

Aus dem Lehrstuhl für Pflanzenernährung der TU München-Weihenstephan

Wirkung und Einsatz von Nitrifikationshemmstoffen in Kombination mit Mineraldüngern

Von A. Amberger und R. Gutser

Zusammenfassung

Durch Kombination von anorganischen Düngemitteln (AS, ASS oder HA) mit DCD können die Umsetzung dieser Mineraldünger kontrolliert und die N-Verluste (Auswaschung und Denitrifikation) bzw. die Nitratablastung des Grundwassers erheblich vermindert werden. Durch DCD wird die N-Anlieferung an die Pflanze entsprechend dem N-Bedarf besser gesteuert und ein zeitweilig hohes Nitratangebot mit allen nachteiligen Folgen vermieden („Nitrat-Strag“). Durch Zusammenlegen von einzelnen N-Teilgaben bzw. durch Ausbringen der gesamten N-Gabe in Form von Alzon ergeben sich sowohl arbeitswirtschaftliche Vorteile insbesondere auf durchlässigen Böden als auch eine effektivere Ausnutzung und sparsamere Anwendung der Mineraldünger. Der Einsatz von „N-Stabilisatoren“ stellt also nicht nur einen echten Fortschritt dar in der Agrotechnik, sondern trägt auch dazu bei, aus der Landwirtschaft zwangsläufig sich ergebende Risiken (im Hinblick auf die Belastung von Grund- und Oberflächengewässern) zu entschärfen unter Berücksichtigung ökologischer Aspekte.

Eingang des Manuskripts: 29. 12. 1986

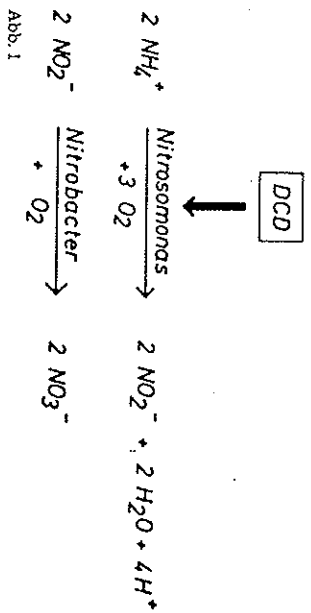
Einleitung

Liest man in älteren Büchern nach (RUSEL, 1936; SCHWARZ, 1947; JACOB, 1949, 1956; SERKE, 1955), so ist es eine alte Zielvorstellung der Pflanzenernährung und Düngemittelindustrie, den Stickstoffhaushalt des Bodens und die N-Anlieferung des Düngers an die Pflanze unter Kontrolle zu bekommen, ein Bestreben, das neuerdings aufgrund eines zunehmenden „Umweltbewußtseins“ verstärktes Interesse erlangt hat.

Unser derzeitiges Dünungskonzept basiert auf der Menge an Stickstoff, die im Boden zu Beginn der Vegetationszeit vorliegt als Ergebnis der natürlichen Mineralisation abzüglich der Auswaschung in der vegetationsfreien Zeit (entweder als Erfahrungswert oder mit der N_{min} -Methode ermittelt) und dem N-Bedarf der Kulturpflanzen entsprechend dem zu erwartenden Ertrag. Die fehlende Differenz wird in Form von Mineraldüngern in mehreren Teilgaben zugeführt. Das „Traumziel“ der Landwirte war es schon immer, nur einmal im Frühjahr die gesamte N-Menge zu ver-

abreichen und alles andere der Natur zu überlassen (BLANK und GRESCKE, 1923). Dieser Gedanke führte zur Entwicklung von sogenannten „langsam wirkenden organischen Düngemitteln“, z. B. Harnstoff-Aldehyd-Kondensaten, „N-Lignin“ und anderen. Diese haben sich aber – abgesehen von Sonderkulturen – in der Landwirtschaft nicht durchgesetzt, zum einen wegen des hohen Preises und zum anderen, weil die N-Freisetzung aus diesen Düngemitteln nicht so „kontrolliert“ verläuft, wie man sich das vorgestellt hat: bei hoher Temperatur (vor allem im Gewächshaus) erfolgt diese nämlich sehr schnell je nach dem Anteil an Harnstoff-N, bei niedriger Temperatur und mit zunehmendem Aldehyd-Anteil geht dieser Prozeß aber sehr langsam vor sich (s. a. VERKAM, 1971).

Ausgehend von langjährigen Erfahrungen mit Kalkstickstoff gingen nun die „Süddeutsche Kalkstickstoffwerke“ (SKW) einen anderen Weg, nämlich den Stickstoff als Ammonium (oder Harnstoff) zu applizieren, aber deren Einsatz, und zwar die Nitrifikation durch zugesetzte Hemm-



dabei meist um Gerbstoffe, Tannine, Flavonoide usw.

Was die Natur kann, läßt sich aber auch durch eine hochentwickelte Technologie erreichen (Tab. 2).

Der Vorteil solcher synthetisch hergestellten Produkte liegt nun darin, daß die Aufwandmenge wesentlich geringer, die Dosierung aber leichter und genauer möglich ist. Auf diese Weise können Einsatz und Wirkung besser kontrolliert werden.

