

# Schweinegülle und Klärschlamm: Einfluss auf N-Gehalt im Boden

Vito MEDIAVILLA, Werner STAUFFER und Albrecht SIEGENTHALER, Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrikulturchemie und Umwelthygiene (FAC), CH-3097 Liebefeld-Bern

**Langjährige sehr hohe Schweinegüllegaben mit 5 Tonnen organischer Substanz pro Hektare und Jahr erhöhten in einem Feldversuch auf sandigem Lehm den Gesamtstickstoffgehalt nur teilweise. Dagegen enthielt der Boden zeitweise grosse Mengen Nitrat. Die Gefahr einer Auswaschung oder Denitrifikation war somit gross. Sehr hohe Klärschlammgaben von 5 Tonnen organischer Substanz pro Hektare und Jahr bewirkten zwar einen starken Anstieg des gesamten Stickstoffgehaltes, doch blieb der Nitratgehalt des Bodens relativ niedrig.**

Stickstoff (N) ist im landwirtschaftlichen Pflanzenbau einer der wichtigsten und oft ertragslimitierenden Produktionsfaktoren. Die durchwurzelte Bodenschicht enthält etwa 10 t Stickstoff pro Hektare. Im Boden unterscheidet man prinzipiell zwei Formen von Stickstoff: den organisch gebundenen und den leichtlöslichen Stickstoff. Die erste Form, die rund 98 % des gesamten Stickstoffs ausmacht, ist für die Pflanze nicht verfügbar. Die leichtlösliche Form besteht vor allem aus Nitrat ( $\text{NO}_3^-$ ) und teilweise aus Ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ), selten aus Nitrit ( $\text{NO}_2^-$ ).

## Hohe Mengen Stickstoff

Organische Dünger wie Klärschlamm und Schweinegülle enthalten beträchtliche Mengen Stickstoff. Unter Sauerstoffeinfluss stabilisierte Klärschlämme enthalten in der Regel rund 45 kg Gesamtstickstoff pro Tonne Trockensubstanz (TS), davon rund 15 kg Ammoniumstickstoff und 30 kg organisch gebundenen Stickstoff. Nitrat ist im Klärschlamm praktisch nicht vorhanden. Schweinegülle enthält rund 5,1 kg Gesamtstickstoff pro  $\text{m}^3$ , davon den grössten Teil als Ammonium.

Der organisch gebundene Stickstoff kann im Boden zu Ammonium mineralisiert werden. Seinerseits kann  $\text{NH}_4^+$  durch Nitrifikation in Nitrat umgewandelt werden. Pflanzen nehmen in der Regel Nitrat auf, können aber auch Ammonium verwerten. Neben Stickstoffzufuhr (z.B. aus der Düngung), treten aus dem Bodenpool auch Stickstoffverluste auf. Aus Ammonium kann Ammoniak verflüchtigen. Nitrat kann ausgewaschen oder denitrifiziert werden. Stadelmann (1988) schätzt für die ganze landwirtschaftliche Fläche der

Schweiz (exklusiv produktive Sömmerungsweiden) die Verluste durch Denitrifikation auf 91 kg, die  $\text{NH}_3$ -Verflüchtigung auf 24 kg und die  $\text{NO}_3^-$ -Auswaschung auf 15 kg N pro Hektare und Jahr.

Im Rahmen eines langjährigen Freilandversuches (Abb. 1) an der Eidgenössischen Forschungsanstalt für Agrikulturchemie und Umwelthygiene (FAC) in Liebefeld-Bern wurde die Auswirkung sehr hoher Gaben Klärschlamm und Schweinegülle auf den Gehalt von leicht löslichem und Gesamt-Stickstoff im Boden (Abb. 2) untersucht (Furrer *et al.* 1982; Stadelmann 1982; Stadelmann 1983; Stadelmann und Furrer 1985; Stadelmann *et al.* 1985; Stadelmann *et al.* 1988; Siegen-

thaler und Stauffer 1990; Stadelmann *et al.* 1992; Mediavilla *et al.* 1995).

