

CENTRUM VOOR AGROBIOLOGISCH ONDERZOEK

WAGENINGEN

EINFLUSS JÄHRLICHER DÜNGUNG VON GRAS MIT
KLÄRSCHLAMM AUF DEN GEHALT AN SCHWERMETALLEN
UND AUF DEN TROCKENSUBSTANZERTRAG

O.J. Hemkes, A. Kemp und

L.W. van Broekhoven

CABO-verslag nr. 44

<u>INHALT</u>	<u>Seite</u>
Einleitung	5
Versuchsplan	5
Zusammenhang zwischen den Gehalten von Boden und Pflanzenbestand	6
Einfluss des Wachstumsstadiums auf die Aufnahme an Schwermetallen	7
Einfluss von Jahreszeit und Handelsdünger-N auf die Gehalte an Schwermetallen	8
Einfluss von Schlamm auf den Trockensubstanzertrag	10
Einfluss von Ammoniumnitrat als N-Dünger auf die Gehalte des Grases an Schwermetallen	11
Gehalte an Cd, Pb und Zn in <i>Trifolium repens</i> , <i>Taraxacum officinale</i> und <i>Ranunculus acer</i>	11
Zusammenfassung	12
Literatur	13
Tabellen	14
Figuren	15

EINLEITUNG

In einer früheren Veröffentlichung (Hemkes u.a., 1980) wurde die Zunahme der Klärschlammproduktion erwähnt sowie die Tatsache, dass ein erheblicher Teil dieses Schlammes in der Landwirtschaft Anwendung findet. Es wurde näher eingegangen auf die Wirkung jährlicher Klärschlammdüngung auf den Gehalt verschiedener Schichten des Bodenprofils an Schwermetallen. In der vorliegenden Veröffentlichung soll die Wirkung solcher jährlicher Düngung auf den Gehalt des Grases an Schwermetallen besprochen werden. Die Daten des ersten Versuchsjahres über den Zusammenhang zwischen Boden und Pflanzen und die Wirkung von Wachstumsstadium und N-Düngung auf die Aufnahme sind grossenteils ausser Betracht gelassen. Nach der ersten Schlammdüngung war die Aufnahme an Schwermetallen durch das Gras infolge ungenügenden Eindringens in den Boden und/oder infolge noch geringer Verfügbarkeit dieser Metalle sehr gering.

VERSUCHSPLAN

1973 wurde in Wageningen auf Dauergrünland auf Sandboden (ca. 5% organische Substanz, pH-KCl 5,9 in der Schicht 0-5 cm) ein mehrjähriges Mähversuchsfeld angelegt. Um neben dem Einfluss der Jahreszeit auf die Gehalte des Grases an Schwermetallen auch die Wirkung des Wachstumsstadiums zu verfolgen, wurden ausser dem Objekt "Weidegras" auch die Objekte "Silagegras" und "Heugras" in den Versuchsplan aufgenommen, alle dreifach.

Als Massstab für diese Objekte wurden Trockensubstanzerträge von 1500-2000 beziehungsweise 3000-4000 und 4000-5000 kg/ha genommen. Jedes Objekt wurde jährlich im Februar gedüngt mit Schwermetalle enthaltendem Klärschlamm: 0, 6, 12 und 18 Tonnen Trockensubstanz je ha. Diese Mengen sind in den Figuren und mitunter auch im Text bezeichnet als S_0 , S_6 , S_{12} und S_{18} . Die Klärschlammdüngungen wurden kombiniert mit 0 beziehungsweise 30, 60 und 90 kg Handelsdünger-N je ha und Schnitt, in den Figuren bezeichnet mit N_0 , N_{30} , N_{60} und N_{90} .

Vom Object "Weidegras" wurden die ganze Weidezeit hindurch stets im Weidestadium Proben genommen und zur Ertragsbestimmung wurde es gemäht. Aber auch nach der Wachstumszeit wurden vom Gras dieses Objektes noch mehrmals Proben genommen, und zwar um festzustellen, ob sich nach der Wachstumszeit bis in den Winter die Gehalte des Grases noch ändern würden. Proben von den Objekten "Silagegras" und "Heugras" wurden nur vom ersten Schnitt genommen.