Auch von manchen Herbiziden (z. B. Phenoxy-Verbindungen) und Insektiziden (z. B. Organo-Phosphor-Verbindungen) sind solche Wirkungen bekannt (Havck 1980). Diese sind aber häufig recht unspezifisch, d. h. sie treffen sehr viele Mikroorganismengruppen, meist auch die sehr wichtige C-heterotrophe Flora.

Synthetisch hergestellte Nitrifikationshemmstoffe müssen ganz bestimmte Kriterien erfüllen (s. a. AMBERGER, 1984, HAUCK, 1984):

1. Die Wirkung muß spezifisch und bekann sein: Das trifft für das DCD in vollem Umfange zu: es wirkt spezifisch auf Nitrosomonas und zwar bakteriofatisch (nicht bakterizid!) (Abb. 2).

Durch DCD gehemmte Reinkulturen erlangen nämlich nach Rückführung in ein DCD-freies Medium ihre Fähigkeit zur Ammoniumoxidation bis ca. 90% wieder.

Dagegen wird die Tätigkeit vor allem der C-heterotrophen Bodenflora („biologische Aktivität“) durch DCD – selbst bei jahrzehntelanger Anwendung (z. B. Kalkstickstoff) – nicht beeinträchtigt (Abb. 3).

2. Ein weiterer wichtiger Gesichtspunkt ist die Persistenz, oder anders ausge-

drückt, mit welcher Abbauezeit und mit welchen Metaboliten unter den jeweiligen Standortbedingungen gerechnet werden muß.

DCD wird – in Abhängigkeit von der Temperatur (VISMER, 1980) – durchschnittlich innerhalb von 60 Tagen rückstandsfrei abgebaut zu NH_3 , CO_2 und H_2O , d. h. dieser Hemmstoff ist letztlich selbst als langsam wirkender N-Dünger einzustufen (Abb. 4 und 5).

3. Nitrifikationshemmstoffe sind nach dem Düngemittelgesetz Bodenhilfsstoffe, deren Einsatz keinerlei Risiko für die Gesundheit von Mensch und Tier bedeuten darf. Die LD₅₀ (ein bekannter toxikologischer Parameter) von DCD liegt bei 10 g/kg Körpergewicht; das ist das Dreifache der LD₅₀ von Kochsalz, oder anders ausgedrückt: sie entspricht etwa einem Drittel der Toxizität von Kochsalz. Demnach wurde DCD in die Gruppe der „nicht toxischen Stoffe“ eingeordnet (TNO, 1977).

Abb. 2: Einfluß von Dicyandiamid (DCD) auf die Nitrifizierung durch *N. europaea* in Reinkultur (Zacherl u. Amberger, 1984)

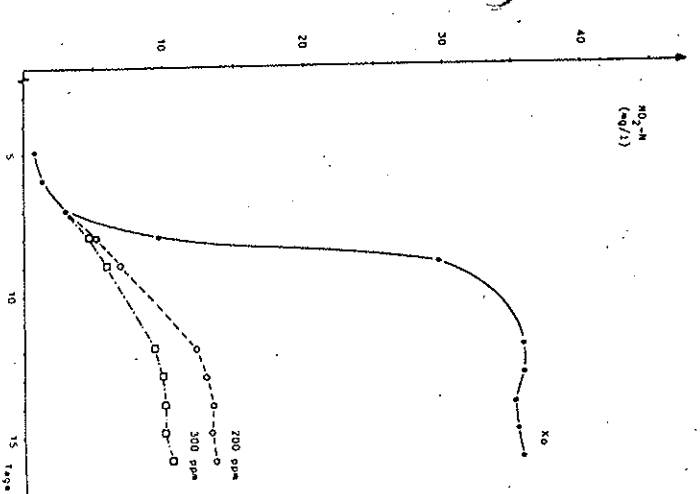
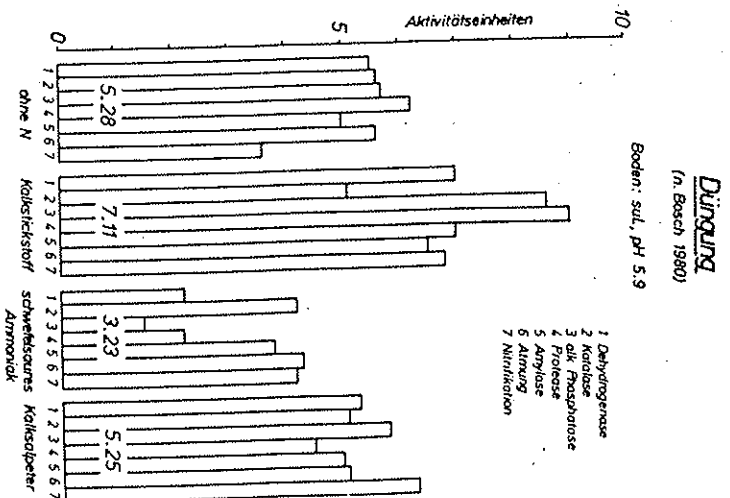


Abb. 3: Enzymaktivitäten in Abhängigkeit von der Düngung (in Bosch 1980)