## Schweinegülle-Stickstoff ist leichtlöslich

Wie Abbildung 3 zeigt, schwankte der Gesamtstickstoff im Boden in den Jahren 1986 und 1990 zwischen 0,15 und 0,32 %. Die 10- bis 15jährige Düngung mit 5 t organischer Substanz (OS) in Form von Klärschlamm pro Hektare und Jahr bewirkte die höchsten Gehalte, die meist statistisch unterschiedlich zu den anderen Verfahren waren.

Bei der Dauerwiese wurden 1986 und 1990 sehr hohe Werte registriert (Abb. 3). Wie aus Tabelle 3 ersichtlich ist, wurde beim Verfahren 5 t OS Klärschlamm rund ein Drittel weniger Stickstoff gedüngt als beim Verfahren 5 t OS Schweinegülle. Trotzdem war der Gehalt an Gesamtstickstoff im Boden beim Klärschlamm immer höher und meistens statistisch gesichert. Klärschlamm enthält demzufolge mehr schwerlöslichen Stickstoff, Schweinegülle hingegen mehr Gesamtstickstoff; er ist zudem leichtlöslicher.

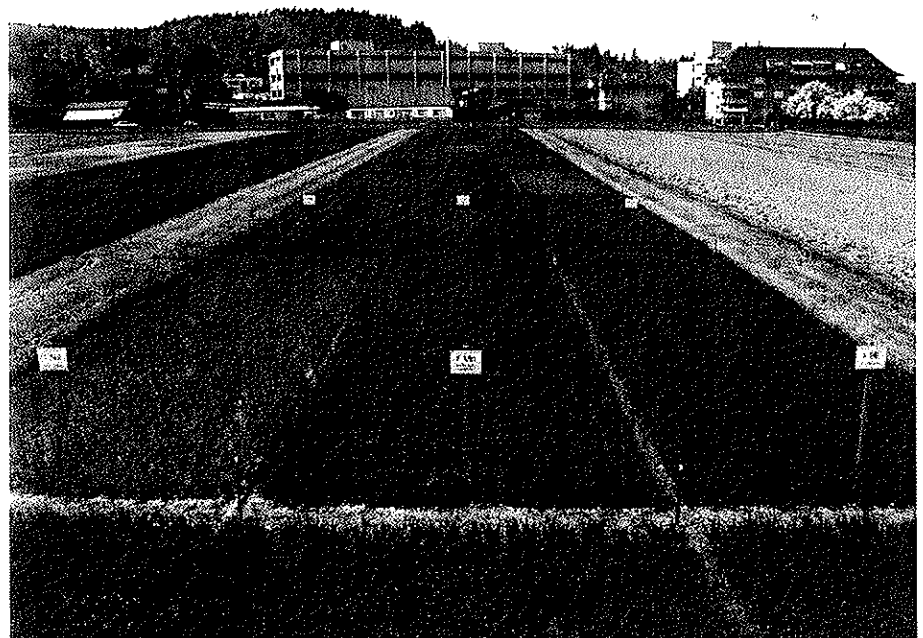


Abb. 1. Der Bodenbelastungsversuch in Liebefeld mit den Versuchspartellen, wo überhöhte Klärschlamm- und Schweinegüllegaben angewandt wurden. (Foto: J. Hättenschwiler)

**Tab. 1. Düngungsverfahren**

Verfahren	Düngung
1. 0	keine Düngung
2. Min	mineralische Volldüngung <sup>1</sup>
3. KS2	Klärschlamm, 2 t OS pro ha und Jahr
4. KS5	Klärschlamm, 5 t OS pro ha und Jahr
5. SG2	Schweinegülle, 2 t OS pro ha und Jahr
6. SG5	Schweinegülle, 5 t OS pro ha und Jahr

<sup>1</sup> nach den Richtlinien der eidgenössischen Forschungsanstalten (Hofer 1975, 1982; Walther *et al.* 1987)  
OS = Organische Substanz

## Versuchsanlage

Der Freilandversuch (Abb. 1) wurde 1976 in Liebefeld-Bern (565 m ü.M.) auf sandigem Lehm angelegt. Er war in vier Schläge eingeteilt. Auf den Schlägen A, B und C wurde eine dreijährige Rotation mit Silomais, Getreide und Kunstwiese durchgeführt. Auf Schlag D war eine Dauerwiese, die im Frühling 1988 erneuert werden musste. Es wurden sechs unterschiedliche Düngungsverfahren angewendet (vgl. Tab. 1 und 2).