Damit die Narbe nicht durch zu vieles Mähen geschädigt würde, wurde das Versuchsfeld jedes zweite Jahr mit Jungrindern beweidet. Infolgedessen konnten nur von 3 von den 5 Jahren Schlammdüngung Daten gesammelt werden. Um Nivellierung der Bodengehalte an Schwermetallen infolge der Beweidung zu verhüten, wurden die Tiere jeweils nach einem Tag Versuchsfeldweide 2 Tage auf einer andern Fläche geweidet um "rein" zu werden.

Die Grasproben wurden analysiert auf Trockensubstanz, N, Cd, Pb, Zn, Cu, Ni, Mo, Mn und Fe.

Die ersten Jahre wurde der Handelsdünger-Stickstoff ausschliesslich in Form von Kalkammonsalpeter gegeben. Um die Wirkung eines sauren N-Düngers auf die Aufnahme von Schwermetallen durch das Gras festzustellen wurde im letzten Jahr auch Ammoniumnitrat als N-

Quelle benutzt. Die Pflanzenproben wurden analysiert in der Weise, die beschrieben ist in der Veröffentlichung über die Anhäufung von Schwermetallen im Boden (Hemkes u.a., 1980).

ZUSAMMENHANG ZWISCHEN DEN GEHALTEN VON BODEN UND PFLANZENBESTAND

Die chemische Zusammensetzung des im Versuche verwendeten Schlammes wird gezeigt in Tabelle 1. Im Vergleich zu den mit dem Schlamm zugeführten Mengen war der Entzug an Schwermetallen durch das Gras gering. Im letzten Versuchsjahr hatte infolge der wiederholten Düngung mit Klärschlamm der Gehalt des Bodens an den meisten Metallen stark zugenommen. Trotzdem wurden in dasselbe Jahr von den Metallen Cd, Pb, Zn, Cu, Ni und Fe nicht mehr als 5% von den in dem Jahr mit dem Schlamm zugeführten Mengen durch das Gras aufgenommen. Der Entzug von Cd, Pb, Cu und Fe war vielfach sogar weniger als 1% der zugeführten Mengen. Abhängig von der mit dem Schlamm zugeführten Menge Mo wurden hiervon 10-20% vom Gras aufgenommen. Auf dem Objekt mit der höchsten Schlammgabe wurde der geringste Prozentsatz Mo aufgenommen. Dies gilt auch für Mn, von dem 5-15% der zugeführten Menge ins Gras kam.

Das pH des Bodens hat auf dem Objekt mit der schwersten Schlammdüngung im Laufe der 5 Versuchsjahre von ca. 6 auf ca. 7 (pH-KCl) zugenommen. Zu Ende der Versuchsperiode hatte die Bodenschicht 0-5 cm dieses Objektes einen Cd-Gehalt von 44 ppm; der Cd-Gehalt des Grases war durchschnittlich in der ganzen Wachstumsperiode bei einer Handelsdünger-N-Düngung von 420 kg je ha und Jahr 2,4 ppm. Lagerwerff (1971) fand bei Radieschen, dass Steigerung des pH von 5,9 auf 7,2 zu niedrigeren Gehalten der Pflanze an Cd, Pb und Zn führte. Später wiesen auch Williams und David (1976) und Dijkshoorn u.a. (1979) die Wirkung des Boden-pH auf den Cd-Gehalt der Pflanzen nach. Daraus kann man schliessen, dass Herabsetzung des pH auf einen für Sandgrünland normaleren Wert bestimmt zu höheren Cd-Gehalten des Grases geführt hätte. Es lässt sich aber schwerlich genau angeben, auf welchen Wert der Cd-Gehalt dann gestiegen wäre; wahrscheinlich könnte man 10 ppm oder sogar noch etwas mehr erwarten. Auch dann wäre die aufgenommene Menge Cd bei gleichem Trockensubstanzertrag noch gering im Vergleich mit der zugeführten Menge.