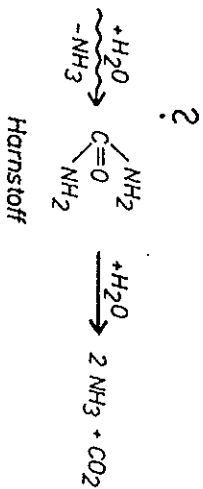
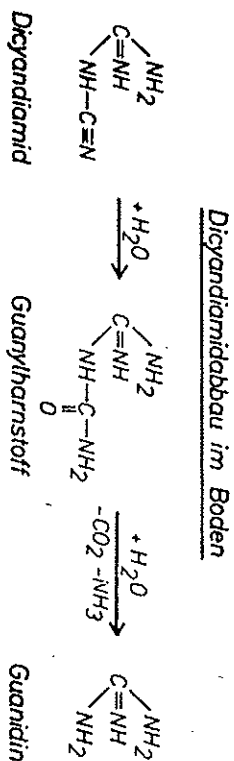


Damit besteht im Hinblick auf eine eventuell mögliche Kontamination von Pflanzen oder Grundwasser (Trinkwasser) kein erkennbares Risiko! Von einer „Chemisierung des Bodens“ in diesem Zusammenhang zu sprechen, wäre völlig abwegig. Vielmehr handelt es sich dabei um eine Kontrolle und Stabilisierung der Stickstoffanlieferung aus dem Boden mit dem Ziel einer möglichst effektiven Nutzung natürlicher Ressourcen und Vermeidung von N-Verlusten (ökonomischer Gesichtspunkt), die zudem zu einer Belastung des Trinkwassers mit Nitrat führen können.

II. Auf diesen Überlegungen baut das folgende Grundrezept einer Kontrollierung des Stickstoffhaushaltes des Bodens und der N-Anlieferung an die Pflanze auf. In diesem Zusammenhang darf auf folgende Fakten kurz hingewiesen werden:

1. Der Ammonium-Stickstoff wird zum Unterschied von Nitrat nicht ausgewaschen; er ist zwar voll pflanzenverfügbar,

Abb. 4:



wird aber langsamer (als Nitrat) von den Pflanzen aufgenommen.
 2. Der Umsatz von $\text{NH}_4^+ \rightarrow \text{NO}_3^-$ erfolgt unter natürlichen Verhältnissen je nach Bodentemperatur innerhalb von 1-2 Wo-

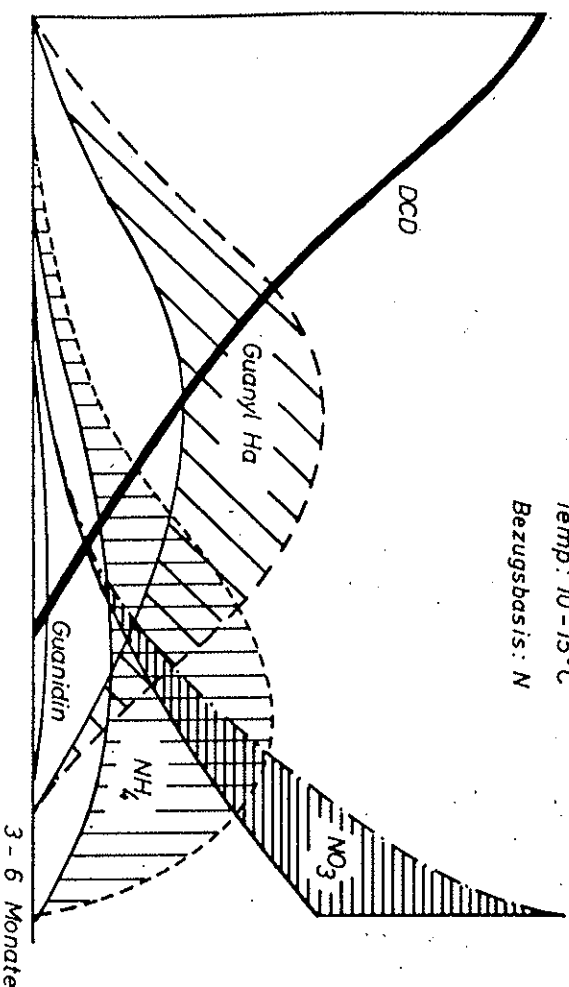
chen. Im Frühjahr ändert sich aber mit steigender atmosphärischer Temperatur auch die Richtung des Wasserstromes im Boden (nämlich von unten nach oben), d. h. die Auswaschung kommt zum Stillstand.

