

Ertrag, N-Aufnahme und Qualität von Sommerweizen in Gefäßversuchen mit unterschiedlicher Nitrat- und Ammonium/Dicyandiamiddüngung

Von Markus Mokry und Anton Amberger

Zusammenfassung

In Gefäßversuchen mit einem Boden-Sand-Gemisch unter kontrollierten Wachstumsverhältnissen führte eine Ammonium/Dicyandiamid (DCD)-Ernährung infolge länger anhaltender DCD- und Ammoniumphase je nach Angebot und Applikationszeitpunkt auch zur Aufnahme von physiologisch nicht nutzbarem DCD, einer zeitlich begrenzten Immobilisierung des Ammoniumstickstoffs im Boden, und folglich zu geringeren Weizenträgen verglichen mit ausschließlicher Nitrat-bzw. „Mischernährung“, jedoch zu höheren Erträgen der Nachfrucht Weidelgras. Zu Ende der Bestockung erzielte der mit Nitrat ernährte Weizen die höchste Substanzbildung und den größten N-Entzug über gesticht höhere Bestandesdichten. Mitte/Ende Ahrenschieben wiesen die Varianten mit ausschließlicher bzw. früher Nitratdüngung höhere Erträge, N-Entzüge und Kationengehalte auf. Zur Körnernte nahmen Erträge, N-Entzüge und Rohprotein-gehalt in der Reihenfolge ausschließliche Nitrat-, „Misch“- und alleinige Ammonium/DCD-Ernährung ab. Eine kombinierte N-Düngung erzielte beste Siebsortierung und höchstes Tausendkgewicht. Die N-Aufnahme von Sommerweizen war bei alleiniger Nitraternährung bzw. „Nitraterandüngung“, der N-Entzug der Folgefrucht bei alleiniger NH_4/DCD -Düngung am höchsten. Ein gesundheitliches Risiko des DCD kann ausgeschlossen werden.

Summary

Dry weight, N uptake and quality of spring wheat in pot trials with different nitrate and ammonium/dicyandiamide fertilization.

In pot trials with a soil-sand-mixture under controlled growth conditions ammonium/dicyandiamide (DCD) nutrition led to a higher uptake of physiologically not utilizable DCD, to a temporary immobilisation of ammonium nitrogen in the soil and thus to lower yields of wheat, compared with exclusive nitrate or nitrate/ammonium / DCD treatments, but resulted in higher yields of the subsequently cropped perennial ryegrass. At the end of tillering highest dry matter production and N-uptake were achieved with nitrate nutrition as a result of a significantly increased number of tillers. At the middle/end of ear emergence exclusive or early application of nitrate resulted in higher yields, nitrogen uptake and crude protein content of grain decreased in the sequence: exclusive nitrate, nitrate/ammonium and exclusive ammonium/DCD nutrition. Nitrate/ammonium-DCD fertilising realized the best result of full grains (>2.8 mm) and the highest thousand seed weight.

The nitrogen uptake of spring wheat was highest in treatments with exclusive nitrate nutrition followed by early application of nitrate; the nitrogen uptake of the subsequent perennial ryegrass was highest with NH_4/DCD fertilization. A risk of DCD concerning human health can be excluded.

Eingang des Manuskripts: 02.03.1992

Einleitung

Ammonium wird unter Bildung von Aminen und Aminosäuren zum größten Teil bereits in den Wurzeln metabolisiert (MICHAEL u. a. 1970). Der Transport der organischen N-Fractionen erfolgt hauptsächlich im Phloem (MARTIN 1969). Eine Ernährung mit Ammonium bewirkt eine Veränderung des Habitus der Pflanze, eine intensive Grünfärbung, ein verzögertes Altern sowie eine Erhöhung der Phosphor- und Kaliumgehalte. Nitrat gelangt dagegen zunächst aus den Wurzeln über das Xylem in die Blätter und wird vornehmlich dort nach Reduktion zu NH_4^+ in das Protein eingebaut. (MICHAEL, SCHUMACHER und MASCHNER 1965, KIRKBY und HUGHES 1970). Die Nitratreduktion ist von zahlreichen Faktoren wie Aktivität der Nitrat- und Nitritreduktase, Energieversorgung, Temperatur u. a. abhängig; sie nimmt mit zunehmendem Pflanzenalter ab (MARTIN 1971). Nitrat kann im Gegensatz zu Ammonium in den Vakuolen gespeichert werden.