Wurden die einzelnen Nährstoffgaben nach Düngungsrichtlinien mit Klärschlamm oder Schweinegülle nicht erreicht, so wurde eine Ergänzungsdüngung in mineralischer Form verabreicht.

Ab 1985 wurden im Schlag A, um die Nachwirkung der organischen Düngung zu prüfen, keine organischen Dünger mehr ausgebracht. Die Verfahren 2 bis 6 erhielten eine mineralische Düngung nach den Düngungsrichtlinien der Eidgenössischen Forschungsanstalten (Hofer 1975, 1982; Walther *et al.* 1987).

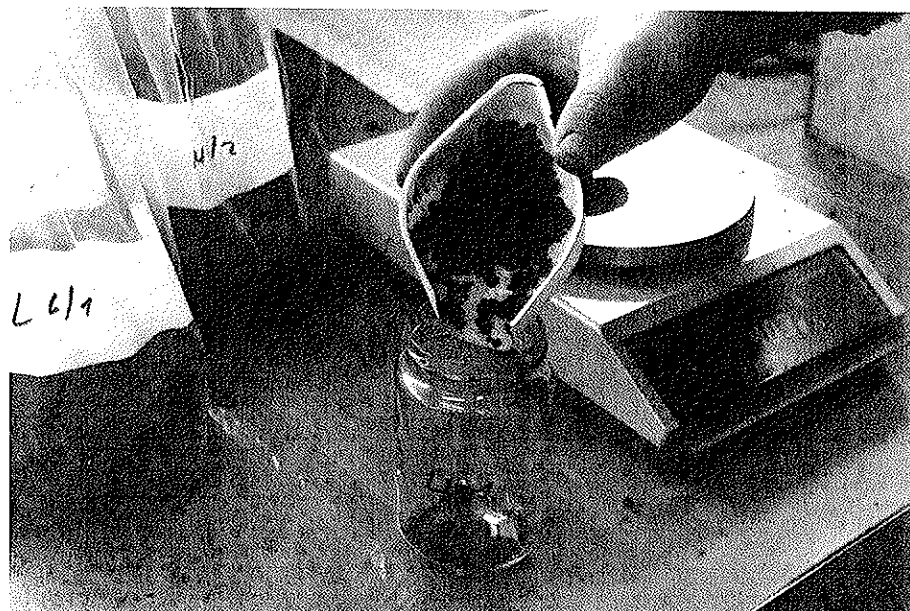


Abb. 2. Bodeneinwaage, um den Nitrat-Stickstoff zu bestimmen. (Foto: J. Hättenschwiler)

**Tab. 2. Mittlere Stickstoffgaben (kg pro Hektare und Jahr) auf den verschiedenen Schlägen**

Schlag	0	Min	KS2	KS5	SG2	SG5
A	0 (0)	152 (152)	182 (128)	311 (179)	252 (204)	483 (363)
B	0 (0)	146 (146)	204 (112)	412 (192)	276 (206)	608 (435)
C	0 (0)	158 (158)	205 (115)	416 (196)	264 (195)	616 (446)
D	0 (0)	202 (202)	226 (139)	400 (187)	301 (230)	638 (464)

Mittelwerte von 1976 bis 1990

In Klammer kurzfristig wirksamer Stickstoff ( $N_w$ ) nach Furrer (1978),  $N_w = (0,25 \cdot \text{Gesamt-N}) + (0,9 \cdot \text{NH}_4\text{-N})$

**Tab. 3. Geschätzter Stickstoffumsatz (kg/ha) von 1976 bis 1990 bei der dreijährigen Silomais-Getreide-Kunstwiese-Rotation und bei Dauergrünland**