Der im allgemeinen geringe Entzug von Schwermetallen durch das Gras besagt nicht, dass die wiederholten Schlammdüngungen keinen Einfluss auf die Gehalte des Grases gehabt hätten. Die Gehalte des Grases an den meisten der hier betrachteten Metalle haben im Laufe des Versuches deutlich zugenommen. Figur 1 zeigt, dass die zugenommenen Bodengehalte (Schicht 0-5 cm) bei den meisten Metallen zu einer Steigerung ihres Gehaltes im Gras führten. Das gilt besonders für Cd, Zn, Cu, Ni und Mo. Die Streuung der Punkte bei gleichem Bodengehalt geht hauptsächlich auf die Wirkung des Handelsdüngerstickstoffs zurück. Darauf wird später noch eingegangen.

Es sieht danach aus, dass unter den Versuchsverhältnissen weitere Zunahme des Bodenvorrates an den genannten Metallen nicht zu viel höheren Gehalten des Grases geführt hätte. Der Cd-Gehalt des Grases würde dann - durchschnittlich in der Wachstumszeit - nicht viel höher steigen als auf 2,5 bis 3 ppm. Das ist aber schon mehr als 10 mal soviel wie der Anfangsgehalt. Eine Art Höchstwert vom Cd-Gehalt der Pflanze zeigte sich auch bei Gefässversuchen von Williams und David (1977) mit Klee. Eine Erhöhung des Cd-Gehaltes der Bodenschicht 0-2 cm von 1 auf 25 ppm hatte eine Steigerung des Cd-Gehaltes der Pflanze auf

fast das 15-fache zur Folge. Aber weitere Erhöhung des Bodengehaltes auf 100 ppm führte zu keiner weiteren Zunahme des Gehaltes der Pflanze. Wurde diese Menge Cd im Boden aber durch das ganze Gefäß gemischt, so stieg der Cd-Gehalt der Pflanze nochmals auf das 8-fache bei sehr stark herabgesetztem Trockensubstanzertrag. Daher könnte oberflächlich auf Grünland aufgebrachtter Schlamm vielleicht viel mehr Schaden verursachen nach zum Beispiel Pflügen und Neuansaat.

Aus Figur 1 geht hervor dass eine Erhöhung des Zn-Gehaltes des Bodens von 30 auf 600 ppm den Zn-Gehalt des Grases steigerte von ungefähr 40 auf 100 ppm. Auch der Cu-Gehalt des Grases, der von ca. 7 auf ca. 15 ppm zunahm, war anscheinend dem Höchstwert nahe. Eine 20-fache Erhöhung des Ni-Gehaltes des Bodens steigerte den Ni-Gehalt des Grases auf das 8-fache: von 2 auf 17 ppm. Der Mo-Gehalt nahm im Gras fast auf das 10-fache zu: von etwas weniger als 2 auf etwa 17 ppm. Es sieht danach aus, dass der Ni-Gehalt des Grases noch weiter steigen könnte, während der Mo-Gehalt unter den Versuchsverhältnissen den Höchstwert nahezu erreicht hat.

Aus Figur 1 geht weiter hervor, dass die Gehalte des Grases an Pb und Fe kaum höher wurden. Eine Erhöhung des Boden-Pb-Gehaltes von 20 auf 80 ppm steigerte den Gehalt des Grases von gut 3 auf etwa 5 ppm. Weitere Zunahme des Pb-Gehaltes des Bodens auf fast 200 ppm führte nicht zu weiterer Erhöhung des Gehaltes des Grases. Das stimmt zu den Schlüssen von Jones u.a. (1973) und von Smilde (1981), dass der Pb-Gehalt der oberirdischen Teile von *Lolium perenne* schlecht mit der Menge Boden-Pb korreliert ist.

