der Aufteilung
in 5 Schichten zu 20 cm

17,5 kg N/ha.

3.1.1.2 Ammonium

Die Bestimmung von Ammonium erfolgte bei kleinen Probenzahlen mit der Wasserdampfdestillationsmethode (in Anlehnung an BREMNER und KEENY (1964)) und bei Serien mit mehr als 30 Proben mit der von der Fachgruppe Bodenuntersuchung des VDLUFA vorgeschlagenen Indophenolblaumethode (CROWTHER u. LARGE (1956), HOFFMANN u. TEICHER (1961)).

Die hinsichtlich des Arbeitsaufwandes besonders interessante Ammoniakelktrode (Orion-Typ 95-10) befriedigte bisher nicht, da Meßwerte im niedrigen Konzentrationsbereich (< 1 ppm $\text{NH}_4\text{-N}$) nicht immer reproduzierbar waren. Auf die Beschreibung der Wasserdampfdestillationsmethode wird verzichtet, da diese weit verbreitet angewandt wird. Ihre Meßgrenze lag bei den in unserem Institut verwendeten Geräten und Analysenmengen um 6 kg N/ha und 20 cm Bodenschicht also deutlich höher als bei der Nitratbestimmung.

Die Indophenolblaumethode

HOFFMANN und TEICHER (1961) griffen eine für größere Serien geeignete Modifikation der Indophenolblaumethode von CROWTHER und LARGE (1956) auf, bestätigten deren Brauchbarkeit für die NH_4 -Bestimmung in Bodenextrakten und paßten die Methode im nötigen Umfang an.

Die Ergebnisse von Wiederfindungsanalysen und die Vergleichbarkeit mit der als Standardmethode benutzten maßanalytischen NH_4 -Bestimmung nach Vacuumdestillation können als gut bezeichnet werden.

Prinzip

Ammoniak gibt mit unsubstituiertem Phenol in alkalischer Lösung nach Zusatz von Hypochlorit als Oxidationsmittel einen wasserlöslichen, saphirblauen Indophenol-Farbstoff, dessen Lichtabsorption bei 578 bzw. 623 nm gemessen wird.

Reagenzien

- a) alkoholische Phenollösung
62,5 g Phenol in wenig Äthanol lösen, 2 ml Methanol zusetzen, 18,5 ml Aceton zugeben und mit Alkohol auf 100 ml auffüllen. Im Kühlschrank aufbewahren.
- b) Natronlauge
27 g NaOH auf 100 ml H₂O lösen. Im Kühlschrank aufbewahren.
- c) Phenolat-Gebrauchslösung
Kurz vor Gebrauch mischt man je 20 ml Lösung a mit Lösung b und verdünnt mit destilliertem Wasser auf 100 ml.
- d) Natriumhypochloritlösung
Man bestimmt iodometrisch bei käuflicher Natriumhypochloritlösung den Gehalt an aktivem Chlor und verdünnt sie zum Gebrauch auf einen Gehalt von 0,9 %. Täglich frisch ansetzen!
- e) Eichlösungen von 0 - 100 µg NH₄-N/100 ml (0 - 1 ppm NH₄-N) mit (NH₄)₂SO₄ herstellen.

Analysengang

- 100 ml des klaren Bodenextraktes (s.S. 22) in 200 ml Erlenmeyerkolben pipettieren (bei Konzentrationen > 1 ppm entsprechend weniger und mit Extraktionslösung auf 100 ml ergänzen).
- Aus einer Bürette 8,0 ml der Phenolatlösung (c) zugeben, durch Umschwenken gut mischen.
- Aus einer zweiten Bürette 6,0 ml Natriumhypochloritlösung (d) zufügen und erneut mischen.

Da bei stark kalkhaltigen Extrakten nach dieser Färbung

Karbonatniederschläge ausfallen (Trübung), nach Ausbil-
dung der Färbung (ca. 1 bis 1,5 Std.) die Lösungen durch
Faltenfilter filtrieren.

- Anschließend Extinktion bei 578 oder 623 nm in 1 cm-Küvet-
ten gegen den O-Wert der Eichkurve messen.

Besondere Hinweise

Als Extraktionsmittel ist 1 % $\text{KAl}(\text{SO}_4)_2$ -Lösung entgegen den
Angaben im Methodenvorschlag der Fachgruppe Bodenuntersuchung
des VDLUFA nicht geeignet, da Trübungen auftreten, die sich
nicht abfiltrieren lassen.

Die Blaufärbung tritt in Eichlösungen in der von HOFFMANN und
TEICHER 1961 angegebenen Zeit von ca. 1 Stunde ein. Sie bleibt
30 - 45 Minuten stabil. In Bodenextrakten mit 1 N NaCl + 0,1 N
 CaCl_2 -Lösung war die höchste Farbintensität regelmäßig erst
ca. 30 Minuten später erreicht (s. Tab. 4), weshalb die Ex-
tinktionsmessung jeweils 1 Stunde nach Reagenzienzugabe durch-
geführt wurde.

Wegen der Temperaturabhängigkeit der Blaufärbung müssen die
Eichlösungen täglich neu hergestellt und gemessen wer-
den. Die Eichkurve verläuft zwischen 0 und 1 ppm NH_4 -N linear.

3.1.1.3 Nitrit

Stichprobenweise wurden die Bodenextrakte auf Nitrit-N unter-
sucht:

- 10 ml Bodenextrakt mit 2 ml Griess-Ilosvays-Reagenz
anfärben und nach einer Wartezeit von 45 Minuten bei
530 nm photometrisch den Nitritgehalt bestimmen
(Eichkurve in der gleichen Weise behandeln).

3.1.1.4 Gesamtstickstoff

Der Gesamt-N-Gehalt der Böden wurde nach Kjeldahlaufschluß
unter Einbeziehung von Nitrat-N (Reduktion mit Natriumthio-

sulfat) bestimmt (FIEDLER 1965).

Tab. 4: Farbstabilität einer Eichreihe im Vergleich zu Bodenextrakten bei Ammoniumbestimmung nach der Indophenolblaumethode

Minuten nach Mischung	Extinktionswerte bei 623 nm x 1000 Eichreihe ppm NH ₄ -N in Extraktionslösung									
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
45	32	71	107	141	178	198	241	271	307	330
75	32	76	114	146	187	207	252	285	322	350
90	30	77	114	148	187	208	253	287	321	352
105	33	73	113	147	188	207	255	284	322	352
120	29	72	112	148	189	212	253	284	323	352
	Bodenextrakt									
	1		2		3					
	a	b	a	b	a	b				
45	64	64	82	86	167	157				
75	79	78	107	110	210	190				
90	84	85	113	113	229	204				
105	88	88	117	112	237	209				
120	85	87	120	90	201	220				

3.1.1.5 Lagerungsdichte (Volumengewicht)

Zur Umrechnung der Analysenergebnisse von mg N/100 g Boden in kg N/ha wurde das Volumengewicht aus Literaturangaben entnommen und stichprobenweise an Stechzylinderproben ermittelt. Es ist zulässig, bei den untersuchten Böden aus LÖB mit einer mittleren Lagerungsdichte von 1,5 kg/l zu rechnen. In der Ackerkrume - insbesondere nach Bodenbearbeitungsmaßnahmen - wurden niedrigere Werte meist um 1,4, in Extremfällen (Feuchtschwarzerde) um 1,0 kg/l gemessen.

3.1.1.6 Wassergehalt

Da die Böden im feldfeuchten Zustand eingewogen wurden, war eine Wassergehaltsbestimmung erforderlich. Diese erfolgte in einer Paralleleinwaage von 100 g Boden nach Trocknung bei 105° C.

3.1.2 Probenahmetechnik

Zur Bearbeitung der gestellten Versuchsfragen mußten Proben aus der Bodenschicht 0 - 100 cm entnommen und in fünf Teilschichten zerlegt werden.

Neben der Auswahl eines für große Probenzahlen geeigneten Gerätes war die Anzahl der Einstiche sowie die Lage der Bohrstellen zu ermitteln, die zu einer für größere Flächen (z.T. mehrere Hektar) repräsentativen Bodenprobe führten.

Als Bohrgerät wurde zunächst der Bohrstock nach PÜRCKHAUER verwendet. Der damit verbundene hohe Arbeitsaufwand war Anlaß, das in Abb. 2 dargestellte fünfteilige Bohrgerät aus Holland (Fa. EIJKELKAMP, Lathum) zur stufenweisen Entnahme von Bodenproben zu übernehmen.

Bei trockenem Boden war die Stabilität dieses Gerätes allerdings unzureichend. Es wird inzwischen wesentlich verstärkt von der Fa. ŠTITZ, Ronnenberg (Hann.) hergestellt.

Da die fünf einzelnen Bohrstöcke (mit zunehmender Tiefe verjüngter Querschnitt) nacheinander in dasselbe Bohrloch getrieben werden, kann Oberbodenmaterial in das offene Bohrloch fallen. Somit besteht die Gefahr, daß dieses Material bei tieferen Schichten miterfaßt wird und zu Fehlern führt. Um solche Fehler zu vermeiden - sie sind bei N-reichem Oberboden z.B. nach einer N-Düngung besonders groß - müssen jeweils die oberen 2 - 3 cm

Bodenmaterial aus den 20 cm langen Bohrkernen verworfen werden (Abb. 3).

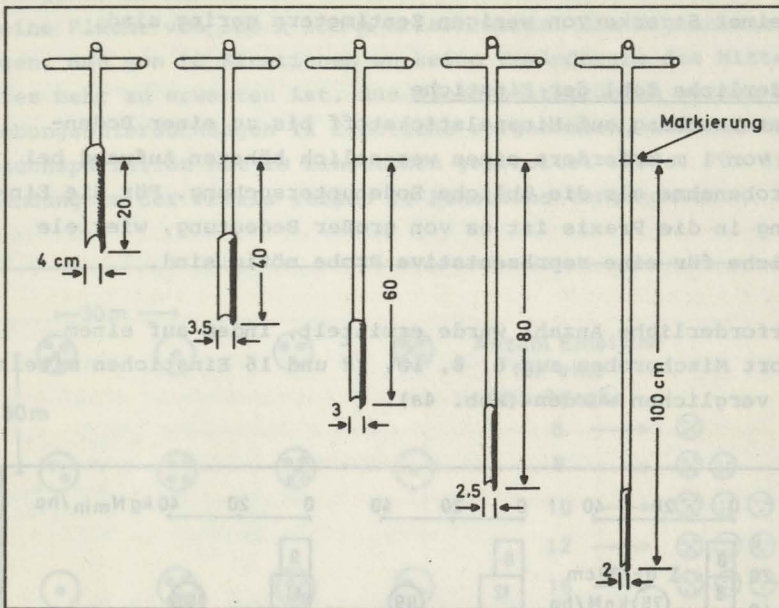


Abb. 2: Fünfteiliges Bohrgerät für fraktionierte Bodenprobennahme bis 1 m Tiefe (EIJKELKAMP, verstärkt)

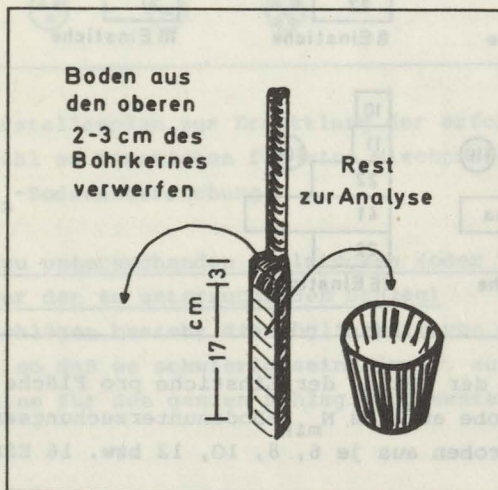


Abb. 3:

Der durch das Verwerfen neu entstehende Fehler ist tolerierbar klein, da die möglichen Konzentrationsunterschiede entlang einer Strecke von wenigen Zentimetern gering sind.

Erforderliche Zahl der Einstiche

Die Untersuchung auf Mineralstickstoff bis zu einer Bodentiefe von 1 m erfordert einen wesentlich höheren Aufwand bei der Probenahme als die übliche Bodenuntersuchung. Für die Einführung in die Praxis ist es von großer Bedeutung, wieviele Einstiche für eine repräsentative Probe nötig sind.

Die erforderliche Anzahl wurde ermittelt, indem auf einem Standort Mischproben aus 6, 8, 10, 12 und 16 Einstichen miteinander verglichen wurden (Abb. 4a).

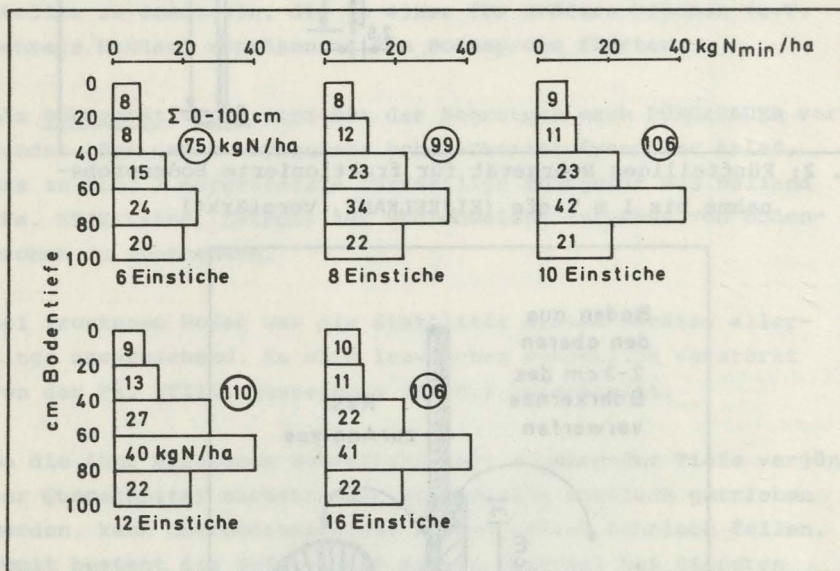


Abb. 4a: Einfluß der Anzahl der Einstiche pro Fläche für eine Mischprobe auf das N_{min}-Bodenuntersuchungsergebnis (Mischproben aus je 6, 8, 10, 12 bzw. 16 Einstichen)

Die Einstiche lagen, wie aus dem Bohrstellenplan in Abb. 4b hervorgeht, in mindestens 30 Meter Abstand, so daß jeweils etwa eine Fläche von 100 x 100 m erfaßt wurde. Die Ergebnisse zeigen, daß von 10 Einstichen an keine Veränderung des Mittelwertes mehr zu erwarten ist. Aus Sicherheitsgründen wurden bei Erhebungsuntersuchungen 12 Einstiche vorgenommen, während auf Versuchspartellen mit 10 Einstichen gearbeitet wurde. Für die Anwendung in der Praxis werden 16 Einstiche vorgenommen.

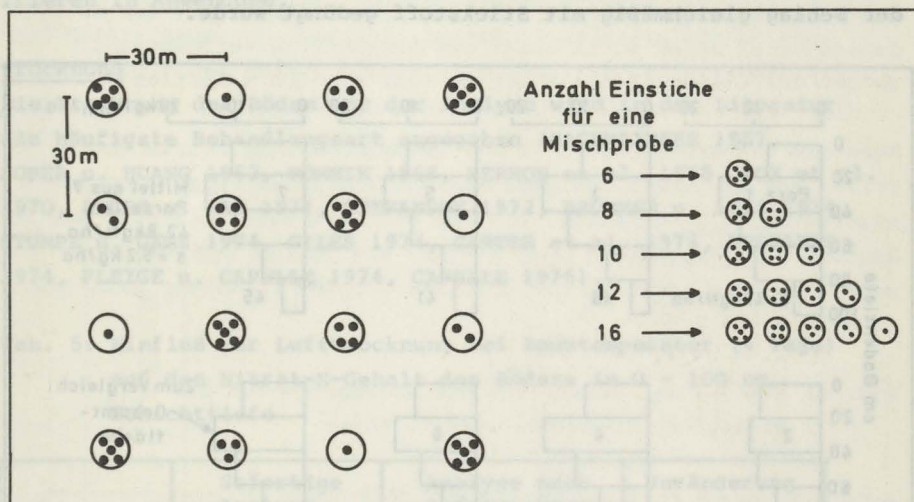


Abb. 4b: Bohrstellenplan zur Ermittlung der erforderlichen Anzahl an Einstichen für eine Mischprobe bei der N_{\min} -Bodenuntersuchung

Auswahl des zu untersuchenden Teilstückes (oder Verteilung der Einstiche über den zu untersuchenden Schlag)

Bei großen Schlägen besteht die Möglichkeit von Gradienten im N_{\min} -Gehalt, so daß es schwierig sein könnte, auf einer kleinen Teilfläche eine für den ganzen Schlag repräsentative Probe zu entnehmen.

Bei hinreichend homogenen Böden ist es allerdings gleichgültig, ob die Bodenproben von Teilstücken oder von der gesamten Fläche entnommen werden (Abb. 5). Selbstverständlich dürfen keine Proben von Vorgewende, Randstreifen, Fahrstreifen von der Rüben-ernte oder jeder anderen Fläche entnommen werden, die durch eine Sonderbehandlung verändert ist.

In der Praxis genügt es, von einem Schlag ein 1 ha großes Teilstück zu untersuchen, sofern der Boden so einheitlich ist, daß der Schlag gleichmäßig mit Stickstoff gedüngt wurde.

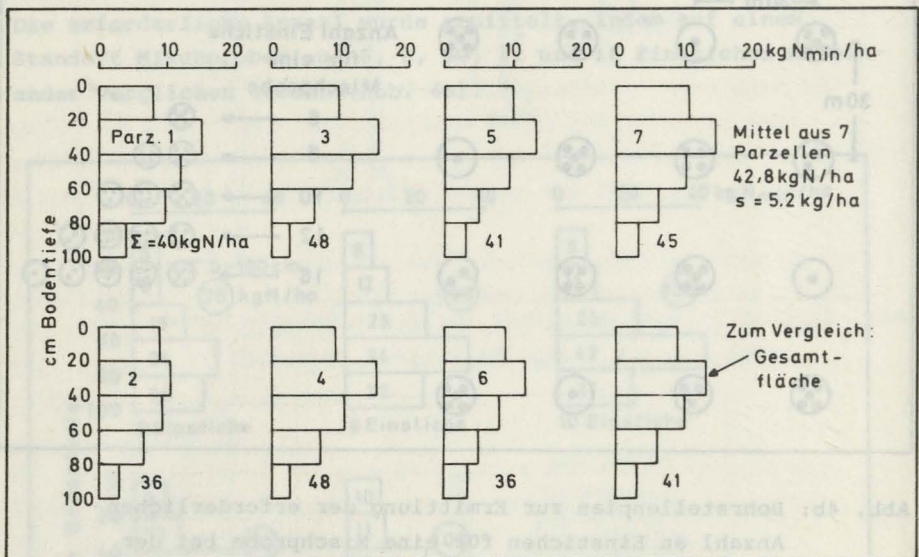


Abb. 5: Streuung der N_{min} -Vorräte von 7 Parzellen (12 x 200 m) einer Winterweizenfläche vor der N-Düngung (Schwarzerde aus LÖB)

3.1.3 Probenbehandlung

Der aktuelle Mineral-N-Vorrat des Bodens kann nur ermittelt werden, wenn es gelingt, Veränderungen in der Zeit zwischen Probenahme und Analyse zu verhindern. Das bedeutet in erster Linie, daß die Tätigkeit der Mikroorganismen unterbunden werden muß.

Neben einer chemischen Bodensterilisation, die hier nicht untersucht wird, sind als Verfahren Trocknung, Kühlung und Tiefgefrieren in Anwendung.

Trocknung

Die Trocknung der Böden vor der Analyse wird in der Literatur als häufigste Behandlungsart angegeben (HAGENZIEKER 1957, SOPER u. HUANG 1962, NOMMIK 1966, HERRON et al. 1968, FOX et al. 1970, REUSS u. RAO 1971, STEFANSON 1972, BRUMMER u. AURA 1974, STUMPE u. GARZ 1974, GILES 1974, CARTER et al. 1974, GEBHARDT 1974, FLEIGE u. CAPELLE 1974, CAPELLE 1976).

Tab. 5: Einfluß der Lufttrocknung bei Raumtemperatur (4 Tage) auf den Nitrat-N-Gehalt des Bodens in 0 - 100 cm Schichttiefe

	Sofortige Analyse	Analyse nach Lufttrocknung	Veränderung
Boden Nr.	kg N/ha	kg N/ha	g ¹⁾
1	58	82	+ 41
2	33	41	+ 24
3	45	53	+ 18
4	61	57	- 7
5	65	70	+ 8
6	150	170	+ 13
7	64	79	+ 23
8	58	87	+ 50
9	79	78	- 1
10	66	60	- 9
11	180	240	+ 33
12	59	87	+ 47

1) die Zunahme durch Trocknung erfolgte überwiegend in den Bodenschichten 0 - 20 und 20 - 40 cm.

Die Verfahren reichen von Lufttrocknung bei Raumtemperatur bis Trocknung bei 30, 40, 65, 100 und 105° C, zum Teil mit Zwangsbelüftung oder auf 1/3 atm. reduziertem Druck.

Die Trocknung von Böden bei Raumtemperatur (etwa 20° C) führte in eigenen Messungen zu Veränderungen des Nitratgehaltes gegenüber der sofortigen Analyse, die wie die Ergebnisse in Tab. 5 zeigen von - 9 % bis + 50 % reichten, wobei die Zunahmen deutlich überwogen. Bei den angegebenen prozentualen Veränderungen muß berücksichtigt werden, daß sich die Nitratgehalte der Bodenschichten unter 40 cm meist nur geringfügig veränderten, so daß der Oberbodengehalt oft um mehr als 100 % anstieg.

Auch die Trocknung bei 60° C mit Zwangsbelüftung führte in Proben aus der Krume von zwei Weizenschlägen zu relativ großem Anstieg des N_{\min} -Gehaltes, wie aus Tab. 6 ersichtlich ist. Der Anstieg ist gleich groß oder kleiner als bei 20° -Trocknung, wobei zu sagen ist, daß die absolute Zunahme in diesem Fall nicht erheblich ist.

Tab. 6: Einfluß der Behandlung der Bodenprobe auf den N_{\min} -Gehalt der Krume von zwei Lößböden

Behandlung	Boden 1		Boden 2	
	kg N_{\min} /ha	relativ	kg N_{\min} /ha	relativ
Sofortige Analyse	5,3	100	4,1	100
3 Tage kühl (+2° C)	5,3	100	3,8	93
Trocknung bei 60° C	10,6	200	5,4	132
Trocknung bei 20° C	10,2	193	8,7	212
3 Tage 20° C feucht	10,3	194	6,8	166
5 Tage 20° C feucht	18,7	353	12,9	315

Starke Veränderungen des Mineralstickstoffgehaltes des Bodens durch Trocknung werden auch von ALDAG (1977) und RASP (1977) berichtet, so daß die Trocknung der Bodenprobe vor der Analyse von Nitrat und Ammonium als sehr fragwürdig angesehen werden muß.

Kühlung und Tiefgefrieren

In Tab. 6 wird gezeigt, daß eine dreitägige Lagerung bei + 2° C keine Veränderung des N_{\min} -Gehaltes gegenüber einer sofortigen Analyse ergibt, wogegen die gleichlange Aufbewahrung bei 20° C den Gehalt deutlich steigert. In Abb. 6 sind die Ergebnisse eines Vergleichs zwischen sofortiger Analyse und zweiwöchiger Lagerung bei + 2° C bzw. Frostung bei -12° C für 20 Böden enthalten.

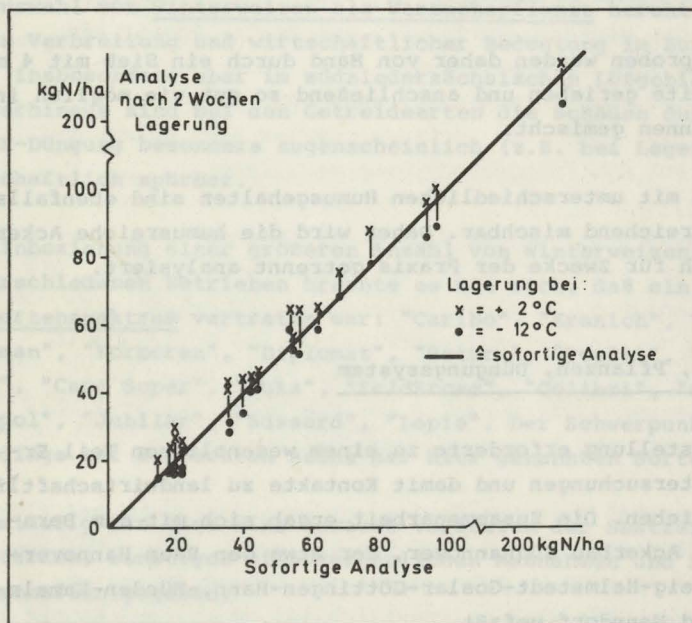


Abb. 6: Einfluß von Kühl Lagerung und Tiefkühlung auf den NO_3 -N-Gehalt von Böden (0 - 60 cm Entnahmetiefe) im Vergleich zu sofortiger Analyse

Es zeigt sich eine geringfügige Steigerung der $\text{NO}_3\text{-N}$ -Gehalte durch Kühlagerung und eine ebenso geringfügige Abnahme durch Frostung (Auftauen im Kühlschrank). Die Veränderungen sind indes in beiden Fällen tolerierbar klein.

Aufgrund dieser Ergebnisse wurden die Bodenproben am Abend des Entnahmetages in einem Kühlraum bei $+ 2^\circ \text{C}$ gelagert und möglichst am folgenden Tag untersucht. Bei Tagestemperaturen über ca. 10°C wurden die Proben schon beim Transport in Kühl-taschen zusammen mit Kühlakkus gelagert.

Homogenisation

Die Homogenisation von feuchten Bodenproben macht insbesondere bei höheren Tongehalten große Schwierigkeiten und ist bisher maschinell nicht zu lösen.

Die Bodenproben werden daher von Hand durch ein Sieb mit 4 mm Maschenweite gerieben und anschließend so gut wie möglich in Plastikwannen gemischt.

Schichten mit unterschiedlichen Humusgehalten sind ebenfalls nicht ausreichend mischbar. Daher wird die humusreiche Ackerkrume auch für Zwecke der Praxis getrennt analysiert.

3.2 Böden, Pflanzen, Düngungssystem

Die Fragestellung erforderte zu einem wesentlichen Teil Erhebungsuntersuchungen und damit Kontakte zu landwirtschaftlichen Betrieben. Die Zusammenarbeit ergab sich mit dem Beratungsring Ackerbau Südhannover, der etwa den Raum Hannover-Braunschweig-Helmstedt-Goslar-Göttingen-Hann.-Münden-Hameln-Minden-Bad Nenndorf umfaßt.

3.2.1 Böden

Die Landwirtschaftsbetriebe liegen zum größten Teil im südnie-
dersächsischen Lößgebiet. Als Bodentypen herrschen Parabraun-
erden sowie verschiedene Formen von Schwarzerde aus Löß mit un-
terschiedlicher Pseudovergleyung vor. Die überwiegenden Boden-
arten sind lehmiger Schluff und schwach lehmiger Schluff. Die
Mächtigkeit der Lößschicht beträgt meist mehr als 100 cm , sel-
ten mehr als 160 cm (BEYME 1975). Die Bodenzahlen reichen von
50 bis 100. Die Durchwurzelungstiefe wird für diese Böden im
allgemeinen mit 100 - 120 cm angegeben (RENGER u. STREBEL 1976a).

3.2.2 Pflanzen

Die Auswahl von Winterweizen als Versuchspflanze beruht auf
dessen Verbreitung und wirtschaftlicher Bedeutung im Bundesge-
biet, insbesondere aber im südnie-
dersächsischen Lößgebiet.
Darüberhinaus sind bei den Getreidearten die Schäden durch fal-
sche N-Düngung besonders augenscheinlich (z.B. bei Lager) und
wirtschaftlich spürbar.

Die Einbeziehung einer größeren Anzahl von Winterweizenflächen
in verschiedenen Betrieben brachte es mit sich, daß ein brei-
tes Sortenspektrum vertreten war: "Caribo", "Kranich", "Maris
Huntsman", "Kormoran", "Diplomat", "Saturn", "Topfit", "Benno",
"Joss", "Cari Super", "Vuka", "Feldkrone", "Colibri", "Clement",
"Monopol", "Jubilar", "Bussard", "Lapis". Der Schwerpunkt lag
allerdings bei den ersten sechs der hier genannten Sorten.

Zwangsläufig war auch eine gewisse Variation der Saatzeiten,
Saatstärken, sonstigen pflanzenbaulichen Maßnahmen und Standort-
eigenschaften gegeben.

Die Fruchtfolge ist überwiegend dreigliedrig mit Zuckerrüben
und zweimaligem Getreideanbau (meist Winterweizen und Winter-

gerste). Gelegentlich werden Feldgemüsearten (Erbsen, Buschbohnen, Puffbohnen, Spinat) zusätzlich eingeschoben. Die Betriebe wirtschaften überwiegend viehlos.

3.2.3 N-Düngungssystem für Winterweizen im Versuchsgebiet

Die N-Düngung von Winterweizen erfolgt im genannten Beratungsring üblicherweise in drei bis vier Gaben (GOLISCH 1974, 1975, 1976):

I. "Frühjahrsdüngung" Ende Februar oder Anfang März (möglichst noch auf gefrorenen Boden) oder in zwei Gaben geteilt:

Ia. Ende Februar

Ib. ca. vier Wochen später

Bei der Düngungsberatung wird die Bodenwasserbilanz Ende des Winters, Vorfrucht, Ackerzahl, Bestandesdichte u.a. berücksichtigt.

Die Empfehlungen schwanken zwischen 50 und 110 kg N/ha (Ia + Ib). Bei Vorfrucht Gemüse wird gelegentlich auf die Frühjahrsdüngung verzichtet.

II. "Schossergabe" in der Schoßphase (Stadium K/L nach HÄNSEL), meist 15. - 25. Mai mit 20 - 30 kg N/ha. Die Entscheidung, ob die Schossergabe verabreicht wird, hängt von der Bestandesentwicklung und Witterung ab. Die Landwirte erwarten in dieser Phase einen Stickstoffmineralisierungsstoß aus dem Boden und sind deswegen mit der N-Düngung besonders vorsichtig.

III. "Ährengabe" zwischen Beginn des Ährenschiebens und Blüte (Stadium N/O, meist um den 10. Juni). Diese Spätgabe mit 40 - 50 kg N/ha gehört zum Standarddüngungsprogramm. Sie wird gelegentlich auf 60 kg N/ha erhöht, insbesondere wenn die Schossergabe ausgefallen ist.

Bei diesem Düngungssystem liegt ein deutlicher Schwerpunkt bei der "Frühjahrsdüngung". Die Entscheidung über die Höhe der Frühjahrsdüngung muß zu einer Zeit gefällt werden, zu der das Wuchsbild des Bestandes noch kaum als Orientierungshilfe herangezogen werden kann. Die Unsicherheit ist daher zum ersten Düngungstermin besonders groß (GOLISCH 1974 und Information des Fachverbandes Stickstoffindustrie 1977). Auf der anderen Seite zeigt die bisher schon praktizierte Variation zwischen 0 und 110 kg N/ha das Gewicht der erforderlichen Entscheidung.

Es war nicht das Ziel dieser Arbeit, ein neues Düngungssystem für Weizen zu entwickeln oder andere Systeme mit dem praktizierten zu vergleichen. Vielmehr sollte versucht werden, unter den im Beratungsring Ackerbau Südhannover gegebenen Bedingungen das Risiko einer Fehlentscheidung bei der besonders kritischen Frühjahrsdüngung durch eine Bodenanalyse zu vermindern.

3.3 Feldversuche und Erhebungsuntersuchungen

Nach Voruntersuchungen zur Auswahl und Anpassung von Probenahmetechnik, Analysenmethoden und Ernteverfahren in der Vegetationsperiode 1974 wurden ab Herbst 1974 und erweitert ab Frühjahr 1975 und 1976 Erhebungsuntersuchungen, Düngungsversuche und Messungen auf Bracheflächen mit der in der Einleitung genannten Fragestellung vorgenommen.

3.3.1 Versuche 1974

Erhebung: N_{min}-Vorräte auf neun Winterweizenstandorten

- Termin: Anfang Dezember

3.3.2 Versuche 1975

Erhebung: N_{\min} -Vorräte auf 20 Winterweizenschlägen

- Termine: Anfang Februar und Anfang März

Anlage von N_O -Parzellen auf 17 Winterweizenschlägen

- Parzellengröße: 12 x 100 m

Anlage von N-Düngungsversuchen auf sechs Winterweizenschlägen

- Parzellengröße: 12 - 200 m
- nähere Angaben s. Kap. 4.4.1

Anlage von Bracheflächen auf 2 Winterweizenschlägen

- Parzellengröße: 4 x 5 m mit Bedachung aus Strohmatte und Plastikfolie (Abb. 7).

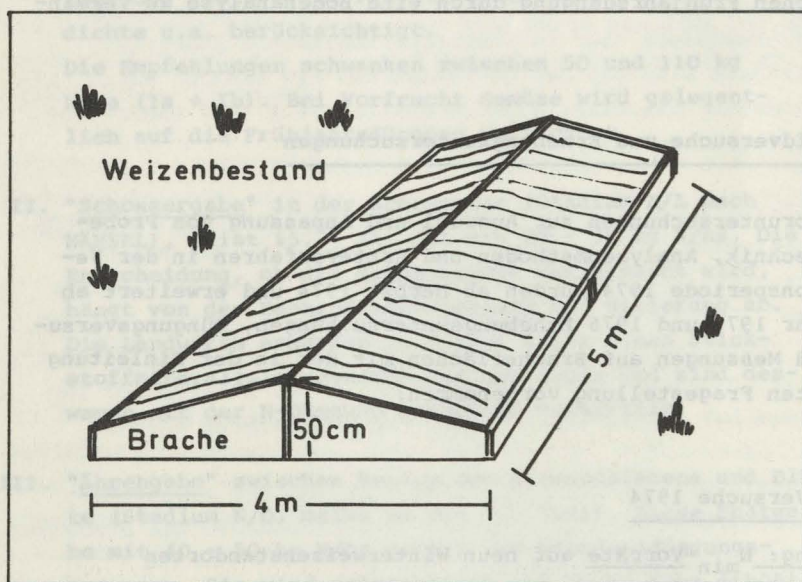


Abb. 7: Überdachte Bracheparzelle zur Erfassung der N_{\min} -Anhäufung im Boden

Weitere Entnahme von Bodenproben

- auf N_0 -Parzellen und Düngungsversuchen von April bis zur Ernte im Abstand von ca. vier Wochen, jeweils am Monatsanfang
- auf Bracheflächen von Mitte März bis Anfang August im Abstand von ca. 2 Wochen.

Bestandesdatenermittlung bei N_0 -Parzellen und Düngungsversuchen

- Zählung der Pflanzen/ m^2 , Mitte März, 21 x 0,5 lfm je Versuchsstandort
- Zählung der ährentragenden Halme/ m^2 , Ende Juni, 21 x 0,5 lfm je Versuchsstandort.

Entnahme und Analyse von Pflanzenproben

Von N_0 -Parzellen und Düngungsversuchen

- Entnahme von jeweils 100 Einzelpflanzen, die an 15 zufällig verteilten Stellen aus der Gesamtparzelle gezogen wurden.
- Entfernen der Wurzeln, Waschen, Trocknen bei 60° C, Wiegen, Analyse von Gesamt-N nach Kjeldahlaufschluß
- Termine: ab Mitte März im Abstand von zwei Wochen
ab Mitte April im Abstand von einer Woche
ab Ende Mai im Abstand von 1 - 3 Wochen
bis zur Ernte (beim letzten Termin wurde die Probenahme dreifach wiederholt).

Kornertragsermittlung auf N_0 -Parzellen und parallel liegenden

+ N-Parzellen sowie Düngungsversuchen

- Erntegerät: Mähdrescher des jeweiligen Landwirtschaftsbetriebes
- Erntefläche: Parzellenlänge x 2 x Mähdrescherbreite, d.h. mindestens 600 m^2 , meist darüber.

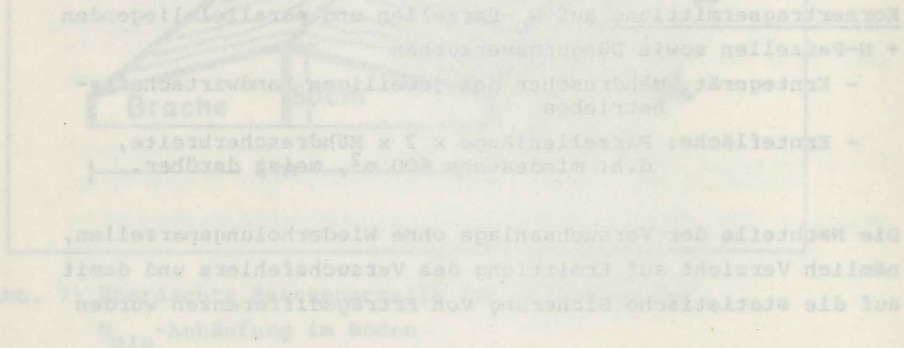
Die Nachteile der Versuchsanlage ohne Wiederholungsparzellen, nämlich Verzicht auf Ermittlung des Versuchsfehlers und damit auf die statistische Sicherung von Ertragsdifferenzen wurden

bewußt in Kauf genommen, um die Bereitschaft der Betriebsleiter zur Mitarbeit an den Versuchen nicht zu überfordern und um bei der gegebenen Arbeitskapazität die Zahl der untersuchten Standorte so weit wie möglich zu erhöhen.

Dies war zu vertreten, da zum einen die Ertragsunterschiede bei unterschiedlicher N-Versorgung sehr groß sind, so daß selbst größere Versuchsfehler noch tolerierbar sind. Zum anderen wurden meist sehr einheitliche Böden in ebenen Lagen untersucht, die nur geringe bodenbedingte Versuchsfehler erwarten ließen. Um die Sicherheit der Ergebnisse weiter zu erhöhen, wurde die Erntefläche im Vergleich zu üblichen Parzellen stark vergrößert.