Rotation	Verfahren	Entzug	Düngung	Biologische N-Fixierung	Atmosphärische Deposition	Saldo
Silomais- Getreide- Kunstwiese (Schlag C)	0	2929	0	675 <sup>1</sup>	600 <sup>2</sup>	-1654
	Min	3634	2375	675	600	16
	KS2	3572	3069	675	600	772
	KS5	4026	6240	675	600	3489
	SG2	3944	3952	675	600	1283
	SG5	5142	9237	675	600	5370
Dauer- grün- land (Schlag D)	0	3811	0	1350 <sup>3</sup>	600	-1861
	Min	4874	3035	1350	600	141
	KS2	4787	3388	1350	600	551
	KS5	4858	5992	1350	600	3084
	SG2	5307	4513	1350	600	1156
	SG5	6895	9575	1350	600	4630

<sup>1</sup> Geschätzt aus 90 kg N pro Hektare und Jahr und 50 % Kunstwiesenanteil in der Rotation

<sup>2</sup> Annahme, dass am Standort Liebefeld pro Jahr 40 kg N pro Hektare aus der Luft kommen

<sup>3</sup> Geschätzt aus 90 kg N pro Hektare und Jahr

Von der löslichen Fraktion des Bodenstickstoffs zeigt Abbildung 4 den Nitratgehalt im Boden im Herbst und Frühling. Aus einer detaillierten Betrachtung der Einzelverfahren geht hervor, dass die Düngung mit 5 t organischer Substanz pro Hektare

und Jahr in Form von Schweinegülle bei gewissen Beobachtungen signifikant höhere Nitratgehalte im Boden zur Folge hatte. In Einzelfällen bewirkte ebenfalls das Verfahren mit 5 t OS in Form von Klärschlamm signifikant höhere Nitratgehalte als die mineralische und die Nulldüngung.

Nach Einstellen der organischen Düngung im Jahre 1985 wies der Schlag A eindeutig tiefere Nitratgehalte auf als der Schlag B, wo die organische Düngung weitergeführt wurde. Einzig im Herbst 1986 wurde beim Verfahren mit 5 t OS Schweinegülle knapp 200 kg  $\text{NO}_3\text{-N}$  pro Hektare gemessen. Allerdings war zu diesem Zeitpunkt, wahrscheinlich durch die Witterung bedingt, auch in der Nullparzelle (ohne Düngung) ein relativ hoher  $\text{NO}_3\text{-N}$ -Gehalt von rund 100 kg pro Hektare vorhanden.