JUNGK (1977) und MENGEL (1984) stellen übereinstimmend fest, daß Ammonium die Anionen-, Nitrat dagegen die Kationenaufnahme begünstigt. Dies gilt insbesondere für sorptionschwache Medien, da die im natürlichen Boden rasch ablaufende Nitrifikation es erschwert, die Wirkung einer Ammonium- bzw. Nitraternährung auf die Pflanze zu klären. Ebenso sind Fragen der Ammoniumverträglichkeit im natürlichen Boden aufgrund der Sorption von Ammonium am Bodenkomplex von geringer Bedeutung. Nach KIRKBY und HUGHES (1970) sowie MICHAEL u. a. (1970) ist die Ammoniumverträglichkeit vom Kohlenstoffvorrat der Wurzeln abhängig.

Mit Hilfe von Dicyandiamid (DCD) und anderen Hemmstoffen ist es möglich geworden, die Nitrifikation im Boden je nach Temperatur und Feuchtigkeit über einen bestimmten Zeitraum zu hemmen; auf diese Weise können direkte Auswirkungen von Ammonium auf das Pflanzenwachstum geprüft werden (AMBERGER und GUTSER 1978, VILSMEIER und AMBERGER 1978, AMBERGER und VILSMEIER 1979, VILSMEIER 1980, 1981). Dicyandiamid kann aber auch als Molekül aus der Nährlösung bzw. nach Applikation in wachsende Bestände aufgenommen werden; im Freiland ist diese Form der DCD-Aufnahme praktisch zu vernachlässigen. Der Abbau erfolgt über Guanidinstoff bis zum Ammonium bzw. Nitrat (VILSMEIER 1980, 1981).

Ziel der folgenden Gefäßversuche war es, ein zeitlich unterschiedliches Angebot von Nitrat, Ammonium/DCD und Kombinationen beider N-Formen zu Sommerweizen auf vegetative und generative Entwicklung sowie Beeinflussung der Kornqualität zu prüfen.

Material und Methoden

In den Jahren 1981 bis 1984 wurden Versuche in Mitscherlichgefäßen in der Vegetationshalle des Instituts für Pflanzenernährung durchgeführt.

Versuchsboden: sl (Pettentrunn/Nörlinger Sand 1:2) 7.8 kg/Gefäß

Kenndaten des Versuchsbodens (Luftrocken)

ges. C (%)	0.53
ges. N (%)	0.03
C/N	17
pH	5.6
P_2O_5)	1
K_2O)	12
(mg/100g Boden)	16
Mg)	

mit unterschiedlicher Nitrat- und Ammonium/Dicyandiamiddüngung

701

Versuchsplan und Düngung

EC 13	N-Düngung (mg/Gef.)		EC 55
	EC 29	o h n e	
720 NO_3	540 NO_3	540 NO_3	540 NO_3
648 NH_4	540 NO_3	540 NO_3	540 NO_3
72 DCD	486 NH_4	54 DCD	540 NO_3
720 NO_3	54 DCD	540 NO_3	486 NH_4
720 NO_3	540 NO_3	486 NH_4	54 DCD
648 NH_4	486 NH_4	54 DCD	486 NH_4
72 DCD	54 DCD	54 DCD	54 DCD

EC = Entwicklungsstadium nach EUCARPIA

EC 10: Auflaufen

EC 13: 2-3 Blattstadium

EC 29: Ende der Bestockung

EC 55: Mitte/Ende Ahrenschieben

Düngung (g/Gefäß)

2.0 P_2O_5	als Dicalciumphosphat	mit dem Boden gemischt
2.4 K_2O	als Kaliumnitrat bzw. Kaliumsulfat	EC 10 EC 29
1.8 N	als Kalium- bzw. Kaliumnitrat bzw. Ammoniumsulfat/DCD*	EC 13 EC 29 EC 55

