

Untersuchungen zur Auswaschung von Dicyandiamid und dessen Abbau in überstauten Böden

257

Von Anton Amberger und Klaus Vilsmeier*

In Lysimeterversuchen (uL, pH 6.5) wurde die Auswaschung des Nitrifikationshemmstoffes Dicyandiamid (DCD) nach Mineral- und Gülledüngung und der Abbau von DCD unter im Grundwasser vorliegenden, simulierten Bedingungen geprüft.

Nach Minereraldüngung wurden nur 0,6–0,9% der in 5 Jahren verabreichten DCD-Menge ausgewaschen.

Die höchste DCD-Auswaschung nach Gülledüngung im Oktober mit 5,6% der Zugabe erreicht.

In 10 bis 60 cm hoch mit Wasser überstauten Sedimenten wurde Dicyandiamid (20 mg/l) innerhalb eines Jahres unter aeroben Bedingungen in nahezu allen Versuchen völlig, unter anaeroben zu ca. $\frac{2}{3}$ abgebaut.

Investigations on leaching of dicyandiamide and its decomposition in flooded soils. Leaching of the nitrification inhibitor dicyandiamide (DCD) after mineral fertilizing and slurry manuring and decomposition of DCD under simulated ground water conditions (silty loam, pH 6.5) was investigated in lysimeters.

After mineral feeding, only 0.6–0.9% of DCD applied in 5 years were leached.

Highest leaching rates of DCD occurred after slurry application in October (with 5.6% of added amount).

In sediments flooded with water to a height of 10 to 60 cm, dicyandiamide (20 mg/l) was fully degraded within one year in almost all experiments at aerobic conditions while at anaerobic conditions two thirds were decomposed.

* Prof. Dr. A. Amberger und Dr. K. Vilsmeier, Lehrstuhl für Pflanzenernährung der TU München-Weihenstephan, D-8050 Freising

1 Einleitung

Dicyandiamid (DCD) ist ein wirksamer Nitrifikationshemmstoff und wird sowohl in Kombination mit Mineraldüngern (Alzon) (Amberger und Gutser [1]; Rodgers [2]; Munzert [3]; Scheffer et al. [4]; Amberger und Gutser [5]; Vilsmeier et al. [6]), als auch mit organischen Düngern wie Gülle und Abwasser der Stärkefabrikation aus Kartoffeln angewendet (Amberger und Vilsmeier [7]; Vilsmeier und Amberger [8]; Gutser und Amberger [9]; Amberger und Gutser [10]; Bayer et al. [11]). Der Abbau des Dicyandiamid (mit 67% N) erfolgt im Boden über Guanylharnstoff und Ammonium bis zum Nitrat (Vilsmeier [12] und [13]).

Eine Beeinflussung der biologischen Aktivität des Bodens durch DCD kann nach den Untersuchungen von Bosch und Amberger [14] und Stüchlmaier [15] ausgeschlossen werden; Dicyandiamid wirkt selektiv und bakterio-statisch auf Nitrosomonas Europaea (Zacherl [16]). Was die Toxikologie des DCD anlangt, beträgt die LD₅₀ 10 g/kg Körpergewicht, das ist das dreifache von Kochsalz (3 g/kg). Deshalb ist Dicyandiamid in die Gruppe der „nicht toxischen“ Substanzen eingeordnet [17]. Dicyandiamid ist bei 20°C zu 3,46% wasserlöslich [18]; aus dem Boden kann es mit Wasser nahezu quantitativ extrahiert werden (Vilsmeier [19]). Nach Bock et al. [20] und Killermann [21] nimmt die Beweglichkeit von DCD in Böden vor allem in Gegenwart höherer Gehalte an organischer Substanz ab.

Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, die Auswaschung von Dicyandiamid im Weihestephaner Lysimeter nach Mineral- und Güllendüngung sowie den Abbau von DCD im Grundwasser unter simulierten Bedingungen zu untersuchen.

2 Versuchsdurchführung

2.1 DCD-Auswaschung

Lysimeter: 2 m² Oberfläche, 1 m Tiefe, 1979 Einfüllen einer Braunerde aus Löß in 25 cm Schichten entsprechend dem natürlichen Bodenaufbau

Bodendaten: 16–19% Ton, 69–75% Schluff, 1,4% C, 0,14% Ges. N, pH 6.5

Versuchsbeginn: August 1982 (Vorfrucht Sommerweizen)

Versuchsfrüchte: 1983 Zuckerrüben
1984 Sommerweizen
1985 Zuckerrüben
1986 Sommerweizen
1987 Wintergerste

Die Ausbringungstermine und -mengen von Dicyandiamid sind in Tab. 1 zusammengestellt.