Ein Vergleich zwischen der Kornertragsermittlung eines Düngungsversuches nach dem oben beschriebenen System und der "klassischen" Versuchsanstellung (Kleinparzellenanlage mit vier Wiederholungen) in Abb. 8 zeigt, daß die Ergebnisse mit Ausnahme der höchsten N-Stufe gut übereinstimmen.

Bei der höchsten N-Stufe trat auf der Großparzelle deutlich stärker Lager auf (siehe Bonitur) als in den Kleinparzellen, wo die Halme durch standfeste Randreihen und Nachbarparzellen gestützt wurden. Großparzellen können demnach auf homogenen Böden in Grenzbereichen wirklichkeitsgetreuere Ergebnisse liefern als Kleinparzellen.



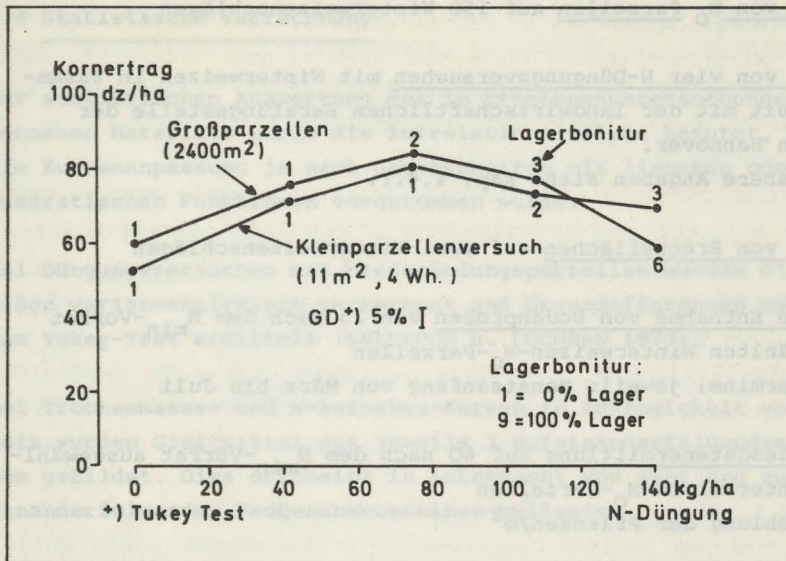


Abb. 8: Einfluß der N-Düngung auf Kornertrag und Lager von Winterweizen auf Großparzellen-im Vergleich zum Kleinparzellenversuch

3.3.3 Versuche 1976

1976 wurden zur N_{min} -Vorratsbestimmung, Pflanzenprobenahme, Ertragsermittlung und bei den Bracheflächenuntersuchungen die gleichen Methoden und Techniken angewandt wie 1975.

Der Umfang der Untersuchung wurde wesentlich erweitert:

Erhebung: N_{min} -Vorräte, auf 160 Winterweizenschlägen

- Termin: Anfang bis Mitte Februar

Empfehlungen für die Frühjahrs-N-Düngung für 160 Winterweizenschläge

- Termin: Ende Februar

Anlage von N_0 -Parzellen auf 150 Winterweizenschlägen

Anlage von vier N-Düngungsversuchen mit Winterweizen in Zusammenarbeit mit der landwirtschaftlichen Beratungsstelle der BASF in Hannover.

- nähere Angaben siehe Kap. 4.4.1.

Anlage von Bracheflächen auf zwei Winterweizenschlägen

Weitere Entnahme von Bodenproben von 25 nach dem N_{\min} -Vorrat ausgewählten Winterweizen- N_0 -Parzellen

- Termine: jeweils Monatsanfang von März bis Juli

Bestandesdatenermittlung auf 60 nach dem N_{\min} -Vorrat ausgewählten Winterweizen- N_0 -Parzellen

- Zählung der Pflanzen/ m^2

auf Düngungsversuchen

- Zählung der Pflanzen/ m^2
- Zählung der ährentragenden Halme/ m^2

Entnahme und Analyse von Pflanzenproben von 60 nach dem N_{\min} -Vorrat ausgewählten N_0 -Parzellen

- Termine: 11.5., 18.5. und 25.5.

von Düngungsversuchen

- Termine: 11.5., 18.5., 25.5. und 15.8. (bei Kornerntetermin in dreifacher Wiederholung.)

Kornertragsermittlung auf 134 N_0 -Parzellen

Bei der Auswertung blieben 20 Standorte mit Dürreschäden (Ertrag bei normaler N-Düngung < 50 dt/ha) unberücksichtigt.

3.4 Statistische Verrechnung

Zur statistischen Auswertung des in Erhebungsuntersuchungen gewonnenen Materials wurde die Korrelationsanalyse benutzt, wobei die Kurvenanpassung je nach Gegebenheiten mit linearen oder quadratischen Funktionen vorgenommen wurde.

Bei Düngungsversuchen mit Wiederholungsparzellen wurden die Erträge varianzanalytisch verrechnet und Grenzdifferenzen nach dem Tukey-Test ermittelt (SNEDECOR u. COCHRAN 1973).

Bei Trockenmasse- und N-Aufnahme-Kurven in Abhängigkeit von der Zeit wurden Gleitmittel aus jeweils 3 aufeinanderfolgenden Werten gebildet. Dies erscheint in Anbetracht von sehr eng aufeinanderfolgenden Probenahmeterminen zulässig.

4. ERGEBNISSE

4.1 Höhe, Verteilung und Zusammensetzung des N_{\min} -Vorrates des Bodens zu Vegetationsbeginn

Für den Einsatz einer N_{\min} -Bestimmung als Grundlage der Düngernachfrageermittlung war zu klären, in welcher Größenordnung und in welcher Streubreite die N_{\min} -Vorräte zu Vegetationsbeginn im Boden vorliegen können.

Die Verteilung des N_{\min} -Vorrates im Bodenprofil wurde untersucht, um die Ausnutzungsrate und den Zeitpunkt der Nutzung von in verschiedenen Bodenschichten vorhandenem Mineralstickstoff kennenzulernen.

Aus der Zusammensetzung des N_{\min} -Vorrates, dem Anteil an NO_3^- , NH_4^- und NO_2^- -N, sollten Folgerungen für die anzuwendenden Analyseverfahren gezogen werden.

Im folgenden werden die entsprechenden Ergebnisse der verschiedenen Erhebungsuntersuchungen dargestellt und erklärt.

4.1.1 Streubreite der N_{\min} -Vorräte des Bodens zu Vegetationsbeginn

4.1.1.1 Erhebungsuntersuchungen 1975

Abb. 9 zeigt die N_{\min} -Vorräte die Anfang Februar 1975 in 20 Winterweizenstandorten nach Vorfrucht Zuckerrüben enthalten waren und zwar in einer Tiefe von 0 - 100 cm, jeweils in 20 cm Schichten aufgeteilt.

Die N_{\min} -Gehalte streuen bei gleicher Vorfrucht im Bereich von 22 (Standort Nr. 9) bis 132 kg N/ha (Standort Nr. 5).

Besonders hohe Werte treten auf, wenn in der Fruchtfolge Gemüse angebaut wird (Standorte 4, 11 und 19), wenn verstärkt organische Dünger verwendet werden (Standort 5) oder, wenn die Mineraldüngung besonders hoch war (Standort 16).

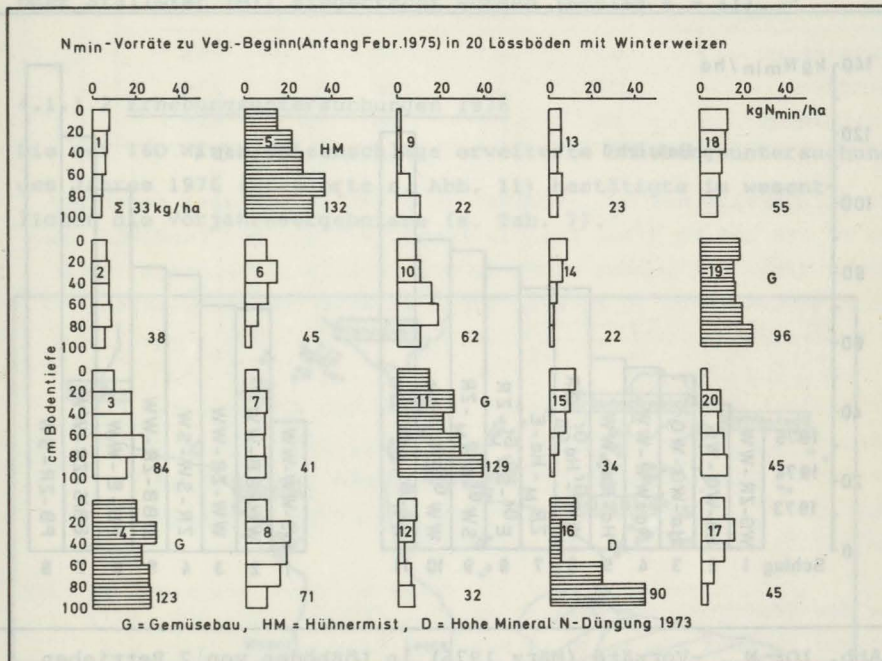


Abb. 9: N_{min}-Vorräte zu Vegetationsbeginn (Anfang Febr. 1975) in 20 Lössböden mit Winterweizen

Diese verhältnismäßig großen Unterschiede wurden jeweils auf Flächen verschiedener Betriebe gefunden. Deshalb sollte die Zusatzfrage beantwortet werden, ob ein niedriger oder hoher N_{min}-Vorrat auf einem Schlag für den ganzen Betrieb typisch ist.

Zu diesem Zweck wurden im März 1975 auf den Betrieben der Stand-

orte 1 und 4 (s. Abb. 9) alle größeren Schläge in die Erhebungsuntersuchung einbezogen. Die Ergebnisse, die in Abb. 10 dargestellt sind, zeigen, daß der Streubereich der N_{\min} -Vorräte innerhalb der untersuchten Betriebe mit ca. 100 kg N/ha ungefähr der Streuung von Betrieb zu Betrieb entspricht.

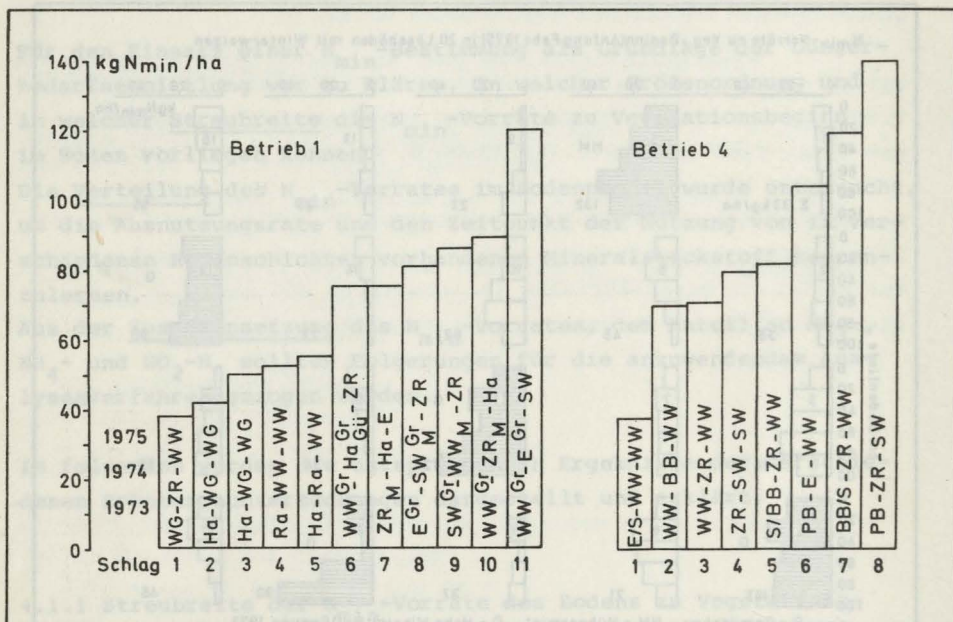


Abb. 10: N_{\min} -Vorräte (März 1975) in Lössböden von 2 Betrieben (Entnahmetiefe 0 - 100 cm bei unterschiedlicher Fruchtfolge)

Der Einfluß der Wirtschaftsweise auf den N_{\min} -Vorrat des Bodens wird deutlich, wenn man Fruchtfolge und organische Düngung in die Betrachtung miteinbezieht (s. Abb. 10). Hohe N_{\min} -Vorräte treten im Betrieb 4 (viehlos) auf, wenn in den beiden vorangegangenen Jahren ausschließlich Zuckerrüben (ZR) und Konservengemüse (Spinat (S), Buschbohnen (BB), Erbsen (E), Puffbohnen (PB)) angebaut wurden (Schlag 5 - 8). Kam Getreide hinzu (Win-

terweizen (WW) oder Sommerweizen (SW)), so lagen die Werte niedriger.

In Betrieb 1 mit Viehwirtschaft treten die höheren N_{min} -Vorräte dann auf, wenn organische Düngung (Gründüngung (Gr), Gülle (Gü) oder Stallmist (M)) eingebracht wurden (Schlag 6 - 11).

4.1.1.2 Erhebungsuntersuchungen 1976

Die auf 160 Winterweizenschläge erweiterte Erhebungsuntersuchung des Jahres 1976 (Standorte s. Abb. 11) bestätigte im wesentlichen die Vorjahresergebnisse (s. Tab. 7).

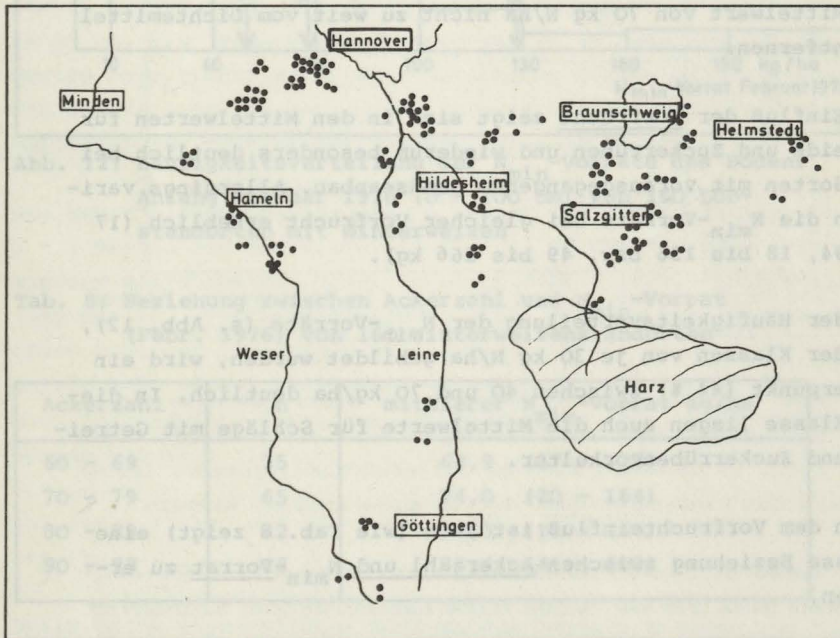


Abb. 11: Standorte mit Winterweizenversuchsflächen 1976

Tab. 7: Streubereich der Mineralstickstoffvorräte in 160 Lößböden mit Winterweizen nach verschiedener Vorkultur, kg N_{\min} /ha; 0 - 100 cm; Februar 1976

Vorkultur \ Vorrat	Getreide	Zuckerrüben	Gemüse
kleinster	17	18	49
größter	94	136	266
mittlerer	50	68	129

Die Streubreite der N_{\min} -Vorräte zu Vegetationsbeginn reichte von 17 bis 266 kg N/ha. Zwei Extremwerte lagen bei rund 400 bzw. 500 kg N/ha. Sie wurden nicht in die Tabelle aufgenommen, um den Mittelwert von 70 kg N/ha nicht zu weit vom Dichtemittel zu entfernen.

Der Einfluß der Vorfrucht zeigt sich in den Mittelwerten für Getreide und Zuckerrüben und wiederum besonders deutlich bei Standorten mit vorausgegangenem Gemüseanbau. Allerdings variieren die N_{\min} -Vorräte bei gleicher Vorfrucht erheblich (17 bis 94, 18 bis 136 bzw. 49 bis 266 kg).

Aus der Häufigkeitsverteilung der N_{\min} -Vorräte (s. Abb. 12), bei der Klassen von je 30 kg N/ha gebildet wurden, wird ein Schwerpunkt (44 %) zwischen 40 und 70 kg/ha deutlich. In dieser Klasse liegen auch die Mittelwerte für Schläge mit Getreide- und Zuckerrübenvorkultur.

Neben dem Vorfruchteinfluß ist auch (wie Tab. 8 zeigt) eine gewisse Beziehung zwischen Ackerzahl und N_{\min} -Vorrat zu erkennen.

Im Bereich zwischen 60 und 90 Bodenpunkten steigen die mittleren N_{\min} -Vorräte um ca. 1 kg/ha je Bodenpunkt. Jedoch variieren die Einzelwerte auch hier sehr stark innerhalb einer

Klasse (37 - 123, 20 - 164, 18 - 266 bzw. 41 - 208), so daß eine Schätzung des N_{\min} -Vorrates mit Hilfe der Ackerzahlen nur ungenau sein könnte.

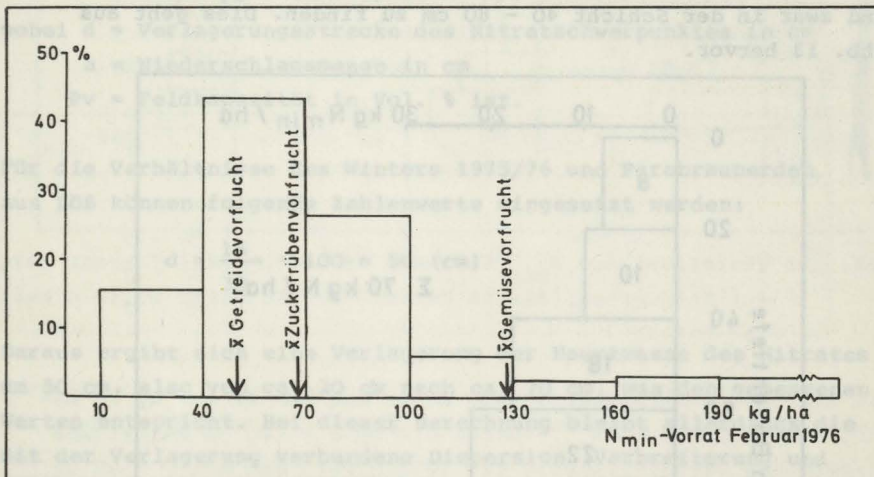


Abb. 12: Häufigkeitsverteilung der N_{\min} -Vorräte des Bodens Anfang Februar 1976 (0 - 100 cm) von 160 Lößstandorten mit Winterweizen

Tab. 8: Beziehung zwischen Ackerzahl und N_{\min} -Vorrat (Febr. 1976) von 160 Winterweizenstandorten

Ackerzahl	n	mittlerer N_{\min} -Vorrat kg/ha
60 - 69	35	62,9 (37 - 123)
70 - 79	65	74,0 (20 - 164)
80 - 89	42	84,3 (18 - 266)
90 - 99	18	78,4 (41 - 208)

4.1.2 Tiefenverteilung der N_{\min} -Vorräte

Die Hauptmasse des Mineralstickstoffs ist 1976 (ähnlich wie 1975) nicht in der Krume, sondern zu fast 60 % im Unterboden, und zwar in der Schicht 40 - 80 cm zu finden. Dies geht aus Abb. 13 hervor.

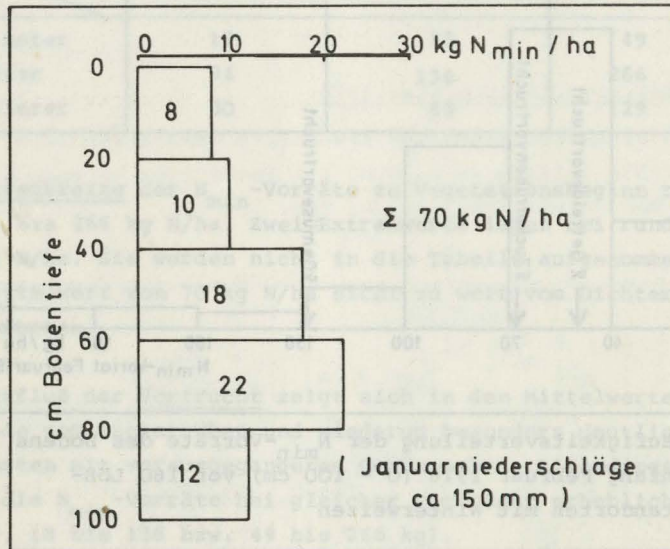


Abb. 13: Mittlere Verteilung des N_{\min} im Bodenprofil Anfang Februar 1976 (160 Lößstandorte mit Winterweizen)

Die Krume ist mit nur 8 kg N/ha nahezu leer. Dasselbe gilt auch dann noch, wenn man die Schicht 20 - 40 cm miteinbezieht. Dies steht im Einklang mit den Witterungsbedingungen, insbesondere den Niederschlägen des vorausgegangenen Winters.

Nach einem trockenen Sommer und Herbst waren die Böden am 2.1.1976 erst bis ca. 20 cm Tiefe durchfeuchtet. Überdurchschnittlich hohe Januarniederschläge in Höhe von ca. 150 mm füllten dann die Schicht 0 - 100 cm bis zur Feldkapazität auf.

Die damit verbundene Verlagerung von Nitrat kann nach einer

Formel von LEVIN (zit. bei FOX u. KACZAR 1970) wie folgt berechnet werden:

$$d = \frac{a}{P_v} \cdot 100$$

wobei d = Verlagerungsstrecke des Nitratschwerpunktes in cm

a = Niederschlagsmenge in cm

P_v = Feldkapazität in Vol. % ist.

Für die Verhältnisse des Winters 1975/76 und Parabraunerden aus LÖB können folgende Zahlenwerte eingesetzt werden:

$$d = \frac{15}{30} \cdot 100 = 50 \text{ (cm)}$$

Daraus ergibt sich eine Verlagerung der Hauptmasse des Nitrates um 50 cm, also von ca. 20 cm nach ca. 70 cm, was den gemessenen Werten entspricht. Bei dieser Berechnung bleibt allerdings die mit der Verlagerung verbundene Dispersion (Verbreiterung und Abflachen der Tiefenverteilungskurve) unberücksichtigt.

Die hohen Niederschläge, die im Winter 1975/76 innerhalb von 2 - 3 Wochen vor dem Meßtermin fielen, führten auf den überwiegend gleichartigen Böden zu einer sehr einheitlichen Verteilung des N_{min}-Vorrates im Bodenprofil. Auf 134 von 160 Standorten trat das typische Verteilungsmuster mit einem Schwerpunkt bei 60 - 80 cm auf (vgl. Abb. 13). Abweichungen davon ergaben sich insbesondere dann, wenn im Frühjahr 1975 Gülle ausgebracht worden war (Abb. 14).

In diesen Fällen war die Masse des N_{min}-Vorrates tiefer verlagert.

Unter solch einheitlichen Bedingungen bezüglich Böden und Niederschläge ist es möglich, die Gesamtmenge an Mineralstickstoff in 0 - 100 cm Bodentiefe schon aus der N_{min}-Analyse geringerer Schichttiefen zu schätzen.

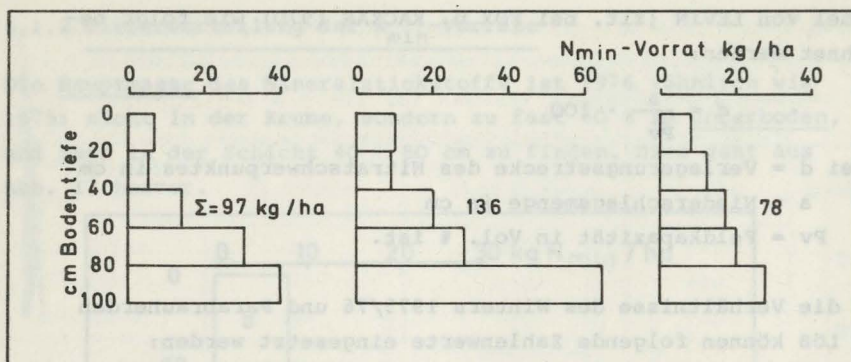


Abb. 14: Verteilung des N_{\min} -Vorrates im Bodenprofil Februar 1976 auf Standorten, die im Herbst des Vorjahres Gülle erhalten hatten

Wie aus Tab. 9 hervorgeht, kann schon aus dem in 0 - 60 cm Bodentiefe enthaltenen N_{\min} -Vorrat die in 0 - 100 cm enthaltene Gesamtmenge verhältnismäßig gut ($r = 0,95$), und aus 0 - 80 cm mit hoher Sicherheit ($r = 0,99$) geschätzt werden. Die Regressionsgleichung für die Beziehung zwischen dem in 0 - 80 cm und dem in 0 - 100 cm enthaltenen N_{\min} -Vorrat

$$y = 0,53 + 1,22x$$

zeigt, daß die N_{\min} -Vorräte in 0 - 100 cm Bodentiefe (y) aus der Multiplikation der Meßergebnisse aus 0 - 80 cm mit dem Faktor 1,22 ermittelt werden können. Dieser Faktor hängt von den Niederschlägen ab, die zwischen den Herbstmonaten und Februar gefallen sind. Er ist daher von Jahr zu Jahr verschieden und mußte gegebenenfalls jedes Jahr neu aus Messungen auf Testflächen errechnet werden. Falls nur die Tiefe 0 - 60 cm gemessen würde (Regressionsgleichung: $y = 4,56 + 2,05x$), werden unter den gegebenen Bedingungen ca. 50 % des "gesamten" N_{\min} -Vorrates erfaßt. Von dieser geringen Schichtstärke aus auf 0 - 100 cm zu schließen, ist daher trotz des noch hohen Korrelationskoeffi-

zienten für den Einzelfall zu unsicher.

Tab. 9: Korrelationskoeffizienten für lineare Beziehungen zwischen N_{\min} -Vorrat des Bodens im Februar bei unterschiedlicher Entnahmetiefe und dem Gesamtvorrat in 0 - 100 cm Tiefe

N_{\min} -Vorrat in Schicht (x)	N_{\min} -Vorrat 0 - 100 cm (y)
0 - 20 cm	+ 0,21
0 - 40 cm	+ 0,66
0 - 60 cm	+ 0,95
0 - 80 cm	+ 0,99

Werden noch geringere Schichtstärken zum Beispiel nur die Krume untersucht (BRAUN und FISCHBECK 1973, BRAUN 1974), so sind Rückschlüsse auf den in der gesamten durchwurzelbaren Bodenschicht enthaltenen N_{\min} -Vorrat mit einem hohen Fehler behaftet ($r = + 0,21$ für die Bodenschicht 0 - 20 cm und $r = + 0,66$ für 0 - 40 cm).

Die von BRAUN und FISCHBECK auf unbewachsenen Flächen jeweils im April durchgeführte Nitratbestimmung in 0 - 20 cm Bodentiefe wird von den Autoren indessen auch nicht als N_{\min} -Vorratermittlung angesehen, sondern als "meßbarer Ausdruck für die aktuelle Gunst des Standortes" bezeichnet. Er ist - sofern die Verlagerung in tiefere Bodenschichten verhindert wird - ein Ausdruck des N-Nachlieferungspotentials des Bodens.

4.1.3 Zusammensetzung des N_{\min} -Vorrates

Zur Erfassung des N_{\min} -Vorrates wurden die Fraktionen NO_3 -N; NH_4 -N und gelegentlich zur Überprüfung NO_2 -N gemessen.

Im Normalfall bestand der N_{\min} -Vorrat fast ausschließlich aus

Nitrat-N.

Nitrit war auf ungedüngten Böden in der Regel nicht nachweisbar. Kurz nach einer Harnstoff- oder Ammoniumdüngung in Höhe von 50 kg N/ha konnten vorübergehend maximal 5 kg $\text{NO}_2\text{-N/ha}$ nachgewiesen werden.

Ammonium wird lediglich kurz nach einer Düngung in größeren Mengen gefunden. Wenige Wochen nach der Düngung ist normalerweise die Nitrifikation beendet, und zwar auch über Winter. So konnte nach einer Ammonium- und Harnstoffdüngung am 14. Nov. 1975 $\text{NH}_4\text{-N}$ wohl noch am 2. Jan. 1976, nicht mehr jedoch am 15. Jan. 1976 nachgewiesen werden.

Die Ammoniumgehalte lagen bei den Erhebungsuntersuchungen in 0 bis 100 cm Bodentiefe 1974 und 1975 im Mittel bei 8,4 kg N/ha, wobei in den einzelnen 20 cm-Schichten meist weniger als 5 kg N/ha gefunden wurden. Stichprobenuntersuchungen des $\text{NH}_4\text{-N}$ -Gehaltes von April bis August führten zum gleichen Ergebnis.

Bei der Erhebungsuntersuchung 1976 wurden in 0 bis 40 cm Tiefe im Mittel 5,1 kg N/ha (in keinem Fall mehr als 10 kg je 20 cm-Schicht und ha) gefunden. Die $\text{NH}_4\text{-N}$ -Gehalte liegen damit für die angewandten Methoden an der Meßgrenze. Sie tragen praktisch nicht zur Differenzierung der N_{min} -Vorräte des Bodens bei und verändern sich in der Vegetationsperiode kaum. Es erscheint deshalb in Übereinstimmung mit den meisten Literaturberichten (SOPER u. HUANG (1962), HERRON et al. (1968), REUSS u. RAO (1971), GILES (1974), CARTER et al. (1974), GUTSER u. TEICHER (1976)) gerechtfertigt, sich bei Böden, die vor der N-Düngung untersucht werden, auf die Analyse von Nitrat zu beschränken.

Zusammenfassend kann gesagt werden:

Die Mineralstickstoffvorräte zu Vegetationsbeginn schwanken im südniedersächsischen Lößgebiet um mehr als 200 kg/ha. Zwar ist ein Zusammenhang mit Vorfrucht, organischer Düngung und Ackerzahl zu erkennen, doch ist die Streuung um den jewei-

ligen Mittelwert so groß, daß eine darauf beruhende Schätzung ungenau ist.

Die Masse des N_{\min} -Vorrates wird zu Vegetationsbeginn mehr oder weniger tief unterhalb der Krume gefunden. Sofern nicht Ammonium oder Harnstoff gedüngt wurde, besteht der wesentliche Teil des N_{\min} -Vorrates aus Nitrat-N.

4.2 Veränderungen des N_{\min} -Vorrates des Bodens

Aus den Veränderungen des N_{\min} -Vorrates des Bodens vor Vegetationsbeginn, während der Vegetationsperiode in bewachsenen Böden und auf Bracheflächen können Schlüsse gezogen werden über:

- Anhäufung, Verlagerung und Auswaschungsverluste im Laufe des Winters,
- Umfang und Zeitpunkt der Nutzung des N_{\min} -Vorrates durch die Pflanze aus verschiedenen Bodenschichten und damit über den günstigsten Zeitpunkt der Probenahme, sowie die in die Untersuchung einzubeziehende Bodenschicht,
- Nachlieferung von Mineralstickstoff vom Vegetationsbeginn bis zur Ernte.

4.2.1 Veränderungen des N_{\min} -Vorrates vor Vegetationsbeginn

Im Winter 1974/75 wurden auf neun Standorten N_{\min} -Messungen durchgeführt. Aus Tabelle 10 geht hervor, daß bei vergleichbaren Witterungsbedingungen die N_{\min} -Vorräte von Dezember bis März zunehmen (Standorte 3, 5, 6, 8), gleichbleiben (1, 2, 4, 7) oder abnehmen (9) können.

Da Verluste durch Denitrifikation wegen der zu geringen Boden-

temperatur weitgehend ausgeschlossen werden können (FREDE, GEBHARDT u. MEYER (1975) geben für Parabraunerden eine Untergrenze von etwa 15° C an, von welcher an mit nennenswerten Denitrifikationsverlusten zu rechnen ist), sind die Veränderungen überwiegend ein Resultat von Mineralisation und Auswaschung.

Die Verluste durch Auswaschung aus dem 1 m tiefen Bodenprofil sind abhängig von der vorhandenen Menge und der Tiefenverteilung des Mineralstickstoffs.

Tab. 10: Veränderungen der N_{\min} -Vorräte in 0 - 100 cm Tiefe auf neun Lößstandorten von Dez. 1974 bis März 1975 (ohne N-Düngung)

Standort	N_{\min} -Vorrat in kg/ha				Blattmasse von Zuckerrüben eingearbeitet (+) entfernt (-)
	A. Dez.	M. Jan.	A. Febr.	A. März	
1	30	15	32	36	-
2	30	18	38	28	-
3	50	50	80	100	+
4	100	82	.1)	105	-
5	100	107	132	150	+
6	25	40	40	50	+
7	38	40	40	40	+
8	42	52	71	67	+
9	67	32	20	19	-

1) Probenahmefehler

In Abb. 15 sind hierfür zwei extreme Beispiele dargestellt. Auf Standort 5 befand sich die Masse des N_{\min} -Vorrates Anfang Dezember in 20 - 40 cm Tiefe, auf Standort 9 dagegen in 80 - 100 cm. Am 15. Januar, nachdem in der Zwischenzeit ca. 140 mm

Niederschlag gefallen waren, enthielt Standort 5 zwar keine wesentlich veränderte Menge, der Mineralstickstoff war aber in tiefere Bodenschichten verlagert. Die Verlagerung um etwa 40 cm entspricht der in Kap. 4.1.2 genannten Größenordnung. Auf Standort 9 hingegen trat eine deutliche Abnahme des N_{min} -Vorrates ein, da der schon vor Beginn der Niederschläge in größerer Tiefe vorhandene Mineralstickstoff aus der 1 m-Schicht ausgewaschen wurde.

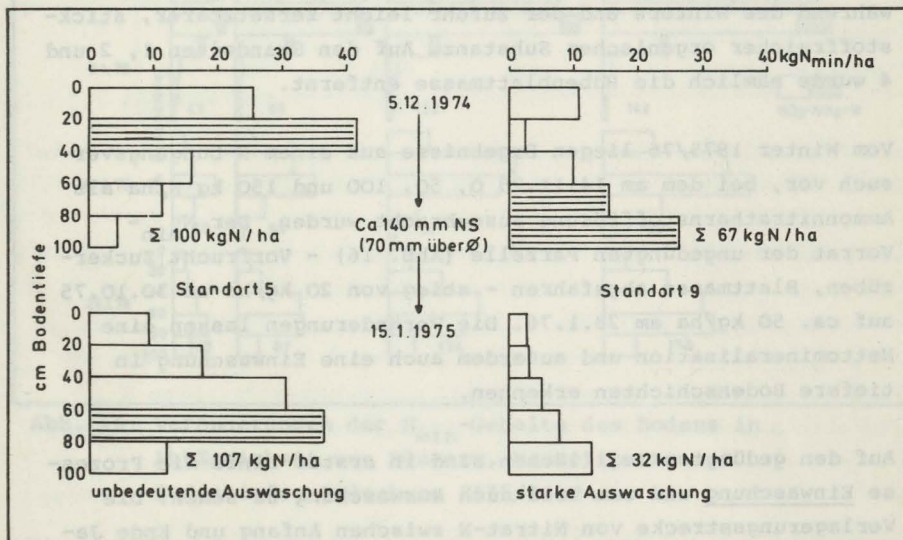


Abb. 15: Einfluß der Winterniederschläge auf Verlagerung bzw. Auswaschung von Mineralstickstoff in zwei Lössböden mit unterschiedlicher N-Verteilung im Bodenprofil

Da in den Standorten 1 bis 4 und 6 bis 8 der Mineralstickstoff ähnlich wie in Standort 5 verteilt war, und somit wesentliche Auswaschungsverluste ausgeschlossen werden können (ebenso wie Denitrifikationsverluste) ist anzunehmen, daß sich die untersuchten Standorte erheblich im Ausmaß der Freisetzung von

Mineralstickstoff über Winter unterscheiden.

Diese ist bei den Standorten 1, 2, 4 unbedeutend, führt aber bei den Standorten 3, 5, 6 und 8 zu einer starken Zunahme des N_{\min} -Vorrates.

Vergleicht man hiermit die Angaben über die Einarbeitung von Rübenblatt vor der Saat von Winterweizen, so zeigt sich eine gewisse Beziehung zwischen der Anhäufung von Mineralstickstoff während des Winters und der Zufuhr leicht zersetzbarer, stickstoffreicher organischer Substanz. Auf den Standorten 1, 2 und 4 wurde nämlich die Rübenblattmasse entfernt.

Vom Winter 1975/76 liegen Ergebnisse aus einem N-Düngungsversuch vor, bei dem am 14.11.75 0, 50, 100 und 150 kg N/ha als Ammonitratharnstofflösung ausgebracht wurden. Der N_{\min} -Vorrat der ungedüngten Parzelle (Abb. 16) - Vorfrucht Zuckerrüben, Blattmasse abgefahren - stieg von 20 kg/ha am 30.10.75 auf ca. 50 kg/ha am 28.1.76. Die Veränderungen lassen eine Nettomineralisation und außerdem auch eine Einwaschung in tiefere Bodenschichten erkennen.

Auf den gedüngten Teilflächen sind in erster Linie die Prozesse Einwaschung und zum Teil auch Auswaschung zu sehen. Die Verlagerungsstrecke von Nitrat-N zwischen Anfang und Ende Januar beträgt ca. 50 cm, was mit den im Januar gefallenen Niederschlägen in Höhe von 150 mm erklärt werden kann (s. S. 57).

Die Tatsache, daß am 4.12. und 2.1. nicht die gesamte N-Menge gefunden wird, hängt damit zusammen, daß Ammonitratharnstofflösung gedüngt, Harnstoff jedoch nicht bestimmt wurde.

Da zu den genannten Terminen noch NH_4 -Stickstoff gefunden wurde (schraffierter Teil der Balken), kann angenommen werden, daß der Harnstoff noch nicht vollständig mineralisiert war.