* 10% DCD-N am Gesamt-N

Analytik

Boden:

Gesamt-N: nach KJELDAHL (1951)

Gesamt-C: nasse Veraschung mit schwefelsaurem Kaliumdichromat nach RIEHM (1946)

Magnesium (CaCl_2): nach SCHACHT-SCHABEL (1956) P_2O_5 und K_2O : nach der CAL-Methode Dicyandiamid: im Wasserextrakt mit HPLC (VILSMEIER und AMBERGER, unver.)

Pflanzen:

Gesamt-N: nach KJELDAHL (1951)

Dicyandiamid: Extraktion mit H_2O bidest, Membranfiltration, Gelchromatographie und Messung der DCD-Fractionen mit HPLC (VILSMEIER und AMBERGER)K, Ca, Mg: flammenphotometrisch
P: nach der Vanadat-Molybdat-Methode colorimetrisch (GERICKE und KURMIES 1952)

Ergebnisse

1. vegetativer Aufwuchs

Zu Ende der Bestockung zeigten die mit Nitrat ernährten Pflanzen aufgrund einer wesentlich stärkeren Bestockung eine gesichert höhere Trockensubstanzbildung und N-Aufnahme (Tab. 1).

Nekrosen an Blattspitzen und Blatträndern der mit Ammonium/DCCD gedüngten Pflanzen - eine Folge starker DCCD-Aufnahme - bestätigten den in einem Parallelversuch ohne Pflanzen festgestellten langsame DCCD-Abbau im Versuchsboden mit hohem Sandanteil.

Zum Zeitpunkt Mitte/Ende Ährenschieben (Tab. 2) zeigten die Prüfglieder mit Nitrat-„Ändüngung“ abermals gesichert höhere

Erträge und N-Entzüge gegenüber einer Ammonium/DCCD-Startgabe bzw. einer alleinigen Ammonium/DCCD-Düngung. Die mit Nitrat gedüngten Pflanzen wiesen zu diesem Zeitpunkt höhere Kalium-, Calcium- und Magnesiumgehalte auf; dagegen förderte eine Ammoniumernährung die Phosphoraufnahme.

2. Korn-, Stroherträge und Ertragsaufbau

Die Versuchsglieder mit ausschließlicher oder betonter Nitraterernährung zeigten keine gesicherten Unterschiede in den Korn- und Stroherträgen (Tab. 3). Mit alleiniger Ammonium/DCCD-Düngung sind diese dagegen gesichert niedriger.

Tab. 1: Trockensubstanzbildung (g/Gef), N-Entzüge (mg N/Gef) und Bestandesdichte (Bestockungstrieb/Gef) zum Ende der Bestockung

N-Düngung	Tr. S.	N-Entzug	Best. D.
EC 13			
NO ₃	21.9	750	94
NH ₄ /DCCD	18.2	560	67
ohne N	9.7	160	28
GD ^(%)	1.2	35	7

Tab. 2: Trockensubstanzbildung (g/Gef), N-Entzüge (mg N/Gef), Bestandesdichte (Schosser/Gef) und Mineralstoffgehalte (% i.Tr.S.) z. Zeitpunkt Mitte/Ende Ährenschieben

N-Düngung		Tr.S.	N-Entz. Best.D.	P	K	Ca	Mg
EC 13	EC 29						
NO ₃	NO ₃	63.6	59	0.38	3.14	0.43	0.14
NH ₄ /DCCD	NO ₃	55.8	49	0.39	2.80	0.33	0.12
NO ₃	NH ₄ /DCCD	62.0	52	0.38	2.83	0.37	0.13
NH ₄ /DCCD	NH ₄ /DCCD	51.0	43	0.42	2.73	0.29	0.11
ohne N	ohne N	21.5	185	24	—	—	—
GD ^(%)	GD ^(%)	3.2	70	5	—	—	—