## Hohe Güllegaben - hohe Bodennitratgehalte

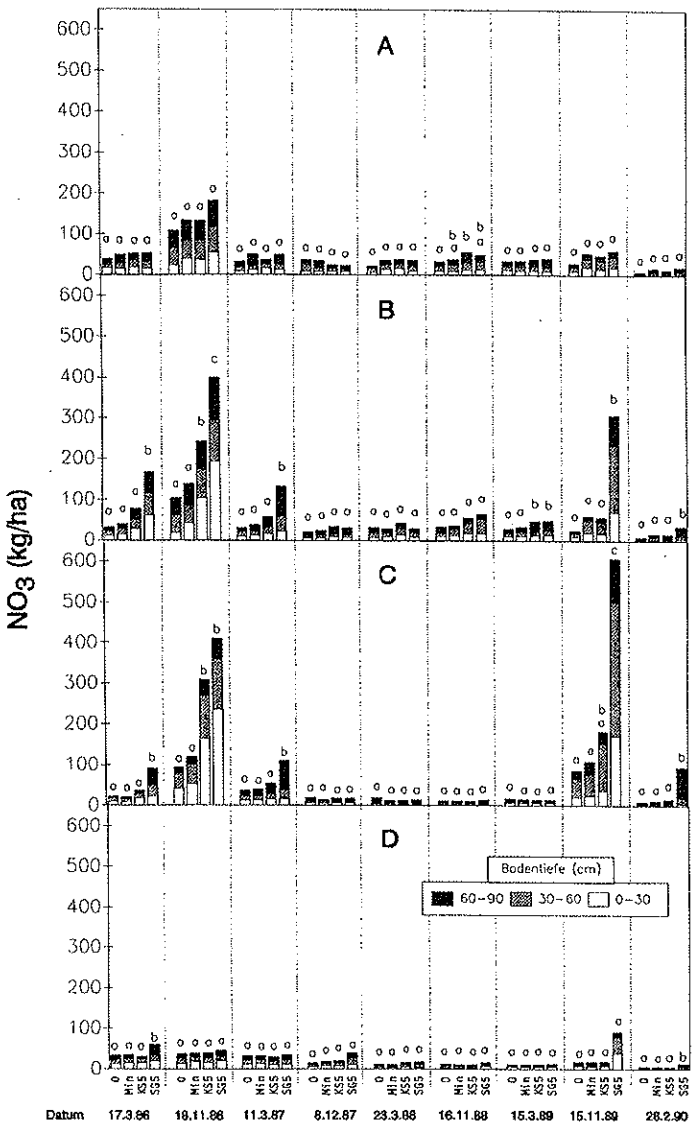
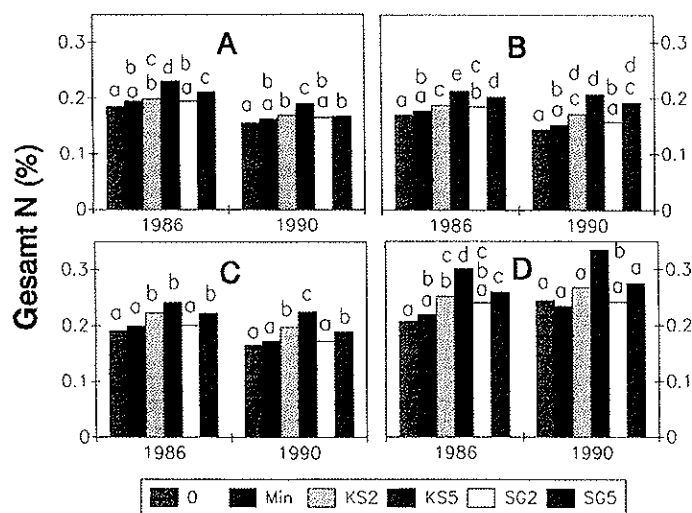
Im Schlag B fällt auf, dass im Herbst 1986 und 1989 Spitzengehalte von über 400 beziehungsweise 300 kg  $\text{NO}_3\text{-N}$  registriert wurden. In beiden Fällen handelte es sich

## Bestimmung des Stickstoffs und Auswertung

Von allen Parzellen wurden nach Vegetationsende Bodenproben aus 0 - 20 cm für die Schläge A, B und C und aus 0 - 10 cm Bodentiefe für Schlag D 10 bis 20 Bodeneinstichen, pro Parzelle entnommen und zu einer Mischprobe vereint. Daraus wurde der Gesamtstickstoff nach Kjeldahl bestimmt. Ebenfalls nach Kjeldahl wurde der gesamte Stickstoffgehalt in den organischen Düngern und im geernteten Pflanzengut analysiert.

Als wichtigster Vertreter des leichtlöslichen Stickstoffs wurde der Nitratgehalt des Bodens (Abb. 2) bestimmt. Die Probenahme erfolgte mittels Bohrer im Frühling und im Herbst mit vier bis fünf Wiederholungen pro Parzelle aus 0 - 30, 30 - 60 und 60 - 90 cm Bodentiefe. Die Extraktion erfolgte unmittelbar nach der Probenahme mit 50 g Boden in destilliertem Wasser. Das Nitrat wurde mit ionenselektiven Elektroden bestimmt. Eine Umrechnung aus dem extrahierten Nitrat zum Volumenanteil erlaubte den Ausdruck in kg Nitrat pro Hektare (FAC 1989).

Durch eine einfache Streuungserlegung und den Tukey-Test wurde die Homogenität der Mittelwerte bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit ( $p \leq 0,05$  getestet. Die dargestellten Ergebnisse sind Mittelwerte.



▲ Abb. 4. Nitratgehalt des Bodens zu verschiedenen Zeitpunkten und Tiefen bei verschiedenen Schlägen und Düngungsverfahren (vgl. Tab. 1). Gleiche Buchstaben zeigen, dass sich die Verfahren im bestimmten Jahr und Schlag bei  $p \leq 0,05$  nicht statistisch voneinander unterscheiden.