Die Fe-Gehalte des Bodens haben prozentisch weniger zugenommen: von gut 4000 auf gut 9000 ppm. Bis zum Bodengehalt von 5000 ppm war die Streuung der Fe-Gehalte des Grases ziemlich gross: 110-180 ppm. Nach weiterer Steigerung der Bodengehalte auf gut 9000 ppm kamen bis auf eine einzige Ausnahme Gehalte des Grases von weniger als 150 ppm nicht mehr vor, Gehalte über 180 ppm aber auch kaum.

Die Wirkung der Schlammdüngung auf die Mn-Gehalte des Grases war der auf die Gehalte an andern Metallen entgegengesetzt. Bei einem Boden-Mn-Gehalt von ca. 200 ppm waren die Mn-Gehalte des Grases zwischen 115 und 85 ppm. Bei Zunahme der Menge Bodenmangan bis zum 400 ppm nahmen die Gehalte des Grases ab auf Werte zwischen 70 und 90 ppm. Dass die Aufnahme von Mn durch die Pflanze stark vom pH abhängt wies Dijkshoorn (1962) nach in Gefäßversuchen mit *Lolium perenne* und Williams (1977) in Gefäßversuchen mit Klee und auch mit Hafer. Aus diesen Versuchen wurde der Eindruck gewonnen, dass beim alkalischer Werden des Bodens der Mn-Gehalt der Pflanzen je pH-Einheit auf die Hälfte abnahm. Es ist denn auch sehr wahrscheinlich, dass im Feldversuch die Mn-Aufnahme durch das Gras mehr durch das gestiegene pH als durch die zugenommene Menge Boden-Mn beeinflusst wurde.

EINFLUSS DES WACHSTUMSSTADIUMS AUF DIE AUFNAHME AN SCHWERMETALLEN

Weil nach dem Versuchsplan das Wachstum des ersten Schnittes Weide-, Silage- und Heugras zu demselben Zeitpunkt angefangen hat, eigneten sich diese Schnitte am meisten für eine Vergleichung der genannten Wachstumsstadien in bezug auf die Aufnahme an Schwermetallen. Da der N-Gehalt des Grases beim Altern des Grases abnimmt, wurde dieser Gehalt als Mass für das Wachstumsstadium genommen. Der

Metallgehalt konnte nun als Abhängige vom N-Gehalt dargestellt werden. Diese Beziehung zeigen die Figuren 2 und 3 für die verschiedenen Metalle auf den vier Schlammobjekten S₀, S₆, S₁₂ und S₁₈.

Ohne Schlammdüngung lagen für jedes Metall die Gehalte des Grasses in den drei Wachstumsstadien im allgemeinen einander ziemlich nahe. Ein Zusammenhang zwischen Metall- und N-Aufnahme durch das Gras war auf dem S₀-Objekt denn auch nicht oder kaum sichtbar. Die Zink- und in geringerem Masse auch die Kupfer- und Nickelgehalte schienen etwas zuzunehmen bei höheren N-Gehalten. Für Cadmium war dies noch weniger deutlich. Eine sehr schwache Tendenz zu höheren Gehalten bei zunehmenden N-Gehalten scheint aber auch hier vorzuliegen.

Obwohl für die einzelnen Jahre ein Zusammenhang zwischen den Gehalten an Mangan und Stickstoff nicht vorhanden zu sein scheint, macht doch das Ganze den Eindruck, dass höhere N-Gehalte des Grasses geringere Mn-Gehalte zur Folge gehabt haben - besonders auch, weil auf dem Objekt ohne Schlammdüngung der störende Faktor der pH-Änderung nicht vorgekommen ist.

Auf den Objekten mit den verschiedenen Schlammgaben waren in beiden Jahren 1975 und 1977 besonders die Gehalte an Cd, Zn, Cu und Ni höher, je nachdem das Gras jünger und somit der N-Gehalt höher war. Bei Mo war das nur im Jahre 1975 der Fall; 1977 war der Zusammenhang zwischen dem Mo- und dem N-Gehalt weniger klar und schien eher negativ als positiv.