Tab. 3: Korn- und Stroherträge (g Tr.S./Gef) sowie Ertragsaufbau (Best. Dichte Pf./Gef., TKG (g), Kornzahl/Ähre)

N-Düngung		Ertrag		Ertragsaufbau			
EC 13	EC 29	EC 55	KORN STROH	Best. D.	TKG Kornz./Ä.		
NO ₃	NO ₃	NO ₃	72.3	65.6	52	36.9	38
NH ₄ /DCCD	NO ₃	NO ₃	71.2	59.2	49	38.1	38
NO ₃	NH ₄ /DCCD	NO ₃	71.7	66.2	53	38.8	35
NO ₃	NO ₃	NH ₄ /DCCD	72.6	66.3	53	36.6	37
NH ₄ /DCCD	NH ₄ /DCCD	NH ₄ /DCCD	64.6	54.0	46	36.4	39
ohne N	ohne N	ohne N	14.0	19.6	24	28.1	23
GD ^(%)	GD ^(%)	GD ^(%)	4.4	3.5	4	0.8	—

Eine Nitratgabe zu den Düngungsterminen EC 13 und EC 29 förderte in erster Linie die Bestandesdichte. Die Mischvarianten mit Nitrat zum letzten Düngungstermin erzielten gesichert höhere Tausendkorngewichte, ausschließliche Ammonium/DCCD-Ernährung eine etwas höhere Kornzahl je Ähre.

3. Kornqualität

Die Rohproteingehalte (Tab. 4) waren nach ausschließlicher bzw. betonter Nitraterernährungsfähig höher. Unter Berücksichtigung der gesicherten Mehrerträge (Tab. 3) lagen die N-Entzüge jedoch gesichert über denen mit alleiniger Ammonium/DCCD-Ernährung (Tab. 5).

Die DCCD-Gehalte der Körner waren sehr niedrig (DCCD-Aufnahme: 0.1 - 0.6 % der Vorgabe) (Tab. 4), aber umso höher, je später und häufiger Ammonium/DCCD gedüngt wurde. Der größte Teil des aufgenommenen DCCD blieb im Stroh bzw. in den Spelzen und Spindeln zurück (DCCD-Aufnahme: 13.5 - 20.2 % der Vorgabe). Tausendkorngewicht (Tab. 3) und Siebsortierung (Tab. 4) waren bei „betonter“ Nitraterernährung meist gesichert höher als mit ausschließlicher Nitrat- bzw. Ammonium/DCCD-Düngung und nahmen zu, je später Nitrat gedüngt wurde. Auf die Mineralstoffzusammensetzung der Körner hatten N-Form und Düngungskombination keinen Einfluß (nicht aufgeführt). Im Stroh waren bei später bzw. ausschließ-

Tab. 4: Rohprotein- (% i. Tr.S.) und DCCD-Gehalte in Korn und Stroh (mg/kg Tr.S.) sowie Siebsortierung > 2.8 mm (%)

N-Düngung		Rohprotein		DCCD		Siebsort.	
EC 13	EC 29	EC 55	Korn	KORN	STROH	KORN	STROH
NO ₃	NO ₃	NO ₃	13.9	—	—	—	59.2
NH ₄ /DCCD	NO ₃	NO ₃	13.1	1.0	1.0	150	62.3
NO ₃	NH ₄ /DCCD	NO ₃	13.4	3.0	3.0	135	63.2
NO ₃	NO ₃	NH ₄ /DCCD	13.3	4.5	4.5	165	60.2
NH ₄ /DCCD	NH ₄ /DCCD	NH ₄ /DCCD	12.3	16.5	16.5	450	53.9
GD ^(%)	GD ^(%)	GD ^(%)	—	—	—	—	2.2

Tab. 5: N-Entzüge (mg N/Gel) von Sommerweizen und Weidelgras (Nachbau)

N-Düngung		Sommerweizen		Weidelgras	
		N - E n t z u g			
EC 13	EC 29	EC 55			
NO ₃	NO ₃	NO ₃	1510	NO ₃	30
NH ₄ /DCD	NO ₃	NO ₃	1400	NO ₃	30
NO ₃	NH ₄ /DCD	NO ₃	1440	NO ₃	25
NO ₃	NO ₃	NH ₄ /DCD	1455	NH ₄ /DCD	35
NH ₄ /DCD	NH ₄ /DCD	NH ₄ /DCD	1195	NH ₄ /DCD	110
ohne N			155		
GD ^(3,9)			60		10

hier Ammonium/DCD-Ernährung die Phosphorgehalte etwas höher.