♣ Abb. 3. Gesamt-Stickstoffgehalt des Bodens in den Jahren 1986 und 1990 bei verschiedenen Düngungsverfahren aller Schläge (vgl. Tab. 1). Gleiche Buchstaben zeigen, dass sich die Verfahren im bestimmten Jahr und Schlag bei  $p \leq 0,05$  nicht statistisch voneinander unterscheiden.

um die Verfahren mit 5 t organischer Substanz in Form von Schweinegülle. Im Schlag C wurden im Herbst 1986 und 1989 wiederum extrem hohe Nitratgehalte bei 5 t OS Schweinegülle gemessen: am 18.11.86 über 400 und am 15.11.89 sogar 600 kg  $\text{NO}_3\text{-N}$  pro Hektare, wobei das meiste Nitrat in der Schicht 30 - 60 cm lag. In diesem Fall dürfte die Rotation der Kultur und die Bodenbearbeitung einen entscheidenden Einfluss gehabt haben. Im Monat Mai 1986 und 1989 wurde die Kunstwiese umgebrochen und Silomais eingesät. Es ist deshalb anzunehmen, dass nach dem Umbruch grosse Mengen an organisch gebundenem Stickstoff mineralisiert und nitrifiziert wurden. Vermutlich wurde das Nitrat, da es im nachfolgenden

Frühling nicht mehr nachgewiesen werden konnte, mit dem Niederschlagswasser ausgewaschen oder denitrifiziert. Nur die Dauerwiese (Schlag D) wies sehr tiefe Nitratgehalte auf. Einzig am 15.11.89 wurden bei SG5 rund 100 kg  $\text{NO}_3\text{-N}$  pro Hektare registriert. Die Nitratgehalte im Futter dürfen aber nicht ausser acht gelassen werden. Aus dem geschätzten Stickstoffumsatz (Tab. 3) geht hervor, dass der Saldo aus Entzügen minus Düngung, biologischer Stickstoff-Fixierung und atmosphärischer Deposition einzig in der Nulldüngung negativ war. Es ist daher anzunehmen, dass der Boden aus den Reserven von organisch gebundenem Stickstoff dieses Manko kompensieren konnte.

Die mineralische sowie die Düngung mit 2 t OS Klärschlamm haben eine einigermaßen ausgeglichene Bilanz. Eindeutiges Überangebot an Stickstoff verzeichneten die Verfahren KS5, SG2 und SG5. Hohe Schweinegüllegaben in Kombination mit Bodenbearbeitung führten zu einer starken Mineralisation und Nitrifikation des Stickstoffs (Schlag C, Verfahren SG5). Die sich daraus ergebenden Verluste durch Denitrifikation und Auswaschung waren wahrscheinlich gross. Es ist möglich, die Stickstoffverluste beispielsweise für das Verfahren SG5 zu schätzen. Daraus dürfte pro Hektare innerhalb der 15 Versuchsjahre rund 3 t Stickstoff denitrifiziert (60 %), 1,5 t als Ammoniak verflüchtigt (30 %) und 0,5 t ausgewaschen

(10 %) worden sein. Für das Verfahren mit 2 t organischer Substanz Schweinegülle (in der Praxis durchaus möglich) würde bei einem Düngerepreis von SFr. 1,50 pro kg N einen Verlust von SFr. 1800.- pro Hektare (SFr. 120.- pro Hektare und Jahr) bedeuten.

Das Problem ist aber nicht nur finanzieller Art: Die Landwirtschaft gilt bereits als Hauptverantwortlicher für  $\text{NH}_3$ -Emissionen in die Luft. Ausserdem sorgt die Trinkwasserbelastung durch Nitrat aus der Landwirtschaft immer wieder für Schlagzeilen.

## Gefahr von Stickstoffverlusten

Der Gesamtstickstoffgehalt wurde durch sehr hohe Schweinegüllegaben (5 t OS pro Hektare und Jahr) nur teilweise signifikant erhöht. Die Überdüngung mit Schweinegülle führte zu bestimmten Zeiten, insbesondere nach einer Bodenbearbeitung, zu hohen Nitratgehalten im Boden.