Mineralisierung von Dicyandiamid (DCD) unter aeroben Bedingungen (Wilsmeier, 1981)

Modellversuche : 2 - 3mg DCD / 100g Boden

Temp: 10 - 15°C

Bezugsbasis: N



Ferner durchwurzeln die Pflanzen die oberste Zone des Bodens schon in kurzer Zeit soweit, daß eine Perkolatlon weitgehend verhindert wird. Bei zeitweilig höheren Temperaturen in der Vegetationszeit können aber auch - insbesondere auf schwereren Böden - nicht unbeträchtliche (gasförmige) Denitrifikationsverluste auftreten, die vom Nitrat ausgehen.
 3. Ein hohes Nitratangebot im frühen Jugendwachstum führt bereits innerhalb von 1-2 Wochen zur nahezu vollständigen Aufnahme des Nitrats durch die Pflanzen (es kommt dort vorübergehend zu Nitratgehalten von 5-10% i. TS (Vismann und Amberger, 1978). In der Folgezeit setzt dann durch laufende Bildung von Pflanzensubstanz eine zunehmende „Verdünnung“ des Nitratgehaltes in den Pflanzen ein. Im Falle der Ammonium-Ernährung unterbleibt aber aufgrund der langsameren Aufnahme der sonst übliche „Nitrat-Schock“. Dieser bedeutet nämlich nicht nur eine Stresssituation für den pflanzlichen Stoffwechsel, sondern führt auch zu einer sehr tipptigen (nicht erwünschten) Blattentwicklung, was wiederum erhebliche phytopathologi-

sche Auswirkungen hat: junge Pflanzen sind anfälliger gegen plötzliche und bakterielle Krankheiten, sie stehen unter einem höheren „Krankheitsdruck“!
 4. Zu einer Minimierung der N-Verluste (Auswaschung, Denitrifikation) einerseits und einer langsameren und gleichmäßigeren N-Aufnahme der Pflanzen andererseits, kommen auch noch wesentliche arbeitswirtschaftliche Vorteile, da auf diese Weise sonst übliche mehrfache N-Teilgaben („splitting“) zusammengelegt werden können (Amberger, 1981, 1981a). Damit ist eine ökonomischere und sparsamere Bemessung der N-Düngung möglich.

III. Diese „N-Stabilisatoren“ lassen sich nun verschiedentlich einsetzen:

1. Als Zusatzstoffe zu Gülle, Abwässern und Klärschlamm (Fachsymposium, 1981, Symposium, 1983, z. B. Amberger, 1981b, 1984, Amberger und Gutscher, 1984). Gülle fällt in der intensiven Tierproduktion in großen Mengen an (ca. 2 kg $\text{NH}_4\text{-N/m}^3$); dieser Ammonium-Stickstoff wird je nach Bodentemperatur relativ rasch nitrifiziert (Abb. 6) und kann damit entweder zu einer Grundwasser- (Trinkwasser-) Kontamina-

Abb. 6:

Nitrifikation des Gülle-N in Abhängigkeit von der Temperatur

(Amberger, 1984)

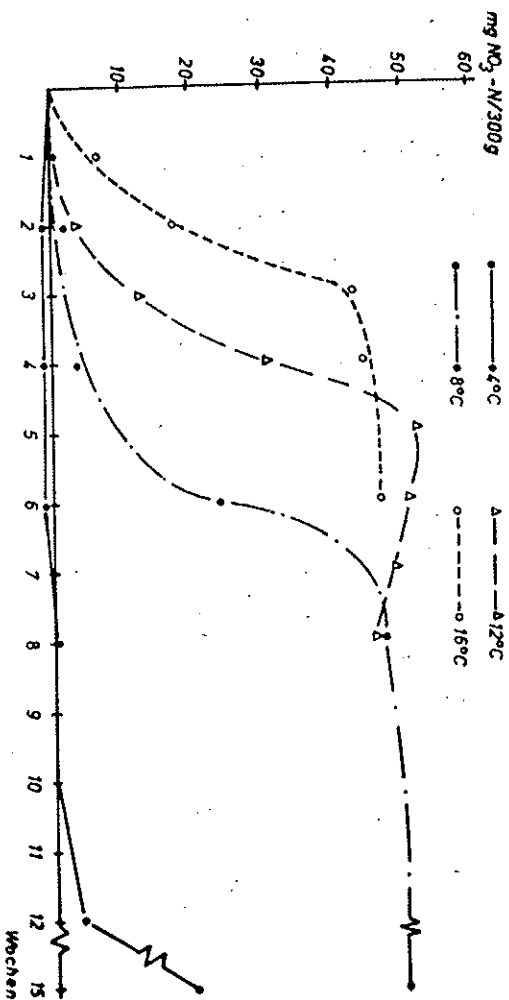


Tabelle 3: Alzon zu Winterweizen - Kornträge dt/ha (36% TS)
Sorte: Caribo

Veg.Beg. KAS/Alzon*)	Düngung		Alzhensch. KAS	Kolliviale Braunerde (Löß) Krazerhosen		Braunerde (Löß) Vetting		Viehhausen	
	Bestock. KAS	Schoss. Alzon		1982	1983	1983	1984	1984	1984
N ₀	-	-	-	67	58	26	52		
Σ 110	-	-	50	74	81	-	-		
Σ 110	-	80	-	78	84	-	-		
Σ 140	30	-	50	79	82	72	91		
Σ 170*	-	-	50	77	82	81	89		
Σ 140	-	80	-	79	84	71	88		
Σ 220*	-	-	-	79	84	73	92		

GD_{5%} N_{min}-Veg.Beg. (kg N/ha) 5 6 4 5
71 55 40 70

tion oder aber zu einer „Streßsituation“ für junge heranwachsende Pflanzen führen. Durch Zusatz von DCD wird dieser Vorgang über mehrere Monate hinweg verzögert und somit der Ammonium-N „konserviert“. Das ist insbesondere wichtig bei Herbst/Winterausringung von Gülle, da dann die Gefahr der Nitratauswaschung besonders groß ist (Abb. 7).