4. N-Entzüge von Sommerweizen und Weidelgras

Die N-Entzüge wurden unter Einbeziehung des DCD-Stickstoffs aus dem Gesamtentzug durch Körner, Stroh und Wurzeln, korrigiert um den N-Entzug der Kontrollvariante N₀, berechnet.

Die N-Aufnahme (Tab. 5) vom Sommerweizen war am höchsten bei ausschließlicher Nitratergänzung und nahm ab, je früher und häufiger Ammonium/DCD gedüngt wurde. Die Unterschiede in den N-Entzügen durch Stroh und Wurzeln waren nicht absicherbar.

Über die Folgefrucht Weidelgras mit hohem N-Aneignungsvermögen wurde die Nachwirkung des restlichen Düngestickstoffs der Vorfrucht ermittelt. Anders als in der Hauptfrucht erzielte die Variante mit alleiniger Ammonium/DCD-Ernährung den höchsten Ertrag und N-Entzug.

Diskussion

Im Unterschied zum Feldversuch erfolgt im Gewächshaus eine sehr intensive Durchwurzelung eines kleinen Bodenvolumens. Stickstoffverluste durch Auswa-

schung oder Denitrifikation können nahezu ausgeschlossen werden (AMBERGER und VILSMEIER 1983), insbesondere auch deshalb, weil durch den Einsatz des Nitrifikationshemmers Dicyandiamid die Ammoniumphase im Boden deutlich verlängert wird (VILSMEIER und AMBERGER 1978; AMBERGER und GUTTSER 1978; AMBERGER und VILSMEIER 1979; AMBERGER und VILSMEIER 1982).

AMBERGER und HOFMANN (1953) stellten unter Freilandbedingungen einen vollständigen DCD-Abbau nach durchschnittlich 80 Tagen fest. In eigenen Versuchen wurden unter Gewächshausbedingungen ohne Pflanzenbewuchs 100 Tage nach der ersten DCD-Applikation noch 7% DCD im Boden nachgewiesen; der DCD-Abbau nahm dabei kontinuierlich mit steigenden Temperaturen in den Monaten Mai bis Juli zu.

Im Gegensatz zur ungepufferten Nahrung bestehen im Boden mit höherer NH₄-Sorptionskapazität in der Verfügbarkeit beider Stickstoffformen größere Unterschiede. Nitrat liegt in relativ hoher Konzentration in der Bodenlösung vor und wird in Abhängigkeit von Wasseraufnahmerate, Wachstumsintensität und Transpiration der Pflanzen hauptsächlich über Massennachfluss transportiert (RENGER und STREBEL 1976).

Ammonium wird dagegen zum größten Teil im Boden sorbiert, ist nur in sehr geringer Konzentration im Bodenwasser vorhanden und wird über Diffusion nachgeliefert. Dieser Vorgang läuft langsamer ab (MENDEL 1984) und nimmt für das Pflanzenwachstum an Bedeutung zu, je niedriger die Konzentration von Ammonium in der Bodenlösung ist.