Überhöhte Gaben (5 t OS pro Hektare und Jahr) von Klärschlamm haben einen signifikanten Anstieg des Gesamtstickstoffgehaltes des Bodens bewirkt. Offenbar wurde dank des niedrigeren Anteils an löslichem Stickstoff im Klärschlamm im Boden auch weniger Nitrat gebildet.

Hohe Nitratgehalte des Bodens bergen die Gefahr einer Auswaschung ins Grundwasser oder Stickstoffverluste durch Denitrifikation in sich. Neben einer Belastung von Wasser und Luft ist dies für den Landwirt auch ein finanzieller Verlust. Zu hohes Nitratangebot für die Pflanze kann in der Fütterung wegen überhöhter Nitratgehalte zu Problemen führen. Hingegen bietet Dauergrünland nach wie vor einen wesentlichen Schutz gegen Nitratverluste.

### LITERATUR

FAC (Hrsg.), 1989. Methoden für Bodenuntersuchungen, Méthodes pour l'analyse des sols. Schriftenreihe 5, Eidg. Forschungsanstalt für Agrikulturchemie und Umwelthygiene (FAC), Liebefeld-Bern, 34-38.

Furrer O.J., 1977. Der Düngungswert des Klärschlammes. Informationstagung: Klärschlamm-Verwertung in der Landwirtschaft, Schweiz. landw. Technikum Zollikofen, Hrsg. Eidg. Forschungsanstalt für Agrikulturchemie und Umwelthygiene (FAC), Liebefeld-Bern, 13-43.

Furrer O.J. und Bolliger R., 1978. Die Wirksamkeit des Stickstoffs im Klärschlamm. *Schweiz. Landw. Fo.* 17 (3/4), 137-147.

Furrer O.J., Stadelmann F.X. und Lehmann V., 1982. Die Wirkung steigender Gaben von Klärschlamm und Schweinegülle in Feldversuchen. I. Versuchs-

programm und Auswirkungen auf Pflanzenenertrag. *Schweiz. Landw. Fo.* 21 (3/4), 225-237.

Hofer H., 1975, 1982. Pflanzenernährung und Düngung. Witz, Aarau.

Mediavilla V., Stauffer W. und Siegenthaler A., 1995. Schweinegülle- und Klärschlamm: Einfluss auf Bodeneigenschaften. *Agrarforschung* 2 (5), 193-196.

Siegenthaler A. und Stauffer W., 1990. Long-term Excessive Slurry and Sewage Sludge Application: Environmental Effect and Measures. FAO-Consultation of European Cooperative Research Network on Animal Waste Utilisation, Bologna, Italy, 84-89.

Stadelmann F.X., 1982. Die Wirkung steigender Gaben von Klärschlamm und Schweinegülle in Feldversuchen. II. Auswirkungen auf Population und Aktivität von Bodenmikroorganismen. *Schweiz. Landw. Fo.* 21 (3/4), 239-259.

Stadelmann F.X., 1983. Belastbarkeit des Bodens mit Hofdünger und Abfallstoffen. Verband Schweiz. Abwasserfachleute, *Verbandsbericht* 246, 25-33.

Stadelmann F.X. and Furrer O.J., 1985. Long-term Effects of Sewage Sludge and Pig Slurry Application on micro-biological and chemical Soil Properties in Field Experiments. Long-term Effects of Sewage Sludge and Farm Slurries Applications, Proceedings of a Round-Table seminar organized by the CEC, Directorate-General Science, Research and Development, Environmental Research Programme on Long-term Effects of Sewage Sludge and Farm Slurries Application, Pisa, Italy, 25-27 Sept 1984, Ed. Williams, Guidi, L'Hermitte, 136-145.

Stadelmann F.X., Furrer O.J., Lehmann V. und Moeri P.B., 1985. Die Wirkung steigender Gaben von Klärschlamm und Schweinegülle auf Nitratgehalt von ein- und mehrjährigem Klee gras. *Landw. Fo., Kongressband* 1984, 188-200.