Ebenso wie bei Mo nahm auch bei Pb nur 1975 der Gehalt zu, je nachdem der N-Gehalt höher war. 1977 war kein Unterschied zwischen den Pb-Gehalten von Silagegras und von Heugras zu beobachten. Aber eine Vergleichung zwischen den Gehalten in diesen Wachstumsstadien und in Weidegras deutet doch wieder auf eine N-Wirkung auf den Pb-Gehalt hin. Was bei Mangan auf dem S₀-Objekt sichtbar war, nämlich niedrigere Mn-Gehalte des Grasses bei steigenden N-Gehalten, galt auch für das S₆-Objekt. Bei den höheren Schlammdüngungen war dieses Bild aber nahezu verschwunden. Die Fe-Gehalte des Grasses in den verschiedenen Wachstumsstadien waren auf dem S₀-Objekt nur wenig verschieden. Einen N-Einfluss auf die Fe-Aufnahme liess sich hier denn auch nicht beobachten. Auf den Objekten mit Schlammdüngung ging aber ein steigender N-Gehalt des Grasses mit einer Zunahme des Fe-Gehaltes einher.

EINFLUSS VON JAHRESZEIT UND HANDELSDÜNGER-N AUF DIE GEHALTE AN SCHWERMETALLEN

Der Verlauf der Gehalte an Schwermetallen in Weidegras während der Wachstumszeit und der darauf folgende Wintermonate ist für die einzelnen Schlammobjekte und die zugehörigen Gaben Handelsdüngers dargestellt in den Figuren 4 bis 11.

Man sieht, dass der Cd-Gehalt des Grasses in den drei Versuchsjahren auf dem Objekt ohne Schlammdüngung zu Ende der Wachstumszeit auf etwa 0,4 ppm zugenommen hatte. Das heisst, dass der Gehalt ca. 3-mal so hoch geworden war. Eine Zunahme des Gehaltes auf dem S₀-Objekt zeigte sich während der Wachstumszeit auch bei Zn, Cu, Ni und in geringerem Masse bei Mo.

Wo mit Schlamm gedüngt war, erhöhte sich der Cd-Gehalt - abhängig von der mit diesem Schlamm zugeführten Menge Cd und auch abhängig von der Menge Handelsdünger-N - auf 3 ppm und höher. Dies war der Fall im Jahre 1977 auf den Objekten S₁₂ und S₁₈. Die Spitzen der Cd-Gehalte

Juli-August 1975 auf diesen Objekten gehen wahrscheinlich auf Bodenverunreinigung in den Proben zurück. Eine Erhöhung des Cd-Gehaltes wie im Jahre 1977 heisst, dass der ursprüngliche Gehalt mehr als 15-mal so hoch wurde. In gleichem Masse erhöhte sich der Gehalt bei Ni. Unter denselben Verhältnissen hatte der Gehalt an Mo noch stärker zugenommen. Ausser der Erhöhung des Boden-Mo könnte das gestiegene pH hierauf von Einfluss gewesen sein. Das stimmt zu Befunden von Williams (1977), dass im Gegensatz zu Cd, Pb, Zn, Cu und Mn der Gehalt an Mo in *Trifolium subterraneum* stark zunahm bei einer pH-Steigerung von 6 auf 7.

Die Gehalte an Cu und Zn wurden während der Wachstumszeit nicht mehr als 3- bis 4-mal so hoch und der Fe-Gehalt noch etwas weniger.