Zum Auflaufen verarbeitetes Ammonium kann infolge der temperaturabhängigen längeren DCD- und somit Ammoniumphase aufgrund besserer Reaktionsmöglichkeiten mit Tonmineralen, organischer Substanz und Mikroorganismen von den Pflanzen zur Ausbildung einer mit Nitratanbindung vergleichbaren Bestandedicke weniger genutzt werden. Dicyandiamid, das gut wasserlöslich ist und als Molekül passiv aufgenommen werden kann (WÜNSCH und AMBERGER 1968), wurde bei früher und besonders bei häufiger Ammonium/DCD-Applikation vor allem im vegetativen Pflanzenteil nachgewiesen mit der Folge von mehr oder minder starken Nekrosen an Blattenden und -spitzen, teils sogar in Form von Kristallen an den Spitzen junger Blätter, die AMBERGER und VILSMEIER (1983) chromatographisch eindeutig als DCD identifizieren konnten. Unter Gefäßversuchsbedingungen – zum Unterschied vom Freiland – kann es auch in Abhängigkeit vom Entwicklungsbedingen Wasserstrom und der zeitlichen Ammonium/DCD-Applikation im Korn auftreten. Die Unterschiede in den N-Entzügen von Sommerweizen (Tab. 5) – besonders der „Mischvarianten“ im Vergleich zum Versuchsglied mit ausschließlicher Nitratergänzung – lassen sich auf diese Weise erklären, zumal die N-Entzüge von Weidelgras dieser Varianten nahezu gleich sind. Im Versuchsglied mit ausschließlicher Ammonium/DCD-Ernährung kommt zu den „DCD-Verlusten“ eine nicht unerhebliche Immobilisierung von Ammonium-N, der ertrag zum nachfolgenden Weidelgras ertragswirksam wird.

Ein gleichmäßiges und hohes Stickstoffangebot – ausschließlich bzw. betont und spät

als Nitrat zur Kornfüllung – verbesserte die Kornqualität.

Die Einflüsse von Stickstoffform und Applikationstermin lassen sich demnach für vorliegenden Gefäßversuch folgendermaßen beurteilen:

In der frühen Entwicklungsphase bis Ende der Bestockung wird der hohe N-Bedarf der Pflanzen durch Nitrat rascher gedeckt. Ammonium wird dagegen sorbiert und kann aufgrund der längeren Anwesenheit von DCD intensiver mit Bodenbestandteilen (Tonmineralen, organischer Substanz und Mikroorganismen) reagieren. DCD kann zwar aufgenommen, aber nicht ertragswirksam verwertet werden, ein Vorgang, der im Freiland wegen des zügigen DCD-Abbaus im Boden unbedeutend ist (MOKRY, 1986). Ein gesundheitliches Risiko des DCD für den Menschen kann aber ausgeschlossen werden (ROLL, 1991). Bis zum beginnenden Ährenschieben ist der N-Bedarf der Pflanzen im Verhältnis zum Wachstum kleiner, gleichzeitig wird mehr Bodendunststoff mineralisiert, so daß nun auch ein geringeres N-Angebot in Form von Ammonium ausreicht. Zur Kornfüllung steigt der N-Bedarf wieder stärker an; Nitraddüngung fördert nun zusammen mit zu früheren Terminen gedüngten Ammonium Ertrag und Qualität.

Literatur

- AMBERGER, A. und GUTTSER, R. (1978): Umsatz und Wirkung von Harnstoff-Dicyandiamid – sowie Ammoniumsulfat-Dicyandiamid-Produkten zu Weidelgras und Reis. Z. Pflanzenernähr. Bodenkd. 141, 553-556
- und HOFMANN, Ed. (1953): Zur Frage der Wirkung von Dicyandiamid auf den Pflanzenertrag. Z. Acker- und Pflanzenbau. 97, 221-230
- und VILSMEIER, K. (1979): Dicyandiamidabbau in Quarzsand und Boden. Z. Pflanzenernähr. Bodenkd. 142, 778-785

— und — (1982): Umsatz von N^{15} -Harnstoff und N^{15} -Ammoniumsulfatpeter mit Zusatz von Dicyandiamid unter aeroben Bedingungen im Boden. Z. Pflanzenernähr. Bodenkunde, 145, 550–556

— und — (1983): Stickstoffbilanz von ^{15}N -Harnstoff bzw. ^{15}N -Ammoniumsulfatpeter mit Dicyandiamid in Gefäßversuchen zu Grünhafer und Sommerweizen. Z. Pflanzenernähr. Bodenkd. 146, 438–448