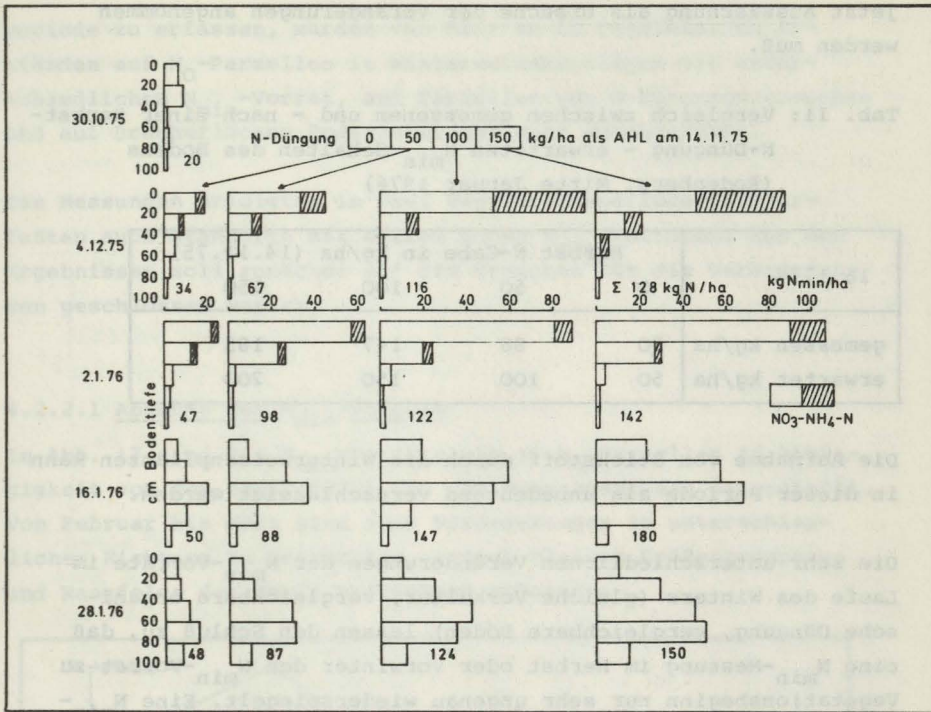


Abb. 16: Veränderungen der N_{\min} -Gehalte des Bodens in Abhängigkeit von Düngung, Meßzeitpunkt und Bodentiefe, Rodenberg 1975/76

Am 16.1. war kein Ammonium mehr nachweisbar, d.h., Mineralisation und Nitrifikation des Düngerstickstoffs waren abgeschlossen. Andererseits war die Einwaschung noch nicht so weit fortgeschritten, daß eine bedeutende Auswaschung angenommen werden müßte.

Zu diesem Zeitpunkt kommen die gemessenen Werte den unter Berücksichtigung des N_{\min} -Gehaltes der N_0 -Parzelle erwarteten auch verhältnismäßig nahe (Tab. 11). Zum Meßtermin 28.1. zeigt sich wieder eine Abnahme des Mineralstickstoffs, verbunden mit einer Verlagerung der Hauptmasse in tiefere Schichten, so daß

jetzt Auswaschung als Ursache der Veränderungen angenommen werden muß.

Tab. 11: Vergleich zwischen gemessenen und - nach einer Herbst-N-Düngung - erwarteten N_{\min} -Gehalten des Bodens (Rodenberg, Mitte Januar 1976)

16.1.76	Herbst N-Gabe in kg/ha (14.11.75)			
	0	50	100	150
gemessen kg/ha	50	88	147	183
erwartet kg/ha	50	100	150	200

Die Aufnahme von Stickstoff durch die Winterweizenpflanzen kann in dieser Periode als unbedeutend vernachlässigt werden.

Die sehr unterschiedlichen Veränderungen der N_{\min} -Vorräte im Laufe des Winters (gleiche Vorkultur, vergleichbare organische Düngung, vergleichbare Böden) lassen den Schluß zu, daß eine N_{\min} -Messung im Herbst oder Vorwinter den N_{\min} -Vorrat zu Vegetationsbeginn nur sehr ungenau widerspiegelt. Eine N_{\min} -Vorratsbestimmung, die für die Bemessung der Frühjahrsdüngung von Winterweizen verwendet werden soll, müßte demnach so kurz wie möglich vor dem Düngungstermin (Ende Februar - Anfang März) ausgeführt werden. Je weiter der Meßtermin zum Vegetationsbeginn hin verschoben werden kann, desto größer ist der Anteil der erfaßten Veränderungen des N_{\min} -Vorrates, desto größer ist auch die Sicherheit einer evtl. aus der Messung abgeleiteten Düngungsempfehlung.

4.2.2 Veränderungen des N_{\min} -Vorrates während der Vegetationsperiode

Um die Veränderungen des N_{\min} -Vorrates während der Vegetations-

periode zu erfassen, wurden von März an in regelmäßigen Abständen auf N_0 -Parzellen in Winterweizenschlägen mit unterschiedlichem N_{min} -Vorrat, auf Parzellen von N-Düngungsversuchen und auf Bracheflächen Bodenuntersuchungen durchgeführt.

Die Messungen erfolgten in zwei Vegetationsperioden und erfaßten auch Standorte mit extrem hohen N_{min} -Vorräten. Aus den Ergebnissen soll zunächst auf die Ursachen für die Veränderungen geschlossen werden.

4.2.2.1 Abnahme der N_{min} -Vorräte

In Abb. 17 sind die N_{min} -Vorräte von 17 N_0 -Parzellen in Abhängigkeit von der Zeit (1975) und dem Ausgangsniveau dargestellt. Von Februar bis März sind zwar Veränderungen in unterschiedlicher Richtung zu beobachten, jedoch bleiben Größenordnungen und Rangfolge der Werte weitgehend erhalten.

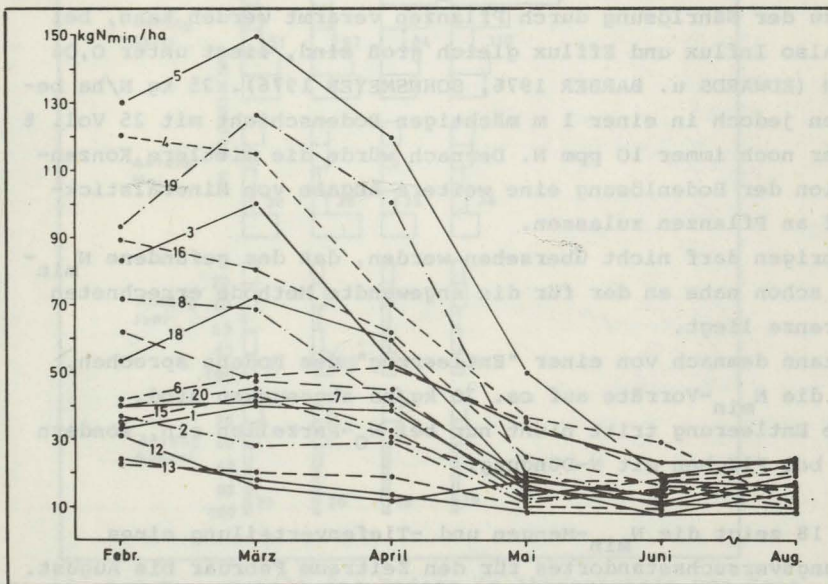


Abb. 17: Veränderungen der N_{min} -Vorräte im Boden (0 - 100 cm) bei Winterweizen während der Vegetationsperiode 1975 bei unterschiedlichem Ausgangsniveau (N_0 -Parzellen)

Von Anfang März bis Anfang Juni sinken die N_{\min} -Vorräte auf allen Standorten unabhängig von der starken Differenzierung zu Vegetationsbeginn auf 20 - 30 kg N/ha in der gesamten untersuchten Bodenschicht ab. Die Böden unterscheiden sich ab Juni nicht mehr meßbar im N_{\min} -Gehalt.

Die N_{\min} -Restmenge von 20 - 30 kg/ha scheint ein Grenzwert zu sein, der nicht unterschritten werden kann. Dies kann damit zusammenhängen, daß NO_3 -N in den feinen Poren des Totwasseranteils kapillar sehr intensiv gebunden und damit nicht verfügbar ist (WICHTMANN 1974). Möglicherweise reicht die Wurzelverteilung und die Wurzelichte in Verbindung mit der Leistung der Transportmechanismen für Ionen der Bodenlösung nicht aus um den Boden vollständig an Nitrat auszuschöpfen.

Mit Sicherheit ist die mittlere NO_3 -N-Konzentration der Bodenlösung für die N-Aufnahme durch Pflanzen noch ausreichend hoch. Der in Nährlösungen ermittelte C_0 -Wert, d.h. die Konzentration bis zu der Nährlösung durch Pflanzen verarmt werden kann, bei der also Influx und Efflux gleich groß sind, liegt unter 0,06 ppm N (EDWARDS u. BARBER 1976, SOHNSMEYER 1976). 25 kg N/ha bedeuten jedoch in einer 1 m mächtigen Bodenschicht mit 25 Vol. % Wasser noch immer 10 ppm N. Demnach würde die mittlere Konzentration der Bodenlösung eine weitere Abgabe von Mineralstickstoff an Pflanzen zulassen.

Im übrigen darf nicht übersehen werden, daß der gefundene N_{\min} -Rest schon nahe an der für die angewandte Methode errechneten Meßgrenze liegt.

Man kann demnach von einer "Entleerung" des Bodens sprechen, wenn die N_{\min} -Vorräte auf ca. 20 kg/ha abgesunken sind. Diese Entleerung tritt nicht nur bei N_0 -Parzellen ein, sondern auch bei Flächen mit N-Düngung.

Abb. 18 zeigt die N_{\min} -Mengen und -Tiefenverteilung eines Düngungsversuchsstandortes für den Zeitraum Februar bis August.

Aus ihr wird ersichtlich, daß die Entleerung von oben nach unten fortschreitend erfolgt (Anfang April bis 60 cm, Anfang Mai bis 80 cm und Anfang Juni bis 100 cm).

Die durch Düngung verursachten Unterschiede sind zwar im März und April noch deutlich zu erkennen, schon Anfang Mai aber kaum mehr nachweisbar.

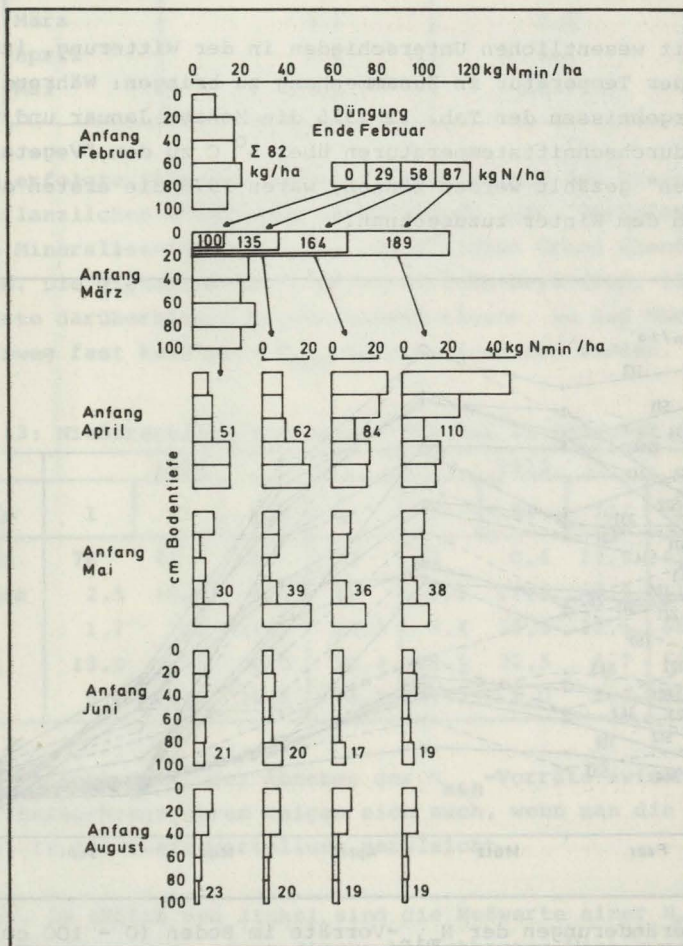


Abb. 18: Der N_{min}-Gehalt des Bodens in Abhängigkeit von Zeit, N-Düngung und Bodentiefe (Stemmen 1975, Winterweizen "Feldkrone")

4.2.2.2 Jahresunterschiede in der Abnahme der N_{\min} -Vorräte

In Abb. 19 sind die der Abb. 17 entsprechenden Daten von 25 Standorten (N_0 -Parzellen), die 1976 untersucht wurden, dargestellt. Die N_{\min} -Vorräte blieben von Anfang Februar bis Anfang April auf etwa gleichem Niveau. Im Gegensatz zu 1975 begann und endete die Abnahme 1976 vier Wochen später.

Dies ist mit wesentlichen Unterschieden in der Witterung, insbesondere der Temperatur in Zusammenhang zu bringen: Während nach den Ergebnissen der Tab. 12 1975 die Monate Januar und März mit Monatsdurchschnittstemperaturen über $5^{\circ}C$ zu den "Vegetationsmonaten" gezählt werden können, waren 1976 die ersten drei Monate noch dem Winter zuzurechnen.

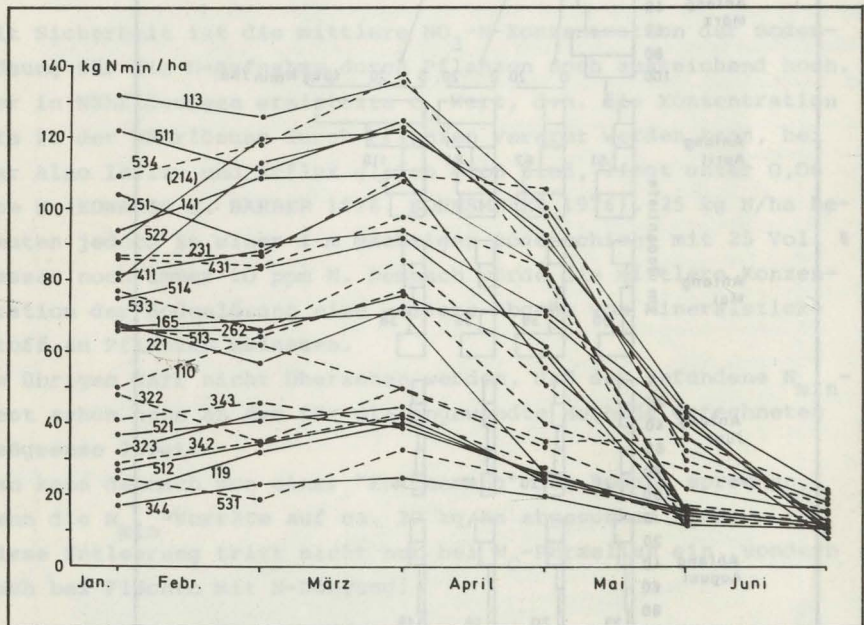


Abb. 19: Veränderungen der N_{\min} -Vorräte im Boden (0 - 100 cm) bei Winterweizen ohne N-Düngung Februar bis Juli 1976 bei unterschiedlichem Ausgangsniveau

Tab. 12: Monatsdurchschnittstemperaturen (Dez. - Mai)
in Hannover

	1974/75	1975/76
Dezember	6,7	3,4
Januar	6,8	2,4
Februar	2,9	1,9
März	5,1	2,2
April	7,8	8,1
Mai	12,2	13,9

Damit erfolgte 1976 der Vegetationsbeginn und das Einsetzen der pflanzlichen N-Aufnahme ungewöhnlich spät. Veränderungen durch Mineralisation waren aus dem gleichen Grund ebenfalls gering. Die gleichzeitige Frühjahrstrockenheit (Tab. 13) verhinderte darüberhinaus Auswaschungsverluste, so daß über Monate hinweg fast konstante N_{\min} -Vorräte gemessen wurden.

Tab. 13: Niederschläge von Januar bis Mai in Hannover (mm)

Dekade	1976				1975				langj. Monatsmittel
	I	II	III	Σ	I	II	III	Σ	
Januar	76	42	35	153	23	0,4	18,6	42,0	50
Februar	2,5	10,6	7,9	21	0,1	11,5	0,1	11,7	38
März	1,7	7,3	11,3	20,3	9,4	16,5	32,1	58,0	46
April	13,9	-	6,5	20,4	29,5	22,5	6,7	58,7	45
Mai	5,0	29,5	39,8	74,3	51,1	8,0	5,2	66,3	54

Die Unterschiede in der Abnahme der N_{\min} -Vorräte zwischen den beiden Untersuchungsjahren zeigen sich auch, wenn man die Veränderungen in der Tiefenverteilung vergleicht.

In Abb. 20 (Mitte und links) sind die Meßwerte einer N_0 -Parzelle von 1975 denjenigen eines direkt benachbarten Winterweizenstand-

ortes, der 1976 untersucht wurde, gegenübergestellt. 1976 ist im Gegensatz zu 1975 Anfang April noch keine Abnahme zu erkennen. Anfang Mai ist die Entleerung erst bis 60 cm Tiefe und Anfang Juni bis 100 cm fortgeschritten (die in Abb. 20 dargestellten Ergebnisse aus einer Bracheparzelle werden in Kap. 4.2.2.4 erläutert).

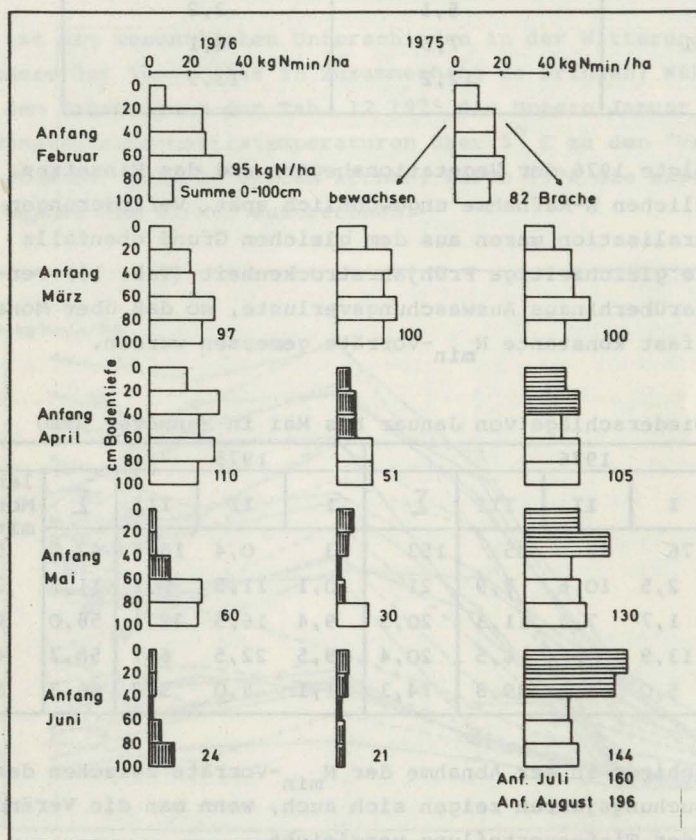


Abb. 20: Veränderung des N_{min}-Gehaltes benachbarter Winterweizenstandorte während der Veg.-Periode 1976 im Vergleich zu 1975 (mit Brache) auf N₀-Parzellen

Noch später fand die Entleerung des Bodens bei dem auf Seite 62 beschriebenen Düngungsversuch statt. Die während der Vegetationsperiode durchgeführten Messungen (Abb. 21) zeigen, daß die N_{min} -Vorräte hier im April erst bis 40 cm, im Mai bis 60 cm und erst im Laufe des Juni bis 100 cm vermindert wurden.

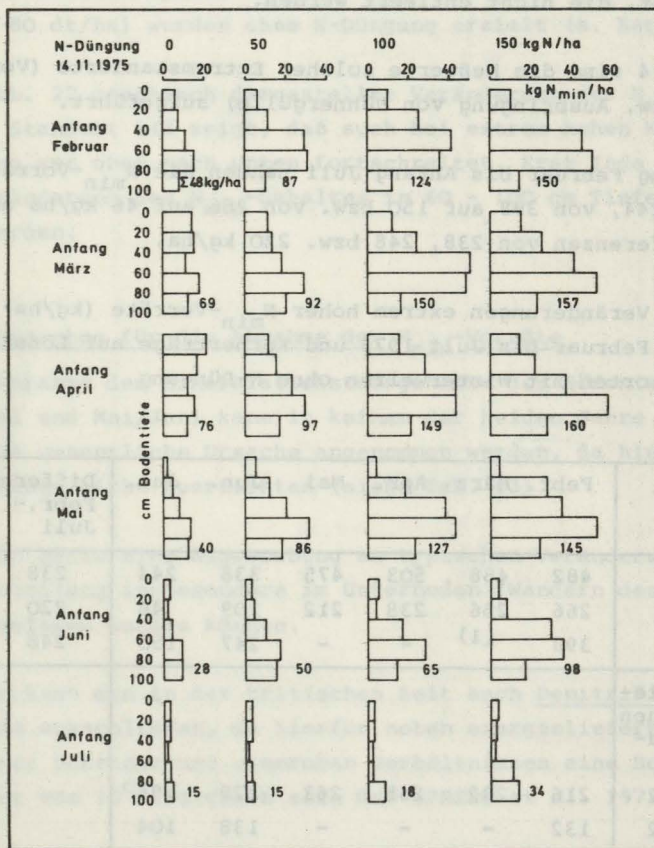


Abb. 21: Veränderungen der N_{min} -Gehalte von vier Winterweizenparzellen, die im Herbst 1975 mit 0, 50, 100, 150 kg N/ha gedüngt wurden von Februar bis Juli 1976 (Rodenberg)

4.2.2.3 Abnahme bei extrem hohen N_{\min} -Vorräten

In Abb. 17 und in Abb. 19 sind Untersuchungen an Standorten mit "normalen" N_{\min} -Vorräten (bis 150 kg/ha) dargestellt. Solche Böden sind im Juni "entleert".

Da bei der Erhebungsuntersuchung 1976 auf drei Standorten extrem hohe N_{\min} -Vorräte festgestellt wurden, ist erwiesen, daß es auch Böden gibt, die nicht entleert werden.

In Tab. 14 sind die Meßwerte solcher Extremstandorte (Vorfrucht Gemüse bzw. Ausbringung von Hühnergülle) aufgeführt.

Von Anfang Februar bis Anfang Juli nahmen die N_{\min} -Vorräte von 482 auf 244, von 398 auf 150 bzw. von 266 auf 46 kg/ha ab. Das sind Differenzen von 238, 248 bzw. 220 kg/ha.

Tab. 14: Veränderungen extrem hoher N_{\min} -Vorräte (kg/ha) von Februar bis Juli 1976 und Kornerträge auf Lößstandorten mit Winterweizen ohne N-Düngung

Standort	Febr.	März	Apr.	Mai	Jun.	Jul.	Differenz Febr.- Juli	Korner- trag b. N_0 dt/ha
213	482	488	503	475	338	244	238	57
142	266	256	238	212	109	46	220	85
212	398	- ¹⁾	-	-	247	150	248	80
Unterschiede zwischen den Stand- orten								
213 - 142	216	232	265	263	229	198		
212 - 142	132	-	-	-	138	104		
213 - 212	84	-	-	-	91	94		
1) nicht bestimmt								

Es scheint demnach eine Obergrenze für die N_{\min} -Abnahme im Zeitraum Februar bis Juli zu geben, die bei Winterweizen im Untersuchungsgebiet etwas über 200 kg N/ha liegt. Die Übereinstimmung in der Höhe der Gesamtabnahme wird dadurch erhärtet, daß die Unterschiede zwischen den N_{\min} -Vorräten der drei Standorte bei allen Meßterminen annähernd konstant bleiben.

Die in der letzten Spalte von Tab. 14 enthaltenen Kornerträge (57, 85, 80 dt/ha) wurden ohne N-Düngung erzielt (s. Kap. 4.3.3).

Die in Abb. 22 graphisch dargestellte Veränderung der N_{\min} -Vorräte auf Standort 142 zeigt, daß auch bei extrem hohen Werten die Entleerung von oben nach unten fortschreitet. Erst Ende Mai kann eine Verminderung des N_{\min} -Gehaltes in 60 - 100 cm Tiefe nachgewiesen werden.

4.2.2.4 Ursachen für die Abnahme der N_{\min} -Vorräte

Für die Abnahme der Mineralstickstoffgehalte der Böden zwischen März/April und Mai/Juni kann in keinem der beiden Jahre Auswaschung als wesentliche Ursache angenommen werden, da hierfür die Niederschläge nicht ausreichen (siehe Tab. 13).

Im übrigen hätte eine Auswaschung an typischen Veränderungen der Tiefenverteilung insbesondere im Unterboden (Wandern des Maximums) abgelesen werden können.

Weiterhin kann man in der kritischen Zeit auch Denitrifikation weitgehend ausschließen, da hierfür neben energieliefernder organischer Substanz und anaeroben Verhältnissen eine Bodentemperatur von 15° C gegeben sein muß (FREDE et al. 1975).

Die in Tab. 15 aufgeführten wöchentlichen Messungen in Hannover zeigen, daß Temperaturen gegen 15° C in beiden Jahren in 20 cm erst ab Mai, in 50 cm ab Juni und in 100 cm Tiefe ab Juli er-

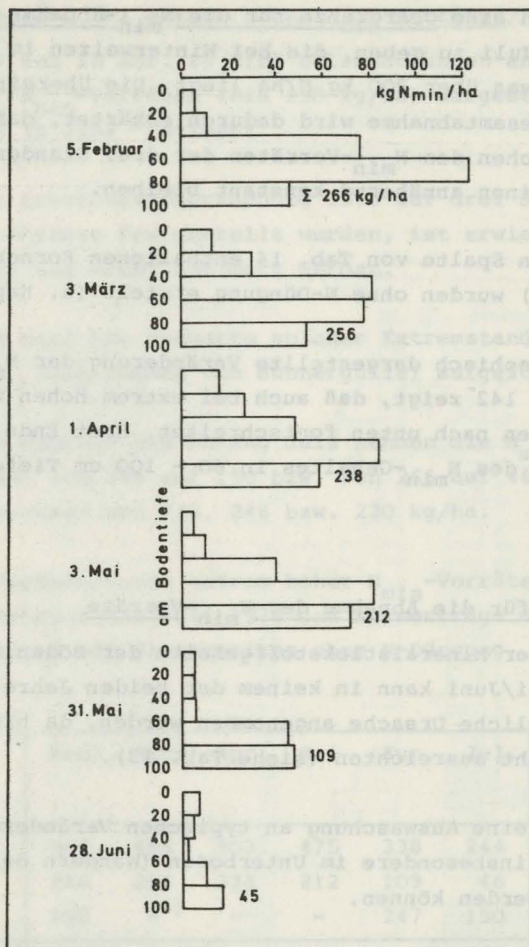


Abb. 22: Abnahme des N_{\min} -Gehaltes eines Lössbodens mit extrem hohem Anfangswert von Februar bis Juni 1976, Winterweizen ohne N-Düngung (Kornertrag 85 dt/ha)

reicht sind.

Die N_{\min} -Vorräte sind jedoch meist deutlich vor diesen Zeitpunkten verschwunden (unterbrochene Linie in Tab. 15). Gegen

Tab. 15: Bodentemperaturen in 20, 50 und 100 cm Tiefe
in Hannover (bewachsene Fläche)¹⁾

Monat/Woche	1975			1976			
	20	50	100 cm	20	50	100 cm	
Jan.	1	6,4	6,7	7,6	2,8	4,4	6,0
	2	4,3	6,8	7,5	5,5	6,1	6,5
	3	5,6	6,2	7,2	4,8	5,6	6,4
	4	4,0	5,2	2)			
	5	4,3	5,4	6,6	2,3	4,2	6,0
Febr.	1	4,2	5,8	6,7	0,8	2,6	4,8
	2	4,0	4,4	5,7	0,6	2,2	4,2
	3	3,4	4,0	5,4	1,4	2,4	4,0
	4	2,6	3,8	5,1	3,5	3,5	4,3
März	1	5,7	5,2	5,3	4,0	5,3	5,5
	2	6,6	6,6	6,3	1,3	2,9	4,6
	3	4,0	5,2	6,2	2,6	3,5	4,4
	4	4,3	5,2	5,8	1,6	2,7	4,2
	5				5,6	5,6	5,2
Apr.	1	4,8	5,2	5,7	6,0	6,6	6,3
	2	4,8	5,3	5,8	8,6	7,6	6,7
	3	7,8	6,8	6,3	10,3	9,8	8,3
	4	10,7	9,0	7,4			
	5	11,6	10,2	8,6	7,4	8,5	8,1
Mai	1	11,8	10,9	9,5	8,8	8,7	8,2
	2	12,5	12,2	10,7	12,3	12,1	10,1
	3	13,9	13,7	12,0	14,0	12,6	10,6
	4	13,4	13,3	11,9	13,6	13,1	11,5
Juni	1	11,9	12,5	11,8	13,6	13,1	11,8
	2	15,2	14,2	12,5	14,3	14,5	12,5
	3	16,0	15,3	13,5	15,3	15,8	13,8
	4	18,6	17,5	14,7	16,6	16,1	14,0
	5				19,4	18,6	15,6
Juli	1	16,5	16,1	14,8	19,2	18,9	16,4
	2	19,9	18,2	15,6	19,8	19,0	16,8
	3	19,2	18,8	16,5	19,1	19,3	17,3
	4	19,4	18,6	16,6	18,5	18,4	16,8
	5	18,2	17,7	16,3			

1) Inst. f. Meteorologie, TU Hannover
2) nicht abgelesen

die Annahme, daß Denitrifikation als wesentliche Ursache für die Abnahme des N_{\min} -Gehaltes in Frage kommt, spricht weiterhin die Tatsache, daß die N_{\min} -Vorräte auf Bracheflächen im Unterboden unverändert während der ganzen Vegetationsperiode erhalten bleiben. Dies geht aus dem rechten Teil der Abb. 20 mit Meßwerten aus einer 1975 angelegten überdachten Bracheparzelle hervor und wird eingehender im Kap. 4.2.3 beschrieben.

Die hier genannten Ergebnisse lassen den Schluß zu, daß die pflanzliche N-Aufnahme als Ursache für die Abnahme der N_{\min} -Vorräte zu betrachten ist.

Die Messungen über die N-Aufnahme von Weizenbeständen die in Kap. 4.3 behandelt werden, sind geeignet, diese Annahme zu erhärten.

4.2.3 Veränderungen des N_{\min} -Vorrates auf Bracheflächen

Die in den Abbildungen 17, 18 und 19 dargestellte typische Abnahme der N_{\min} -Vorräte mit Beginn des intensiven Pflanzenwachstums verdeckt die gleichzeitig ablaufende Stickstoffnachlieferung aus der organischen Substanz.

Das Absinken des N_{\min} -Vorrates bedeutet, daß die Aufnahme durch die Pflanze in der Phase des starken Wachstums größer ist als die Nachlieferung. Diese Deutung geht von der Voraussetzung aus, daß unter den gegebenen Bedingungen weder Auswaschung noch Denitrifikation oder Immobilisation wesentliche Ursachen der Abnahme der N_{\min} -Vorräte sind.

Das Überwiegen der N-Aufnahme über die N-Nachlieferung beginnt in einem "frühen" Frühjahr (1975) etwa Anfang März, in einem besonders "späten" Frühjahr (1976) etwa Anfang April.

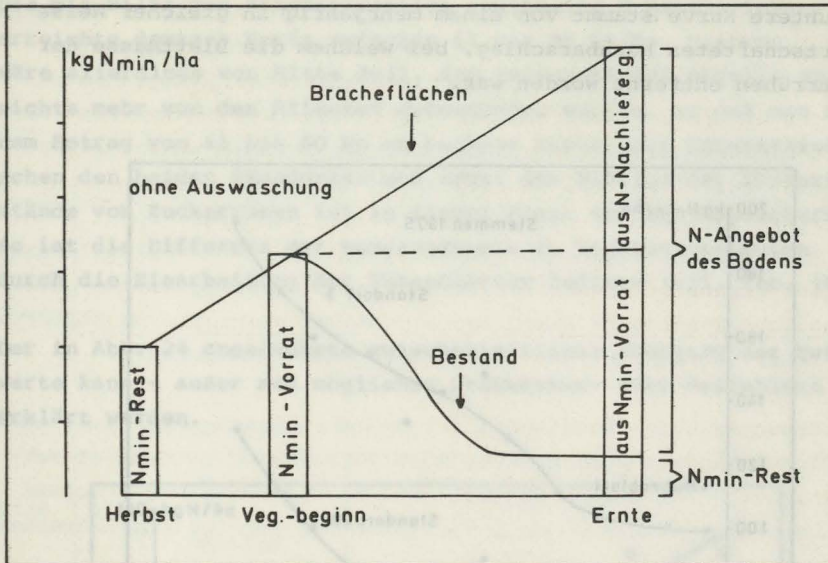


Abb. 23: Zeitliche Entwicklung des N_{\min} -Gehaltes im unbe- und bewachsenen Boden und Zusammensetzung des N-Angebotes (schematisiert)

Vor dieser Phase kann bei fehlender Auswaschung die N_{\min} -Anhäufung durch Nettomineralisation an der Zunahme des N_{\min} -Vorrates gemessen werden. In einer bestimmten Übergangszeit halten sich N-Nachlieferung und N-Aufnahme die Waage.

Informationen über die Nettonachlieferung während der Vegetationsperiode können aus Messungen des N_{\min} -Gehaltes des Bodens auf Bracheflächen gewonnen werden. In Abb. 23 ist die Anhäufung von Mineralstickstoff auf überdachten pflanzenfreien Parzellen in Abhängigkeit von der Zeit vereinfacht als linear dargestellt.

In Abb. 24 sind die N_{\min} -Gehalte zweier Bracheparzellen, die im März 1975 auf Winterweizenflächen angelegt wurden, in Abhängigkeit von der Zeit aufgetragen. Die obere Kurve bezieht sich auf die in Abb. 20 rechts, dargestellte Fläche auf einem Schlag mit Vorfrucht Zuckerrüben, wobei die Rübenblattmasse auf dem Feld belassen wurde.

Die untere Kurve stammt von einem mehrjährig in gleicher Weise bewirtschafteten Nachbarschlag, bei welchem die Blattmasse der Zuckerrüben entfernt worden war.

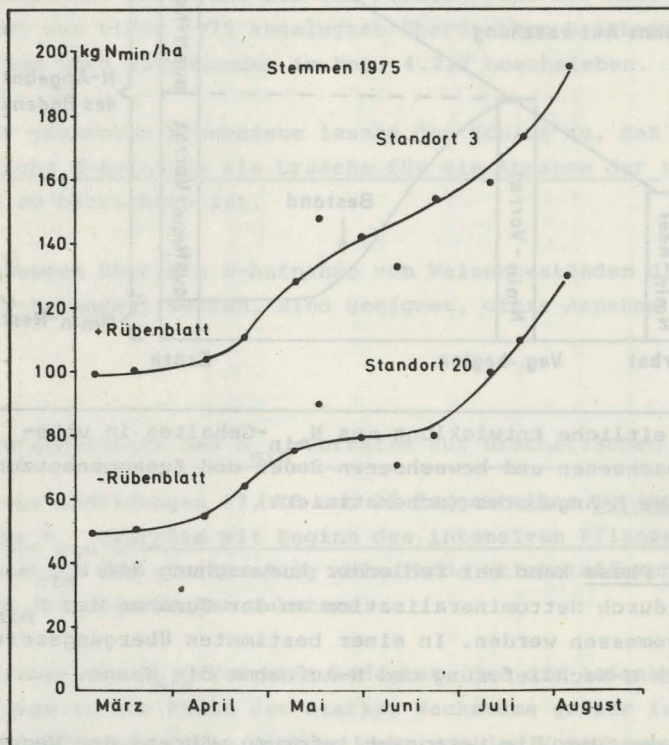


Abb. 24: Zeitlicher Verlauf der N_{\min} -Gehalte von zwei Bracheparzellen auf Winterweizenflächen mit Vorfrucht Zuckerrüben mit und ohne Einarbeitung der Rübenblattmasse

Die Ausgangswerte im März unterscheiden sich um 50 kg N_{\min} /ha.

In beiden Fällen nahmen die N_{\min} -Mengen von März bis zur Ernte um ähnliche Beträge zu (von 100 auf 196 bzw. von 50 auf 131 kg/ha).

Die mit Hilfe von Bracheparzellen ermittelte N-Nachlieferung erreichte demnach Werte zwischen 81 und 96 kg/ha. Hiervon wäre allerdings von Mitte Juli, dem Zeitpunkt der Abreife an nichts mehr von den Pflanzen aufgenommen worden, so daß man mit einem Betrag von 65 bis 80 kg zu rechnen hätte. Der Unterschied zwischen den beiden Standorten und damit der Einfluß der Ernterückstände von Zuckerrüben ist in dieser Phase gering. Möglicherweise ist die Differenz der Ausgangswerte zu Vegetationsbeginn durch die Einarbeitung der Rübenblätter bedingt (vgl. Tab. 10).

Der in Abb. 24 angedeutete zwischenzeitliche Rückgang der Meßwerte kann - außer mit möglichen Probenahme- oder Meßfehlern nicht erklärt werden.