2.2 DCD-Abbau

I 300 g nasser Boden (TS s. Tab. 2) + 600 ml Wasser in 1 l Polyäthylenflaschen

Tab. 1. Ausbringungstermine und -mengen von Dicyandiamid (kg DCD/ha)

Jahr/ Versuchsglied	Alzon 22*		Gülle	
	N ₁	N ₂	Oktober	März
1982/83	18.4.83 18 kg	18.4.83 27 kg	18.10.82 25 kg	17.3.83 25 kg
1983/84	13.3.84 15 kg	13.3.84 15 kg 12.6.84 6 kg	—	—
1984/85	3.4.85 18 kg	3.4.85 27 kg	18.10.84 25 kg	7.3.85 25 kg
1986/87	23.9.86 5 kg 12.3.87 17 kg	23.9.86 6 kg 12.3.87 21 kg	30.10.86 15 kg	11.3.86 15 kg

* Ammoniumsulfat mit 10% DCD-N am Gesamt-N

II 3 kg nasser Boden + 6 l Wasser in Ahrtöpfen

III 20 kg nasser Boden + 50 l Wasser in Polyäthylenfässern

Der Abbau von DCD wurde unter aeroben und anaeroben Bedingungen verfolgt, in letzterem Falle durch Zugabe von jeweils 2000 mg C/100 g Boden im Sinne einer O₂-Verarmung und anschließendem Abdecken simuliert.

Nach 20, 34 u. 60 Wochen wurden die Wässer vor der Probenahme oberflächlich umgerührt, nach 44 Wochen zusammen mit dem Boden geschüttelt, so daß ein intensiver Kontakt mit dem Boden erfolgte.

DCD-Gehalt zu Beginn: 20 mg DCD/l Wasser

Parallelen: I 5

II 3

III ohne

Aufstellung und Temperatur: 5–12°C – 60 Wochen lang entsprechend der Temperatur des oberflächennahen Grundwassers.

Böden: Die verwendeten Böden stammten entweder aus dem Sediment kleiner Wasserläufe (Nr. 1–4), oder waren grundwasserbeeinflusste Böden (Nr. 5–6), bzw. Unterböden von Ackerstandorten (Nr. 7–8). Tab. 2 enthält einige Kenndaten.

Wasser: Für die Unterwasserböden 1–6 wurde das Wasser des jeweiligen Standortes verwendet. Das den Böden 7 und 8 zugesetzte Wasser stammte aus einem Brunnen im tertiären Hügelland.

Methodik

Dicyandiamid: mittels Hochdruckflüssigkeitschromatographie (Vilsmeier [22])

Redoxpotential: mittels Platin-Einstabmeßkette

Tab. 2. Chemische und physikalische Eigenschaften der Böden

Böden	pH-Wert	Entnahmetiefe cm	TS %	Ton %	CaCO ₃	Ges. C % i. TS	Ges. N
1 Sediment	7,0	0–50	30	15	0,9	3,38	0,34
2 kleiner	7,1	0–50	40	10	0	2,40	0,22
3 Wasser-	7,2	0–50	45	5	5,3	1,82	0,13
4 läufe	7,2	0–50	23	6	39,5	7,76	0,64
5 grundwasser-	7,5	50–100	52	8	70,3	1,82	0,06
6 beeinflusste Böden	7,6	0–50	58	5	80,5	1,22	0,04
7 Acker-	5,2	50	66	39	0	0,91	0,09
8 böden	6,1	50–100	56	21	0	0,81	0,08

3 Ergebnisse

DCD-Auswaschung im Lysimeter

Eine DCD-Auswaschung erfolgte in den Versuchsgliedern N₁ und N₂ mit Alzon [22] sowie Gülle Oktober + DCD und Gülle März + DCD. Für die ersten 5 Versuchsjahre (1982/83 bis 1986/87) wurden die mit dem Sickerwasser abgeführten DCD-Mengen ermittelt (Tab. 3). 1984 und 1986 erfolgte keine DCD-Auswaschung.