Stadelmann F.X., 1988. N in der Landwirtschaft: Kreislauf, Probleme, Verluste, Synthese, Schlussfolgerungen. FAC-Schriftenreihe 7, Oktobertagung 1988: Stickstoff in der Landwirtschaft, Luft und Umwelt, Hrsg. Eidg. Forschungsanstalt für Agrikulturchemie und Umwelthygiene (FAC), Liebefeld-Bern, 141-191.

Stadelmann F.X., Frossard R., Furrer O.J., Lehmann V. und Moeri P.B., 1988. Wirkung und Nachwirkung langjähriger hoher Klärschlamm- und Schweinegüllegaben auf die Qualität von Knollensellerie. *VDLUFA-Schriftenreihe* 23, Kongressband 1987, 857-882.

Stadelmann F.X., Frossard R., Furrer O.J., Lehmann V. und Moeri P.B., 1992. Nachwirkungen eines langjährig intensiv organisch überdüngten Bodens auf die Spinatqualität 3 Jahre nach Umstellung auf reduzierte mineralische Düngung. *VDLUFA-Schriftenreihe* 28, Kongressband 1992.

Walther U., Ryser J.-P., Flisch R. und Siegenthaler A., 1987. Düngungsrichtlinien für den Acker- und Futterbau. Hrsg. FAP, RAC, FAC.

### RÉSUMÉ

**Effet de l'épandage de très fortes quantités de boues d'épuration et de purin de porcs sur l'azote total et l'azote nitrique du sol**

Dans un essai en plein champ, on a étudié les conséquences d'apports très élevés de purin de porcs et de boues d'épuration sur la teneur en azote total

et en nitrate d'un sol argilo-sableux de Liebefeld-Berne (565 m s. m.).

De très importantes quantités de purin de porcs (5 t/ha/an de matière organique) n'ont augmenté que de très peu la teneur d'azote total du sol. Par contre, la teneur en nitrates s'est fortement accrue. Le danger d'un lessivage et d'une dénitrification était important.

Les très hauts apports de boues d'épuration (5 t/ha/an de matière organique) ont provoqué une augmentation marquée de la teneur en azote total, alors que celle en nitrates est demeurée relativement faible.

### SUMMARY

**Effect of very high Pig Slurry and Treated Sewage Sludge Applications on Total and Nitrate Nitrogen Content of the Soil**

Over many years very high levels of pig slurry and treated sewage sludge have been applied to a sandy clay soil in Liebefeld -Berne (565 m a. s. l.) in order to examine the effect on the contents of total and nitrate nitrogen of the soil.

High application of pig slurry (5 t organic matter (OS) per hectare per annum) caused a low increase of the total soil nitrogen content whereas the soil content of nitrate nitrogen was strongly increased. The danger of nitrate leaching and denitrification was important. Very high applications of treated sewage sludge (5 t of OS per hectare per annum) had a high increase on the total soil nitrogen content, in contrast the nitrate content was low.

**KEY WORDS:** Field trial, overfertilization, pig slurry, sewage sludge, total soil nitrogen, soil nitrate content.

### RIASSUNTO

**Effetto di apporti eccessivi di letame liquido suino e di fanghi di depurazione sul contenuto d'azoto totale e di nitrato del suolo**

In un esperimento effettuato a lungo termine in pieno campo su limo sabbioso a Liebefeld-Berna (565 m sopra il mare) si sono studiati gli effetti di apporti eccessivi di letame liquido suino e di fanghi di depurazione sul contenuto totale d'azoto e di nitrato del suolo.

Quantità estremamente elevate di letame liquido suino (5 t sostanza organica per ettaro e anno) hanno provocato un leggero aumento dell'azoto totale del suolo. Il contenuto di nitrato è invece aumentato considerevolmente. Il pericolo di dilavamento e di denitrificazione si è conseguentemente aggravato.

Apporti estremamente alti di fanghi di depurazione (5 t sostanza organica per ettaro e anno), sebbene abbiano aumentato il contenuto d'azoto totale del terreno, non hanno provocato che un piccolo incremento del nitrato.