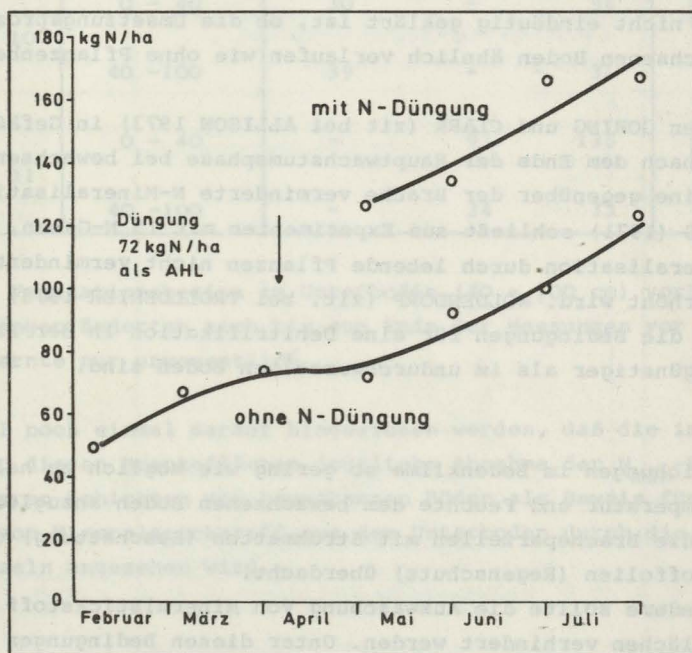


Abb. 25: Zeitlicher Verlauf der N_{\min} -Gehalte von zwei Bracheparzellen auf Winterweizenflächen mit Vorfrucht Zuckerrüben (ohne Einarbeitung der Blattmasse) mit und ohne N-Düngung (Rodenberg 1976)

Abb. 25 zeigt die Veränderungen der N_{\min} -Gehalte zweier Bracheparzellen, die 1976 auf einem Winterweizenstandort angelegt wurden, und zwar ohne N-Düngung (untere Kurve) bzw. mit 72 kg N/ha am 3. April (obere Kurve). Die Anhäufung von Mineralstickstoff betrug von März bis Ende Juli rund 60 kg/ha, also etwas weniger als auf den beiden 1975 geprüften Standorten.

Der mit der Düngung ausgebrachte Stickstoff wird im Mittel nur zu 80 % wiedergefunden. Ein nachhaltig die Mineralisation beeinflussender "priming effect" der N-Düngung, der z.B. von SCHEFFER und FREDE (1975) gefunden wurde, ist nicht nachzuweisen.

Die Ergebnisse der Bestimmung der N-Nachlieferung mit Hilfe von Bracheparzellen müssen mit gewissen Vorbehalten betrachtet werden, da nicht eindeutig geklärt ist, ob die Umsetzungsprozesse im bewachsenen Boden ähnlich verlaufen wie ohne Pflanzenbewuchs.

So fanden GORING und CLARK (zit bei ALLISON 1973) in Gefäßversuchen nach dem Ende der Hauptwachstumsphase bei bewachsenen Böden eine gegenüber der Brache verminderte N-Mineralisation. HUNTJENS (1971) schließt aus Experimenten mit 15 N-Gaben, daß die Mineralisation durch lebende Pflanzen nicht vermindert und nicht erhöht wird. WOLDENDORP (zit. bei TROLLDENIER 1973) zeigte, daß die Bedingungen für eine Denitrifikation in der Rhizosphäre günstiger als im undurchwurzelten Boden sind.

Um Abweichungen im Bodenklima so gering wie möglich zu halten, d.h. Temperatur und Feuchte dem bewachsenen Boden anzugleichen, wurden die Bracheparzellen mit Strohmatte (Beschattung) und Kunststoffolien (Regenschutz) überdacht.

Inbesondere sollte die Auswaschung von Mineralstickstoff aus den Bracheflächen verhindert werden. Unter diesen Bedingungen erfolgte die Anhäufung von Mineralstickstoff in beiden Jahren und in allen Varianten fast ausschließlich in den Bodenschichten 0 - 20 und 20 - 40 cm (siehe Tab. 16 und Abb. 20).

Tab. 16: Veränderungen der N_{\min} -Gehalte in verschiedenen Bodenschichten in Bracheparzellen zwischen März und August 1975 und 1976 ($\text{kg } N_{\min}/\text{ha}$)

	VG	Bodenschicht cm	A. März	A. Mai	A. Aug.	Δ Aug.-März
1975	3	0 - 40	33	-	138	+ 105
		40 - 100	67	-	58	- 9
	20	0 - 40	23	-	92	+ 69
		40 - 100	27	-	41	+ 14
1976	10	0 - 40	30	-	96	+ 66
		40 - 100	39	-	31	- 8
	11	0 - 40	-	93	135	+ 42
		40 - 100	-	34	33	- 1

Die zu Vegetationsbeginn im Unterboden (40 - 100 cm) vorhandenen N_{\min} -Mengen änderten sich bis zum Ende der Messungen vor der Getreideernte nur unwesentlich.

Es soll noch einmal darauf hingewiesen werden, daß die im Gegensatz zu diesen Bracheflächen deutliche Abnahme der N_{\min} -Vorräte in unteren Schichten von bewachsenen Böden als Beweis für die Aufnahme von Mineralstickstoff aus dem Unterboden durch die Pflanzenwurzeln angesehen wird.

4.3 Der Einfluß des N_{\min} -Vorrates des Bodens auf Wachstum,
N-Gehalt, N-Aufnahme und Ertrag von Winterweizen

Die Aufnahme des N_{\min} -Vorrates des Bodens durch die Pflanzen wurde bisher aufgrund von Bodenuntersuchungsergebnissen belegt bzw. vermutet. Sie muß sich jedoch auch durch Messungen am pflanzlichen Aufwuchs bestätigen lassen.

Ein Zusammenhang zwischen dem N_{\min} -Vorrat und dem Wachstum der Pflanzen ist indessen nur denkbar, wenn die Unterschiede im N_{\min} -Vorrat nicht von der N-Nachlieferung überdeckt werden. Das bedeutet, daß die N-Nachlieferung wie in Abb. 26 schematisch dar-

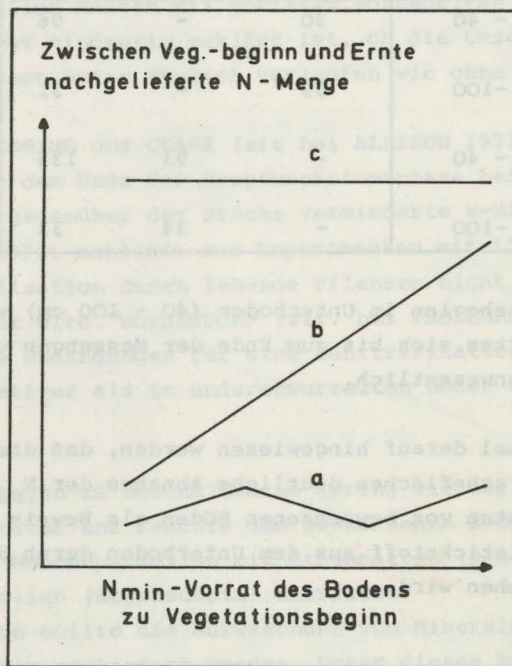


Abb. 26: Mögliche Beziehungen zwischen N_{\min} -Vorrat zu Veg.-beginn und der zwischen Veg.-beginn und Ernte nachgelieferten N-Menge

gestellt entweder relativ niedrig, und damit nicht entscheidend (a) oder proportional zu den N_{\min} -Vorräten (b) oder immer auf ungefähr der gleichen Höhe (c) sein muß.

Zur Überprüfung der Frage, ob der Einfluß des N_{\min} -Vorrates des Bodens am pflanzlichen Aufwuchs feststellbar ist, wurden 1975 von März bis zur Ernte und 1976 an drei Terminen im Mai Sproßmasse und N-Entzug von Winterweizen auf N_0 -Parzellen gemessen. In beiden Jahren wurde der Kornertrag von N_0 -Parzellen und parallel dazu von gedüngten Flächen ermittelt.

4.3.1 Beziehung zwischen N_{\min} -Vorrat und Sproßmasse

In Abb. 27 ist die Sproßmasse je ha von 17 N_0 -Parzellen in

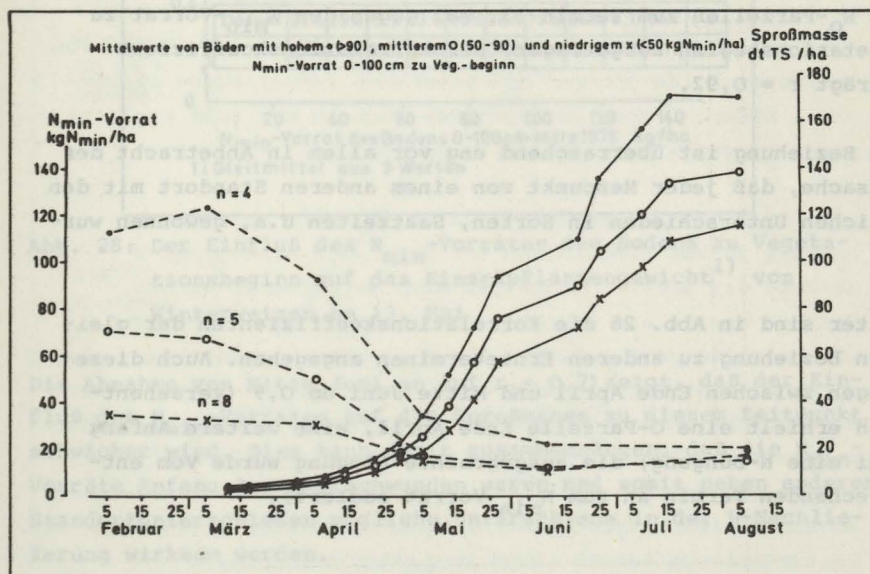


Abb. 27: Abnahme der N_{\min} -Vorräte der Böden und Zunahme der Sproßmasse bei Winterweizen im Verlauf der Vegetationsperiode 1975, N_0 -Parzellen

Abhängigkeit von der Zeit und dem N_{\min} -Vorrat der Böden 1975 dargestellt. Zur besseren Übersicht wurden Mittelwerte aus je drei Klassen (10 - 50, 50 - 90 und >90 kg N_{\min} /ha gebildet. Zusätzlich wurden die N_{\min} -Vorräte der Böden der entsprechenden Klassen aufgetragen (vgl. hierzu Abb. 18).

Aus der Darstellung wird deutlich, daß der N_{\min} -Vorrat des Bodens die Sproßmasse von Winterweizen schon von einem sehr frühen Zeitpunkt an (März/April) und durchgehend bis zur Ernte beeinflusst.

Durch die Bildung von Klassenmitteln ist nicht mehr sichtbar, daß die Beziehung zwischen N_{\min} -Vorrat des Bodens und der Sproßmasse der Weizenpflanzen zu den einzelnen Probenahmeterminen sehr eng ist. In Abb. 28 ist daher das Einzelpflanzengewicht auf N_0 -Parzellen zum Termin 13. Mai gegen den N_{\min} -Vorrat zu Vegetationsbeginn aufgetragen. Der Korrelationskoeffizient beträgt $r = 0,92$.

Die Beziehung ist überraschend eng vor allem in Anbetracht der Tatsache, daß jeder Meßpunkt von einem anderen Standort mit den üblichen Unterschieden in Sorten, Saatzeiten u.a. gewonnen wurde.

Weiter sind in Abb. 28 die Korrelationskoeffizienten der gleichen Beziehung zu anderen Ernteterminen angegeben. Auch diese liegen zwischen Ende April und Mitte Juni um 0,9 (versehentlich erhielt eine O -Parzelle Ende April, eine weitere Anfang Juni eine N -Düngung; die ausgebrachte Düngung wurde vom entsprechenden Termin an zum N_{\min} -Vorrat addiert).

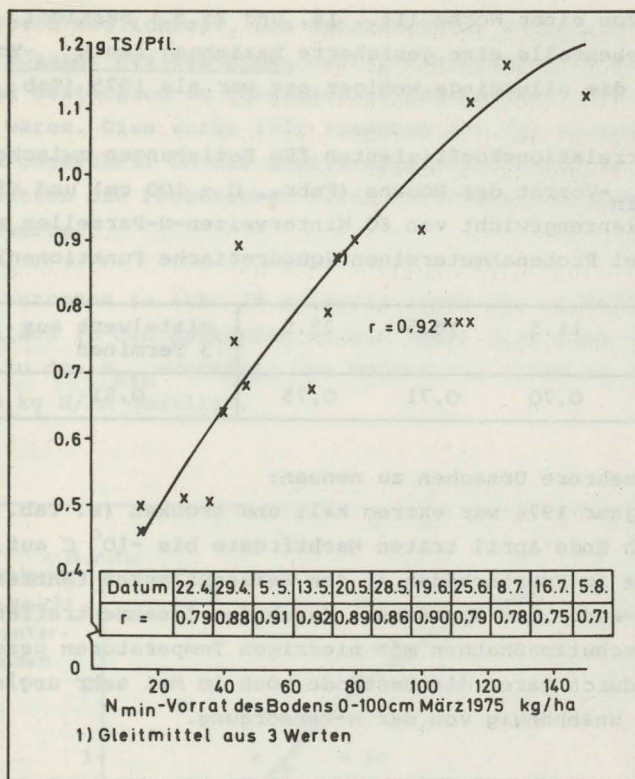


Abb. 28: Der Einfluß des N_{\min} -Vorrates des Bodens zu Vegetationsbeginn auf das Einzelpflanzengewicht¹⁾ von Winterweizen am 13. Mai

Die Abnahme von Mitte Juni an auf $r = 0,71$ zeigt, daß der Einfluß des N_{\min} -Vorrates auf die Sproßmasse zu diesem Zeitpunkt schwächer wird. Dies kann damit zusammenhängen, daß die N_{\min} -Vorräte Anfang Juni verschwunden waren und somit neben anderen Standortunterschieden mögliche Unterschiede in der N-Nachlieferung wirksam werden.

1976 wurden die Pflanzengewichte auf 60 N_0 -Parzellen nur dreimal

im Abstand von einer Woche (11., 18. und 25.5.) bestimmt. Es ergab sich ebenfalls eine gesicherte Beziehung zum N_{\min} -Vorrat im Februar, die allerdings weniger eng war als 1975 (Tab. 17).

Tab. 17: Korrelationskoeffizienten für Beziehungen zwischen N_{\min} -Vorrat des Bodens (Febr., 0 - 100 cm) und Einzelpflanzengewicht von 60 Winterweizen-N-Parzellen zu drei Probenahmeterminen (quadratische Funktionen)

Datum	11.5	18.5	25.5	Mittelwert aus 3 Terminen
r	0,70	0,71	0,75	0,81

Dafür sind mehrere Ursachen zu nennen:

1. Das Frühjahr 1976 war extrem kalt und trocken (s. Tab. 12 u. 13). Noch Ende April traten Nachtfroste bis -10° C auf, die teilweise zu Frostschäden an den Weizenpflanzen führten. Zum Teil wurde die Sproßmasse durch das Zusammentreffen von Pflanzenschutzmaßnahmen mit niedrigen Temperaturen geschädigt. Dadurch waren die Bestände noch im Mai sehr ungleich, und zwar unabhängig von der N-Versorgung.
2. Die Böden enthielten wegen des verspäteten Vegetationsbeginns zu den Meßterminen zum Teil noch erhebliche N_{\min} -Mengen, die erst im Laufe des Juni aufgenommen wurden. Dadurch konnte die Sproßmasse Mitte Mai erst einen mehr oder weniger großen Anteil des N_{\min} -Vorrates anzeigen. Dies wurde ersichtlich, nachdem die Ergebnisse der Anfang Juni durchgeführten Bodenuntersuchung vorlagen, und es hätte sich angeboten, weitere Pflanzenproben zu einem Zeitpunkt zu entnehmen, zu dem die Böden "entleert" waren. Aus organisatorischen Gründen konnte eine solche kurzfristige Erweiterung des Versuchsplanes jedoch nicht vorgenommen werden.

Eine weitere Möglichkeit, das Sproßwachstum zu beurteilen, ist die Bonitur des Bestandes der N_0 -Parzellen nach Blattfarbe, Größe und Bestockung im Vergleich zu den Flächen, die mit N gedüngt waren. Dies wurde 1976 zusammen mit der Pflanzenprobennahme durchgeführt. Um die Boniturergebnisse nicht zu verfälschen, hatten die Probenehmer keine Informationen über die Bodenmeßwerte.

Die Boniturnoten in Abb. 29 spiegeln damit die augenfälligen Unterschiede in den Beständen wieder. Auch hier wird die Beziehung zu den N_{\min} -Vorräten des Bodens vor allem im Bereich unter 70 kg N/ha deutlich.

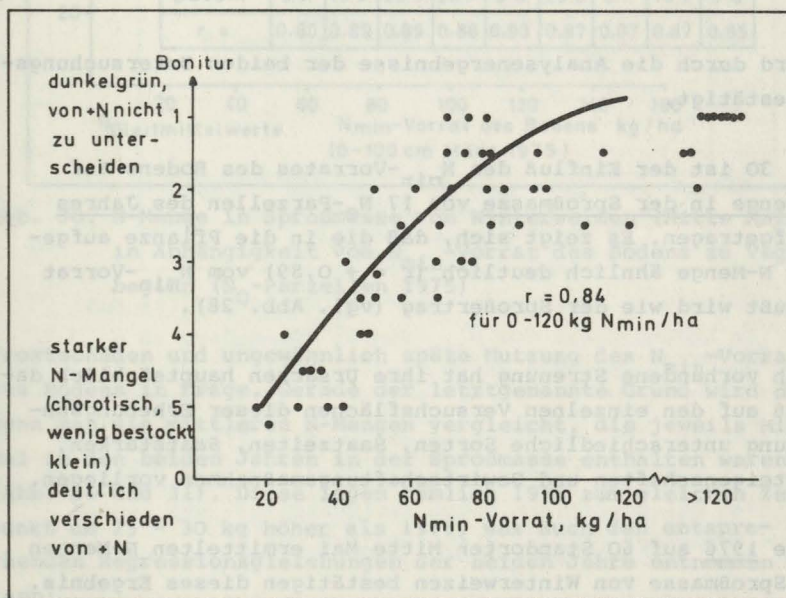


Abb. 29: Beziehung zwischen N_{\min} -Vorrat des Bodens und Beurteilung des Weizenbestandes von N_0 -Parzellen nach Größe, Blattfarbe und Bestockung

von Weizenpflanzen in beiden Untersuchungsjahren vom N_{\min} -Vorrat des Bodens zu Vegetationsbeginn abhängig war.

4.3.2 Beziehung zwischen N_{\min} -Vorrat des Bodens und N-Aufnahme bzw. N-Gehalt von Winterweizen

Nachdem im vorhergehenden Kapitel eine enge Beziehung zwischen der Sproßmasse von Weizenbeständen und dem N_{\min} -Vorrat des Bodens gezeigt werden konnte, ist zu erwarten, daß auch die in die Sproßmasse aufgenommene N-Menge vom N_{\min} -Vorrat abhängig ist.

Dies wird durch die Analysenergebnisse der beiden Untersuchungsjahre bestätigt.

In Abb. 30 ist der Einfluß des N_{\min} -Vorrates des Bodens auf die N-Menge in der Sproßmasse von 17 N_0 -Parzellen des Jahres 1975 aufgetragen. Es zeigt sich, daß die in die Pflanze aufgenommene N-Menge ähnlich deutlich ($r = + 0,89$) vom N_{\min} -Vorrat beeinflusst wird wie der Sproßertrag (vgl. Abb. 28).

Die noch vorhandene Streuung hat ihre Ursachen hauptsächlich darin, daß auf den einzelnen Versuchsflächen dieser Erhebungsuntersuchung unterschiedliche Sorten, Saatzeiten, Saatstärken, Standorteigenschaften und Bewirtschaftungsmaßnahmen vorliegen.

Auch die 1976 auf 60 Standorten Mitte Mai ermittelten N-Mengen in der Sproßmasse von Winterweizen bestätigen dieses Ergebnis. Dies geht aus Abb. 31 hervor.

Als Ursache für die größere Streuung der Meßwerte ($r = 0,76$) kommen die bereits in Kap. 4.3.1 erwähnten Besonderheiten wie

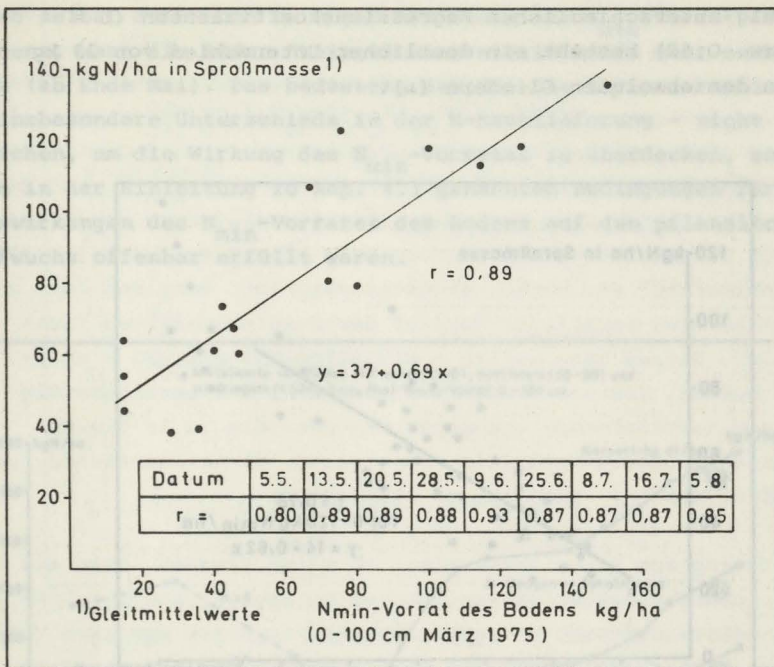


Abb. 30: N-Menge in Sproßmasse von Winterweizen (Mitte Mai) in Abhängigkeit vom N_{\min} -Vorrat des Bodens zu Veg.-beginn (N_0 -Parzellen 1975)

Frostschäden und ungewöhnlich späte Nutzung des N_{\min} -Vorrates des Bodens in Frage. Gerade der letztgenannte Grund wird deutlich, wenn man die mittleren N-Mengen vergleicht, die jeweils Mitte Mai in den beiden Jahren in der Sproßmasse enthalten waren (Abb. 30 und 31). Diese lagen nämlich 1975 zum gleichen Zeitpunkt um 25 - 30 kg höher als 1976, was auch den entsprechenden Regressionsgleichungen der beiden Jahre entnommen werden kann:

$$1975 : y = 37 + 0,69x$$

$$1976 : y = 14 + 0,62x$$

$$(y = \text{N-Mengen in Sproßmasse, kg/ha})$$

Bei wenig unterschiedlichen Regressionskoeffizienten ($b = 0,69$ bzw. $0,62$) besteht ein deutlicher Unterschied von 23 kg N/ha in den absoluten Gliedern (a).

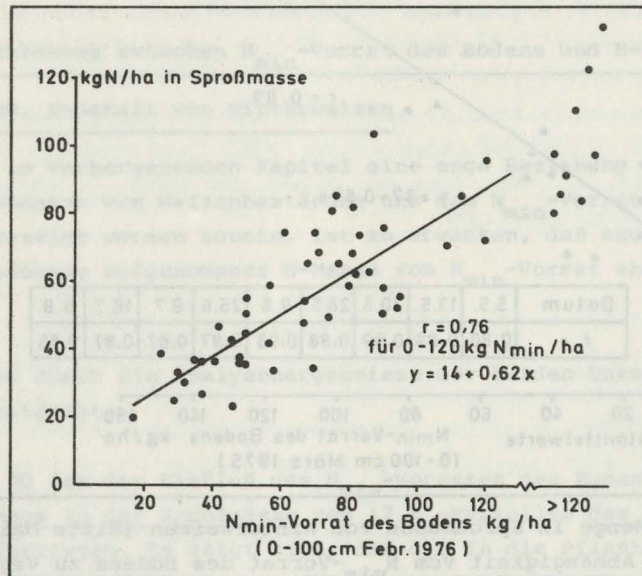


Abb. 31: N-Menge in Sproßmasse von Winterweizen (Mitte Mai) in Abhängigkeit vom N_{min} -Vorrat des Bodens zu Vegetationsbeginn (N_0 -Parzellen 1976)

Es wäre demnach 1976 günstig gewesen, weitere Pflanzenproben auch noch zu späteren Terminen zu entnehmen, um die N-Gehalte der Pflanzen bei entleerten Böden festzustellen, was jedoch aus schon genannten Gründen nicht möglich war.

Die in Abb. 30 zusätzlich eingetragenen Korrelationskoeffizienten für die weiteren 1975 durchgeführten Zwischenernten zeigen ebenfalls eine enge Beziehung zwischen dem N_{min} -Vorrat des Bodens im März und der N-Menge in der Sproßmasse. Letztere steht

also selbst dann noch in enger Beziehung zum N_{min} -Vorrat des Bodens, wenn die Böden "keinen" Mineralstickstoff mehr enthalten (ab Ende Mai). Das bedeutet, daß die Standortunterschiede - insbesondere Unterschiede in der N-Nachlieferung - nicht ausreichen, um die Wirkung des N_{min} -Vorrates zu überdecken, so daß die in der Einleitung zu Kap. 4.3 genannten Bedingungen für die Auswirkungen des N_{min} -Vorrates des Bodens auf den pflanzlichen Aufwuchs offenbar erfüllt waren.

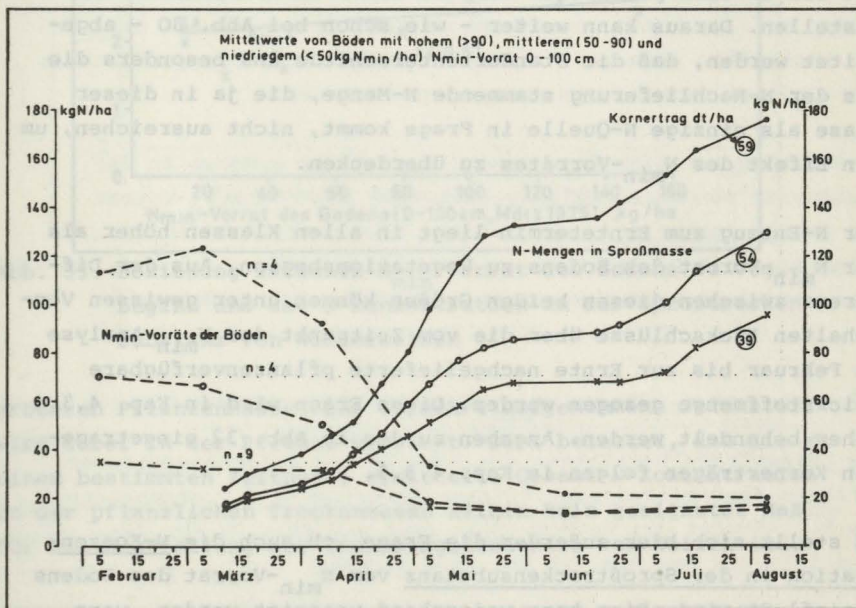


Abb. 32: Abnahme der N_{min} -Vorräte der Böden und Zunahme der N-Mengen in der Sproßmasse von Winterweizen im Verlauf der Veg.-Periode 1975 (N_0 -Parzellen)

Diese Aussage wird in Abb. 32 weiter verdeutlicht: Hier wurden analog zur Darstellungsweise von Abb. 27 aus 17 Böden drei Klassen der N_{min} -Vorräte zu Vegetationsbeginn gebildet, nämlich

< 50, 50 - 90 und > 90 kg N/ha. Die diesen Klassen entsprechenden gemittelten N-Mengen in der Sproßmasse von N_0 -Parzellen sind in Abhängigkeit vom Probenahmetermin aufgezeichnet. Zusätzlich sind die entsprechenden N_{\min} -Vorräte der Böden dargestellt. Es zeigt sich auch bei dieser Darstellungsweise eine deutliche Abhängigkeit der N-Mengen in der Sproßmasse vom N_{\min} -Vorrat des Bodens. Dabei wird sichtbar, daß die Differenzierung der N-Mengen im Sproß zwischen den drei Klassen Ende Mai, also dem Zeitpunkt der "Entleerung" der Böden, abgeschlossen ist, denn von Juni an ist ein in etwa paralleler Verlauf der N-Aufnahmekurven festzustellen. Daraus kann weiter - wie schon bei Abb. 30 - abgeleitet werden, daß die Standortunterschiede und besonders die aus der N-Nachlieferung stammende N-Menge, die ja in dieser Phase als einzige N-Quelle in Frage kommt, nicht ausreichen, um den Effekt des N_{\min} -Vorrates zu überdecken.

Der N-Entzug zum Erntetermin liegt in allen Klassen höher als der N_{\min} -Vorrat des Bodens zu Vegetationsbeginn. Aus der Differenz zwischen diesen beiden Größen können unter gewissen Vorbehalten Rückschlüsse über die vom Zeitpunkt der N_{\min} -Analyse im Februar bis zur Ernte nachgelieferte pflanzenverfügbare Stickstoffmenge gezogen werden. Diese Frage wird in Kap. 4.3.4 näher behandelt werden. Angaben zu den in Abb. 32 eingetragenen Kornerträgen folgen in Kap. 4.3.3.

Es stellt sich hier außerdem die Frage, ob auch die N-Konzentration in der Sproßtrockensubstanz vom N_{\min} -Vorrat des Bodens beeinflusst wird. Dies kann weitgehend verneint werden, wenn die N-Konzentration in der Sproßtrockensubstanz auf allen Standorten zum gleichen Zeitpunkt bestimmt wird. Im unteren Teil von Abb. 33 sind hierüber Meßwerte vom 13. Mai 1975 enthalten.

Ein höheres N-Angebot des Bodens führt demnach bei gleichem Probenahmetermin nicht zu einer wesentlich höheren N-Konzentration, sondern, wie in Kap. 4.3.1 nachgewiesen, zu einer

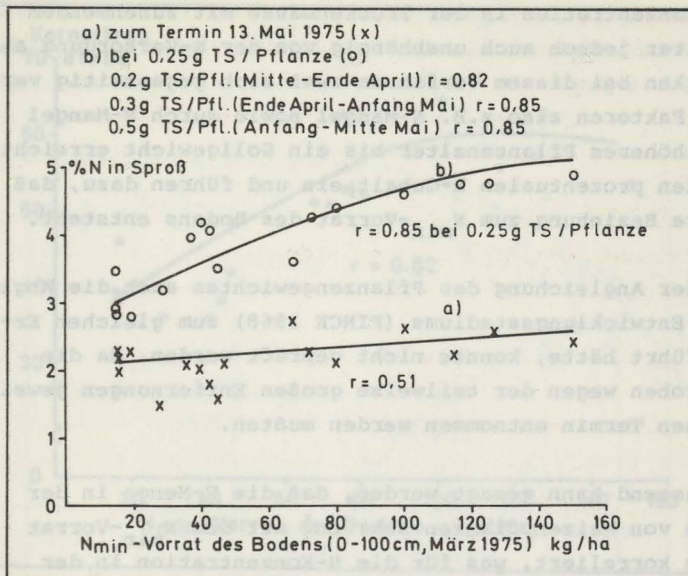


Abb. 33: Beziehung zwischen N_{min} -Vorrat des Bodens zu Veg.-beginn und der N-Konzentration in der Sproßtrocken- substanz von Winterweizen

größeren Pflanzenmasse. Der vermehrt aufgenommene Stickstoff wird dabei in der Pflanze verdünnt. Dies bedeutet, daß die zu einem bestimmten Zeitpunkt ermittelte Gesamt-N-Konzentration in der pflanzlichen Trockenmasse allein kein geeignetes Maß für die Beurteilung des Ernährungszustandes von Weizen ist.

Erst wenn man - z.B. in Anlehnung an MØLLER-NIELSEN (1973, 1976) - die N-Konzentrationen bei gleichem Pflanzengewicht (0,2, 0,25, 0,3, 0,5 g TS/Pflanze) gegen den N_{min} -Vorrat aufträgt, ist, wie aus der oberen Kurve von Abb. 33 hervorgeht, eine enge Korrelation zu erkennen. Hierbei wird jedoch die N-Konzentration verschieden alter Pflanzen verglichen, da die N-Mangel-Pflanzen länger wachsen, um das jeweilige Normgewicht zu erreichen, als gut versorgte.

Da die N-Konzentration in der Trockenmasse mit zunehmendem Pflanzenalter jedoch auch unabhängig von der N-Versorgung abnimmt, wirken bei diesem Verfahren zwei sich gegenseitig verstärkende Faktoren also z.B. N-Mangel sowie durch N-Mangel bedingtes höheres Pflanzenalter bis ein Sollgewicht erreicht ist, auf den prozentualen N-Gehalt ein und führen dazu, daß eine engere Beziehung zum N_{\min} -Vorrat des Bodens entsteht.

Ob statt der Angleichung des Pflanzengewichtes auch die Angleichung des Entwicklungsstadiums (FINCK 1968) zum gleichen Ergebnis geführt hätte, konnte nicht geprüft werden, da die Pflanzenproben wegen der teilweise großen Entfernungen jeweils zum gleichen Termin entnommen werden mußten.

Zusammenfassend kann gesagt werden, daß die N-Menge in der Sproßmasse von Weizenpflanzen sehr eng mit dem N_{\min} -Vorrat des Bodens korreliert, was für die N-Konzentration in der pflanzlichen Trockensubstanz nicht in gleicher Weise gilt, sofern man nicht gewichtsbedingte Unterschiede ausgleicht.

4.3.3 Beziehung zwischen N_{\min} -Vorrat und Kornertrag

Die Kornerträge bestätigen die bereits bei Zwischenernten erkennbare Abhängigkeit des Pflanzenwachstums auf N_0 -Parzellen vom N_{\min} -Vorrat des Bodens. Dies geht aus Abb. 34 für das Jahr 1975 und aus Abb. 35 für 1976 hervor.

Bei niedrigen N_{\min} -Vorräten liegen die Erträge von N_0 -Parzellen nahe 40 dt/ha, bei hohen Vorräten steigen sie z.T. über 60 dt/ha.

Dies wird noch deutlicher, wenn man aus den Werten der Abb. 35 Klassenmittel der N_{\min} -Vorräte bildet.

Es ergeben sich daraus die in Abb. 36 als Säulen dargestellten

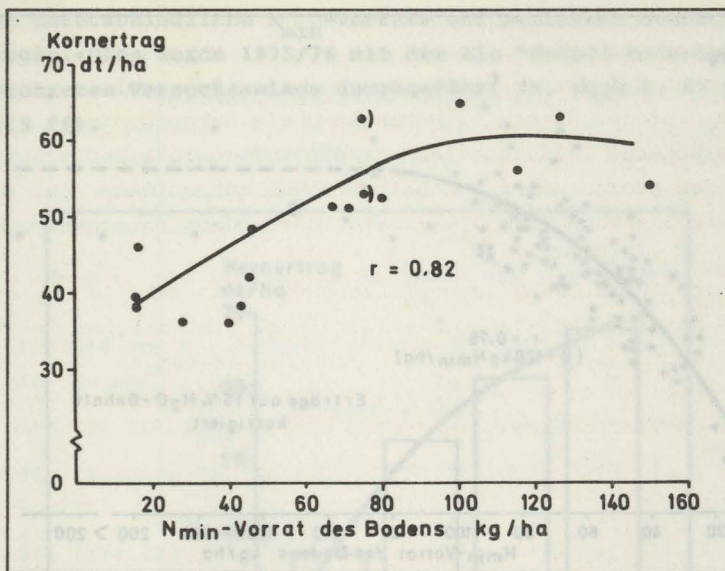


Abb. 34: Beziehung zwischen N_{\min} -Vorrat des Bodens (0 - 100 cm, März 1975) und dem Kornertrag von Winterweizen auf N_0 -Parzellen

Kornerträge in Höhe von 36,8, 52,4, 61 und 68 dt/ha für die Klassen 10 - 40, 41 - 70, 71 - 100 und > 100 kg N_{\min} /ha.

Eine Differenz von ca. 100 kg/ha N_{\min} -Vorrat bewirkt im untersuchten Bereich im Mittel demnach eine Kornertragsdifferenz von rund 30 dt/ha.

Da nach COIC (1960) zur Produktion von 1 dt Weizen rund 3 kg N benötigt werden, kann man ableiten, daß der N_{\min} -Vorrat nahezu vollständig zur Ertragsbildung genutzt wurde, zumal sich bisher keine Anhaltspunkte dafür ergeben haben, daß ein höherer N_{\min} -Vorrat mit einer höheren N-Nachlieferung korreliert (s. Kap. 4.2.3).

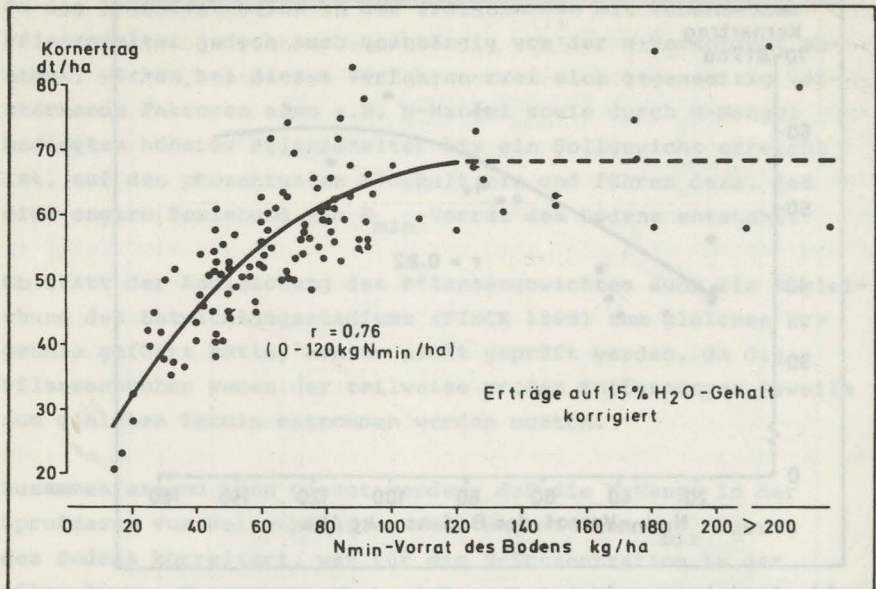


Abb. 35: Beziehung zwischen N_{\min} -Vorrat des Bodens (0 - 100 cm, Febr. 1976) und dem Kornertrag von Winterweizen auf N_0 -Parzellen

Die Streuung der Erträge um die Regressionslinie hat ihre Ursache im wesentlichen in unterschiedlichen Standorten, Wirtschaftsweisen, Kulturmaßnahmen und vor allem auch Sorten. Daneben ist ein gewissen Anteil an Versuchsfehler nicht auszuschließen, insbesondere, wenn man das angewandte Ernteverfahren mit Mäh-dreschern der Landwirtschaftsbetriebe und Wägung auf Fahrzeugwagen betrachtet.