GERCKE, S. und KURMIES, B. (1952): Die kolorimetrische Phosphorsäurebestimmung mit der Ammonium-Vanadat-Methode und ihre Anwendung in der Pflanzenanalyse. Z. Pflanzenernähr. Düng. Bodenkd. 59, 235

JUNGG, A. (1977): Wirkung von Ammonium- und Nitrat-Stickstoff auf das Wachstum und die Zusammensetzung von Pflanzen. Landw. Forschung, Kongressband, Teil II, 9–26

KIRKBY, E. A. und HUGHES, A. D. (1970): Some aspects of ammonium and nitrate nutrition in plant metabolism: Nitrogen nutrition of the plant. Agric. Chem. Symp., The University Leeds

KEILDahl, J. (1951): Handbuch der landwirtschaftlichen Versuchs- und Untersuchungsmethodik (Methodenbuch) 3, 18–20

MARTIN, P. (1969): Untersuchung mit N^{15} zur Wanderung von Stickstoff in der Pflanze. Landw. Forschung 22, 70–71

— (1971): Wanderwege des Stickstoffs in Buschbohnenpflanzen beim Aufwärtstransport nach der Aufnahme durch die Wurzel. Z. f. Pflanzenphysiologie 64, 206–222

MENGEL, K. (1984): Ernährung und Stoffwechsel der Pflanzen. Fischer Verlag, Stuttgart, New York

MICHAEL, G., MARTIN, P. und OWASSIA, I. (1970): The uptake of ammonium and nitrate from labelled ammonium-nitrate in

relation to the carbohydrate supply of the roots. Nitrogen-nutrition of the plant. Agric. Chem. Symp., The University Leeds

—, SCHUMACHER, H. und MARSCHNER, H. (1965): Aufnahme von Ammonium- und Nitratstickstoff aus markiertem Ammoniumnitrat und deren Verteilung in der Pflanze. Z. Pflanzenern. Düng. Bodenkd. 110, 225–238

MOCKRY, M. (1986): Wirkung von Nitrat- und Ammoniumdüngung unter Verwendung des Nitrifikationshemmstoffes Dicyandiamid auf Ertragsbildung und Qualität von Weizen. Diss. TU München

RENGER, M. und STREBEL, O. (1976): Nitratanlieferung an die Pflanzenwurzel als Funktion der Tiefe und der Zeit. Landw. Forschung, Sonderheft 33/II, 13–19

RIEHM, M. (1946): Bestimmung der Sorptionskapazität des Bodens insbesondere für die Auswertung der Lactatwerte. Z. Pflanzenernähr. Düng. Bodenkd. 37, 82

ROLL, R. (1991): Bundesgesundheitsamt Berlin in: Stabilisierte Stickstoffdünger – ein Beitrag zur Verminderung des Nitratproblems. Fachtagung Würzburg

SCHACHTSCHABEL, P. (1956): Der Mangelium-Versorgungsgrad nordwestdeutscher Böden und seine Beziehungen zum Auftreten von Mangelsymptomen an Karstoffeln. Z. Pflanzenernähr. Bodenkunde 74, 202–219

VILSMAYER, K. (1980): Dicyandiamidabbau im Boden in Abhängigkeit von der Temperatur. Z. Pflanzenernähr. Bodenkd. 143, 113–118

— (1981): Modellversuche zur nitrifikationshemmenden Wirkung von Dicyandiamid (Didin). Bayr. Landw. Jahrbuch 58, 854–857

— und AMBERGER, A. (1978): Modell- und Gefäßversuche zur nitrifikationshemmenden Wirkung von Dicyandiamid. Landw. Forschung 35, Kongressband, 243–248

Landwirtschaftliches Jahrbuch 69. Jhrg. · Heft 6/92

— und —: DCD-Bestimmung in Pflanzen (unveröffentlicht)

WUNSCH, A. und AMBERGER, A. (1968): Über den Nachweis von Cyanamid und dessen Umwandlungsprodukten in Pflanzen. Atompraxis 14, 1–2

Landwirtschaftliches Jahrbuch 69. Jhrg. · Heft 6/92