Tab. 3. Dicyandiamid auswaschung im Lysimeterversuch (1. 10. 1982 - 30. 9. 1987)

	Alzon		Gülle		Sickerwasser mm
	N ₁	N ₂	Oktober g DCD-N/ha	März	
1982/83	10	12	856	3	260
1983/84	0	0	0	0	95
1984/85	298	593	586	422	386
1985/86	0	0	0	0	148
1986/87	0	0	1317	9	348

In den Varianten N₁ und N₂ als Alzon erfolgte eine nennenswerte DCD-Auswaschung nur im Versuchsjahr 1985, bedingt durch die sehr hohen Niederschläge im Mai; diese entsprach in der Variante N₁ 0,6%, in N₂ 0,9% der insgesamt in 5 Jahren verabreichten DCD-Menge (oder 2,6 bzw. 3,3% der 1985 ausgebrachten DCD-Menge). Die mit Abstand höchste Aus-

waschung wurde in der Variante Gülle Oktober + DCD ermittelt mit 5,6% der in 3 Jahren verabreichten Menge. Deutlich geringer war die DCD-Verlagerung in der Kombination Märzgülle + DCD mit 0,9% im gleichen Zeitraum. Insgesamt gesehen betrug die DCD-Auswaschung etwa 1 bis 6% der gegebenen Menge und kann somit als gering bewertet werden, vor allem, wenn man berücksichtigt, daß in Lysimeterversuchen gegenüber dem Freiland überhöhte Auswaschungsverluste gemessen werden.

Abbau von Dicyandiamid

Unter aeroben Bedingungen erfolgte sowohl in den 1 l Polyäthylenflaschen wie auch unter den noch weit ungünstigeren Umsetzungsbedingungen in Ahrgefäßen innerhalb von 34 bzw. 44 Wochen ein völliger bzw. nahezu vollständiger Abbau von Dicyandiamid (Tab. 4 und 5).

Unter anaeroben Verhältnissen verlief der Umsatz von DCD innerhalb der ersten 20 Wochen etwas schneller, im weiteren jedoch deutlich langsamer. Bedingt durch den C-Zusatz lagen die Redoxpotentiale nach 4 Wochen um bis zu 580 mV niedriger im Vergleich zu den Böden ohne Glucosezusatz (Tab. 6). Im weiteren Verlauf zwischen 20 und 60 Wochen gleichen sich die relativen Unterschiede auf max. 230 mV an. In den Versuchen mit Fässern (nur aerobe Bedingungen - 20 kg Boden + 50 l Wasser) waren nach 60 Wochen noch 3-20% der DCD-Vorgabe im Wasser nachzuweisen (Tab. 7). Auffallend ist, daß Böden, die immer unter Wasser standen (Nr. 1 bis 4 und 6) unabhängig vom CaCO₃-Gehalt (0 bis 80% i. TS) DCD schneller abbauten als die Unterböden von Ackerstandorten (7 und 8).

Tab. 4. Dicyandiamidabbau in Unterwasserböden unter aeroben und anaeroben Bedingungen. Ansatz: 300 g Boden naß + 600 ml H₂O in 1 l Polyäthylenflaschen

Böden	Dicyandiamid (mg/l) nach Wochen							
	20		34		44		60	
	aerob	anaerob	aerob	anaerob	aerob	anaerob	aerob	anaerob
1 Sediment	14,1	13,4	0	11,3	0	10,6	0	8,2
2 kleiner	15,5	13,7	0	9,7	0	6,8	0	2,1
3 Wasserläufe	17,0	15,5	0,8	14,6	0	11,7	0	6,3
4	12,4	11,5	0	8,2	0	0,2	0	0
5 grundwasserbeeinflusste Böden	19,0	16,8	0,8	17,3	0	16,1	0	13,1
6	16,0	15,0	1,1	14,2	0	13,0	0	9,7
7 Ackerböden	18,8	15,8	5,9	14,2	0	13,3	0	7,8
8	18,1	12,5	0	10,9	0	8,7	0	6,3

GD_{5%} 1,7

Tab. 5. Dicyandiamidabbau in Unterwasserböden unter aeroben und anaeroben Bedingungen. Ansatz: 3 kg Boden naß + 6 l H₂O in Ahrgefäßen