Für 1976 kommen störende Einflüsse unterschiedlich starker Spätfröste und Dürreschäden hinzu.

Eine Versuchsmethode, bei der die den Erhebungsuntersuchungen eigene Streuung nicht auftritt, besteht darin, durch Herbst-N-

Gaben unterschiedliche N_{\min} -Vorräte auf demselben Standort zu erzeugen. Dies wurde 1975/76 mit der als "Modell Rodenberg" bezeichneten Versuchsanlage durchgeführt (s. auch S. 65 u. S. 119 ff).

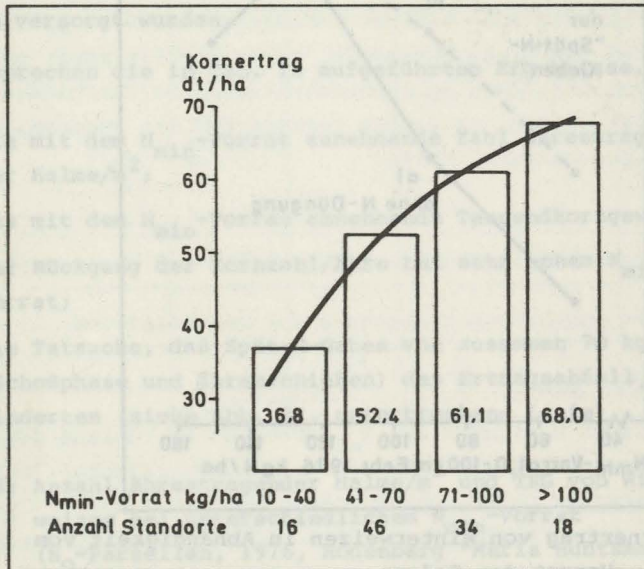


Abb. 36: Kornertrag von Winterweizen in Abhängigkeit vom N_{\min} -Vorrat des Bodens (Klassenmittelwerte) auf N_0 -Parzellen 1976

Hierbei konnten auf vier 250 m langen und 12 m breiten Großparzellen N_{\min} -Vorräte in Höhe von 50, 90, 125 und 150 kg erreicht werden. Auf jeder Großparzelle wurden im Frühjahr 1976 ein Kleinparzellen-Düngungsversuch angelegt, worüber in Kap. 4.4.2 berichtet wird. Ein jeweils 100 m langes Teilstück der Großparzellen wurde nicht mit N gedüngt. Die hierauf erzielten Kornerträge sind in Abb. 37 (durchgezogene Linie) dargestellt. Zusätzlich sind die Kornerträge der Varianten "nur Spät-N-Gaben" (unterbrochene Linie), die in den Kleinparzellen-

versuchen ermittelt wurden, aufgetragen.

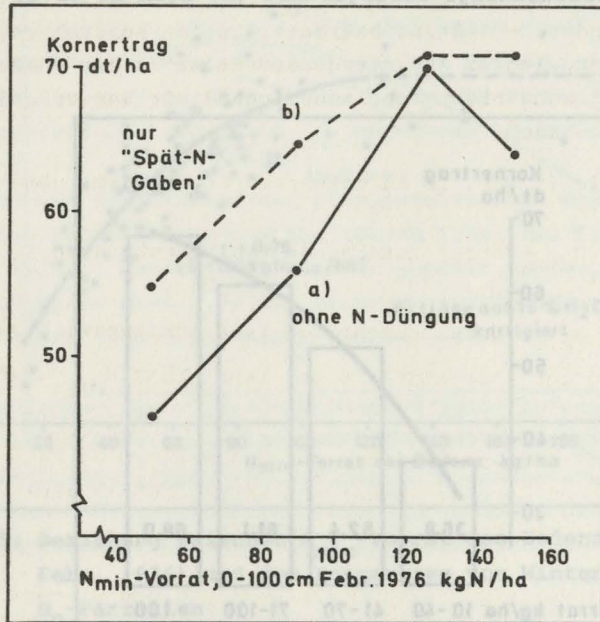


Abb. 37: Kornertrag von Winterweizen in Abhängigkeit vom

N_{\min} -Vorrat des Bodens

a) ohne N-Düngung bzw.

b) mit Spät-N-Gaben in Höhe von 20 kg/ha
in Schoßphase und 50 kg/ha bei Ährenschieben

Mit dem Anstieg der N_{\min} -Vorräte von 50 nach 125 kg/ha steigen die Kornerträge ohne N-Düngung von 45 auf 69 dt/ha an. Wieder bewirken 3 kg N/ha einen Ertragsanstieg von ca. 1 dt/ha, was den Ergebnissen der Erhebungsuntersuchung (s. S. 98) entspricht.

Da in diesem Fall ausschließlich der N_{\min} -Vorrat (zum größten Teil in 60 - 80 cm Bodentiefe) als variierter Faktor vorhanden war, ist dieses Ergebnis gleichzeitig ein Beweis für seine Nutzung in der ganzen untersuchten Bodenschicht.

Bei einer Erhöhung des N_{\min} -Vorrates von 125 auf 150 kg/ha ist ein Ertragsrückgang zu verzeichnen (Statistische Sicherung kann unter Vorbehalten angenommen werden, da $GD_{0,05}$ bei Kleinparzellenversuch auf gleichem Standort ~ 3 dt/ha beträgt). Es ist anzunehmen, daß in diesem Fall die angelegten ährentragenden Halme in der Phase der Ähren- und Kornbildung nicht mehr ausreichend mit Wasser und Nährstoffen versorgt wurden.

Dafür sprechen die in Tab. 18 aufgeführten Ergebnisse, nämlich:

- die mit dem N_{\min} -Vorrat zunehmende Zahl ährentragender Halme/m²;
- das mit dem N_{\min} -Vorrat abnehmende Tausendkorngewicht;
- der Rückgang der Kornzahl/Ähre bei sehr hohem N_{\min} -Vorrat;
- die Tatsache, daß Spät-N-Gaben von zusammen 70 kg/ha (Schoßphase und Ährenschieben) den Ertragsabfall verhinderten (siehe Abb. 37, unterbrochene Linie).

Tab. 18: Anzahl ährentragender Halme/m² und TKG von Winterweizen bei unterschiedlichem N_{\min} -Vorrat (N_0 -Parzellen, 1976, Rodenberg "Maris Huntsmann")

N_{\min} -Vorrat kg/ha	ÄZ/m ²	TKG	Kornzahl/Ähre
50	370	48	25,9
90	432	47	27,6
125	476	45	32,7
150	552	43	26,9

Die Spät-N-Gaben wirkten im übrigen erwartungsgemäß um: so mehr ertragssteigernd, je niedriger der N_{\min} -Vorrat zu Vegetationsbeginn, d.h. je ungünstiger die N-Versorgung im Frühjahr war.

Insgesamt kann festgestellt werden, daß sich der N_{\min} -Vorrat

des Bodens in gleicher Weise auf den Kornertrag auswirkt, wie dies schon für die Sproßmasse und die in der Sproßmasse enthaltene N-Menge dargestellt wurde.

Da in den bisher erläuterten Ergebnisse als N_{\min} -Vorrat jeweils die Menge angerechnet wurde, die in der gesamten untersuchten 1 m starken Bodenschicht enthalten war, wird im folgenden Kapitel die Frage behandelt, ob es richtig wäre, nur geringere Schichtstärken zu berücksichtigen. Darüberhinaus sollte geprüft werden, ob andere Termine für die Bodenanalyse zu besseren Ergebnissen führen.

4.3.4 Einfluß der untersuchten Bodenschicht und des Zeitpunktes der Bodenuntersuchung auf die Beziehung zwischen N_{\min} -Vorrat und Pflanzendaten

Die regelmäßigen Messungen der N_{\min} -Vorräte im Verlauf der Vegetationsperiode ergaben in beiden Untersuchungsjahren, daß dieser im gesamten untersuchten Bodenprofil (0 - 100 cm) genutzt wurde (vgl. Abb. 18, 20, 21 u. 22). Dieser Beobachtung entspricht, daß die Korrelationen zwischen N_{\min} -Vorrat des Bodens und Pflanzendaten (Sproßmassen, N-Entzug, Kornertrag) enger werden, wenn der Unterboden miteinbezogen wird.

Dies wird aus Tabelle 19 ersichtlich.

Es zeigt sich dabei, daß die Berücksichtigung der obersten 20 cm starken Bodenschicht allein insbesondere 1976 keine brauchbare Beziehung zu den Pflanzendaten ergab. Diese war 1975 deutlich enger - wenn auch noch unbefriedigend.

Dies hängt wahrscheinlich damit zusammen, daß kurz vor dem Termin der Bodenuntersuchung Anfang Februar 1976 hohe Niederschläge gefallen waren und (im Gegensatz zu 1975) zur Aus-

Tab. 19: Korrelationskoeffizienten für die Beziehung zwischen dem N_{\min} -Vorrat des Bodens zu Vegetationsbeginn bei unterschiedlicher Entnahmetiefe und Einzelpflanzengewicht (Mai 1975), N-Entzug 1975, Kornertrag 1975 und 1976 (N_0 -Parzellen)

untersuchte Bodenschicht cm	N_{\min} -Vorrat u.	März 75 Einzelpflanzengewicht Mitte Mai	März 75 N-Entzug	März 75 abs. Kornertrag	März 75 rel. Kornertrag	Febr.76 abs. Kornertrag alle Standorte	Febr.76 abs. Kornertrag 20 Standorte
		1)	2)	3)	4)	5)	6)
0 - 20		0,65	0,60	0,60	0,71	0,29	0,16
0 - 40		0,75	0,64	0,71	0,76	0,58	0,77
0 - 60		0,82	0,73	0,76	0,80	0,66	0,89
0 - 80		0,88	0,79	0,81	0,82	0,75	0,91
0 - 100		0,91	0,85	0,82	0,84	0,76	0,91

1) siehe Abb. 28
 2) " " 30
 3) " " 34
 4) Ertrag bei betriebsüblicher Düngung = 100
 5) siehe Abb. 35
 6) Standorte mit regelmäßiger Bodenuntersuchung siehe Abb. 38

waschung von Mineralstickstoff aus der Krume geführt haben (vgl. Abb. 13).

Bei Berücksichtigung der Schicht 0 - 100 cm anstelle von 0 - 80 cm wurde die Korrelation zwischen N_{\min} -Vorrat des Bodens und Kornertrag 1976 im Gegensatz zu 1975 nicht mehr enger. Dies steht in Einklang mit der in Kap. 4.1.2 dargestellten Tatsache, daß die Tiefenverteilung des N_{\min} -Vorrates in dem umfangreicheren Untersuchungsmaterial 1976 sehr einheitlich war. Demgemäß war auch die Beziehung zwischen dem N_{\min} -Vorrat in 0 - 80 cm und demjenigen in

0 - 100 cm Tiefe mit einem Korrelationskoeffizienten von $r = 0,99$ sehr eng (vgl. Tab. 9).

Nach den vorliegenden Ergebnissen könnte es zulässig sein, die Bodenuntersuchung zur Information über die nutzbare N-Menge auf die Schicht 0 - 80 cm zu beschränken. Um eine solche - im Interesse der Verminderung des Arbeitsaufwandes bei der Probenahme und Analyse erwünschte - Veränderung der Methode vornehmen zu können, sind jedoch noch Untersuchungen über mehrere Jahre erforderlich.

Bei der in Holland für Winterweizen eingeführten N_{\min} -Bodenuntersuchung wird die Schicht 0 - 100 cm berücksichtigt (BAKKER 1974). In Frankreich und in der DDR wird der Boden bei entsprechenden Versuchen nur 60 cm tief untersucht (MÜLLER 1973, MÜLLER et al. 1976). Als vorläufige Schlußfolgerung aus den eigenen Untersuchungen wird für das südniedersächsische Lößgebiet eine Probenahme in 0 - 90 cm empfohlen (siehe hierzu auch Kap. 5).

Der Termin der Bodenuntersuchung wird in der Praxis weitgehend vom Termin der 1. Frühjahrsdüngung abhängig sein.

Um ein Höchstmaß an Information über den N_{\min} -Vorrat zu gewinnen, wäre es sinnvoll, die Bodenuntersuchung zum Beginn des intensiven Pflanzenwachstums durchzuführen, also kurz bevor die Pflanzen mit dem Verbrauch der N_{\min} -Vorräte beginnen. Diese Aussage wird gestützt durch die in Tab. 20 aufgeführten Korrelationskoeffizienten von 1975 für die Beziehungen zwischen den zu verschiedenen Terminen ermittelten N_{\min} -Vorräten im Boden und verschiedenen Pflanzendaten.

Ein Probenahmetermin Anfang März ergab in allen Fällen etwas engere Beziehungen als Anfang Februar oder Anfang April. Dies wird damit erklärt, daß Anfang März ein größerer Anteil der Wirkung der Prozesse erfaßt wird, die den N_{\min} -Vorrat verändern. Anfang April sind die Meßwerte durch die pflanzliche

N-Aufnahme schon wieder stärker verändert.

Tab. 20: Korrelationskoeffizienten für die Beziehung zwischen dem N_{\min} -Vorrat des Bodens zu verschiedenen Bodenuntersuchungsterminen und dem Einzelpflanzengewicht, N-Entzug bzw. Kornertrag von Winterweizen (N_0 -Parzellen, 1975)

Termin der Bodenuntersuchung	Beziehung zwischen N_{\min} -Vorrat und:		
	Einzelpflanzengewicht Mai 1975	N-Entzug	Kornertrag
Anfang Febr.	0,80	0,79	0,74
Anfang März	0,83	0,85	0,82
Anfang Apr.	0,77	0,80	0,72

1976 war insofern eine andere Situation gegeben als die extrem trockene und kalte Frühjahrswitterung die Umsetzungs- und Verlagerungsprozesse für Stickstoff im Boden bis Anfang April nahezu zum Erliegen brachte. Dies drückte sich unter anderem darin aus, daß von Februar bis April nur geringfügige Veränderungen im N_{\min} -Vorrat festgestellt wurden (vgl. Abb. 19).

Die auf 20 Schlägen deren N_{\min} -Vorrat regelmäßig untersucht wurde, festgestellten Kornerträge korrelieren mit den N_{\min} -Vorräten im Februar, März und April sehr eng, und zwar ohne daß sich ein Termin der Bodenuntersuchung als besonders günstig oder ungünstig erweisen würde. Dies geht aus Abb. 38 hervor, in der auch die Korrelationskoeffizienten der Meßtermine Anfang März und Anfang April eingetragen sind.

Zusammenfassend ist zu sagen, daß sich der Termin der Untersuchung zur Erfassung des N_{\min} -Vorrates der Böden für praktische Zwecke vornehmlich am Düngungstermin auszurichten hat. Dies kann indessen zu einem geringfügigen Verlust an Genauigkeit der

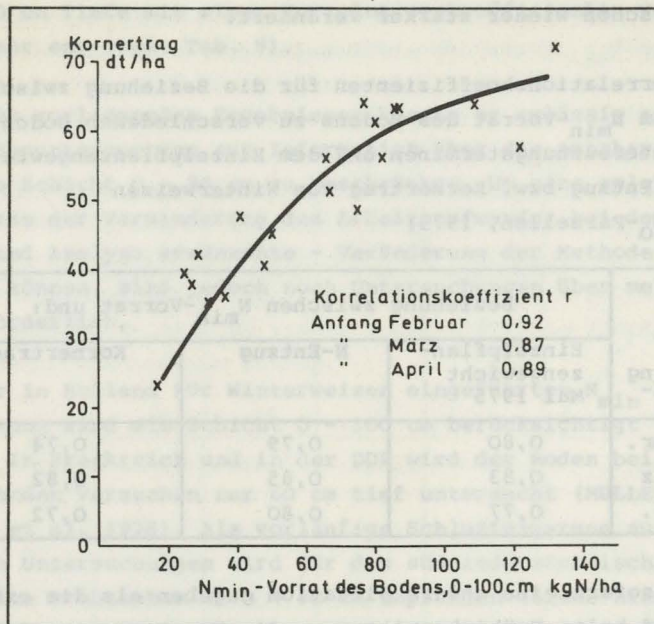


Abb. 38: Kornertrag von 20 Winterweizenflächen in Abhängigkeit vom N_{\min} -Vorrat des Bodens Februar (März, April) 1976 (N_0 -Parzellen)

Aussage führen. Die erste N-Düngung wird im Untersuchungsgebiet meist noch im Februar ausgebracht, während die verstärkte Nutzung des N_{\min} -Vorrates 4 bis 6 Wochen - in Extremfällen 8 Wochen später beginnt.

4.3.5 "Bilanz": N-Angebot - N-Entzug bei N_0 -Parzellen

Aus den vorliegenden Daten kann unter gewissen Vorbehalten das N_{\min} -Angebot des Bodens der N-Aufnahme bzw. dem N-Entzug durch die Pflanzen im Sinne einer Bilanzierung gegenübergestellt werden.

Das N-Angebot des Bodens setzt sich dabei aus dem N_{\min} -Vorrat zu Vegetationsbeginn und der auf Bracheflächen ermittelten N-Nachlieferung von Vegetationsbeginn bis zur Ernte, vermindert um den N_{\min} -Rest des Bodens zu Versuchsende, zusammen. Die N-Aufnahme bzw. der N-Entzug ist die N-Menge im pflanzlichen Aufwuchs zu verschiedenen Meßterminen bzw. zum Abschluß des Versuchs.

N_{\min} -Verluste durch Immobilisation werden indirekt durch eine verminderte N-Nachlieferung auf der Brachefläche erfaßt. Dasselbe gilt für Denitrifikationsverluste - soweit diese nicht durch die Pflanzen beeinflusst sind (siehe Kap. 4.2.3). Die Auswaschung von Mineralstickstoff kann in beiden Versuchsjahren als Verlustquelle weitgehend ausgeschlossen werden (siehe Kap. 4.2.2.4). Die N-Menge in der Wurzelmasse wird vernachlässigt. Sie beträgt nach KÖHNLEIN und VETTER (1953) zum Erntetermin bei Winterweizen ca. 10 kg N/ha.

N-Angebot des Bodens

N_{\min} -Vorrat	gemessen zu Vegetationsbeginn
+ N-Nachlieferung	auf Bracheflächen von Vegetationsbeginn bis Ernte ermittelt
- N_{\min} -Rest	zwischen Vegetationsbeginn und Ernte im bewachsenen Boden gemessen
- denitrifiziertes N	} indirekt auf Bracheflächen (Nettomineralisation) erfaßt
- immobilisiertes N	
- N-Auswaschung	in den Versuchsjahren zu vernachlässigen
- sonstige Verluste	

N-Aufnahme bzw. N-Entzug¹⁾ durch die Pflanzen

N-Menge in Sproßmasse gemessen
 N-Menge in Wurzeln nicht erfaßt

Die zur "Bilanzierung" notwendigen Daten wurden 1975 auf zwei Standorten an sechs Terminen im bewachsenen und brach gehaltenen

1) als N-Entzug wird die N-Menge bezeichnet, die zum Erntetermin im Erntegut (Korn) oder im Aufwuchs (Stroh und Korn) enthalten ist.

Boden sowie am Aufwuchs ermittelt (siehe Abb. 17, Standort 3 und 20 und Abb. 24). Sie sind in Tab. 21 zusammengestellt.

Tab. 21: Gegenüberstellung von N-Angebot des Bodens und N-Menge in der Sproßmasse von Winterweizenpflanzen im Verlauf der Vegetationsperiode 1975 (Stemmen), kg/ha

Meßtermin (jeweils Mon.anf.)	N _{min} -Vorrat auf Brache	N _{min} -Vorrat bzw. N _{min} - Rest in be- wachsenem Boden	N-Angebot d. Bodens	N-Menge in Sproß- masse
Standort 20		Kornertrag: 42 dt/ha Sorte: "Diplomat"		
März	50	45	5	10
April	55	32	23	33
Mai	75	12	63	61
Juni	81	15	66	75
Juli	100	(14) ¹⁾	86	82
August	122	13	109	106
Standort 3		Kornertrag: 65 dt/ha Sorte: "Feldkrone"		
März	100	100	0	12
April	105	51	54	45
Mai	130	30	100	90
Juni	144	21	123	122
Juli	160	(22) ¹⁾	138	130
August	196	23	173	169
1) interpoliert, da keine Messung vorliegt.				

Zum Erntetermin standen bei Standort 20 ein N-Angebot von 109 kg/ha einem N-Entzug durch die Sproßmasse in gleicher Höhe (106 kg/ha) gegenüber.

Auch bei den Zwischenernten ist eine enge Beziehung zwischen

dem gemessenen N-Angebot und der N-Aufnahme zu erkennen.

Standort 3 hatte demgegenüber mit 173 kg ein deutlich höheres N-Angebot bis zum Erntetermin. Entsprechend zeigt sich mit 169 kg N im oberirdischen Pflanzenmaterial ein höherer Entzug, der wieder die gleiche Größenordnung wie das Angebot aufweist. Eine ähnlich enge Beziehung war schon bei den Zwischenernten zu erkennen.

Diese Ergebnisse erwecken den Anschein, als ob das N_{\min} -Angebot des Bodens nahezu verlustfrei von den Pflanzen aufgenommen wird. Dies kann indessen nicht angenommen werden. Vielmehr muß man davon ausgehen, daß auftretende N-Verluste durch eine nicht mehr meßbare erhöhte N-Nachlieferung aufgewogen werden. Darüberhinaus müßte vom N-Entzug noch die N-Menge abgezogen werden, die zu Versuchsbeginn im Sproß enthalten war (~ 10 kg/ha). Da jedoch auch die N-Menge in den Wurzeln nicht erfaßt werden konnte, wurde auf diese Korrektur verzichtet.

Im Frühjahr 1976 wurde erneut eine Brachefläche auf dem Standort Rodenberg (Herbstdüngungsanlage mit vier Großparzellen, siehe Abb. 21, 25 und 37) angelegt, so daß auch für dieses Jahr ein Vergleich des N-Angebotes des Bodens mit dem N-Entzug vorgenommen werden kann.

In Abb. 39 sind für die vier Parzellen, die im Frühjahr keine N-Düngung erhalten hatten, die N-Entzüge durch Korn und Stroh dem N-Angebot gegenübergestellt. Das N-Angebot setzt sich zusammen aus N_{\min} -Vorrat + N-Nachlieferung - N_{\min} -Rest. Dabei wurde die N-Nachlieferung, die auf einer Brachefläche in der Großparzelle I mit 76 kg gemessen wurde - vermindert um den N_{\min} -Rest zur Erntezeit (15 kg) - als NL I auf die drei Nachbarparzellen übertragen.

Diese Übertragung der aus der Nachlieferung stammenden N_{\min} -Menge von einer Parzelle eines Schrages auf andere erscheint

zulässig nachdem im Vorjahr kein wesentlicher Unterschied in der N-Nachlieferung zwischen benachbarten Standorten, die sich im N_{\min} -Vorrat unterschieden, festgestellt wurde (vgl. hierzu Abb. 24).

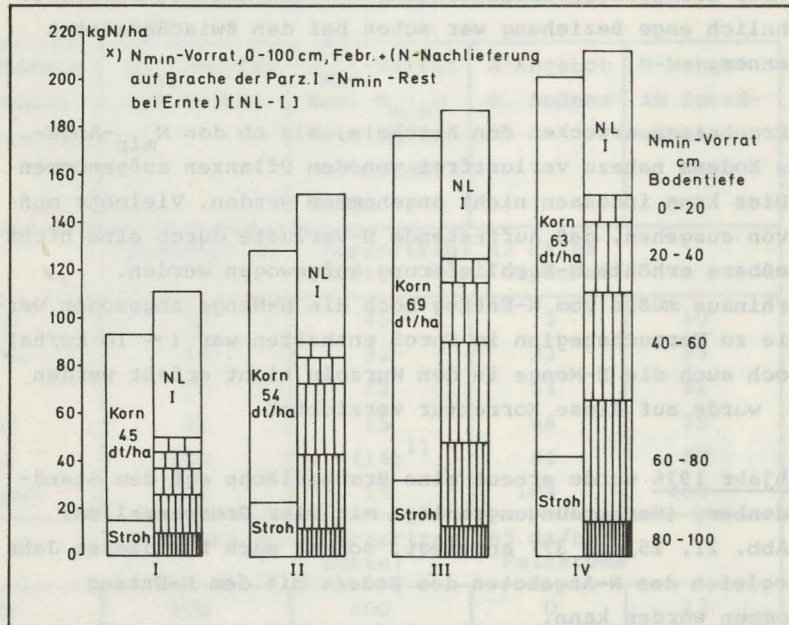


Abb. 39: N-Entzug (Korn + Stroh) und N-Angebot^{x)} bei Winterweizen auf Lössboden mit unterschiedlichem N_{\min} -Vorrat zu Veg.-Beginn, 1976, N_0 -Parzellen

Auch 1976 zeigt sich in allen Fällen eine gute Übereinstimmung zwischen N-Angebot des Bodens und N-Entzug durch die Pflanzen, wobei das Angebot den Entzug wieder nur geringfügig übersteigt.

Wegen der guten Übereinstimmung zwischen gemessenem N-Angebot des Bodens und N-Entzug durch die Pflanzen kann der Versuch unternommen werden, die N-Nachlieferung aus der Differenz zwischen N-Entzug und N_{\min} -Vorrat zu Vegetationsbeginn zu errechnen.

Dies wird mit den in Abb. 32 dargestellten Daten für 1975 durchgeführt (Tab. 22).

Tab. 22: "N-Nachlieferung" von Böden mit unterschiedlichem N_{\min} -Vorrat ((N-Entzug durch Stroh und Korn) - (N_{\min} -Vorrat März - N_{\min} -Rest August)) (Mittelwerte von Standorten mit hohem, mittlerem und niedrigem N_{\min} -Vorrat 1975)

	N_{\min} -Vorrat zu Veg.-beginn kg/ha		
	10 - 49	50 - 90	> 90
N_{\min} -Vorrat Anf. März	32	66	123
N_{\min} -Rest Anf. Aug.	17	15	20
N_{\min} -Abnahme März-Aug.	15	51	103
N-Entzug (Korn + Stroh)	95	129	175
"N-Nachlieferung" (N-Entzug - N_{\min} -Abnahme)	80	78	72

Die so ermittelten Werte für eine N-Nachlieferung liegen für die drei N_{\min} -Klassen verhältnismäßig dicht beieinander (80, 78, 72 kg N/ha). Dies zeigt, daß hier kein enger Zusammenhang zwischen dem N_{\min} -Vorrat und der N-Nachlieferung besteht, sondern, daß die N-Nachlieferung entsprechend Variante C in Abb. 26 unabhängig von den zu Vegetationsbeginn vorhandenen N_{\min} -Vorräten verläuft. Diese Aussage wird nicht nur von den in Tab. 22 berechneten Klassenmitteln, sondern auch von den für jeden einzelnen Versuchsstandort errechneten Werten, die in Abb. 40 dargestellt sind, bestätigt. Zwischen der N-Nachlieferung auf verschiedenen Standorten besteht zwar eine gewisse Streuung, die von 65 bis 110 kg N/ha reicht, es kann jedoch keine Beziehung zum N_{\min} -Vorrat entnommen werden. Eine N-Nachlieferung von 100 kg/ha zeigt sich bei der angewandten Berechnungsweise sowohl bei einem N_{\min} -Vorrat von 16 als auch bei 126 kg/ha.

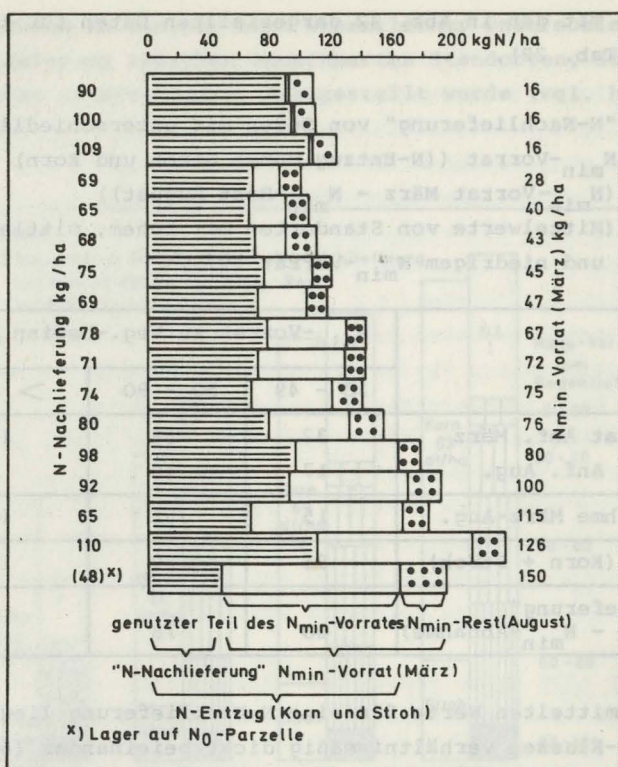


Abb. 40: "N-Nachlieferung" von Böden mit unterschiedlichem N_{min} -Vorrat (1975) ermittelt aus N-Entzug von N_0 -Parzellen
 - N_{min} -Vorrat (März)
 + N_{min} -Rest (August)

Zu einem ähnlichen Ergebnis führten auch die Messungen auf Bracheflächen von 1975 (Kap. 4.2.3), die nur geringe Unterschiede der N-Nachlieferung bei unterschiedlichem N_{min} -Ausgangsniveau ergaben, und die auch in der Größenordnung von 67 - 80 kg N/ha den hier gefundenen Werten nahekommen. Dies bedeutet, daß die N_{min} -Vorräte nicht als Index für das Nachlieferungspotential der Böden (MEYER 1976) angesehen werden können.

Aus den vorliegenden Daten ergibt sich zusammenfassend:

- Der N_{\min} -Vorrat des Bodens beeinflusst in den beiden Untersuchungsjahren und auf den untersuchten Böden das Wachstum, die N-Aufnahme und den Ertrag von Winterweizen.
- Die N-Nachlieferung liegt auf allen untersuchten Standorten in ähnlicher Größenordnung. Sie ist nicht proportional zum N_{\min} -Vorrat des Bodens.
- Das N-Angebot des Bodens (N_{\min} -Vorrat + N-Nachlieferung) wird auf N_0 -Parzellen zum größten Teil in den Pflanzen wiedergefunden.

4.4 Der N_{\min} -Vorrat des Bodens als Bemessungsgrundlage für die Frühjahrs-N-Düngung von Winterweizen

Die bisher dargestellten Versuchsergebnisse haben gezeigt, daß sich die Böden im N_{\min} -Vorrat wesentlich unterscheiden. Weiter wurde nachgewiesen, daß die N_{\min} -Vorräte von den Pflanzen genutzt werden können. Sie haben bei N_0 -Parzellen einen deutlichen Einfluß auf den Ertrag.

Die nächste Frage gilt dem Einfluß des N_{\min} -Vorrates auf den N-Düngerbedarf von Winterweizen. Es sollte geprüft werden, ob durch die Messung des N_{\min} -Vorrates die Dosierung der N-Düngung verbessert werden kann. Dabei waren die Untersuchungen im wesentlichen auf die Frühjahrsdüngung beschränkt.

4.4.1 N-Düngungsversuche 1975

Ende Februar 1975 wurden sechs Düngungsversuche auf Standorten angelegt, die sich im N_{\min} -Vorrat wesentlich unterschieden. Der niedrigste lag bei 30, der höchste bei 130 kg N/ha.

An die Versuchsplanung waren folgende Forderungen gestellt:

1. Die zum Höchstertrag erforderliche N-Gabe sollte sowohl überschritten als auch unterschritten werden.
2. Die Stufen der Steigerung von N sollten 30 kg/ha betragen.
3. Die Zahl der Versuchsglieder durfte fünf nicht übersteigen, um die Bereitschaft der Landwirte zu Sonderarbeiten auf den Versuchsflächen (Düngung, Ernte) und zur Hinnahme von Ertragseinbußen nicht zu überfordern.

Daher wurden bei der Variation der Frühjahrsdüngung der N_{\min} -Vorrat in 0 - 100 cm Tiefe und die N-Düngung addiert. Dem entsprechend wurden vier Parzellen angelegt, bei welchen die Summe aus N_{\min} -Vorrat des Bodens (Anfang Februar) und N-Düngung (Frühjahr) 80, 110, 140 bzw. 170 kg/ha betrug. Eine N_0 -Parzelle (nur N_{\min} -Vorrat) diente als Vergleich.

Der Düngungsplan ist aus Tab. 23 ersichtlich.

Tab. 23: N-Düngungsversuche Winterweizen 1975 unter Berücksichtigung der N_{\min} -Vorräte im Boden zu Veg.-Beginn

Standort	I	II	III	IV	V	VI
N_{\min} -Vorrat, Febr., kg/ha	30	40	40	70	80	130
ΣN_{\min} -Vorrat +Frühj.-N-Gabe kg N/ha	Frühjahrs-N-Gabe ^{x)} kg/ha					
N_0 -Parzelle	0	0	0	0	0	0
80	50	40	40	10	0+	-
110	80	70	70	40	30	-
140	110	100	100	70	60	10
170	140	130	130	100	90	40

^{x)} "Schossergabe" einheitlich 20 kg N/ha, "Ährenschieben" einheitlich 40 kg N/ha (außer N_0 -Parzelle)

0+ = nur Schosser- und Ährengabe

Die spätere N-Düngung wurde bei allen Versuchsgliedern, mit Ausnahme der N_0 -Parzelle, einheitlich vorgenommen, und zwar 20 kg N/ha in der Schoßphase (20. Mai) und 40 kg N/ha vor der Blüte (10. Juni). Diese Gaben richteten sich nach dem praxisüblichen Düngungssystem. Damit war insgesamt eine N-Versorgung aus Bodenvorrat und Düngung von 140, 170, 200 und 230 kg/ha gegeben.

Die Versuchsanlagen bestanden aus je fünf parallel liegenden Großparzellen von 12 m Breite und 200 m Länge mit Fahrgasse und Erntestreifen, wie aus Abb. 41 zu ersehen ist.

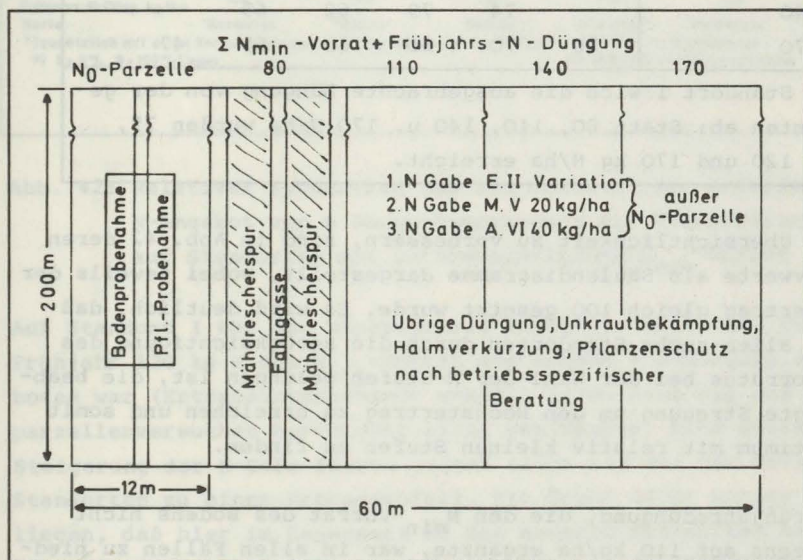


Abb. 41: Versuchsanlage: N-Düngung zu Winterweizen 1975 unter Berücksichtigung der N_{\min} -Vorräte des Bodens zu Vegetationsbeginn

Die in den Versuchen erzielten Kornerträge sind aus Tab. 24 zu entnehmen.

Tab. 24: Kornserträge der Winterweizendüngungsversuche 1975, dt/ha (Berücksichtigung der N_{\min} -Vorräte im Boden zu Veg.-Beginn)

kg/ha ΣN_{\min} -Vorrat + N-Düngung Frühj.	Standort					
	I ¹⁾	II	III	IV	V	VI
N_0 -Parzelle	52	53	63	51	65	54
80	70	73	78	60	69	-
	71					
110	-	78	86	63	72	-
	75					65
140	-	74	79	62	69	
170	76	70	60	60	61	47

1) auf Standort I wich die ausgebrachte Düngung von der geplanten ab: Statt 80, 110, 140 u. 170 N/ha wurden 75, 95, 120 und 170 kg N/ha erreicht.

Um die Übersichtlichkeit zu verbessern, sind in Abb. 42 deren Relativwerte als Säulendiagramme dargestellt, wobei jeweils der Höchstertrag gleich 100 gesetzt wurde. Es wird deutlich, daß es auf allen sechs Standorten durch die Berücksichtigung des N_{\min} -Vorrates bei der Wahl der N-Stufen gelungen ist, die beabsichtigte Streuung um den Höchstertrag zu erreichen und somit das Optimum mit relativ kleinen Stufen zu finden.

Eine Frühjahrsdüngung, die den N_{\min} -Vorrat des Bodens nicht mindestens auf 110 kg/ha ergänzte, war in allen Fällen zu niedrig. Wurde durch die Frühjahrsdüngung der Wert von 110 bis 130 kg N überschritten, führte dies in fünf von sechs Fällen zu mehr oder weniger starken Ertragsminderungen, die zum Teil durch Lagern verursacht waren (siehe Lagerbonitur in Abb. 42).