2. Das gleiche gilt für die Konservierung der sehr stickstoffreichen Abwässer aus Kartoffelfärfabriken (Amberger und Gutscher, 1983).

3. Aufgrund dieser reichhaltigen Erfahrungen mit DCD ging SKW-Trostberg nunmehr einen Schritt weiter und brachte zwei DCD-haltige Mineraldünger auf Basis Ammoniumsulfat (AS) = Alzon 22 und Ammoniumsulfat (ASS) = Alzon 27 auf den Markt. Der Grundgedanke ist, den Kulturen zu Beginn der Vegetationszeit einen solchenweise „stabilisierten“ N-Dünger anzubie-

ten mit allen genannten Vorteilen. Darüberhinaus ist auch ein Kombinationsprodukt auf der Basis Harnstoff (Ha) = Alzon 47 in Vorbereitung bzw. wird z. B. im Reisbau (USA, Italien) bereits mit Erfolg angewandt. Vom albekanntesten und bewährtesten Kalkstickstoff unterscheiden sich diese Dünger in ihrer Wirkung im wesentlichen darin, daß sie keinen Kalk enthalten. Dazu nun einige neuere Ergebnisse aus unseren Versuchen mit Alzon 22 (frühere Ergebnisse zu Weizen, Kartoffeln und Mais, s. Amberger, 1981, 1981a). Am umfassendsten wurde Alzon bisher zu Winterweizen geprüft, vor allem im Hinblick darauf, mehrere übliche Teilgaben (Standarddüngung) zu 1 bis 2 Düngungsterminen zusammenzulegen (Tab. 3 und 4).

Generell lassen sich wohl die Frühjahrsdüngung (z. Vegetationsbeginn und Bestockung) als auch Bestockungs- und Spätdüngung jeweils in einer Alzongabe entsprechend zu Vegetationsbeginn

Tabelle 4: Alzon zu Winterweizen - Kornträge dt/ha (36% TS)
Braunerde (Löß) - Weihenstephan
Mittelwerte aus 3 Sorten (Caribo, Kronjuwel, Nimbus)

Veg.Beg. KAS/Alzon*	Bestock. KAS		Schoss. KAS		Alzhensch. KAS	
	1983	1984	1983	1984	1983	1984
N ₀	-	-	-	-	50	43
Σ 120 (130)	45	-	-	-	50	65
Σ 120 (130)	-	-	45	-	50	71
Σ 165* (175)	-	-	-	-	50	73
Σ 220* (225)	-	-	-	-	50	72

GD_{5%} N_{min}-Veg.Beg. (kg N/ha) 3 45 50 40

() : 1985

Abb. 7: Nitratauswaschung nach Gülledüngung - (Gutscher, 1981)