Böden	Dicyandiamid (mg/l) nach Wochen							
	20		34		44		60	
	aerob	anaerob	aerob	anaerob	aerob	anaerob	aerob	anaerob
1 Sediment	14,1	13,9	0	11,2	0	10,9	0	7,6
2 kleiner	14,8	13,4	0	10,1	0	9,8	0	8,6
3 Wasserläufe	14,8	15,8	2,6	14,3	0	9,7	0	3,4
4	9,2	11,0	0	11,2	0	2,2	0	0
5 grundwasserbeeinflusste Böden	18,2	15,8	13,5	16,2	1,7	14,2	0	11,7
6	17,8	17,8	8,2	14,6	0	13,7	0	11,9
7 Ackerböden	17,0	16,6	4,1	14,4	0	12,8	0	9,7
8	16,0	15,0	7,6	14,9	0	13,3	0	11,1

GD_{5%} 2,1

Tab. 6. Einfluß aerober und anaerober Bedingungen auf das Redoxpotential

Böden	mV nach 4 Wochen				(Ø mV 20–60 Wochen)				
	1 l Flaschen		Ahrgefäße		1 l Flaschen		Ahrgefäße		Polyäthylenfässer aerob
	aerob	anaerob	aerob	anaerob	aerob	anaerob	aerob	anaerob	
1	270	-150	300	-150	320	180	300	140	340
2	270	80	380	20	310	230	350	300	330
3	320	-100	320	-100	360	160	330	210	340
4	260	-160	300	-160	300	70	230	150	320
5	360	230	290	30	410	290	330	130	370
6	370	130	310	100	380	240	320	170	350
7	380	30	400	-80	420	230	400	420	370
8	380	-200	370	-200	410	180	350	200	340

Tab. 7. Dicyandiamidabbau in Unterwasserböden unter aeroben Bedingungen. Ansatz: 20 kg Boden naß + 50 l H₂O in Polyäthylenfässern

Böden		Dicyandiamid (mg/l) nach Wochen			
		20	34	44	60
1	Sediment	15,8	10,7	3,8	0,7
2	kleiner	13,7	6,3	4,0	2,0
3	Wasser-	16,1	8,1	2,9	0,5
4	läufe	14,6	6,4	2,5	0,6
5	grundwasser-	17,7	13,3	8,1	3,2
6	beeinflusste Böden	17,2	11,8	7,4	3,9
7	Acker-	17,8	12,1	7,8	2,3
8	böden	18,6	13,5	10,6	7,1

4 Diskussion

Die Auswaschung von Dicyandiamid aus dem Weihenstephener Lysimeter von Herbst 1982 bis 1987 war mit insgesamt 1–6% der zugegebenen Menge sehr gering. Die DCD-Konzentrationen im Sickerwasser lagen meist im Bereich von 0,1 bis 1 mg DCD/l. Die Höhe der DCD-Auswaschung ist von folgenden Faktoren abhängig:

Applizierte DCD-Menge – Ausbringungszeitpunkt – Sickerwasseranfall – DCD-Abbau im Bodenprofil.

In den Kombinationen mit Gülle werden üblicherweise 15 bis 25 kg DCD/ha eingesetzt, in Mineraldüngern beträgt der DCD-Gehalt 10% vom Gesamt-N, so daß mit einer hohen Düngergabe von 180 kg N/ha 27 kg DCD/ha in den Boden gelangen. Diese Mengen entsprechen denen im Lysimeter. Die höchste DCD-Auswaschung wurde nach Applikation im Oktober festgestellt. Tiefe Bodentemperaturen (Vilsmeier [12]) zusammen mit hohem Sickerwasseranfall begünstigen die Dicyandiamidauswaschung, sofern nicht höhere Gehalte an organischer Substanz vorliegen (Bock et al. [20]; Killermann [21]). Nach Mineral- und Gölledüngung im Frühjahr war die DCD-Auswaschung weit geringer – mit Ausnahme von 1985 mit extremen Niederschlägen im Mai (214 mm). Unter Standortbedingungen, die eventuell eine geringe DCD-Auswaschung befürchten lassen, ist eine möglichst späte Ausbringung von Gülle mit Dicyandiamid empfehlenswert.