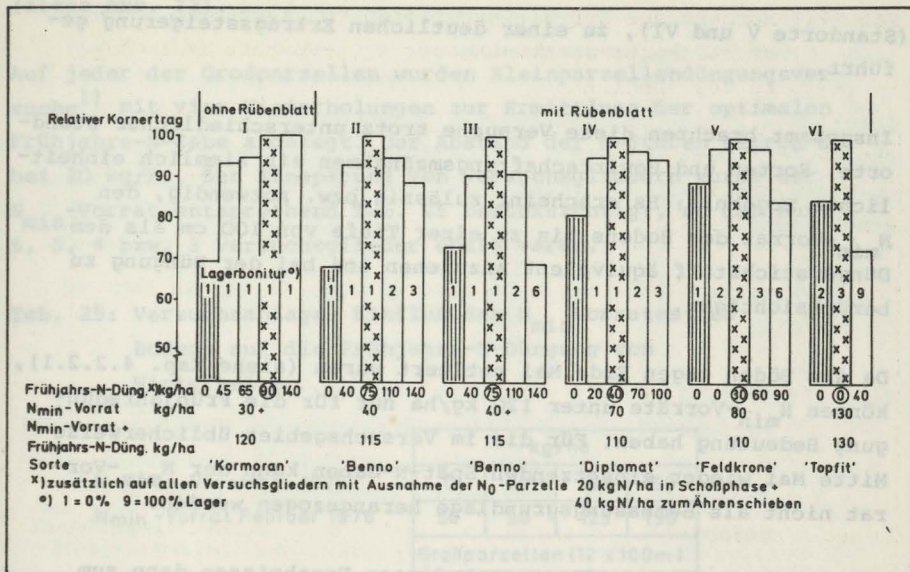


Abb. 42: Relativer Kornertrag und zum Höchstertrag erforderliches N-Angebot von 6 Düngungsversuchen mit Winterweizen auf Standorten mit unterschiedlichem N_{min}-Vorrat 1975

Auf Standort I war der Höchstertrag ebenfalls erreicht, wenn im Frühjahr 120 kg N aus N_{min}-Vorrat des Bodens + N-Düngung angeboten war (Ertragsunterschiede unter 3 dt/ha sind wie aus Kleinparzellenversuchen hervorgeht nicht gesichert). Eine weitere Steigerung der N-Gabe führte jedoch nicht wie auf den übrigen Standorten zu einem Ertragsabfall. Ein Grund dafür könnte darin liegen, daß hier im Gegensatz zu den anderen Standorten kein Rübenblatt eingearbeitet war. Weiter hat der Betriebsleiter in diesem Fall in Anbetracht der aus seiner Sicht hohen Frühjahrs-N-Gaben, die CCC-Gabe erhöht und geteilt, so daß eine erhöhte Standfestigkeit erzielt wurde.

Die Spätdüngung hat in den Fällen, in denen sie zu prüfen war

(Standorte V und VI), zu einer deutlichen Ertragssteigerung geführt.

Insgesamt brachten diese Versuche trotz unterschiedlicher Standorte, Sorten und Bewirtschaftungsmaßnahmen ein ziemlich einheitliches Ergebnis: Es erscheint zulässig bzw. notwendig, den N_{\min} -Vorrat des Bodens bis zu einer Tiefe von 100 cm als dem Düngerstickstoff äquivalent anzusehen und bei der Düngung zu berücksichtigen.

Da die Böden gegen Ende Mai entleert waren (siehe Kap. 4.2.2.1), können N_{\min} -Vorräte unter 120 kg/ha nur für die Frühjahrsdüngung Bedeutung haben. Für die im Versuchsgebiet üblicherweise Mitte Mai wieder einsetzenden Spät-N-Gaben kann der N_{\min} -Vorrat nicht als Bemessungsgrundlage herangezogen werden.

Die Frühjahrsdüngung führt nach diesen Ergebnissen dann zum Höchstertrag, wenn sie den N_{\min} -Vorrat des Bodens auf Werte um 120 kg/ha auffüllt.

4.4.2 N-Düngungsversuche 1976

Die Düngungsversuche des Jahres 1976 waren so angelegt, daß andere Streuursachen außer dem N_{\min} -Vorrat des Bodens so weit wie möglich ausgeschaltet wurden.

Dies geschah mit Hilfe der schon erwähnten Herstdüngungsanlage ("Modell Rodenberg") - siehe S. 59 und S. 101 - . Im Februar 1976 standen wie aus Tab. 25 hervorgeht auf einem Winterweizenschlag (Sorte "Maris Huntsman") mit Vorkultur Zuckerrüben (Blatt abgefahren) vier Großparzellen mit 12 mal 250 m zur Verfügung mit einem N_{\min} -Vorrat von 50, 90, 125 bzw. 150 kg/ha.

Die Tiefenverteilung des Mineralstickstoffs im Bodenprofil entsprach der bei der Erhebungsuntersuchung überwiegend gefundenen

(siehe Abb. 13).

Auf jeder der Großparzellen wurden Kleinparzellendüngungsversuche¹⁾ mit vier Wiederholungen zur Ermittlung der optimalen Frühjahrs-N-Gabe angelegt. Der Abstand der N-Stufen betrug dabei 20 kg/ha. Zur Einsparung von Versuchsgliedern wurde der N_{\min} -Vorrat entsprechend Tab. 25 berücksichtigt, so daß nur 6, 5, 4 bzw. 3 Versuchsglieder nötig waren.

Tab. 25: Versuchsanlage: Einfluß des N_{\min} Vorrates des Bodens auf die Frühjahrs-N-Düngung von Winterweizen

		kg/ha			
		0	50	100	150
N-Gabe November 1975		0	50	100	150
N _{min} -Vorrat Februar 1976		50	90	125	150
Großparzellen (12 x 100m)					
N - Düngung 1976		0	0	0	0
N-Düngung Frühjahr nach					
	Bodenanalyse	70	30	0	0
	" Schoßphase	20	20	20	20
	" Ährenschieben	50	50	50	50
Kleinparz. (11,5 m ²) 4 Wh.					
N - Düngung Frühjahr		0	0	0	0
	(" zum Schossen	—	20	20	20
		40	40	40	40
	u. Ährenschieben	60	60	60	—
	wie oben)	80	80	—	—
		100	—	—	—
		120	—	—	—

1) Die Kleinparzellenversuche wurden von der landwirtschaftlichen Versuchs- und Beratungsstelle der BASF in Hannover angelegt, behandelt und beerntet.

Als N-Düngung in der Schoßphase und vor der Blüte wurden einheitlich 20 bzw. 50 kg/ha verabreicht.

Zusätzlich zu den vier Kleinparzellenversuchen wurde jeweils ein 100 m langes Teilstück der Großparzellen ohne N-Düngung belassen bzw. nach den Ergebnissen von 1975 mit optimalen N-Gaben gedüngt.

Die Ergebnisse dieser Versuche sind in Tab. 26 und in Abb. 43 dargestellt.

Tab. 26: Einfluß des N_{min} -Vorrates des Bodens (0 - 100 cm, Februar 1976) auf die optimale Höhe der Frühjahrs-N-Düngung zu Winterweizen, Sorte "Maris Huntsman", Rodenberg 1976, Vorfrucht: Zuckerrüben, Blatt abgefahren

N-Düngg. Nov.75 als AH-Lösung	kg/ha	0				50				100				150					
N_{min} -Vorrat Febr. 76	kg/ha	50				90				125				150					
Kleinparzellen (11,5 m ² , 4 Wh.)																			
Frühjahrs-N-Düngung 1)	kg/ha	0	40	60	80	100	120	0	20	40	60	80	0	20	40	60	0	20	40
Kornertrag	dt/ha	55	64	66	66	66	67	65	67	67	66	68	71	71	72	72	71	70	68
¹ Nach Analyse empf. Frühj.-N-Düngg.	kg/ha	70				30				0				0					
N_{min} -Vorrat + opt. N-Düngung	kg/ha	110				110				125				150					
Großparzellen (1000 m ²)																			
Frühjahrs-N-Düngung	kg/ha	0 ²⁾ 72 ¹⁾				0 ²⁾ 36 ¹⁾				0 ²⁾ 0 ¹⁾				0 ²⁾ 0 ¹⁾					
Kornertrag	dt/ha	46 65				56 66				70 69				64 67					

1) Spätgaben einheitlich 20 kg zum Schossen, 50 kg zum Ährenschieben

2) ohne Spätgaben

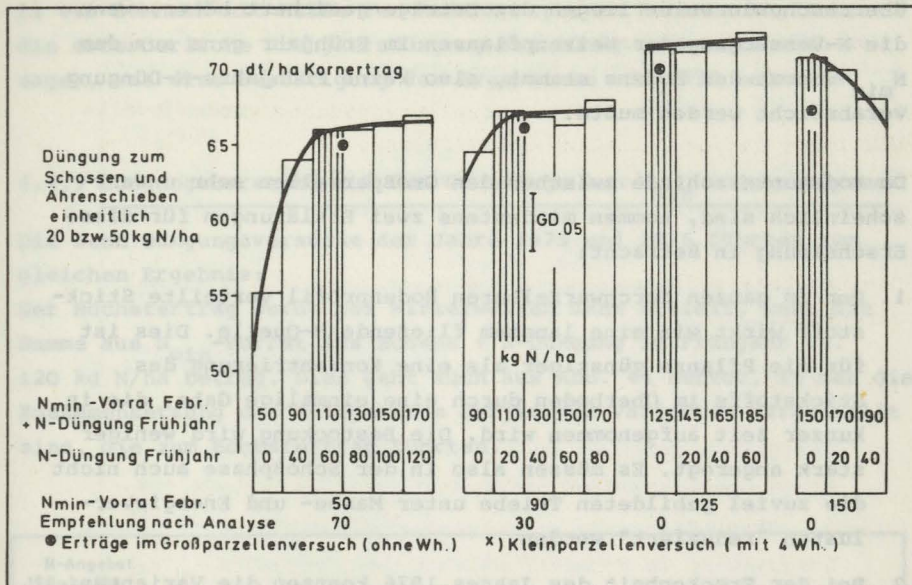


Abb. 43: Der Einfluß des N_{\min} -Vorrates des Bodens (0 - 100 cm Febr. 1976) auf die optimale Höhe der Frühjahrs-N-Düngung zu Winterweizen^{x)}

Die Parzelle mit einem N_{\min} -Vorrat von 50 kg/ha erbrachte bei einer Frühjahrsdüngung von 60 kg N/ha den Höchstertrag, bei 90 kg N_{\min} -Vorrat waren 20 kg Dünger-N/ha nötig, bei 125 und 150 kg wurde der Höchstertrag auf Parzellen erzielt, die im Frühjahr keine N-Düngung erhalten hatten. Die Summe aus N_{\min} -Vorrat und optimaler N-Düngung im Frühjahr lag also wie 1975 wieder bei 110 bzw. 125 kg/ha (vgl. S. 116). Das Unterschreiten dieses Wertes um 20 kg N/ha führte generell zu Minderertrag, das Überschreiten hingegen nur in einem Fall (N_{\min} -Vorrat 150 kg + 40 kg Frühjahrs-N-Düngung). Dies mag daran liegen, daß Lager - bedingt durch die Trockenheit - nicht aufgetreten war.

Überraschenderweise liegen die Erträge gesichert höher, wenn die N-Versorgung der Weizenpflanzen im Frühjahr ganz aus dem N_{\min} -Vorrat des Bodens stammt, also keine Frühjahrs-N-Düngung verabreicht werden mußte.

Da Bodenunterschiede zwischen den Großparzellen sehr unwahrscheinlich sind, kommen mindestens zwei Erklärungen für diese Erscheinung in Betracht:

1. Der im ganzen durchwurzelbaren Bodenprofil verteilte Stickstoff wirkt wie eine langsam fließende N-Quelle. Dies ist für die Pflanze günstiger als eine Konzentrierung des Stickstoffs im Oberboden durch eine einmalige Gabe, die in kurzer Zeit aufgenommen wird. Die Bestockung wird weniger stark angeregt. Es müssen also in der Schoßphase auch nicht die zuviel gebildeten Triebe unter Masse- und Energieverlusten "reduziert" werden.
2. Bei der Trockenheit des Jahres 1976 konnten die Varianten mit hohen N_{\min} -Vorräten im Unterboden noch Stickstoff aufnehmen, nachdem der Oberboden ausgetrocknet war und damit der Dünger-N nicht mehr zur Ernährung beitrug.

Im zweiten Fall wären die erhöhten Erträge bei tieferverlagertem Stickstoff ein Effekt, der nur für Trockenjahre typisch ist. Im ersten Fall ergäbe sich die Konsequenz, auf tiefgründigen, speicherfähigen Böden einen Teil der N-Düngung schon im Spätherbst oder Winter auszubringen.

Die Erträge aus den Großparzellen des Versuches "Modell Rodenberg" (s. Tab. 26) entsprechen auf den ungedüngten Parzellen den N_{\min} -Vorräten (s. auch Abb. 37). Auf den "nach Analyse optimal" gedüngten Großparzellen liegen sie nahe bei den Höchsterträgen des Kleinparzellenversuches (diese Übereinstimmung bestätigt unter anderem die Gleichwertigkeit von Großparzellen- und Kleinparzellenanlagen für Stickstoffsteigerungsversuche).

Es war demnach mit Hilfe der Bodenanalyse im Februar möglich, die erforderliche Frühjahrsdüngung auf 10 kg genau vorherzusagen, was eine Bestätigung der Ergebnisse von 1975 bedeutet.

4.4.3 Düngungsberatung auf der Grundlage von N_{\min} -Bodenanalysen

Die zehn Düngungsversuche der Jahre 1975 und 1976 führten zum gleichen Ergebnis:

Der Höchstertrag wurde bei Winterweizen dann erzielt, wenn die Summe aus N_{\min} -Vorrat des Bodens + N-Düngung im Frühjahr ca. 120 kg N/ha betrug. Dies geht auch aus Abb. 44 hervor, in der die Zusammensetzung des N-Angebotes derjenigen Varianten dargestellt sind, die zum Höchstertrag führten.

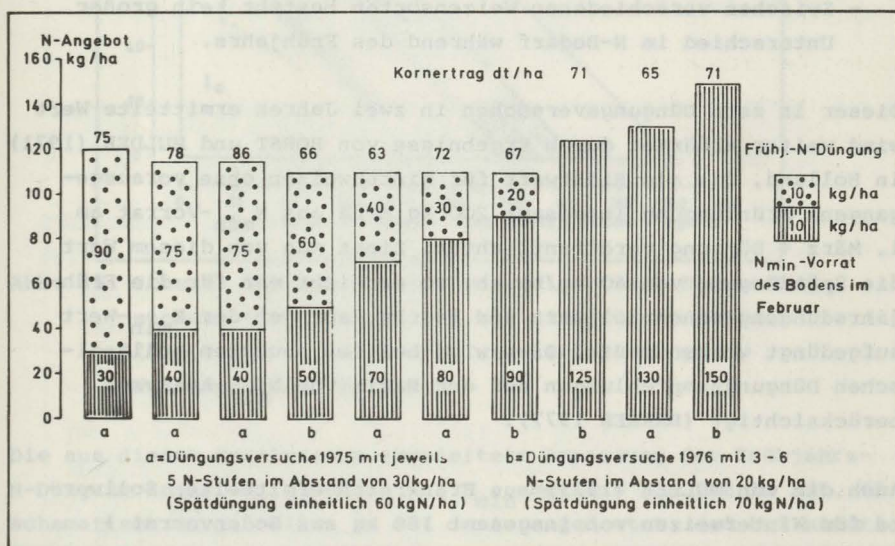


Abb. 44: Optimales N-Angebot im Frühjahr (N_{\min} -Vorrat des Bodens im Februar und Frühjahrs-N-Düngung) bei Winterweizen

Es wird deutlich, daß der N_{\min} -Vorrat bei der Düngung quantitativ berücksichtigt werden muß. Das heißt, daß die Frühjahrs-N-Düngung um den gleichen Betrag abnehmen muß, um den der N_{\min} -Vorrat zunimmt.

Es ist offensichtlich, daß im Untersuchungsgebiet die für ein solches Ergebnis notwendigen Bedingungen erfüllt sind oder im Untersuchungszeitraum erfüllt waren:

- Die Böden lassen eine tiefe Durchwurzelung (bis mindestens 1 m) zu.
- Von Vegetationsbeginn an treten keine wesentlichen Auswaschungsverluste mehr auf.
- Die N-Nachlieferung in den Frühjahrsmonaten weist zwischen den Standorten keine starken Unterschiede auf.
- Zwischen verschiedenen Weizensorten besteht kein großer Unterschied im N-Bedarf während des Frühjahrs.

Dieser in zehn Düngungsversuchen in zwei Jahren ermittelte Wert wird weiter erhärtet durch Ergebnisse von BORST und MULDER (1971) in Holland, die als Richtwert für Winterweizen ohne vorausgegangene Gründüngung insgesamt 200 kg N/ha aus N_{\min} -Vorrat am 1. März + Düngung veröffentlichten. Zieht man von diesem Wert die Spätdüngung von 60 kg/ha ab, so erreicht man für die Frühjahrsdüngung einen Sollwert von 140 kg, auf den der N_{\min} -Wert aufgedüngt werden müßte. Dies wird bei den neuesten holländischen Düngungsempfehlungen auf der Basis von N_{\min} -Analysen berücksichtigt (BAKKER 1977).

Auch die von MULLER (1973) aus Frankreich ermittelten Sollwerte für Winterweizen von insgesamt 180 kg aus Bodenvorrat + N-Düngung kommen in die gleiche Größenordnung, wenn man die Spätdüngung berücksichtigt. Allerdings werden die Böden dabei nur bis 60 cm Tiefe untersucht, was daraufhin deutet, daß sie entweder unterhalb 60 cm wenig N_{\min} enthalten (z.B. durch Winter-

trockenheit) oder nicht tiefer nutzbar sind.

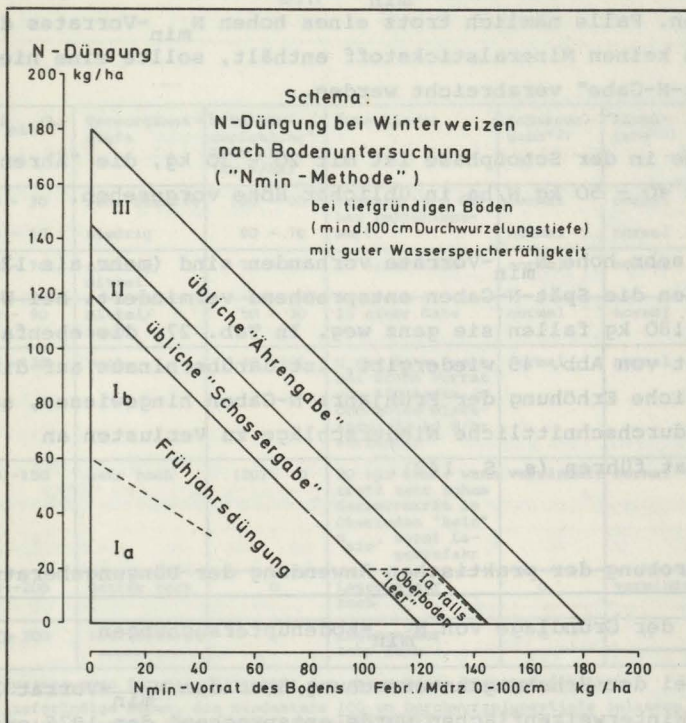


Abb. 45: Schema: N-Düngung bei Winterweizen nach Bodenuntersuchung ("N_{min}-Methode") bei tiefgründigen Böden (mind. 100 cm Durchwurzelungstiefe) mit guter Wasserspeicherfähigkeit

Die aus diesen Ergebnissen abgeleitete Anpassung der Frühjahrs-N-Düngung an den N_{min}-Vorrat - ("N_{min}-Methode") - ist in Abb. 45 schematisch dargestellt. Es ist darin angedeutet, daß bei niedrigen N_{min}-Vorräten, also bei entsprechend hohen Düngergaben, eine Aufteilung der Frühjahrsdüngung in zwei (Ia und Ib) Gaben zu erwägen ist. Die Aufteilung wird in der Praxis häufig angewandt. Eine weitere, nicht durch Versuchsergebnisse zwingend

geforderte, sondern als Vorsichtsmaßnahme gedachte Änderung des Schemas wurde bei hohen N_{\min} -Vorräten (100 - 140 kg/ha) vorgesehen. Falls nämlich trotz eines hohen N_{\min} -Vorrates der Oberboden keinen Mineralstickstoff enthält, sollte eine niedrige "Start-N-Gabe" verabreicht werden.

Die N-Gabe in der Schoßphase ist mit 20 - 30 kg, die "Ähren-gabe" mit 40 - 50 kg N/ha in üblicher Höhe vorgesehen.

Nur wenn sehr hohe N_{\min} -Vorräte vorhanden sind (mehr als 120 kg/ha), werden die Spät-N-Gaben entsprechend vermindert. Bei Werten über 180 kg fallen sie ganz weg. In Tab. 27, die ebenfalls den Inhalt von Abb. 45 wiedergibt, ist darüberhinaus auf die erforderliche Erhöhung der Frühjahrs-N-Gaben hingewiesen, sofern überdurchschnittliche Niederschläge zu Verlusten an N_{\min} -Vorrat führen (s. S. 142).

4.4.4 Erprobung der praktischen Anwendung der Düngungsberatung auf der Grundlage von N_{\min} -Bodenuntersuchungen

Für die bei der Erhebungsuntersuchung über den N_{\min} -Vorrat 1976 erfaßten Winterweizenflächen wurde entsprechend den 1975 erzielten und 1976 bestätigten Ergebnissen eine Empfehlung für die Frühjahrsdüngung gegeben. Gleichzeitig wurden die Düngungsabsichten der Betriebsleiter erfragt.

In Abb. 46 ist die Beziehung zwischen dem N_{\min} -Vorrat des Bodens und der vom Betriebsleiter geplanten Frühjahrs-N-Düngung (Punkte) dargestellt. Daneben gibt die schraffierte Fläche die aufgrund der Bodenanalyse empfohlene Frühjahrs-N-Düngung an.

In ungefähr 60 von 160 Fällen stimmt die geplante mit der empfohlenen N-Düngung genau überein. In ca. 100 Fällen könnte man noch von annähernd "richtigen" Planungen sprechen, wenn

Tab. 27: Vorläufige Richtwerte für die N-Düngung bei Winterweizen nach der N_{min} -Methode

kg N_{min} /ha	Versorgungsstufe	N-Düngerempfehlung ¹⁾ Frühjahr (kg N/ha)	Bemerkungen	"Schossergabe" ²⁾	"Ährengabe" ³⁾
10 - 30	sehr niedrig	120 - 90	Teilung in 2 Gaben empfehlenswert	normal	normal
30 - 50	niedrig	90 - 70		normal	normal
50 - 70	niedrig/mittel	70 - 50	In einer Gabe	normal	normal
70 - 90	mittel/hoch	50 - 30	In einer Gabe	normal	normal
90 - 120	hoch	30 - (0)	0 nur dann, wenn bei einem Vorrat von 120 kg/ha im Oberboden mindestens 30 kg N/ha vorhanden	normal	normal
120 - 150	sehr hoch	(20) - 0	20 nur dann, wenn trotz sehr hohem Gesamtvorrat im Oberboden "kein" N_{min} , sonst Lagergefahr	vermindert	normal
150 - 200	extrem hoch	0	Lagergefahr hoch	0	vermindert
> 200	übersorgt	0	Lagergefahr sehr hoch	0	0

Voraussetzungen für die Gültigkeit der angegebenen Düngerempfehlung:

- tiefergründige Böden, die mindestens 100 cm Durchwurzelungstiefe zulassen (keine Staunässe während der Vegetationszeit)
- gute Wasserspeicherfähigkeit, so daß Auswaschung von Nährstoffen aus der 100 cm starken Bodenschicht während der Vegetationsperiode weitgehend ausgeschlossen werden kann; also z.B. Parabraunerden und verschiedene Formen von Schwarzerden aus Löss bzw. die Bodenarten: schluffig lehmiger Sand, sandiger Schluff, schwach toniger Schluff, toniger Schluff, stark toniger Schluff.
- Bodenprobenahme zu Vegetationsbeginn, also bevor die Pflanzen in stärkerem Maße Nährstoffe entziehen (Februar/März).

- Falls nach der Probenahme überdurchschnittliche Niederschläge fallen, muß auf Schlägen mit hohem N_{min} -Vorrat im Unterboden mit Auswaschung gerechnet werden, so daß eine erhöhte 2. Frühjahrsgabe erforderlich werden kann.
- Übliche Gaben 20 - 30 kg N/ha (Mitte Mai).
- Übliche Gaben 40 - 50 kg N/ha (Anfang Juni).

der Optimalbereich etwas verbreitert wird (± 15 kg).

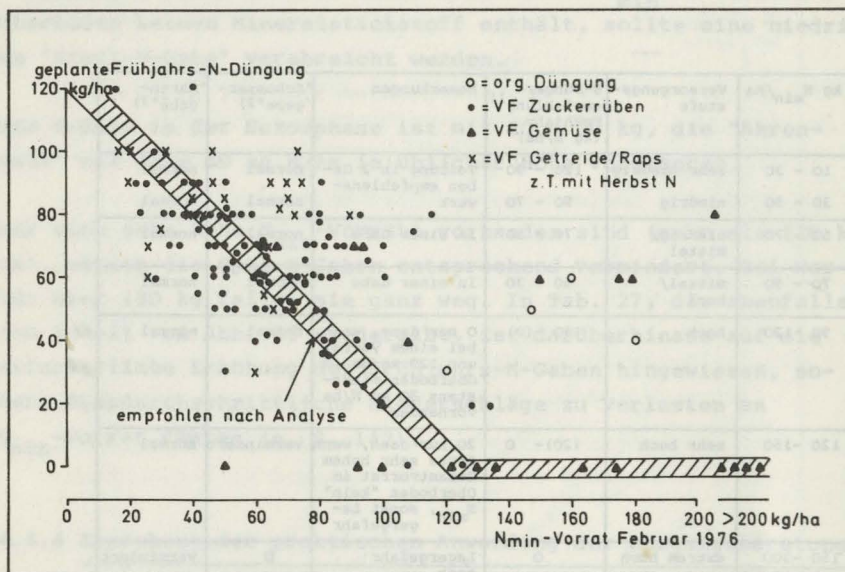


Abb. 46: Beziehung zwischen N_{\min} -Vorrat des Bodens Anfang Februar 1976 (0 - 100 cm) und der geplanten bzw. empfohlenen Frühlings-N-Düngung zu Winterweizen auf Lößstandorten

Es fällt auf, daß die Betriebsleiter bei Vorfrucht Gemüse besonders häufig auf die Frühlings-N-Düngung verzichten wollten, was mit der Empfehlung nach Bodenanalyse übereinstimmt.

Auf der anderen Seite wird deutlich, daß noch eine verhältnismäßig große Unsicherheit in der Schätzung der nutzbaren N_{\min} -Vorräte vorliegt. Diese ist naturgemäß besonders groß bei sehr niedrigen oder sehr hohen Vorräten. Die Düngungsplanung liegt dann oft zu niedrig oder zu hoch.

Zwar wird von den Betriebsleitern der in den Versuchen gefundene

gesamte Spielraum von 0 - 120 kg N/ha für die Düngung im Frühjahr ebenfalls erkannt, doch ist eine Häufung (70 %) zwischen 50 und 90 kg N/ha unverkennbar - ein Ausdruck der Tendenz zu mittleren Gaben.

Der Einsatz der N_{\min} -Methode führte hier zu einer stärkeren Differenzierung der N-Düngung, wobei in manchen Fällen deutlich höhere Gaben, in anderen sehr viel niedrigere eingesetzt wurden.

Soweit wie möglich wurden auf den in die Düngerberatung einbezogenen Winterweizenflächen die Kornerträge ermittelt und zwar jeweils auf Parzellen ohne N-Düngung (s. Abb. 35) und mit nach Bodenanalyse empfohlener N-Düngung. Die Empfehlung wurde aus einer verständlichen Skepsis heraus nicht von allen Landwirten strikt eingehalten. Die tatsächlich ausgebrachten N-Mengen liegen indessen im Mittel sehr nahe bei der empfohlenen N-Düngung im Frühjahr.

In Abb. 47 sind die Erträge, die mit N-Düngung erzielt wurden, als Klassenmittel in Säulen dargestellt. Zum Vergleich wurden noch einmal die entsprechenden Erträge ohne N-Düngung (unterbrochene Linien) eingezeichnet. Weiterhin ist die mittlere jeweils im Frühjahr ausgebrachte N-Düngung angegeben. Es wird deutlich, daß es bei den Flächen mit N_{\min} -Vorräten über 40 kg/ha durch eine dem Bodenvorrat angepaßte N-Düngung gelungen ist, zu durchschnittlich etwa gleichen, hohen Kornerträgen (um 68 dt/ha) zu gelangen.

Die durch N-Düngung erzielte Ertragssteigerung ist umso geringer je höher der N_{\min} -Vorrat zu Vegetationsbeginn war. Sie fällt, wie aus Abb. 48 zu ersehen ist, von rund 55 % bei N_{\min} -Vorräten zwischen 10 und 40 kg auf rund 3 % bei N_{\min} -Vorräten über 100 kg/ha.

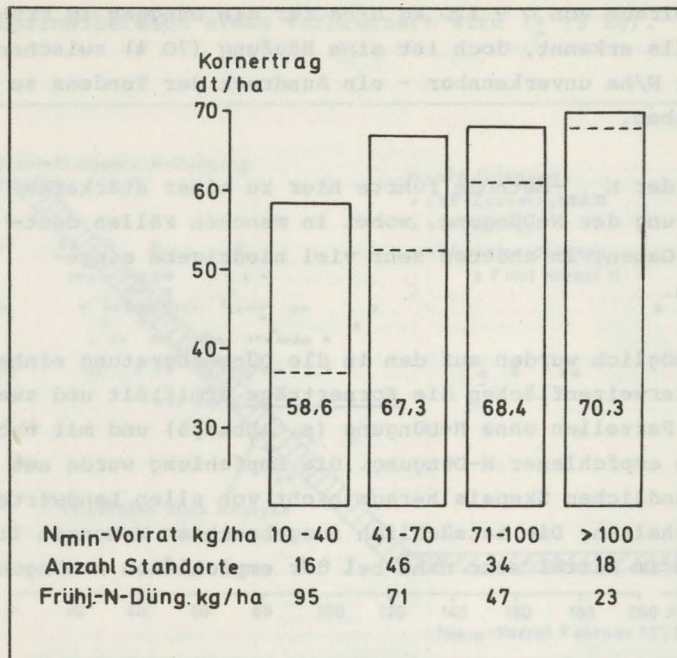


Abb. 47: Kornertrag von Winterweizen in Abhängigkeit vom N_{\min} -Vorrat des Bodens (Klassenmittelwerte) bei N-Düngung nach Bodenanalyse und ohne N-Düngung (unterbrochene Linie)

Waren sehr niedrige N_{\min} -Vorräte gegeben, so konnte auch durch eine hohe - gegenüber der Absicht des Betriebsleiters meist erhöhte - N-Düngung nicht das gleich hohe Ertragsniveau erreicht werden wie bei den Böden mit größeren N_{\min} -Vorräten.

Die Ursache für diese Erscheinung kann nicht eindeutig geklärt werden. Vermutlich liegen mehrere Gründe vor.

Aus den Daten der Erhebungsuntersuchung, die in Tab. 28 aufgeführt sind, geht - allerdings teilweise aus kleiner Stichprobe - hervor, daß mit abnehmendem N_{\min} -Vorrat im Mittel

- die Ackerzahl zurückgeht, also eine leichte Tendenz zu "schlechteren" Böden auftritt (siehe auch Tab. 8),
- Vorfrucht Getreide zunimmt, womit phythopathologische Probleme zunehmen könnten,
- Vorfrucht Gemüse abnimmt, womit meist weniger leicht zersetzbare Ernterückstände vorhanden sind,
- Stroheinarbeitung zunimmt (N-Sperre, Hemmstoffe),
- Düngung mit leicht zersetzbarer organischer Substanz abnimmt und
- organische Düngung insgesamt abnimmt.

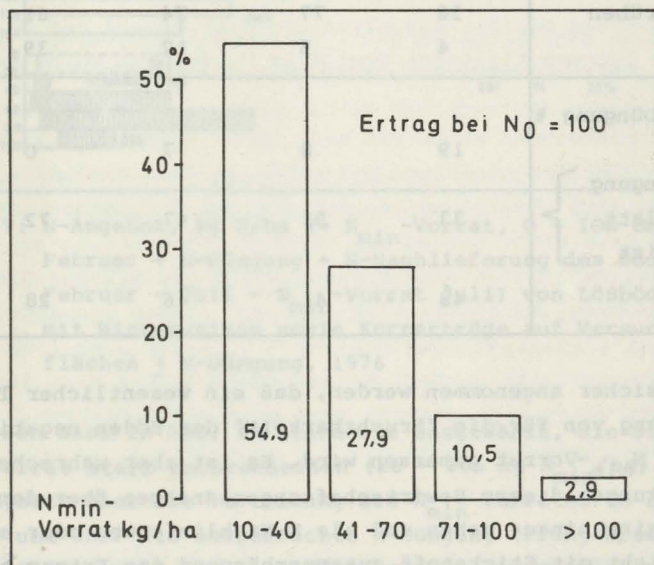


Abb. 48: Relative Ertragssteigerung von Winterweizen durch N-Düngung bei unterschiedlichen N_{\min} -Vorräten des Bodens (Klassenmittelwerte)

Tab. 28: Erhebung über Ackerzahl, Vorfrucht und organische Düngung in Beziehung zum N_{\min} -Vorrat des Bodens an 146 Winterweizenstandorten 1976

	N_{\min} -Vorrat kg/ha			
	10 - 40	41 - 70	71 - 100	> 100
Anzahl Standorte	25	62	42	22
Ackerzahl $\bar{\phi}$	68	75	78	79
Vorfrucht %				
- Getreide	40	18	14	0
- Zuckerrüben	56	77	74	61
- Gemüse	4	5	12	39
Organische Düngung %				
- Stroh	19	8	7	0
- Gründüngung	33	51	47	72
Rübenblatt				
Stallmist				
- ohne	48	41	46	28

Es muß als sicher angenommen werden, daß ein wesentlicher Teil dieser Häufung von für die "Fruchtbarkeit" der Böden negativer Faktoren im N_{\min} -Vorrat gemessen wird. Es ist aber wahrscheinlich, daß Nachwirkungen dieser Bewirtschaftungsmaßnahmen über den Vegetationsbeginn hinaus gehen und als N-Nachlieferung oder auch überhaupt nicht mit Stickstoff zusammenhängend den Ertrag beeinflussen. Möglicherweise liegt hier jedoch ebenfalls der auf S. 122 diskutierte negative Effekt der Konzentrierung des Stickstoffs in der Krume vor.

Diese Problematik soll noch einmal an vier Fällen deutlich gemacht werden.

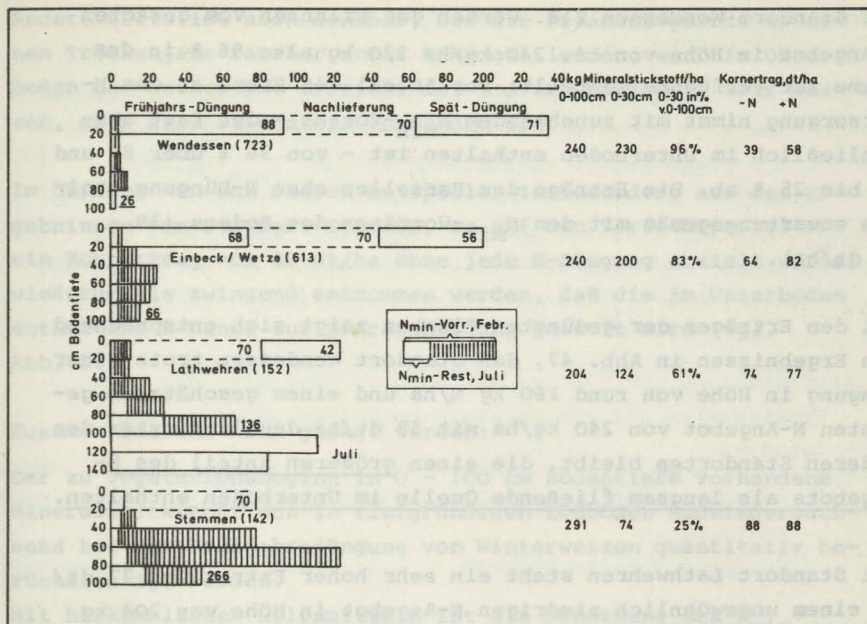


Abb. 49: N-Angebot, kg N/ha (= N_{\min} -Vorrat, 0 - 100 cm, Februar + N-Düngung + N-Nachlieferung des Bodens, Februar - Juli - N_{\min} -Vorrat Juli) von Lössböden mit Winterweizen sowie Kornerträge auf Versuchsflächen + N-Düngung, 1976

Es wurden dazu in Abb. 49 Standorte ausgewählt, die sich im N_{\min} -Vorrat stark unterscheiden (26 - 266 kg N_{\min} /ha). Anhand der Angaben über die Verteilung des N_{\min} -Vorrates im Bodenprofil und über die ausgebrachte N-Düngung (Frühjahrsdüngung und "Spätdüngung") sowie unter Annahme einer mittleren aus der Nachlieferung stammenden N-Menge von 70 kg/ha, kann gezeigt werden, daß je nach N_{\min} -Vorrat des Bodens sehr unterschiedliche Anteile der N-Versorgung der Pflanzen aus der Krume kommen.

Bei Standort Wendessen z.B. werden den Pflanzen vom gesamten N-Angebot in Höhe von ca. 240 kg/ha 230 kg also 96 % in der Krume zur Verfügung gestellt. Der Anteil der Krume an der N-Versorgung nimmt mit zunehmendem N_{\min} -Vorrat - der fast ausschließlich im Unterboden enthalten ist - von 96 % über 83 und 61 bis 25 % ab. Die Erträge der Parzellen ohne N-Düngung steigen erwartungsgemäß mit dem N_{\min} -Vorräten des Bodens (39 - 88 dt/ha).

Bei den Erträgen der gedüngten Flächen zeigt sich entsprechend den Ergebnissen in Abb. 47, daß Standort Wendessen trotz einer Düngung in Höhe von rund 160 kg N/ha und einem geschätzten gesamten N-Angebot von 240 kg/ha mit 58 dt/ha deutlich unter den anderen Standorten bleibt, die einen größeren Anteil des N-Angebots als langsam fließende Quelle im Unterboden enthalten.