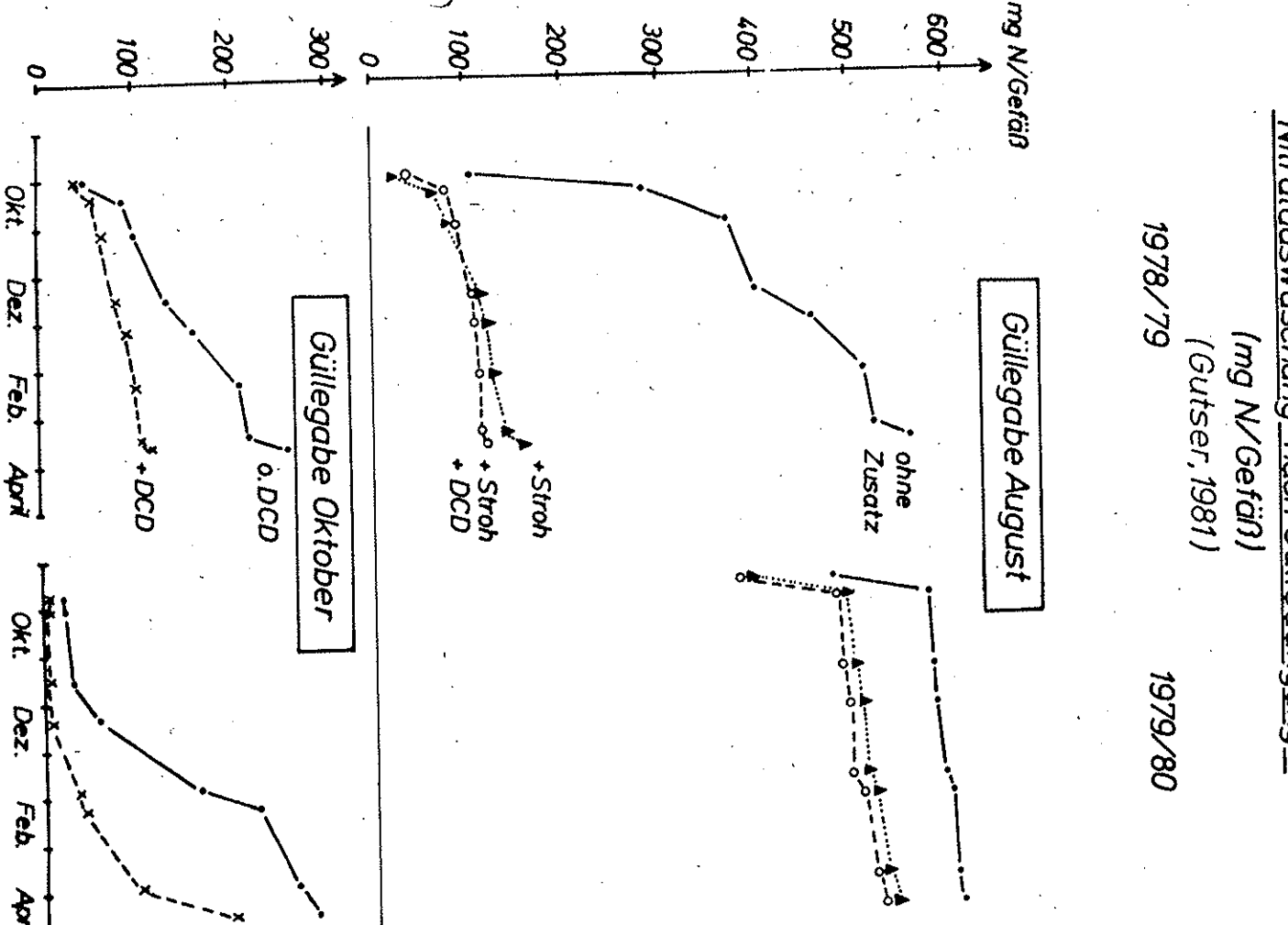


Tabelle 5: Alzon zu Wintergerste - Kornerrträge (86% TS)
Braunerde (Löß) - Weihenstephan
Sorte: Igri

Veg.Beg. KAS/Alzon*	Schoss. KAS/Alzon*	Blüte KAS	Korntrag dt/ha		% N i. TS Körner	
			1983	1984	1983	1984
N ₀	-	-	39	38	30	1,37
Σ 70	50	40	72	69	66	1,99
Σ 120*	-	40	67	59	62	1,93
Σ 90	50	40	74	69	70	2,14
Σ 140*	-	40	78	62	69	2,25
Σ 90	90*	-	67	73	-	1,60
Σ 110	50	40	77	73	77	2,13
Σ 110	90*	40	-	-	81	-
	GD _{5%}		6	5	3	
N _{min} -Veg.Beg. (kg N/ha)			20	30	35	

bzw. Schossen risikolos zusammenfassen (Tab. 3). In Abhängigkeit von der Jahreswitterung wurden damit dem Kalkammonsalpeter gleichwertige, z. T. sogar bessere Ertragsleistungen erzielt. Die langsame und nachhaltige Wirkung von Alzon wurde durch eine besonders günstige Wirkung nach einmaliger Anwendung der gesamten N-Menge zu Vegetationsbeginn eindrucksvoll bestätigt; mit konventionellen Düngern würde diese Maßnahme infolge übermäßiger Bestockung, vermindertcr Standfestigkeit und erhöhtem Krankheitsdruck mit Sicherheit zu mehr oder weniger starken Ertragsseinbußen führen.

Für einen Großteil der landwirtschaftlichen Betriebe mit z. T. wenig „ausgefeilter“ Produktionstechnik (keine Ständendüngung) kann Alzon damit einen beachtlichen Vorteil im Getreidebau bringen. Daß selbst durch Ständendüngung nicht immer das jahrgangs- und standortspezifische Ertragsoptimum erreicht wird, zeigt Tab. 4. Im Jahr 1983 erzielte die Bestockungs-gabe, 1984 die Schossergabe höhere Kornerrträge; 1985 waren keine Unterschiede gegeben. In sämtlichen Jahren brachte aber eine hohe Startdüngung mit Alzon stets das beste Ergebnis.

Die Wirkung von Alzon zu Wintergerste konnten wir bisher in 3 Versuchen prüfen (Tab. 5).
Es zeigte sich dabei, daß zumindest auf höherem N-Niveau ein Zusammenlegen von N-Teilgaben zu einer Gabe Alzon möglich ist. Auf niedrigem Düngungs niveau erwies sich Kalkammonsalpeter als vorteilhafter. Das Zusammenfassen von Schoß- und Spätdüngung durch Alzon kann gegenüber einer getzelten N-Applikation als KAS zur Blüte je nach Jahreswitterung (1983) zu niedrigeren Ertragsleistungen der Körner führen.