Auch während des Transportes von Dicyandiamid in tiefere Bodenschichten bzw. zum Grundwasser wird DCD abgebaut. Wenn auch die Ursachen für den unterschiedlich schnellen Abbau in Böden nicht bekannt sind, so ist aus vielen nicht veröffentlichten Daten doch zu schließen, daß dieser auf sehr leichten, tonarmen Böden sehr langsam verläuft. So sind auch die Ergebnisse von Kjellerup [23] zu interpretieren, mit einer hohen DCD-Auswaschung aus dem 1 m tiefen Lysimeter (bis zu 50% der Zugabe Ende September). Dieser Boden hatte nur 2–4% Ton und 1–5% Schluff. In einem anderen Boden mit 12–19% Ton und 15–17% Schluff betrug der DCD-Austrag

unter gleichen Bedingungen dagegen nur 3% der Zugabe. Auf extremen Sandböden mit langsamem DCD-Abbau ist somit eine geringere DCD-Gabe zur Hemmung der Nitrifikation ausreichend.

Um den Verbleib von Dicyandiamid nach dem Eintritt in das Grundwasser zu untersuchen, wurden weitere Versuche durchgeführt unter sehr viel ungünstigeren Bedingungen als im Freiland, da dort immer ein Kontakt zwischen Wasser und Bodenmaterial stattfindet. In diesem Fall stand über den Böden eine je nach Gefäßart ca. 10 bis 60 cm hohe DCD-haltige Wasserschicht, die nur zu den jeweiligen Untersuchungszeitpunkten mit dem Boden gemischt wurde.

Trotzdem war nach ca. einem Jahr die hohe DCD-Konzentration von 20 mg/l völlig bzw. in den 50 l Gefäßen weitgehend abgebaut. Unter reduzierenden Bedingungen verlief der Abbau mit 67% der Vorlage im Durchschnitt etwas langsamer. Ähnliche Ergebnisse wurden in früheren Versuchen mit feuchten Böden (60% d. v. WK) unter N₂-Begasung erzielt (Vilsmeier [13]). Damit können verschiedentlich geäußerte Bedenken hinsichtlich einer Grundwasserkontamination und eines möglicherweise fehlenden Abbaues von DCD nach Eintreten in das Grundwasser entkräftet werden.

Der Einsatz des umwelttoxikologisch unbedenklichen Dicyandiamids (Kuntze [24]) stellt somit eine wirksame Möglichkeit dar, die Belastung von Grund- und Trinkwasser mit Nitrat zu verringern. In der BRD ist Dicyandiamid nach dem Düngemittelgesetz als Bodenhilfsstoff zugelassen. Es handelt sich dabei um die gleiche Substanz, die im Kalkstickstoff, dem ersten synthetischen N-Dünger, bereits enthalten ist bzw. während der Umsetzung in Böden gebildet wird (Amberger und Vilsmeier [25], Vilsmeier und Amberger [26]).

Literaturverzeichnis

- [1] Amberger, A. und Guser, R.: Umsatz und Wirkung von Harnstoff-Dicyandiamid- sowie Ammonsulfat-Dicyandiamid-Produkten zu Weidelgras und Reis. Z. Pflanzenern. u. Bodenkd. 141, 553–56 (1978)
- [2] Rodgers, G. A.: Use of nitrification inhibitors with urea fertilizer for grass Symp. Nitrifikationshemmstoffe. Schriftenreihe des Verbandes Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten VDLUFA, Heft 11, 212–230 (1984)
- [3] Munzert, M.: Freilandversuche mit Alzon zu Kartoffeln. Symp. Nitrifikationshemmstoffe. VDLUFA-Schriftenreihe, Heft 11, 231–238 (1984)
- [4] Scheffer, B., Kuntze, H. und Bartels, R.: Reduzierung des Nitrat-austrages aus einem Sandboden durch Einsatz von Didin. Symp. Nitrifikationshemmstoffe. VDLUFA-Schriftenreihe Heft 11, 87–96 (1984)
- [5] Amberger, A. und Guser, R.: Alzondüngung zu Zuckerrüben. Dt. Zuckerrübenzeitung 22, 7 (1986)
- [6] Vilsmeier, K., Bornemisza, E. and Amberger, A.: Urea, ammonium sulfate and dicyandiamide transformations in Costa Rican soils. Fertilizer Research, 12, 255–261 (1987)