Bei Standort Lathwehren steht ein sehr hoher Ertrag von 77 dt/ha einem ungewöhnlich niedrigen N-Angebot in Höhe von 204 kg gegenüber. Da hier abweichend von den übrigen Standorten der Boden Anfang Juli nicht bis zu dem unteren Grenzwert (~ 20 kg N/ha) entleert war, wurde eine Bodenuntersuchung bis zur Tiefe 140 cm vorgenommen. Es zeigte sich, daß auf diesem Standort ("Güllebetrieb") unterhalb der Schicht 0 - 100 cm noch fast 200 kg N_{\min} /ha gefunden wurden. Es ist möglich, daß hier die Weizenpflanzen ihren N-Bedarf zum Teil noch aus Schichten unterhalb von 1 m decken konnten).

Es wird bei dieser Darstellung deutlich, daß bei niedrigen N_{\min} -Vorräten eine hohe N-Menge auf ein geringes Bodenvolumen verteilt wird was zu einer ungünstigen Konzentrierung führen kann.

Eine Frühjahrsdüngung von 100 kg N/ha bedeutet in trockenen Perioden mindestens zeitweilig Konzentrationen von 500 ppm N in der Bodenlösung.

Andererseits ist auch denkbar, daß die Pflanzen gerade in einem Trockenjahr rascher unter N-Mangel leiden, wenn im Oberboden der Welkepunkt erreicht ist und im Unterboden zwar Wasser, aber kein Stickstoff vorhanden ist.

Im übrigen muß aus diesen Beispielen insbesondere aus den Ergebnissen vom Standort Stemmen, wo auf den Versuchspartellen ein Kornertrag von 88 dt/ha ohne jede N-Düngung erzielt wurde, wiederum als zwingend entnommen werden, daß die im Unterboden enthaltene N-Menge zur Ertragsbildung genutzt wird (vgl. Abb. 37).

Zusammenfassend kann gesagt werden:

Der zu Vegetationsbeginn in 0 - 100 cm Bodentiefe vorhandene Mineralstickstoff muß in tiefgründigen Lössböden Südniedersachsens bei der Frühjahrsdüngung von Winterweizen quantitativ berücksichtigt werden.

Mit herkömmlichen Hilfsmitteln ist die Schätzung des N_{\min} -Vorrates besonders schwierig, wenn dieser sehr niedrig oder sehr hoch ist.

Die Bodenanalyse auf Mineralstickstoff (N_{\min} -Methode) hat sich im praktischen Einsatz als Hilfsmittel zur besseren Dosierung der N-Düngung erwiesen.

Bei extrem niedrigen N_{\min} -Vorräten war es allerdings trotz erhöhter N-Düngung im Trockenjahr 1976 nicht möglich die Erträge von Standorten mit höheren N_{\min} -Vorräten zu erreichen.

5. DIE N_{\min} -METHODE

Aufgrund der Versuchsergebnisse konnte ein Verfahren erarbeitet werden, das sich am Beispiel von Winterweizen als geeignet erwies, den N-Düngerbedarf vorherzusagen, die " N_{\min} -Methode".

Als N_{\min} -Methode wird das gesamte Verfahren bezeichnet, das zur Empfehlung der Höhe der Stickstoffdüngung auf der Grundlage einer Messung des N_{\min} -Vorrates des Bodens führt. Es besteht aus drei Teilen:

a) Ermittlung der für die gewählte Pflanzenart, das Düngungssystem und die Bodeneigenschaften gültigen Kenngrößen:

- nutzbare Bodenschicht bzw. Meßtiefe,
- Meßtermin,
- Sollwert für die Düngung.

b) Praktische Anwendung:

- Bodenprobeentnahme,
- Probenbehandlung,
- Analyse,
- Umrechnung der Meßergebnisse in kg N/ha,
- Prognose des N-Düngerbedarfs.

c) Information über Auswaschung von Teilen des N_{\min} -Vorrates nach der Messung:

- Messungen auf Testflächen,
- Berechnung der N_{\min} -Verluste,
- gegebenenfalls Empfehlung für eine Ergänzungsdüngung.

Der erste Teil wird für einheitliche Bodenformen überwiegend von Forschungsanstalten durchgeführt werden müssen. Es ist jedoch auch denkbar, daß sich einzelne Betriebsleiter empirisch an die betriebspezifischen, schlagspezifischen oder auch sortenspezi-

fischen Kennwerte heranmarbeiten.

Die nutzbare Bodenschicht hängt ab von der jeweils angebauten Pflanzenart sowie von Bodeneigenschaften und Wasserzustand des Bodens (Bodengefüge, Grund- und Stauwasserhorizonte u.a.).

Sie kann im Einzelfall, d.h. für eine bestimmte Pflanzenart und einheitliche Bodenformen ermittelt werden, indem man:

- Messungen oder Beobachtungen an Wurzeln durchführt,
- die Tiefe des pflanzlichen Wasserentzugs bestimmt,
- die Veränderung der N_{\min} -Gehalte in verschiedenen Bodentiefen während der Hauptphase pflanzlicher N-Aufnahme verfolgt.

Anhaltspunkte für die Durchwurzelbarkeit des Bodens können auch den Klassenzeichen der amtlichen Bodenschätzung entnommen werden.

Der Meßtermin wird von zwei - nicht immer übereinstimmenden - Zielen beeinflusst:

Der höchste Aussagewert der Bodenuntersuchung ist dann gegeben, wenn diese so kurz wie möglich vor Beginn der pflanzlichen N-Aufnahme erfolgt. Da der Düngungstermin oft früher liegt, sind Kompromisse unumgänglich, auch wenn damit ein Teil der Aussagegenauigkeit verloren geht.

Der Sollwert, der durch Ergänzung des N_{\min} -Vorrates des Bodens mit der N-Düngung anzustreben ist, kann in Düngungsversuchen auf Standorten mit unterschiedlichem N_{\min} -Vorrat ermittelt werden. Er ist abhängig vom N-Bedarf der Pflanze, dem angewandten Düngungssystem und der N-Nachlieferung bzw. N-Verlusten im vorgesehenen Zeitraum.

Für das der Arbeit zugrunde liegende Untersuchungsgebiet werden die Kenngößen für die Frühjahrsdüngung von Winterweizen in einem frühjahrsbetonten N-Düngungssystem mit Spätgaben ab Mitte Mai auf tiefgründigen Böden aus Löß wie folgt ermittelt:

- Nutzbare Bodenschicht bzw. Meßtiefe: 0 - 100 cm,
- Volumengewicht (Lagerungsdichte): ca. 1,5 kg/l,
- Meßtermin: Februar - Anfang März,
- Sollwert (bei Anschlußdüngung in Schoßphase): 120 kg N/ha.

Aus dem zweiten Teil kann die Probenahme sowohl von landwirtschaftlichen Untersuchungsanstalten als auch von Beratungsringen, Beratungsdiensten oder vom Landwirtschaftsbetrieb selbst durchgeführt werden.

Für die praktische Anwendung der N_{\min} -Methode bei Winterweizen im südniedersächsischen Lößgebiet wird die Probenahme aus der Tiefe von 0 - 90 cm mit einer Aufteilung in drei Schichten zu je 30 cm empfohlen. Die Aufteilung des Bohrkerns in drei Schichten hat folgende Gründe:

- a) Die homogene Mischung von Material aus der humusreichen Krume und dem humusärmeren Unterboden ist vor allem bei nassem Boden nur sehr ungenügend zu erreichen. Dies erhöht das Risiko von Meßfehlern.
- b) Die Information über die Tiefenverteilung des N_{\min} -Vorrates ermöglicht die Abschätzung eines zusätzlichen Düngerbedarfes, wenn Auswaschungsverluste eingetreten sind.
- c) Eventuell kann der Termin der 1. Frühjahrsdüngung ebenfalls an der Tiefenverteilung des N_{\min} -Vorrates ausgerichtet werden. "Tief sitzender" Stickstoff könnte zu früher Düngung und ein N_{\min} -reicher Oberboden zu einem späteren Düngungstermin führen.

Die für die Probenahme vorgeschlagenen Geräte, Auswahl und Verteilung der Bohrlöcher, Technik der Probenahme und Probenbehandlung sind einem Auszug aus dem an Interessenten verteilten Merkblatt zu entnehmen:

Anweisung für die Entnahme und Behandlung der Bodenproben

1. Geräte für die Probenahme

a) Bohrstock 1,2 m Länge für die Probenahme (siehe Abb. 50)

b) Hammer von ca. 4 kg Gewicht

Polyamid oder Holz

(Eisen nicht empfehlenswert wegen Verformung am Bohrstockkopf)

c) Drei 5-l-Haushaltseimer aus Kunststoff zur Aufnahme der Bodenproben. Die Eimer sind deutlich zu kennzeichnen, um Verwechslungen zu vermeiden.

0 - 30 cm = I

30 - 60 cm = II

60 - 90 cm = III

d) Messer zum Entleeren des Bohrstocks

e) Plastikbeutel mit Verschlusmaterial und Probenliste (von Untersuchungsanstalt) für Verpackung und Kennzeichnung der Bodenproben.

2. Verteilen der Bohrlöcher über das schlagtypische Teilstück

X	X	X	X	} ca. 30 m
X	X	X	X	
X	X	X	X	
X	X	X	X	

ca. 30 m

Wiederholungen der Probenahme in gleichen oder kommenden Jahren sollten auf demselben Teilstück erfolgen. Daher auf Hofkarte vermerken.

3. Technik der Probenahme

I. Schicht = 0 - 30 cm

1. Boden festtreten.
2. Bohrstock bis 30 cm in Boden drücken bzw. mit Hammer einreiben.
3. Drehen, gefüllten Bohrstock langsam herausziehen, damit Bohrkern vollständig ist.
4. Bodenwulst, der über Bohrstockrand heraussteht, mit Messer abstreifen.
5. Bohrkern vollständig in Eimer I überführen.

II. Schicht = 30 - 60 cm und III. Schicht = 60 - 90 cm

6. Bohrstock ins offene Bohrloch einsetzen und bis 90 cm einreiben.
7. Bohrstock drehen und langsam, ggf. unter gleichzeitigem Drehen, herausziehen.
8. Bodenwulst mit Messer abstreifen.
9. Obersten Teil des Bohrkerns bis etwa zur 56-cm-Marke entfernen. Er besteht z.T. aus Oberbodenmaterial, das ins Bohrloch hineingefallen ist und eingemischt wurde. Dieser Boden muß vollständig entfernt werden. Fehlerquelle!
10. Bohrkern aus 60 bis 90 cm Tiefe in Eimer III überführen.
11. Bohrkern aus 30 bis 60 cm Tiefe in Eimer II überführen.
12. Inhalt der Eimer I, II und III vollständig in je einen kräftigen Plastikbeutel einfüllen. Dabei Beschriftung anbringen oder einlegen. Die Beschriftung muß mindestens enthalten:
 - a) Schlagbezeichnung,
 - b) Schicht (0 - 30 = I, 30 - 60 = II, 60 - 90 = III),
 - c) Datum der Probenahme,
 - d) Vorgesehene Kulturart.Plastikbeutel, Probenlisten und Anweisungen für den Transport stellen die Untersuchungsanstalten auf Anforderung zur Verfügung.

Bei der Probenbehandlung zwischen Entnahme und Analyse müssen Stickstoffumsetzungen im Boden verhindert werden. Dies wird durch Zwi-

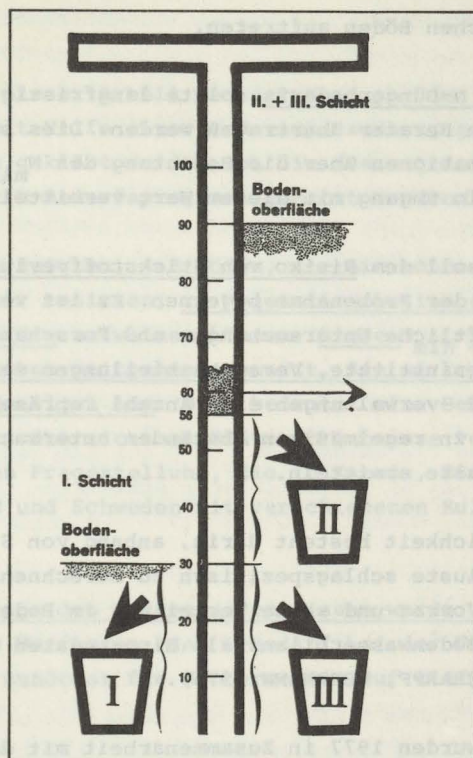


Abb. 50: Anweisung für die Entnahme von Bodenproben nach der N_{\min} -Methode

schenlagerungen bei niedrigen Temperaturen ($+ 2^{\circ} \text{C}$) erreicht.

Die Analytik muß erhöhten Anforderungen an Genauigkeit genügen. Fehler haben hier wirtschaftlich weit größere Folgen als z.B. bei der Bodenuntersuchung auf den P- oder K-Gehalt.

Zur Umrechnung der Meßergebnisse in kg N/ha muß das Volumengewicht der Böden geschätzt oder gemessen werden. Fehler könnten in erster Linie bei mehr oder weniger frisch bearbeiteten Krumen

und bei humusreichen Böden auftreten.

Die Prognose des N-Düngerbedarfs sollte langfristig dem Betriebsleiter und dessen Berater übertragen werden. Dies setzt voraus, daß vorher Informationen über die Bedeutung des N_{\min} -Vorrates und Erfahrungen im Umgang mit diesem Wert vermittelt wurden.

Der dritte Teil soll dem Risiko von Stickstoffverlusten durch Auswaschung nach der Probenahme begegnen. Es ist vorstellbar, daß landwirtschaftliche Untersuchungs- und Forschungsanstalten, Bodenuntersuchungsinstitute, Versuchsabteilungen der Landwirtschaftskammer und -verwaltungen eine Anzahl repräsentativer Standorte im Frühjahr in regelmäßigen Abständen untersuchen und ggf. Auswaschungsverluste ermitteln.

Eine zweite Möglichkeit besteht darin, anhand von Simulationsmodellen die N-Verluste schlagspezifisch zu berechnen. Hierbei müßten der N_{\min} -Vorrat und seine Verteilung im Bodenprofil sowie Angaben zur Bodenwasserbilanz als Eingabedaten vorhanden sein (RICHTER, SCHARPF, WEHRMANN 1976).

Beide Verfahren wurden 1977 in Zusammenarbeit mit der Ackerbauversuchsabteilung der Landwirtschaftskammer Hannover, der LUFA Hameln und dem Institut für Bodenkunde der TU Hannover durchgeführt; die Ergebnisse sind in der Fachpresse veröffentlicht (MERKEL, RICHTER, SCHARPF, WEHRMANN 1977).

Die Meß- bzw. Rechenergebnisse könnten - im Sinne eines Warnendienstes - benutzt werden, um ggf. auf die Notwendigkeit zusätzlicher N-Gaben hinzuweisen.

6. DISKUSSION

Ausgangspunkt dieser Arbeit war der Versuch, den Stickstoffdüngerbedarf mit Hilfe einer Bodenuntersuchung genau zu bestimmen. Es sollte geklärt werden, ob die Messung des N_{\min} -Vorrates des Bodens für N-Bedarfsprognose genutzt werden kann.

Die Ergebnisse zeigten, daß Böden, die ein hohes Speichervermögen für Wasser besitzen, zu Vegetationsbeginn sehr unterschiedliche N_{\min} -Vorräte aufweisen können. Diese N_{\min} -Vorräte werden von Weizenpflanzen weitgehend genutzt. Sie wirken sich auf den Düngerbedarf deutlich aus. Dies bedeutet eine Bestätigung der in der Literaturübersicht erwähnten Ergebnisse von Arbeiten mit einer ähnlichen Fragestellung, die in Kanada, USA, Holland, Frankreich, der DDR und Schweden mit verschiedenen Kulturen durchgeführt wurden.

Als Folgerung aus den Versuchsergebnissen wurde die N_{\min} -Methode formuliert als Verfahren, den N-Bedarf bei der Frühjahrsdüngung zu ermitteln, zunächst für Winterweizen auf tiefgründigem Boden aus Löß.

Die Vorhersage des N-Düngerbedarfs wird ausdrücklich auf den Zeitraum beschränkt, in dem der N_{\min} -Vorrat an der N-Ernährung beteiligt ist, also von Vegetationsbeginn bis Ende Mai. Da jedoch bei Winterweizen die Spät-N-Gaben weitgehend in einheitlicher Höhe gegeben werden und auch in den Düngungsversuchen konstant gehalten waren, entscheidet die Frühjahr-N-Gabe letztlich doch über den gesamten N-Dünger-Bedarf.

Ob dies richtig ist, müßte in weiteren Versuchen mit variierten Spät-N-Gaben geklärt werden. Die oft sehr engen Beziehungen zwischen N_{\min} -Vorrat und Ertrag und vor allem die einheitlichen Ergebnisse der Düngungsversuche lassen vermuten, daß sich die N-Nachlieferung in der zweiten Hälfte der Wachstumsperiode auf

verschiedenen Standorten nicht wesentlich unterscheidet.

Ein kritischer Punkt der N_{\min} -Methode ist die Bestimmung der nutzbaren Bodenschicht und damit der erforderlichen Meßtiefe. Diese muß vor der Anwendung bekannt sein oder durch entsprechende Vorarbeiten ermittelt werden.

Unter den bei den durchgeführten Versuchen gegebenen Bedingungen muß die Nutzung von Mineral-Stickstoff aus dem Unterboden als zwingend angesehen werden:

- Die Tiefe des Wurzelraumes beträgt meistens 1 m oder mehr (RENGER u. STREBEL 1976a).
- Die Aufnahme von Wasser und NO_3-N aus dem gesamten Wurzelraum ist an vergleichbaren Standorten nachgewiesen (STREBEL, RENGER u. GIESEL 1975 und RENGER u. STREBEL 1976b).
- Die N_{\min} -Vorräte nehmen in der Hauptwachstumsphase von oben nach unten fortschreitend bis 1 m Tiefe ab (Kap. 4.2.2.1).
- Auf Bracheflächen bleibt der Mineralstickstoff des Unterbodens bis zur Ernte erhalten (Tab. 16).
- Auf Standorten mit extrem hohen N_{\min} -Vorräten vermindert sich dieser bis zur Ernte nur um Beträge in Höhe von 220 - 250 kg N/ha, die dem Entzug durch Weizen entsprechen (Tab. 14).
- Die Korrelation zwischen N_{\min} -Vorrat des Bodens und Sproßmasse bzw. Ertrag von Weizen wird enger, wenn der Unterbodenstickstoff miteinbezogen wird (Tab. 19).
- Ein Hinweis auf erhöhte Nachlieferung im Falle von hohen N_{\min} -Vorräten kann dem vorhandenen Material nicht entnommen werden (Kap. 4.2.3 u. 4.3.5).
- Die hohen Erträge und entsprechend hohen N-Entzüge von Standorten, die wegen des hohen N_{\min} -Vorrates keine N-

Düngung erhalten haben, sind aus den meist geringen N_{\min} -Vorräten der Krume und der zusätzlich gemessenen oder kalkulierten N-Nachlieferung nicht zu erklären (Kap. 4.2.2.3, 4.3.5 und Abb. 49).

Überraschend ist die Tatsache, daß sich in den Versuchen mit zunehmender Bodentiefe keine Abnahme in der Ausnutzungsrates von Mineralstickstoff gezeigt hat. Eine solche Abnahme wäre denkbar und war erwartet worden, da die Intensität der Durchwurzelung mit zunehmender Bodentiefe abnimmt. Sie ist in den Versuchen von HERRON et al. (1968), GASS et al. (1971), ANDERSON et al. (1972) gefunden worden, nicht hingegen von DAIGGER und SANDER (1976). OGUS und FOX errechneten eine wesentlich höhere N-Aufnahmeaktivität der Unterbodenwurzeln von Gräsern, was möglicherweise die abnehmende Wurzelmasse kompensiert.

Eine weitere Klärung dieses Sachverhaltes bleibt zukünftigen Arbeiten vorbehalten.

Der günstigste Meßtermin liegt theoretisch kurz vor Einsetzen eines spürbaren N-Entzuges durch die Pflanze. Vorausgesetzt, daß keine Auswaschung stattfindet, ist zu diesem Zeitpunkt der Höchstwert des N_{\min} -Vorrates meßbar.

Demnach müßte 1975 der günstigste Termin Anfang März, 1976 Anfang April gelegen haben. Diese Annahme wird dadurch bestätigt, daß die Beziehung zwischen N_{\min} -Vorrat und Ertrag 1975 von Februar nach März etwas enger geworden ist (Tab. 20). 1976 entsprach der März mit einer Monatsdurchschnittstemperatur von $2,2^{\circ}\text{C}$ noch einem Wintermonat. Die N_{\min} -Vorräte haben sich in dieser Zeit nur unwesentlich verändert (vgl. Abb. 19). Ebenso veränderte sich die Beziehung zwischen dem Mineral-N-Vorrat des Bodens und dem Ertrag nur wenig (Abb. 38).

Die Information über den N_{\min} -Vorrat hat indessen nur dann praktische Bedeutung, wenn sie zum Termin der ersten Frühjahrsdüngung

dem Betriebsleiter bekannt ist. Dieser Termin liegt im Untersuchungsgebiet üblicherweise Ende Februar oder Anfang März. Oft wird darauf geachtet, daß die Fahrzeuge noch vom gefrorenen Boden getragen werden, um Bodenschäden und Düngungsfehler durch Radschlupf zu vermeiden.

Selbst um den Preis eines kleinen Informationsverlustes muß sich der Analysetermin an diesem Düngungstermin ausrichten. Dementsprechend wird auch in Holland (BORST u. MULDER 1971) der 1. März als Untersuchungstermin empfohlen. Bei Zuckerrüben könnte die Diskrepanz zwischen optimalem und möglichem Probenahmetermin noch größer werden, da bei dieser Kultur ein wesentlicher Teil der N-Düngung vor der Saat, also im März gegeben wird, während die Hauptentzugsphase erst im Juni beginnt.

Messungen zu späteren Terminen - etwa im Mai - als Entscheidungshilfe für Spät-N-Gaben erscheinen unbrauchbar, weil sich dann die Böden im N_{\min} -Vorrat kaum noch unterscheiden. Im Gegensatz dazu kann die im Pflanzenbestand enthaltene N-Menge und damit der Versorgungszustand des Weizenbestandes sehr unterschiedlich sein (Abb. 30 u. 31).

Es ist daher anzunehmen, daß als Entscheidungshilfe für die N-Düngung in späteren Wachstumsstadien eher pflanzenanalytische Methoden Erfolgsaussichten haben.

Der "Sollwert 120", d.h. die Empfehlung, im Untersuchungsgebiet bei Winterweizen den N_{\min} -Vorrat des Bodens zu Vegetationsbeginn durch Düngung auf 120 kg/ha "aufzufüllen", muß sich zwangsläufig der Kritik besonders unterwerfen. Hierzu gibt es verschiedene Gesichtspunkte:

- Für diesen Sollwert spricht zunächst die Tatsache, daß er das Ergebnis von zehn Düngungsversuchen ist, die in zwei Jahren auf Standorten durchgeführt wurden, die sich im N_{\min} -Vorrat wesentlich unterschieden. Dabei waren jeweils

die Spät-N-Gaben praxisüblich einheitlich gehalten worden.

- Sodann wird er unter Berücksichtigung der Spätdüngung auch von Veröffentlichungen aus Holland und Frankreich bestätigt (s. Kap. 4.4.3).
- Weiter besteht zwischen diesem empirisch ermittelten Sollwert und dem N-Bedarf der Pflanze eine Beziehung.

Wenn man nämlich davon ausgeht, daß bis zum Ährenschieben 50 % des N-Bedarfs im Bestand enthalten sein müssen (STURM und JUNG 1972, STURM 1975), so stehen 100 - 120 kg N/ha im Bestand einem Sollwert von 120 kg N/ha gegenüber.

In dieser Gegenüberstellung fehlen N-Verluste bzw. nicht genutzter Stickstoff und N-Nachlieferung. Die eigenen Untersuchungen deuten darauf hin, daß sich diese Mengen gegenseitig nahezu aufwiegen.

Die auf Bracheflächen ermittelte Anhäufung von Mineralstickstoff betrug in den Untersuchungsjahren in der Zeit von Februar bis Ende Mai 40 - 60 kg (s. Kap. 4.2.3).

Messungen auf 6 Bracheflächen mit Vorkultur Zuckerrüben, Raps, Gras und Bohnen, die 1976 von der Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein vorgenommen wurden, ergaben unabhängig von der Vorkultur ebenfalls eine N_{\min} -Anhäufung von ca. 50 kg/ha zwischen März und Juni (SCHULZ, unveröffentl. 1976). Werte in ähnlicher Größenordnung wurden in mehreren Jahren in den Betrieben des Rijksdienstes für die Ijsselmeerpoldern in Holland auf "gereiften Neulandböden" gemessen (SMOOG, unveröffentl. 1976).

Addiert man diese 50 kg aus der N-Nachlieferung zu den 120 kg, die im Februar/März angeboten werden, so läßt sich bei einer Aufnahme von 110 - 120 kg bis zum Ährenschieben eine Ausnutzung des N-Angebotes von 60 - 70 % errechnen.

- Sollten andere Wirtschaftsweisen oder Klimabedingungen zu einem anderen Verhältnis zwischen N-Nachlieferung und nicht genutzten Stickstoff führen, so sind Auswirkungen

auf den Sollwert zu erwarten.

- Weiterhin muß bei der Diskussion des "Sollwertes" das Düngungssystem berücksichtigt werden, also die Aufteilung, Termine und Höhe der N-Gaben.

Bei den Versuchen wurde das dreistufige Düngungssystem des Beratungsringes Ackerbau Südhannover übernommen und prinzipiell nicht verändert. Die "Schossergabe" (II) mit 20 kg N/ha am 15. - 20. Mai und die "Ährengabe" (III) mit 40 - 50 kg N/ha am 5. - 12. Juni wurden konstant gehalten. Sie entsprachen den praxisüblichen Mengen (Regel: 1 kg N/dt erwarteter Ertrag).

Dieses Düngungssystem betont den Vegetationsbeginn (Ia + Ib). Nach Einführung des "Sollwertes 120" entspricht es dem Schema in Abb. 51.

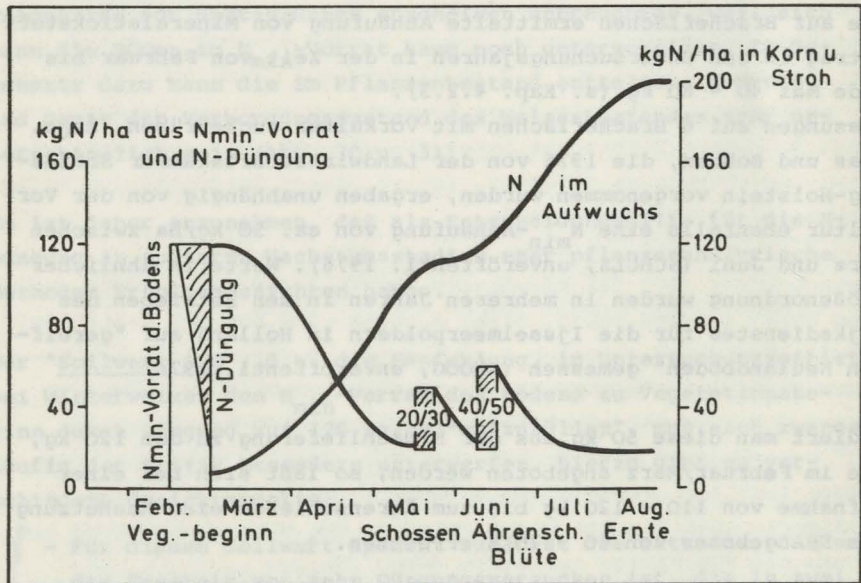


Abb. 51: N_{min}-Gehalt des Bodens und zeitlicher Verlauf der N-Aufnahme von Winterweizen bei N-Versorgungsschwerpunkt Veg.-beginn (schematisiert)

Die N-Aufnahme zeigt in diesem Dünungssystem zwei deutlich voneinander abgesetzte Phasen, nämlich Bestockung/Schoßbeginn und Blüte/Kornfüllung (siehe Abb. 51). In der Schoßphase erfolgt entweder nur eine geringe Aufnahme oder aber eine erhebliche Substanzabgabe durch Absterben von Bestockungstrieben (vgl. Abb. 32 und STURM und JUNG (1972)). Da man sich bei der Ernährung der Pflanzen in der Bestockungsphase an die Obergrenze herangetastet hat, führt dieses Dünungssystem zu relativ starker Bestockung und hohen Halmzahlen.

Die Verlegung des N-Versorgungsschwerpunktes auf den Vegetationsbeginn ist jedoch nicht unumstritten. Aufgrund ihrer Untersuchungen halten HEYLAND und Mitarbeiter (1977) und HANUS (1977) eine "knappe" N-Ernährung des Weizens in der Bestockungsphase und eine "hohe" Gabe zum Schoßbeginn (Stadium G/H, also Ende April für richtig.

Hierbei soll die Bestockung bewußt niedrig gehalten werden. Denn man geht von der Annahme aus, es sei für den Ertrag und die Ertragssicherheit günstiger, wenn anfangs weniger Triebe gebildet, diese aber dann voll ernährt werden, als wenn eine hohe Anfangsbestandedichte zu einer relativen Unterversorgung der Einzeltriebe bzw. Lagergefahr führt.

Daß die Bestandesdichte genauso stark vom N_{\min} -Vorrat des Bodens wie von der N-Düngung im Frühjahr abhängt, geht aus Bestandeszählungen der Jahre 1975 und 1976 hervor (SCHARPF u. WEHRMANN, unveröffentl. u. Tab. 18). Das bedeutet, daß bei jedem Dünungssystem, das auf eine bestimmte Bestandesdichte zielt, die N_{\min} -Vorräte des Bodens mit berücksichtigt werden müssen.

Aufgrund eigener Untersuchungen kann nicht beurteilt werden, ob eine Veränderung des Dünungssystems mit dem Ziel, andere Bestandesdichten zu erzeugen, Vorteile brächte. Es ist jedoch grundsätzlich möglich, die N_{\min} -Methode auch an andere Dünungssysteme anzupassen.

Bei Veränderung des Dünungssystems würde sich dann zwangsläufig ein anderer "Sollwert" ergeben.

Ein Beispiel hierfür ist in Abb. 52 schematisch dargestellt. Es handelt sich dabei, in Anlehnung an HEYLAND und HANUS, um ein System, bei dem die Dünung zum Schoßbeginn betont wird.

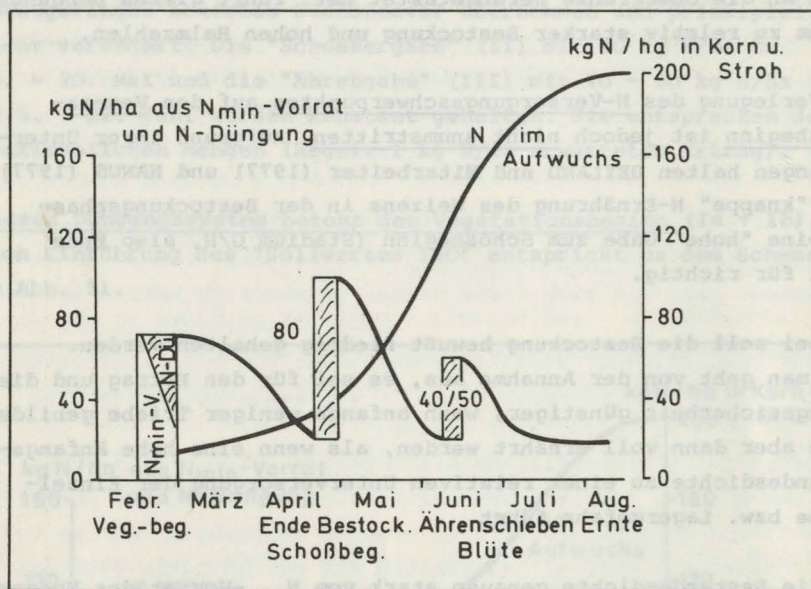


Abb. 52: N_{\min} -Gehalt des Bodens und zeitlicher Verlauf der N -Aufnahme von Winterweizen bei N -Versorgungsschwerpunkt Ende Bestockung (schematisiert)

Zu Vegetationsbeginn ist hier nur ein "Sollwert" von 70 kg N/ha angenommen. Es ist zu erwägen, ob zu diesem Termin nur der N_{\min} -Vorrat in der Bodentiefe 0 - 60 cm berücksichtigt werden sollte. Zum Schoßbeginn werden im Normalfall 80 kg N/ha verabreicht. Diese Menge müßte entsprechend vermindert werden, wenn die in 0 - 100 cm vorhandene N -Menge zu Vegetationsbeginn 70 kg übersteigt. Es sollte gewährleistet werden, daß aus N_{\min} -Vorrat des Bodens + N -Dünung vor dem Ährenschieben 150 kg N/ha

zur Verfügung stehen. Die Ährengabe bleibt unverändert. Die N-Aufnahme ergibt bei diesem Düngungssystem eher das Bild der typischen S-Kurve (HANUS, 1977).

Ein anderes Düngungssystem (Abb. 53) das zu einer Erhöhung des "Sollwertes" zu Vegetationsbeginn führen muß, wird in den 1977 geplanten Versuchen des Fachverbandes der Stickstoffindustrie durchgeführt (NIEDER 1976), sowie in ähnlicher Form in Holland von seiten des Beratungsdienstes empfohlen (BAKKER 1977).

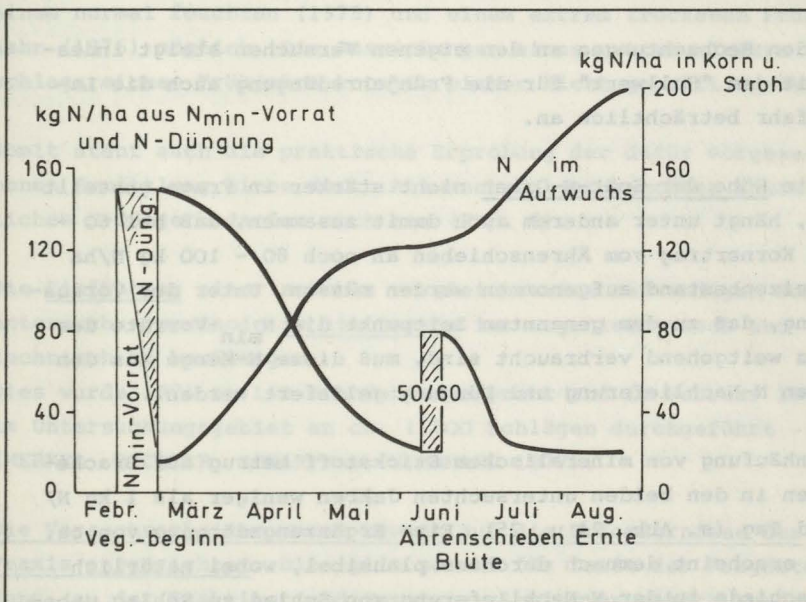


Abb. 53: N_{min} -Gehalt des Bodens und zeitlicher Verlauf der N-Aufnahme von Winterweizen bei N-Versorgungsschwerpunkt Vegetationsbeginn, ohne Schossergabe (schematisiert)

Die Besonderheit dieses Systems liegt darin, daß die N-Versorgung des Weizens nur durch die frühe Frühjahrsdüngung und die Ährengabe also ohne eine Zwischendüngung zum Schoßbeginn oder in der Schoßphase, vorgenommen wird.

Wenn man vom gleichen N-Bedarf ausgeht, müßte hier der "Sollwert" zu Vegetationsbeginn bei 140 bis 150 kg N/ha liegen.

Die N-Aufnahme wird hierbei noch deutlicher zweistufig verlaufen als in Abb. 51 dargestellt. Als Begründung für das Weglassen einer Zwischengabe im Mai wird angeführt, daß zu diesem Zeitpunkt ein starker Stickstoffstoß aus der N-Nachlieferung erwartet wird.

Nach den Beobachtungen an den eigenen Versuchen steigt indes mit dem "Sollwert" für die Frühjahrsdüngung auch die Lagergefahr beträchtlich an.

Daß die Höhe der Spät-N-Gaben nicht stärker in Frage gestellt wurde, hängt unter anderem auch damit zusammen, daß bei 60 - 70 dt Kornertrag vom Ährenschieben an noch 80 - 100 kg N/ha vom Weizenbestand aufgenommen werden müssen. Unter der Voraussetzung, daß zu dem genannten Zeitpunkt die N_{\min} -Vorräte des Bodens weitgehend verbraucht sind, muß diese N-Menge aus den Quellen N-Nachlieferung und Düngung geliefert werden.

Die Anhäufung von mineralischem Stickstoff betrug auf Brache-
flächen in den beiden untersuchten Jahren weniger als 1 kg N/ha und Tag (s. Abb. 24 u. 25). Eine Ergänzungsdüngung von ca. 60 kg erscheint demnach durchaus plausibel, wobei natürlich Unterschiede in der N-Nachlieferung von Schlag zu Schlag unberücksichtigt bleiben.

Im übrigen sind Fehler bei den Spätgaben weit weniger kritisch im Hinblick auf die Ertragsbildung, da die Standfestigkeit zu diesem Zeitpunkt kaum mehr negativ beeinflußt werden kann.

Vor einer Übertragung der Ergebnisse auf andere Standorte und Pflanzenarten müssen Untersuchungen zur Ermittlung der spezifischen Kenndaten durchgeführt werden (Kap. 5).

Dasselbe gilt im Grunde auch, wenn die Ergebnisse überprüft werden. Diese Überprüfung ist sehr wünschenswert, um die Methode unter anderen Witterungsbedingungen zu erproben. Bisher waren zwar bezüglich der Temperatur während der Frühjahrsmonate die möglichen Extreme eingetreten (1975 sehr warmes und "frühes" Frühjahr, 1976 kaltes, "spätes" Frühjahr). Hinsichtlich der Niederschläge war jedoch nur der Vergleich zwischen einem normal feuchten (1975) und einem extrem trockenen Frühjahr (1976) möglich. Die Auswirkungen eines extrem niederschlagsreichen Frühjahrs konnten bisher nicht geprüft werden.