Tabelle 6: Alzon zu Zuckerrüben auf Lößbraunerde (Weihenstephan)
Erträge dt/ha (Rüben: Frl. S.)
Sorte: Kawedulca

Düngung	1983		1984		1985	
	Saat: 18. 4. Düngung: 18. 4./30. 5. Rüben	Saat: 12. 4. Düngung: 27. 3./13. 6. ber. Zucker	Saat: 18. 4. Düngung: 8. 4./5. 6. ber. Zucker	Saat: 18. 4. Düngung: 8. 4./5. 6. ber. Zucker	Saat: 18. 4. Düngung: 8. 4./5. 6. ber. Zucker	Saat: 18. 4. Düngung: 8. 4./5. 6. ber. Zucker
N ₀	536	94	405	64	674	111
80 N KAS			470	73		
80 N Alzon			491	78		
120 N KAS	762	139	580	92	835	132
120 N Alzon	750	126	582	90	857	139
120/40 N KAS			583	94	888	146
160 N Alzon			592	93	910	149
180 N KAS	788	137				
120/60 N KAS	722	125				
180 N Alzon	796	131				
140/60 N KAS			647	103	918	147
200 N Alzon			638	103	905	145
GD _{5%}	49	9	50	9	47	8

einem besseren Jugendwachstum der Zuckerrüben führte als Kalkammonsalpeter, was wohl in erster Linie auf ein höheres N-Angebot in der oberen Bodenschicht (N_{min}) zurückzuführen ist (Abb. 8). Die geringere Einwaschung von Nitratstickstoff nach Düngung mit Alzon im Vergleich zu KAS kann auch durch N-Analysen im Bodenwasser (Absaugtiefe 50 bis 150 cm) belegt werden (Tab. 7) (s. Amberger und Gutscher, 1986).

Der Einsatz von Alzon zu Zuckerrüben dürfte erst nach Vorliegen mehrjähriger Ergebnisse auch auf anderen Standorten richtig zu beurteilen sein, da insbesondere die jeweilige Jahreswitterung zu einer NO₃-Einwaschung in tiefere Bodenschichten und damit zu einem zeitweilig geringeren N-Angebot während des Jugendwachstums (März-Juni) führen kann (das gleiche gilt auch für Mais). Die Jahre 83 und 84 wiesen für Weihenstephan ein Niederschlagsdefizit von ca. 20% (= 70 mm) in den Monaten April bis Juli auf; im Lysimeter fiel keinerlei Sickerwasser an. 1985 wurden in diesem Zeitraum 394 mm Niederschlag gemessen (10% mehr als im langjährigen Mittel) und davon bereits im Mai 214 mm.

In den drei Versuchen zu Zuckerrüben (Tab. 6) brachten KAS und Alzon unabhängig vom N-Niveau praktisch gleiche Rüben- und Zuckerrträge.
Interessant im Hinblick auf die vorherigen Ausführungen erscheint uns dennoch, daß in sämtlichen Jahren Alzon (120 kg N/ha) zu

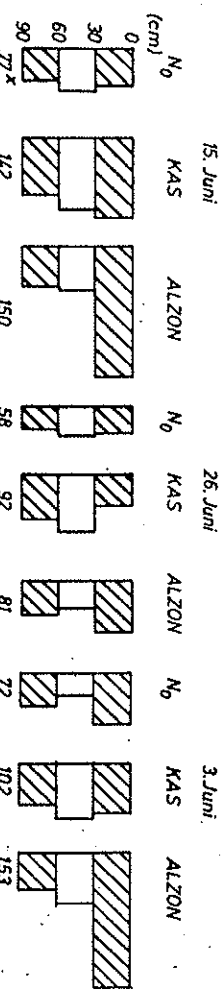
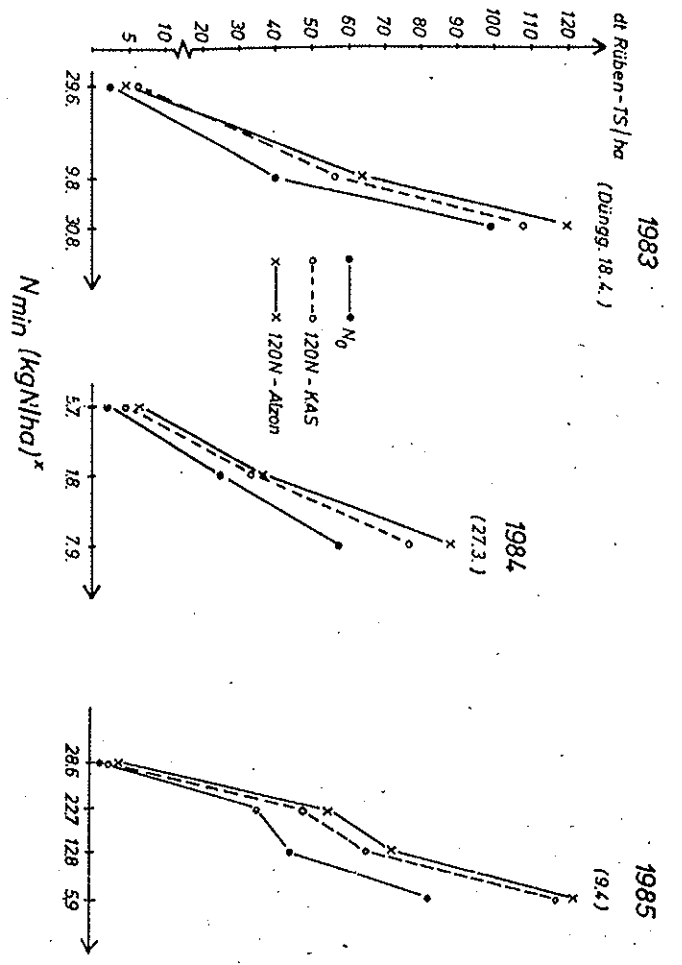
Tabelle 7: Mittlere NO₃-Gehalte des Bodenwassers im Mai 1985 unter Zuckerrüben (mg N/l)