- [7] *Amberger, A. und Vilsmeier, K.*: Hemmung der Nitrifikation des Güllestickstoffs durch Dicyandiamid. *Z. Acker- u. Pflanzenbau*, 148, 239–246 (1979)
- [8] *Vilsmeier, K. und Amberger, A.*: Zur nitrifikationshemmenden Wirkung von Dicyandiamid zu Gülle in der Zeit zwischen Spätherbst und Frühjahr. *Z. Pflanzenern. u. Bodenkde.* 150, 47–50 (1987)
- [9] *Guser, R. und Amberger, A.*: Nitratauswaschung nach Gülledüngung mit Didinzusatz. In: *Landwirtschaftliche Forschung*, 96. VDLUFA-Kongreß, S. 137–145. Sauerländers Verlag, Frankfurt/M. 1984
- [10] *Amberger, A. und Guser, R.*: N-Wirkung von „Kartoffel-fruchtwasser“ mit Didin-Zusatz. VDLUFA-Schriftenreihe, Heft II, 305–315 (1984)
- [11] *Bayer, U., v. Tucher, Th. und Amberger, A.*: Use of potato starch wastewater in agriculture. 4th Inter. Symp. CIEC International Scientific Centre of Fertilizers in Braunschweig-Völkenrode vom 11.–14. Mai 1987 (Kongreßbericht im Druck)
- [12] *Vilsmeier, K.*: Dicyandiamidabbau im Boden in Abhängigkeit von der Temperatur. *Z. Pflanzenern. u. Bodenkde.* 143, 113–118 (1980)
- [13] *Vilsmeier, K.*: Umsatz von ¹⁵N-Dicyandiamid im Boden. VDLUFA-Schriftenreihe, Heft II, 64–73 (1984)
- [14] *Bosch, M. und Amberger, A.*: Einfluß langjähriger Düngung mit verschiedenen N-Formen auf pH-Wert, Humusfraktionen, biologische Aktivität und Stickstoffdynamik einer Ackerbraunerde. *Z. Pflanzenern. u. Bodenkde.* 146, 714–724 (1983)
- [15] *Stichlmaier, B.*: Einfluß des Nitrifikationshemmstoffes Dicyandiamid auf Bodenenzyme und ausgewählte Bodenmikroorganismen. Diplomarbeit TU München 1984
- [16] *Zacherl, B.*: Mikrobiologische Untersuchungen zur Wirkung von Nitrifikationshemmstoffen auf ausgewählte Bakterien des Stickstoffkreislaufes. Dissertation TU München 1985
- [17] Determination of the acute oral toxicity of Dicyandiamide EH in rate. Centraal Instituut voor Voedingsonderzoek, Holland 1977
- [18] Produktstudie Dicyandiamid SKW Trostberg AG, 1982
- [19] *Vilsmeier, K.*: Kolorimetrische Bestimmung von Dicyandiamid in Böden. *Z. Pflanzenern. u. Bodenkde.* 142, 792–798 (1979)
- [20] *Bock, B. R., Lawrence, J. E. and Williams, H. M.*: Relative mobility of dicyandiamide, ammonium, and urea by mass flow in soils. Technical workshop on dicyandiamide. Muscle shoals, Dec. 4–5. Alabama 1981
- [21] *Killermann, B.*: Die Mobilität von Dicyandiamid im Boden in Abhängigkeit von verschiedenen Bodenparametern. Diplomarbeit TU München 1986
- [22] *Vilsmeier, K.*: Bestimmung von Dicyandiamid, Nitrit und Nitrat in Bodenextrakten mit Hochdruckflüssigkeitschromatographie – Kurzmittteilung. *Z. Pflanzenern. u. Bodenkde.* 174, 264–268 (1984)
- [23] *Kjellerup, V.*: Nitrogen effect of slurry mixed with nitrification inhibitors, lysimeter and field experiments. 4th Inter. Symp. CIEC in Braunschweig-Völkenrode vom 11.–14. Mai 1987 (Kongreßbericht im Druck)
- [24] *Kuntze, H.*: Belastung und Schutz von Gewässern durch die Landbewirtschaftung. *Bodenkultur* 31, 12–25 (1980)
- [25] *Amberger, A. und Vilsmeier, K.*: Umsetzungen von Kalkstickstoff in Quarzsand und in verschiedenen Böden. *Z. Acker- u. Pflanzenbau* 148, 1–12 (1979)
- [26] *Vilsmeier, K. und Amberger, A.*: Modellversuche zum Umsatz von gemahlenem Kalkstickstoff und Perlkalkstickstoff in Abhängigkeit von Bodenfeuchtigkeit und Applikationsform. *Z. Acker- u. Pflanzenbau* 147, 68–77 (1978)