Somit steht auch die praktische Erprobung der dafür vorgesehenen Ermittlung eines durch Auswaschung verursachten zusätzlichen N-Düngerbedarfes noch aus (Kap. 5).

Die Einführung einer solchen vergleichsweise aufwendigen Bodenuntersuchungsmethode in die Praxis ist organisatorisch und technisch zu bewältigen.

Dies wurde 1976 an 160 Standorten erprobt und im Februar 1977 im Untersuchungsgebiet an ca. 1.500 Schlägen durchgeführt (MERKEL, RICHTER, SCHARPF u. WEHRMANN 1977).

Die Versuchsarbeiten waren bewußt auf die Erfordernisse der Praxis ausgerichtet. Dies gilt sowohl für Teile der Fragestellung, zu der Praktiker und Beratungsringleiter gehört wurden, als auch für die Versuchsmethoden. Diese mußten so gestaltet werden, daß die Betriebsleiter in der Lage und bereit waren, einen Teil der Versuchsarbeiten (Düngung, Ernte) mit eigenen Maschinen durchzuführen.

Die bereitwillige Mitarbeit einer großen Zahl von Landwirt-

schaftsbetrieben hat es ermöglicht, in verhältnismäßig kurzer
Zeit Erkenntnisse über Vorkommen und Streubreite der N_{min} -
Vorräte und deren Nutzung durch die Pflanze zu gewinnen und
darüberhinaus zu einem Verfahren zur Verwertung dieser Er-
kenntnisse bei der Düngerbedarfsermittlung zu gelangen.

7. ZUSAMMENFASSUNG

Zur Frage der Brauchbarkeit einer Bodenuntersuchungsmethode für die Bemessung der Stickstoffdüngung wurden neben methodischen Problemen auf Winterweizenstandorten im südniedersächsischen Lößgebiet die folgenden Teilgebiete untersucht: Vorkommen, Streubreite und Zusammensetzung der Mineralstickstoffgehalte (N_{\min} -Vorräte), Veränderung der N_{\min} -Vorräte im Laufe der Vegetationsperiode und deren Nutzung durch die Pflanzen; Bedeutung der N_{\min} -Vorräte für den Düngerbedarf und Möglichkeiten des Einsatzes einer Bodenuntersuchungsmethode in Praxisbetrieben.

Folgende Ergebnisse wurden erzielt:

1. Tiefgründige Böden aus Löß enthalten nach Erhebungsuntersuchungen auf rund 200 Winterweizenstandorten zu Vegetationsbeginn, d.h. kurz vor Beginn des intensiven Pflanzenwachstums in der Bodenschicht 0 - 100 cm N_{\min} -Vorräte zwischen 20 und 260 kg N/ha. In seltenen Fällen wurden N_{\min} -Gehalte bis zu 500 kg/ha gefunden.

In der Regel bestehen die N_{\min} -Vorräte ausschließlich aus Nitratstickstoff. Ammoniumstickstoff wurde mit dem gewählten Extraktionsmittel ($\text{NaCl} + \text{CaCl}_2$) nur in den oberen Bodenschichten und in Mengen unter 10 kg/ha gefunden.

Der zu Vegetationsbeginn vorhandene N_{\min} -Vorrat ist insbesondere von der vorhergehenden Bewirtschaftung (Vorfrucht, N-Düngung, organische Düngung u.a.) und der Winterwitterung (Temperatur, Niederschläge) abhängig. Bei vergleichbarer Bewirtschaftung und gleichen Witterungsverhältnissen sind jedoch zwischen den Standorten große Unterschiede im N_{\min} -Vorrat festzustellen.

2. Von Vegetationsbeginn an nehmen die N_{\min} -Vorräte im Normalfall innerhalb von ca. 10 Wochen, also bis Mai/Juni ab.

Es bleibt ein Restgehalt zwischen 20 und 30 kg N/ha, der einen unteren Grenzwert für die Entleerung der Böden darstellt. Lagen jedoch N_{\min} -Vorräte von über 250 kg N/ha vor, so betrug die Abnahme von Februar bis Juli jeweils ca. 230 kg N/ha. In diesen Fällen blieben also auch nach der Ernte noch pflanzenverfügbare N-Mengen im Boden zurück.

Die Abnahme des Mineral-N-Vorrates erfolgt im Bodenprofil mit fortschreitender Durchwurzelung von oben nach unten. Der Zeitpunkt, zu dem die Abnahme des N_{\min} -Vorrates einsetzt bzw. beendet ist, unterliegt von Jahr zu Jahr gewissen Schwankungen, die in erster Linie durch die Temperatur und den davon abhängigen Beginn des intensiven Pflanzenwachstums bedingt sind.

3. Auf brach gehaltenem (überdachtetem) Boden bleiben, im Gegensatz zu bewachsenen Flächen, die N_{\min} -Vorräte der unteren Bodenschichten (40 - 100 cm) bis zur Ernte in ungefähr gleicher Höhe erhalten. Im Oberboden (0 - 40 cm) findet dagegen erwartungsgemäß eine Anhäufung von Mineralstickstoff statt, die zwischen 60 und 90 kg N/ha erreicht.
4. Auf nicht mit N gedüngten Parzellen besteht eine enge Beziehung zwischen dem N_{\min} -Vorrat des Bodens zu Vegetationsbeginn und dem Wachstum, der N-Aufnahme, dem N-Entzug sowie dem Kornertrag von Winterweizen.

Schon ab Mitte Mai ist diese Beziehung am Sproßertrag bzw. der in die Sproßmasse aufgenommenen N-Menge deutlich erkennbar. Sie bleibt bis zum Erntetermin erhalten, obwohl im Normalfall ab Juni im Boden kein N_{\min} -Vorrat mehr vorhanden ist.

Mindestens bis zu einer Tiefe von 80 cm wird die genannte Beziehung umso enger, je größer die angerechnete Bodenschicht ist.

5. Das Mineralstickstoffangebot des Bodens, das sich aus N_{\min} -Vorrat zu Vegetationsbeginn und der N-Menge, die auf Bracheflächen von Vegetationsbeginn bis zur Ernte angehäuft wird, errechnet, entspricht auf ungedüngten Parzellen etwa der in die Sproßmasse aufgenommenen N-Menge.

6. Der Mineralstickstoffvorrat des Bodens muß bei der Bemessung der N-Düngung im Frühjahr berücksichtigt werden. Um den Höchstertrag zu erzielen, ist es bei dem im Versuchsgebiet üblichen Düngungssystem notwendig, den im Februar in 0 - 100 cm Tiefe gefundenen N_{\min} -Vorrat durch die Frühjahrsdüngung auf ca. 120 kg N/ha zu ergänzen. Dies geht aus zehn Düngungsversuchen hervor, die in zwei Jahren auf Standorten mit unterschiedlichem N_{\min} -Vorrat durchgeführt wurden.

Die weitere Düngung muß dann ab Mitte Mai, dem Zeitpunkt der weitgehenden "Entleerung" der Böden, wieder einsetzen (üblicherweise wird eine "Schossergabe" in Höhe von ca. 20 bis 30 kg N/ha und eine "Ährengabe" in Höhe von ca. 40 kg N/ha verabreicht).

Wurde der Sollwert für die Frühjahrsdüngung von 120 kg N/ha um 20 - 30 kg N/ha über- bzw. unterschritten, so war keine Ertragssteigerung zu erreichen, oder es traten Mindererträge auf.

7. Aus den methodischen Untersuchungen, den Ergebnissen der Düngungsversuche und der Erprobung in Praxisbetrieben wurde die " N_{\min} -Methode" zur Ermittlung des N-Düngerbedarfs abgeleitet.

Sie besteht aus Voruntersuchungen zur Ermittlung der für eine Pflanzenart, eine Standorteinheit und einen Düngungsabschnitt gültigen Kenngrößen (Probenahmetermin, zu unter-

suchende Bodenschicht, Sollwert für die Düngung) sowie aus der praktischen Anwendung auf dem einzelnen Schlag. Darüberhinaus besteht die Möglichkeit, auf Teststandorten oder mit Hilfe von Modellrechnungen Informationen über mögliche Auswaschungsverluste nach den Probenahmeterminen zu gewinnen und für eine Korrektur der Düngung zu benutzen.

8. Bei der Probenahme, Probenbehandlung und Analytik sind hohe Anforderungen an Sorgfalt und Genauigkeit zu stellen. Insbesondere dürfen die Bodenproben nicht getrocknet oder erwärmt werden; sie können bis zur Analyse kurzfristig bei $+ 2/+ 4^{\circ} \text{C}$ gelagert werden.

Die damit zusammenhängenden organisatorischen und technischen Probleme konnten bei der Erprobung der N_{\min} -Methode im praktischen Einsatz gelöst werden. Es hat sich gezeigt, daß mit dieser Untersuchungsmethode die vorhandene Unsicherheit über die N-Düngung erheblich vermindert werden kann.

8. LITERATURVERZEICHNIS

- ALDAG, R. (1977): Verluste von Mineralstickstoff durch Luft-trocknung des Bodens. Vortrag, Tagung AK "N_{min}-Methode" d. Fachgruppe Bodenuntersuchung d. VDLUFA, Hannover 30.3.77
- ALLISON, F.E. (1973): Soil Organic Matter and its Role in Crop Production. - Elsevier, Scientific Publishing Company, Amsterdam, London, New York
- ANDERSON, F.N., G.A. PETERSON u. R.A. OLSON (1972): Uptake Patterns of ¹⁵N Tagged Nitrate by Sugarbeets as Related to Soil Nitrate Level and Time. - J. Amer. Soc. Sugar Beet Technol. 17, 42 - 48
- ANSORGE et al. (1971): EDV-Programm zur Berechnung von Düngungs-empfehlungen. - Arch. Acker- u. Pflanzenbau u. Bodenk. 15, 11., 897 - 904
- BAKKER, Y. (1976): Nachschrift, in: RIS, J. (1976)
- BAKKER, Y. (1977): Die N-Düngerberatung in den Niederlanden auf der Grundlage der N_{min}-Vorratsbestimmung. Vortrag bei der Frühjahrstagung des Arbeitskreises "N_{min}-Methode" der Fachgruppe Bodenuntersuchung des VDLUFA am 30.3.1977 in Hannover
- BARKER, A.V. (1974): Nitrate Determinations in Soil, Water and Plants. - The Massachusetts Agricultural Experiment Station, Research Bulletin 611, 1 - 35
- BEYME, N. (1975): Kartierung und Beschreibung der 1975 in die N_{min}-Erhebungsuntersuchung des I.f. Pe. der TUH. einbezogenen Böden. Inst. f. Bodenkunde der T.U. Hannover, unveröffentlicht

- BORST, N.P. u. C. MULDER (1971): Stikstofgehalte, stikstofbemesting en opbrengst van wintertarwe op zeezand-, klei- en zavelgronden in Noord-Holland. - Bedrijfsontwikkeling 2, 3., 31 - 36
- X BRAUN, H. (1972): Untersuchungen zur Aufnahme und zur Verwertung von Stickstoff durch Getreidebestände unter besonderer Berücksichtigung von Standort- und Sortenunterschieden. - Diss. Landw. Fak. Univ. Bonn
- X BRAUN, H. u. G. FISCHBECK (1973): Ertragsvorausschätzung auf Grund der Nitratentwicklung des Bodens. - Z. Acker- u. Pflanzenbau 138, 319 - 330
- X BRAUN, H. (1974a): Die Stickstoffregulierung im Boden. - Votr. 28. Hochschultag. Univ. Bonn v. 1. u. 2. Okt. 1974
- BRAUN, H. (1974b): Nitratentwicklung beeinflusst den Kornertrag. - Mitt. d. DLG 8, 216 - 220
- BREMNER, J.M. u. D.R. KEENY (1964): Steam Distillation Methods for Determination of Ammonium, Nitrate and Nitrite. - Anal. Chim. Acta 32, 485 - 495
- BRUMMER, V. u. E. AURA (1974): Effect of residual nitrogen and fertilizer nitrogen on sugar beet production in Finland. - J. Sci. Agr. Soc. Finland 46, 3., 143 - 155
- X CAPELLE, A. (1976): Ausnutzung, Umsetzung, Wanderung und Verbleib von Düngerstickstoff (^{15}N) im bearbeiteten und unbearbeiteten Ackerboden aus LÖß in Abhängigkeit von ökologischen Faktoren. - Diss. Landw. Fak. Univ. Göttingen

- CARTER, J.N., M.E. JENSEN u. S.M. BOSMA (1974): Determining Nitrogen Fertilizer Needs for Sugarbeets from residual Soil Nitrate and mineralizable Nitrogen. - Agron. J. 66, 319 - 323
- CARTER, J.N., D.T. WESTERMANN, M.E. JENSEN u. S.M. BOSMA (1975): Predicting Nitrogen Fertilizer Needs for Sugarbeets from residual Nitrate and Mineralizable Nitrogen. - J. ASSBT 18, 3., 232 - 244
- COIC, Y. (1960): Les bases physiologiques de la nutrition et de la fertilisation rationnelle du blé. - Conf. europ. de l'agric. (CEA), 95 - 125
- COTTE, J. u. E. KAHANE (1946): Sur une nouvelle méthode de la réduction pour le dosage des nitrates. - Bull. Soc. Chim. Fr., 542 - 544
- CROWTHER, A.B. u. R.S. LARGE (1956): Analyst 81, 64, ref. Z. Anal. Chem. 153, 359 (1956)
- DAHNIKE u. VASEY (1973): Testing Soils for Nitrogen, in: WALSH, L.M. u. J.D. BEATON, Soil Testing and Plant Analysis. - Soil Sci. Soc. of Am. Inc. Madison, Wisconsin, 97 - 115
- DAIGGER, L.A. u. D.H. SANDER (1976): Nitrogen Availability to Wheat as Affected by Depth of Nitrogen Placement. - Agron. J. 68, 524 - 526
- DRESSEL, J. (1975): Das Arbeiten mit ionenselektiven Elektroden; Nitrat-, Ammoniak-, Chlorid-Elektrode. - BASF Landw. Versuchsstation, Limburgerhof

- DUTIL, P. u. J.L. BALLIF (1971): Pr evision de la Fumure azot ee du Bl e d'Hiver en Champagne crayeuse. - C.R. Acad. Agric. Fr. (Paris) 57, 88 - 95
- EDWARDS, J.H. u. S.A. BARBER (1976): Nitrogen Uptake Characteristics of Corn Roots at Low N Concentration as Influenced by Plant Age. - Agron. J. 68, 17 - 19
- Fachverband Stickstoffindustrie (1977): Die Getreided ungung im Frühjahr. - Information 2/77
- FEHR, P.E. (1973): Soil test procedures. - Soil testing circular Nr. 1, Juli 1973, Manitoba Provinc. Soil Test. Lab.
- FIEDLER, H.J. (1965): Die Untersuchung der Böden. - Steinkopf, Dresden u. Leipzig
- FINCK, A. (1968): Grenzwerte der N ahrelementgehalte und ihre Auswertung zur Ermittlung des Düngerbedarfs. - Z. Pflanzenernähr. Bodenkunde 119, 197 - 208
- X FLEIGE, H. u. A. CAPELLE (1974): Methodische Voraussetzungen exakter Dünger-N-Bilanzierung im Feldversuch. - Mitt. d. Dtsch. Bodenkundl. Gesellsch. 20, 409 - 415
- FOX, R.L. u. R.C. LIPPS (1960): Distribution and Activity of Roots in Relation to Soil Properties. - Trans. Intern. Congr. Soil Sci., 7th Congr. Madison 3, 260 - 267
- FOX, R.L., B. KACAR, A. AYDENIZ u. S. ZABUNOGLU (1970): Nitrate Accumulation, Distribution and Utilization during Fallow-Wheat-Culture in Turkish Soils. - Soil Sci. 109, 60 - 65

- ✓ FREDE, H.-G., H. GEBHARDT u. B. MEYER (1975): Größe, Ursachen
 und Bedingungen von Boden- und Dünger-N-Verlusten
 durch Denitrifikation aus dem Ap-Horizont einer
 Acker-Parabraunerde aus LÖB. Mittlg. I; Labor-
 Modell-Versuche mit natürlichen Boden-Monolithen,
 Göttinger Bodenkundliche Berichte 34, 69 - 165
- GASS, W.B., G.A. PETERSON, R.D. HAUCK u. R.A. OLSON (1971):
 Recovery of Residual Nitrogen by Corn (*Zea mays*
 L.) from Various Soil Depths as Measured by ¹⁵N
 Tracer Techniques. - Soil Sci. Soc. Amer. Proc.
35, 290 - 294
- ✗ GEBHARDT, H. (1974): Boden- und Düngerstickstoff-Umsatz in einer
 LÖB-Ackerparabraunerde während der Vegetations-
 periode 1973. - Mitt. der Dtsch. Bodenkundl. Ge-
 sellsch. 18, 208 - 217
- ✓ GERLACH, A. (1973): Methodische Untersuchungen zur Bestimmung
 der Stickstoffnettomineralisation. - Scripta
 Geobotanica, Bd. 5, Göttingen
- GILES, J.F. (1974): Prediction of Nitrogen Status of Sugarbeets
 by Soil Analysis. - Diss. Department of Agronomy,
 Colorado State Univ.
- GOLISCH, G. (1974): Mündl. Mitt. Koll. Inst. f. Pflanzenernäh-
 rung, T.U. Hannover, 2.11.1974
- GOLISCH, G. (1975): Stickstoffdüngung zu Getreide (Weizen,
 Wintergerste). - Beratungsring Ackerbau Süd-
 hannover e.V., 75/4
- GOLISCH, G. (1976): Stickstoffdüngung zu Getreide 1976 (Weizen,
 Wintergerste). - Beratungsring Ackerbau Süd-
 hannover e.V., 76/8

- GOTTSCHALK, G. (1962): Statistik in der quantitativen chemischen Analyse, Ferd. Enke, Stuttgart
- GUIOT, J. (1973): La Migration de l'Azote dans le Sol. - Votr. Semaine d'étude sol et fertilisation Gembloux, Belgien, 3. - 7. Sept. 1973
- ⊗ GUTSER, R. u. K. TEICHER (1976): Veränderungen des löslichen Stickstoffes einer Ackerbraunerde unter Winterweizen im Jahresverlauf. - Bayer. Land. Jahrb. 53, 2., 215 - 226
- ⊗ GUTSER, R. u. K. TEICHER (1977): N-Gabe zu Winterweizen richtet sich nach der Vorfrucht. - Bayer. Landw. Wochenbl. 167, 38 - 42
- HAGENZIEKER, F. (1957): Soil-Nitrogen studies at Urambo, Tanganyika Territory, East Africa. - Plant and Soil IX, 2, 97 - 113
- ⊗ HANUS, H. (1968): Ein Verfahren zur frühzeitigen Vorausschätzung von Ernteerträgen aus Witterungsdaten. - Z. Acker- und Pflanzenbau 129, 101 - 111
- ⊗ HANUS, H. (1973): Witterung - Düngung - Ertrag. - Mitt. d. DLG 50, 1410 - 1414
- ⊗ HANUS, H. (1976): Stickstoffdüngung zu Wintergetreide. - Mitt. d. DLG 4, 186
- HANUS, H. (1977): Einordnung der N_{\min} -Analyse in verschiedene Düngungssysteme von Getreide. Vortrag, Tagung AK " N_{\min} -Methode" d. Fachgruppe Bodenuntersuchung d. VDLUFA, Hannover 30.3.77

- 8 HARMSSEN, G.W. (1961): Einfluß von Witterung, Düngung und Vegetation auf den Stickstoffgehalt des Bodens. - Landw. Forsch. 15, 61 - 74
- HERRON, G.M. et al. (1968): Residual Nitrate Nitrogen in Fertilized Deep Loess-Derived Soils. - Agron. J. 60, 477 - 482
- HEYLAND, K.U. (1977): Mündl. Mitt. Koll. Inst. f. Pflanzenernährung, T.U. Hannover, 14.1.1977
- HOFFMANN, G. u. K. TEICHER (1961): Ein kolorimetrisches Verfahren zur Bestimmung der Ureaseaktivität in Böden. - Z. Pflanzenernähr., Düng., Bodenkunde 95, 55 - 63
- HOFFMANN, G.: Mündl. Mitt. Tagung AK "N_{min}-Methode" d. Fachgruppe Bodenuntersuchung d. VDLUFA, Hannover, 30.3.1977
- HUNTJENS, J.L.M. (1971): The Influence of living Plants on Mineralization and Immobilization of Nitrogen. - Plant and Soil 35, 77 - 94
- JAMES, D.W., D.C. KIDMAN, W.H. WEAVER and R.L. REEDER (1968): Predicting Nitrogen requirements of sugar beets grown in Central Washington. - Wash. Agr. Expt. Sta. Circular 448
- KMOCH, H.G., R.E. RAMIG, R.L. FOX u. F.E. KOEHLER (1957): Root Development of Winter Wheat as Influenced by Soil Moisture and Nitrogen Fertilization. - Agron. J. 49, 20 - 25
- KÖHNLEIN, J. u. H. VETTER (1953): Ernterückstände und Wurzelbild. Paul Parey, Hamburg u. Berlin

- LEHR, J.J. u. B. VEEN (1952): Nitrogen Economy of the Soil
in Relation to Seasonal and Periodical Climatic
Variations. - Trans. Int. Soc. Soil Sci., Comm.
II and IV, Dublin 2, 61 - 67
- LYNGSTAD, I. (1975): Residual Effects of Fertilizer Nitrogen
in Soil. - Acta Agr. Scand. 25, 4., 330 - 336
- ✓ MBA-CHIBOGU, C., B. MEYER u. P. NARAIN (1975): Boden- und
Dünger-(N¹⁵)-Stickstoff in Ackerparabraunerden
aus Löß: Jahresbilanz und Umverteilung auf ver-
schiedene N-Bindungsformen in Abhängigkeit von
Bewuchs, N-Düngungsform und Zusatz von Nitrifi-
kationshemmern. - Göttinger Bodenkundl. Berichte
34, 1 - 67
- MERKEL, D., J. RICHTER, H.C. SCHARPF u. J. WEHRMANN (1977):
Stickstoffdüngung nach Bodenanalyse. - Hann.
Land- u. Forstwirtschaftl. Z. 130, 13., 32 - 34
- f. MEYER, B. (1974): Boden- und Dünger-N-Umsätze, - Umverteilungen und
Bilanzen in Lößparabraunerden in Abhängigkeit von
Bewuchs, Dünger-N-Form und Umsetzungsregulatoren. -
Mitteilgn. d. Dtsch. Bodenkundl. Gesellsch. 20,
416 - 424
- MEYER, B. (1976): Mündl. Mitt. Koll. Inst. für Zuckerrübenfor-
schung, Göttingen 8.12.1976
- MILHAM, P.J., A.S. AWAD, R.E. PAULL u. J.H. BULL (1970):
Analysis of plants, soils and waters for nitrate
by using an ionselective electrode. - Analyst 95,
751 - 757
- MÖLLER, G. (1972): Fotometrische Nitratbestimmung in Nährlösun-
gen. - Z. Pflanzenernähr. u. Bodenk. 132, 34 - 37

- MØLLER NIELSEN, J. (1973): Kornplanters Ernaeringstilstand.
DSR Forlag, Kopenhagen 1973
- MØLLER NIELSEN, J. u. B. FRIIS-NIELSEN (1976): Evaluation and
Control of the Nutritional Status of Cereals,
III. Methods of Diagnosis and Yield Prognosis. -
Plant and Soil 45, 647 - 658
- MÜLLER, A. v. u. C. WINNER (1977): Vortrag: Beratertagung der
Nieders. Zuckerfabriken, Emmerthal 7.1.77
- × MÜLLER, S. et al. (1976): Untersuchungen über die Möglichkeiten
einer Bemessung der ersten N-Gabe zu Getreide
durch Berücksichtigung des Gehaltes an anorgani-
schem Stickstoff im Boden. - Arch. Acker- u.
Pflanzenbau u. Bodenk. 20, 10., 713 - 722
- MULLER, J. (1973): Fumure azotée du blé estimée à partir du reli-
quat d'azote minéral à la sortie de l'hiver.
Trvx. Stat. Agron. Châlons. Publ. Nr. 23, ronéo
- MULLER, J. (1974): Arrière effect du précécent cultural sur le
reliquat d'azote minéral à la sortie d'hiver:
Cas du maïs-grain. - Compt. Rend. Hebd. Séances
Acad. Agr. France 60, 11., 850 - 856
- NAVONE, R. (1964): Proposed Method for Nitrate in Potable Waters.
- Jour. AWWA 56, 6., 781 - 783
- NIEDER, H. (1976): NO₃-Versuche. - Fachverband Stickstoff-Industrie,
Düsseldorf

- NOMMIK, H. (1966): The residual Effects of Nitrogen Fertilizers in Relation to the Quantities of Mineral Nitrogen Recovered in the Soil Profile. - Acta Agric. Scand. 16, 163 - 178
- OGUS, L. u. R.L. FOX (1970): Nitrogen Recovery from a Soil Profile by Bromus inermis. - Agr. Journal 62, 69 - 71
- ORION-Research (1975): Analytical methods guide. Ausgabe Mai 1975
- 8 PAAUW, van der, F. (1958): Anpassung der Düngung an die Witterungsverhältnisse. - Intern. Bodenkundl. Ges., Verhandl. Hamburg 1958, 78 - 82
- PAAUW, van der, F. (1962a): Periodic Fluctuations of Soil Fertility, Crop Yields and of Responses to Fertilization effected by Alternating Periods of Low or High Rainfall. - Plant and Soil XVII, No. 2, 156 - 181
- 888 PAAUW, van der, F. (1962b): Effect of Winter Rainfall on the Amount of Nitrogen Available to Crops. - Plant and Soil XVI, 3., 361 - 379
- 8 PAAUW, van der, F. (1966): Voraussage des Düngerbedarfs und des Ertrags auf Grund von Witterung und Bodenfruchtbarkeit. - Landw. Forsch. 20, 97 - 104
- PURVIS, E.R. u. M.W.M. LEO (1961): Rapid procedure for estimating potentially available soil nitrogen under greenhouse conditions. - J. Agr. Food Chem. 9, 15 - 17

- RASP, H. (1977): Auswirkungen der Art der Aufbewahrung auf den NO_3 -N-Gehalt des Bodens. Vortrag Tagung d. AK "N_{min}-Methode" d. Fachgruppe Bodenuntersuchung des VDLUFA, Hannover 30.3.77
- RAUTERBERG, E. (1966): Methoden zur Bestimmung des Düngerbedürfnisses der Böden, in: LINSER, H.: Handbuch der Pflanzenernähr. u. Düng. 2, Springer, Wien - New York 1966
- RENGER, M., O. STREBEL u. W. GIESEL (1974): Zur quantitativen Erfassung des Wasserhaushaltes landwirtschaftlich genutzter Böden. - Kali-Briefe 12, Fachgebiet 1, 1. Folge, 1 - 11
- RENGER, M. u. O. STREBEL (1976a): Der Einfluß des Grundwassers auf die Wasserversorgung der Pflanzen. - Kali-Briefe 13, Fachgebiet 7, 4. Folge, 1 - 15
- RENGER, M. u. O. STREBEL (1976b): Transport von Wasser und Nährstoffen an die Pflanzenwurzeln als Funktion der Tiefe und der Zeit. - Mitt. Dtsch. Bodenkundl. Gesellsch. 23, 77 - 88
- REUSS, J.O. u. P.S.C. RAO (1971): Soil Nitrate Nitrogen Levels as an Index of Nitrogen Fertilizer Needs of Sugarbeets. - J. Amer. Soc. Sugar Beet Technol. 16, 461 - 470
- ✗ RICHTER, J., H.C. SCHARPF u. J. WEHRMANN (1976): Simulation der winterlichen Nitratverlagerung in Böden. - Vortrag, geh. auf dem 88. VDLUFA-Kongreß Oldenburg
- RIS, J. (1974): Stikstofbemestingsadviezen voor Bouwland. - Stikstof 7, 78., 168 - 173

- RIS, J. (1975): Stickstoffdüngung nach Feststellung des Nitratgehaltes im Boden. - Betriebswirtschaftl. Mitt. d. Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein 246, 41 - 44
- RIS, J. (1976): Mogelijkheden van grondonderzoek voor het geven van stikstofbestedingsadviezen voor consumptie-aardappelen en suikerbieten. - Bedrijfsontwikkeling 7, 766 - 770
- X SCHEFFER, B. u. H.G. FREDE (1975): Freiland-Versuche zur Quantifizierung von Verlusten und Gewinnen an mineralischem Stickstoff in einer Acker-Parabraunerde aus Löß unter Zuckerrüben (Variationen: Brache und Zusatz-Bewässerung). - Göttinger Bodenkundl. Berichte 34, 295 - 313
- SCHULZ (1976): Ergebnisse der Versuchsstation Futterkamp der Landwirtschaftskammer Kiel. - unveröffentlicht
- SMOOG (1976): unveröffentl., in: Rijksdienst voor de ijsselmeerpolders, Lelystad
- SNEDECOR, G.W. u. W.G. COCHRAN (1973): Statistical Methods, 6. Aufl., The Iowa State Univ. Press, Ames Iowa, USA
- SOHNSMEYER, S. (1976): Aufnahme von $\text{NO}_3\text{-N}$ durch Pflanzenwurzeln aus Nährlösungen als Funktion der $\text{NO}_3\text{-N}$ -Konzentration, des pH-Wertes, der Temperatur und des $\text{NH}_4\text{-N}$ -Gehaltes, des Pflanzenalters und der Pflanzenart. - Staatsexamensarbeit Inst. f. Pflanzenernährung T.U. Hannover

SOPER, R.J. u. P.M. HUANG (1962): The Effect of Nitrate Nitrogen in the Soil Profile on the Response of Barley to Fertilizer Nitrogen. - Can. J. Soil Sci. 43, 350 - 358

SOPER, R.J., G.J. RACZ u. P.I. FEHR (1970): Nitrate Nitrogen in the Soil as a Means of Predicting the Fertilizer Nitrogen Requirements of Barley. - Can. J. Soil Sci. 51, 45 - 49

STEFANSON, R.C. (1972): Soil Denitrification in sealed Soil-Plant Systems; I. Effect of Plants, Soil, Water Content and Soil Organic Matter Content. - Plant and Soil 33, 113 - 127

X STREBEL, O., M. RENGER u. W. GIESEL (1975): Bestimmung des Wasserentzuges aus dem Boden durch die Pflanzenwurzeln im Gelände als Funktion der Tiefe und der Zeit. - Z. Pflanzenernähr. u. Bodenk. 138, 1., 61 - 72

X STUMPE, H. u. J. GARZ (1974): Vorfruchtbedingte Unterschiede in der Stickstoffversorgung des Getreides und die Möglichkeit ihres Nachweises durch Bestimmung des anorganischen Bodenstickstoffs. - Arch. Acker- u. Pflanzenbau u. Bodenk. 18, 10., 736 - 746

STURM, H. u. J. JUNG (1972): Nährstoffumsatz und Eiweißertrag bei Futtergetreide in Abhängigkeit von der Stickstoffdüngung. - Landw. Forsch. 28, II. Sonderheft, 264 - 272

STURM, H. (1975): Bemessung und zeitliche Aufteilung der Stickstoffgaben im intensiven Getreidebau unter Berücksichtigung pflanzlicher Gesichtspunkte. - Landw. Forsch. 31, I. Sonderheft, 127 - 137

TROLLENIER, G. (1973): Einfluß der Kalium- und Stickstoffernährung auf das Verhältnis von Rhizosphärenorganismen zu Pflanzen. - Kali-Briefe, Fachgebiet 2, 3. Folge, 1 - 10

WICHTMANN, H. (1974): Jahreszeitliche Schwankungen im Nitratgehalt von Parabraunerde-Profilen. - Landw. Forsch. 30, II. Sonderheft, 45 - 56

WIERSUM, L.K. (1967): Potential Subsoil Utilization by Roots. - Plant and Soil 27, 383 - 400

WINNER, C., I. FEYERABEND u. A. v. MÜLLER (1976): Untersuchungen über den Gehalt an Nitratstickstoff in einem Bodenprofil und dessen Entzug durch Zuckerrüben. - Zucker 29, 477 - 484

Anerkennung

Die Untersuchungen, die für diese Dissertation notwendig waren, konnten von einem einzelnen nicht bewältigt werden. Ich möchte mich an dieser Stelle bei allen bedanken, die durch ihre Mitarbeit, durch ihren Rat und auch durch ihre Kritik zum Zustandekommen dieser Arbeit beigetragen haben. Es sind dies:

Dr. G. Golisch, Beratungsring Ackerbau Südhannover e.V.

Die Betriebsleiter und Mitarbeiter der im folgenden genannten Landwirtschaftsbetriebe:

O. Dreyer - Erben Domäne Rodenberg, Matthias Waltringhausen, von Rössing Rittergut Stemmen, von Alten Rittergut Dunau, Pfeffer Lathwehren, Seeßelberg Erichshof Everloh, Reverey Everloh, Dieckmann Domäne Coverden, Hausgut Calenberg Schullenburg, Busch Gödringen, Köhler Össelse, Knust Gleidingen, Spiegel Heisede, Dr. Wollring Börry, Lütke Hajen, von Campen Hameln, von Daacke Emmerthal, Lauenstein Soßmar, Hinze Gadenstedt, Steinbach Adenstedt, Bauermeister Einum, von Kielmannsegg Heinde, Werner Domäne Haus Escherde, Büschel Gronau, von Schaaffhausen Klein Ilde, Riechers Neuhof, Salzgitter Güterverwaltung (Gut Nortenhof, Gut Hallendorf, Gut Gebhardshagen), Wätjen Rittergut Altenrode, Wätjen Gut Lüderode, von Schintling - Horny Domäne Liebenburg, Michaelis-Braun Klostergut Riechenberg, Kleinwanzlebener Saatzucht AG. Klostergut Wetze, Hesse Moringen, von Roenne Gut Eberhausen, Baumgärtel Klostergut Hilwartshausen, Wätjen Rittergut Halchter, Seeliger Rittergut Wendessen, von Löbbbecke Rittergut Dorstadt, Strube Domäne Achim, Lüdeke Hornburg, Siemann Twiefelingen, Braunschweigische Kohlenbergwerke Reinsdorf, J. Dieckmann Helmstedt, U. Dieckmann Helmstedt, von Veltheim Rittergut Veltheim, Segger Cremlingen.

Ir. Y. Bakker, Consulenten-schap voor Bodemaangelegenheden in de Landbouw, Wageningen, Holland.

Ing. I. Ris, Instituut voor Bodemvruchtbaarheid, Groningen, Holland.

Ir. H. Titulaer, Proefstation voor de Akkerbouw, Lelystad, Holland

Dr. F. Kadijk, Bedrijfslaboratorium voor Grond- en Gewasonderzoek,
Oosterbeek, Holland.

Prof. Dr. P. Schachtschabel, Prof. Dr. K.-H. Hartge,
Dr. B. Beyme und Dr. J. Richter, Institut
für Bodenkunde der TU Hannover

Prof. Dr. H. Krug, Institut für Gemüsebau der TU Hannover.

Prof. Dr. A. Jungk, Institut für Pflanzenernährung der TU Hannover.

Dr. W. Wedler und Ing. agr. G. Freimann, Landwirtschaftskammer
Hannover, Referat Allgemeiner Ackerbau und Versuchs-
wesen.

Dr. W. Köster und Dr. D. Merkel, LUFA Hameln.

H.J. Wilhelm und Dipl.-Ing. agr. W. Burgdorf, Bodenuntersuchungs-
institut Koldingen.

DL Chr. Chilla, Ing. agr. H. Engler und K.D. Stephan, Landwirtschaft-
liche Beratungsstelle der BASF in Hannover.

Alle Mitarbeiter sowie die studentischen Hilfskräfte des Institutes
für Pflanzenernährung der TU Hannover.

Meinem verehrten Lehrer, Prof. Dr. J. Wehrmann gilt mein besonderer
Dank. Er hat ein Thema aufgegriffen und mir zur Bearbeitung überlas-
sen, das von großer Aktualität ist. Er stellte Mittel und Helfer zur
Durchführung der Arbeit zur Verfügung und war jederzeit bereit, selbst
an dem Projekt mitzuarbeiten.

Als ein ständiger kritischer und fördernder Gesprächspartner hat
Prof. Wehrmann wesentlich zum Gelingen der Arbeit beigetragen.

Die Arbeit wurde durch eine Sachbeihilfe der DFG gefördert.

reb

d, Holland

onderzoek,

r.

U Hannover.

kammer

Versuchs-

suchungs-

ndwirtschaft-

Institutes

besonderer

ung überlas-

d Helfer zur

bereit, selbst

tner hat

tragen.

ert.

1870
1871
1872
1873
1874
1875
1876
1877
1878
1879
1880
1881
1882
1883
1884
1885
1886
1887
1888
1889
1890
1891
1892
1893
1894
1895
1896
1897
1898
1899
1900

29.
17+.
1-2.

978
978
19

Ausgabe		Rückgabe	
	bis		bis
28. JULI 1980		[27. AUG. 1980	
21. NOV. 1980		26. Okt. 1980	
05. APR. 1984		17. Feb. 1992	
-4. MAI 1984		24. März 1992	
1. AUG. 1984		13. Mai 92	
13. MAI 85	1	10. Juni 1992	
20. DEZ. 85	1	15. Juli 1992	
-8. AUG. 86	1	21. Okt. 92	
-3. SEP. 86		-8. JAN. 93	
-6. OKT. 86	1	-3. Mai 93	
-2. SEP. 87	1	20. JULI 1993	
18. MAI 88	1	-1. Sep. 93	
15. JUNI 88	1	12. Jan. 95	
14. NOV. 1989		06. Feb. 95	
8. Mai 1990		17. Sep. 95	
-3. Juli 1990			
16. Aug. 1990			

Druckerei und Buchbinderei der Tierärztlichen Hochschule Hannover
Bischofsholer Damm 15, 3000 Hannover 1