Düngung	Absaugtiefe (cm)
	50
	100
	150

ohne N 2,6 3,9 3,6
160 N als KAS 31,5 31,6 32,1
160 N als Alzon 15,3 10,9 9,2

- Niederschlag im Mai 1985: 214 mm
- Literaturverzeichnis
1. Amberger, A. (1981a): Einsatz und Ausnutzung von N-Düngemitteln. Bayer. Landw. Jb. 58, 80-88.
 2. - (1981b): Dicyandiamid („Didin“) als Nitrifikationshemmstoff. Bayer. Landw. Jb. 58, 845-853.
 3. - (1984): Wirkung und Einsatzmöglichkeiten des Nitrifikationshemmstoffes Dicyandiamid. VDLUFA-Schriftenreihe, H. 11, 22-47.
 4. -, Gutscher, R. (1984): N-Wirkung von „Kartoffelruchwasser“ mit Didinanzatz. VDLUFA-Schriftenreihe, H. 11, 200-211.
 5. -, (1986): Alzondüngung zu Zuckerrüben. Dtsch. Zuckerrübenzeitung 22, Nr. 3, 7.
 6. -, Vilsmeier, K. (1979): Dicyandiamidabbau in Quarzsand und Böden. Z. Pflanzenern. u. Bodenkde. 142, 778-785.
 7. Baldwin, I. T., Olson, R. K., Reinert, W. A. (1983): Protein binding phenolics and the inhibition of nitrification in subalpine balsam fir soils. Soil Biol. Biochem. 15, 419-423.
 8. Blanzek, E., Giesecke, F. (1923): Mono- und Dimethylol-Harnstoff in ihrer Wirkung auf die Pflanzenproduktion und den Stickstoffumsatz im Boden. Z. Pflanzenern., Düngg. 42, 393-420.
 9. Bosch, M. (1980): Bodeneigenschaften, Erträge und Mineralstoffentzüge einer Ackerbraunerde unter dem Einfluß langjähriger Düngung mit verschiedenen Stickstoff-Formen. Diss. TU München-Weihenstephan.
 10. Fachsymposium über den N-Stabilisator SKW-Didin für Flüssigmist (1981), Augsburg, 22. Okt. 1981. Bayer. Landw. Jb. 58, 834-896, 1981.
 11. Gutscher, R. (1981): Gefäß- und Feldversuche zur N-Wirkung von Gülle mit Dicyandiamid („Didin“). Bayer. Landw. Jb. 58, 872-879.
 12. Hauck, R. (1980): Mode of action of nitrification inhibitors, in: Amer. Soc. Agron., Spec. Publ. 33, 19-32.
 13. - (1984): Nitrification inhibitors - potentials and limitations. VDLUFA-Schriftenreihe, H. 11, 9-21.

Abb. 8: Entwicklung von Zuckerrüben in Abhängigkeit von der N-Form



14. Jacob, A. (1949): Die Chemie der Düngemittel, Halle.

15. - (1956): Der Boden, 4. Auflage, Berlin.

16. Russell, E. J. (1936): Boden und Pflanze. 2. Aufl. Dresden und Leipzig.

17. Schmaljuss, K. (1947): Pflanzenern. u. Bodenkd. 1. Auflage, Leipzig.

18. Selke, W. (1955): Die Düngung, 2. Auflage, Berlin.

19. Stangen, J. M. G., Kerthoff, P. (1984): Nitri-fication inhibitors in agriculture and horticulture: A literature review. Fert. Res. 5, 1-77.

20. Symposium Nitrifikationshemmstoffe (1983), Weihenstephan 27./28. Okt. VDLUFA-Schriftenreihe, H. 11, 318.

21. TNO (1977): Determination of the acute oral toxicity of dicyanamid in rats. Central Instituut voor Voedingsonderzoek, Holland.

22. Velentis, D. (1971): Zur Dynamik langsam-wirkender Stickstoffdüngemittel. Diss. TU München-Weihenstephan.

23. Vismeyer, K. (1980): Dicyanamidabbau im Boden in Abhängigkeit von der Temperatur. Z. Pflanzenern. u. Bodenkd. 143, 47-54.

24. - (1981): Action and degradation of Dicyan-amid in soils. TVA, 1981: Technical work-shop on dicyanamide. Muscle Shoals, Ala-bama.

25. -, Amberger, A. (1978): Modell- und Gefäß-versuche zur nitrifikationshemmenden Wir-kung von Dicyanamid. Landw. Forsch. 32, VDLUFA-Kongress, Augsburg, 243-248.

26. Zacherl, B., Amberger, A. (1984): Hemmung der Ammoniumoxidation durch Nitrosomo-nas europaea mit verschiedenen Nitrifi-kationshemmstoffen. VDLUFA-Schriften-reihe, H. 11, 55-63.