Blei und Mangan bildeten eine Ausnahme hiervon. Wie man auch in Figur 5 sieht, haben die verschiedenen Schlammdüngungen den Pb-Gehalt des Grases kaum erhöht. Ebenfalls sieht man, dass sich während der Weidezeit der Pb-Gehalt kaum änderte; auf allen Objekten war er um 4 ppm. Auffällig ist aber, dass auf diesen Objekten die Gehalte nach dem September (also nachdem zum letztenmal gemäht worden war) stark anstiegen. Diese Zunahme setzte sich in den Wintermonaten fort, wobei Werte von 20 bis 28 ppm erreicht wurden. Auch Mitchell und Reith (1966) stellten eine starke Zunahme des Pb-Gehaltes von Weidegras nach dem Ende des Wachstums fest. Auf Grund ihrer Beobachtungen dachten sie an Transport von während des Wachstums in den Wurzeln eingelagertem Blei nach den oberirdischen Teilen. Wäre dies auch unter unseren Verhältnissen der Fall gewesen, so haben entweder die Wurzeln auf den verschiedenen Schlammobjekten gleich viel Blei aufgenommen oder der Transport nach den oberirdischen Teilen ist infolge irgendeines Mechanismus unabhängig von der Menge Blei in den Wurzeln. Beide Möglichkeiten sind wenig wahrscheinlich. Es liegt mehr auf der Hand, dass Verunreinigung aus der Atmosphäre eine wichtigere Ursache der hohen Pb-Gehalte in den Wintermonaten ist.

Die Mn-Gehalte stiegen in der Weidezeit auf allen Schlammobjekten zwar stark, aber dies währte nicht länger als die ersten 2 Monate. Danach setzte ebenfalls auf allen Objekten eine Abnahme ein, wodurch wieder 2 Monate später derselbe Gehalt wie zu Anfang der Weideperiode erreicht wurde. Diese Abnahme der Gehalte setzte sich aber bis in die Wintermonate fort, so dass schliesslich Werte erreicht wurden, die ungefähr 30% niedriger waren als zu Beginn der Weideperiode. Die verstärkte Mn-Aufnahme während der ersten Monate der Wachstumszeit könnte darauf hinweisen, dass das pH anfangs niedriger war als später in der Wachstumszeit. Dies wäre dann auch auf dem S₀-Objekt der Fall gewesen, was bedeuten würde, dass auf diesem Sandboden das pH auch ohne Schlammdüngung schon so hoch war, dass die Mn-Aufnahme dadurch gebremst wurde.

Es ist schwer, aus den verfügbaren Daten den Umfang des Einflusses von Handelsdünger-N auf die Aufnahme von Schwermetallen durch das Gras abzuleiten. Im allgemeinen wurden bei geringem Angebot von Schwermetallen, wie auf dem Objekt ohne Schlammdüngung, die Gehalte nicht oder kaum durch Handelsdünger-N beeinflusst. Eine Ausnahme davon bildete Zink, dessen Gehalt auf dem S₀-Objekt durch Handelsdünger-N gesteigert wurde. Diese Steigerung betrug höchstens ca. 25% je 30 kg N je ha und Schnitt.

Wurde das Angebot an Schwermetallen durch wiederholte Schlammdüngung erhöht, so wurde auch die Wirkung von Handelsdünger-N auf die

Gehalte deutlicher. Es zeigte sich, dass dann ausser dem Zinkgehalt auch die Gehalte an Cadmium, Kupfer und Nickel oft erheblich höher wurden, je nachdem mehr Handelsdünger N gegeben worden war. Im letzten Versuchsjahr kamen je 30 kg N je ha und Schnitt Erhöhungen des Gehaltes an Cadmium, Zink, Kupfer und Nickel vor von 75 beziehungsweise 50, 20 und 40%.

Ein Einfluss von Handelsdünger-N auf die Gehalte an Blei und Eisen liess sich nicht beobachten. Dies war im letzten Versuchsjahre auch der Fall mit Mangan. 1975 war aber einigermaßen ein negativer Einfluss von Handelsdünger-N auf den Mangangehalt zu sehen.

Der Verlauf der Mo-Gehalte während der Wachstumszeit im Jahre 1975 macht den Eindruck, dass hier die Wirkung des Handelsdünger-N negativ war. Das wurde 1977 besonders in den letzten Monaten der Weidezeit bestätigt, als je 30 kg Handelsdünger-N je ha und Schnitt der Mo-Gehalt des Grases stark abnahm. Im Höchsthfall betrug diese Abnahme etwa 60%. Diese negative N-Wirkung setzte sich auch nach der Weidezeit (also, als kein Handelsdünger-N mehr gegeben wurde) noch fort.

EINFLUSS VON SCHLAMM AUF DEN TROCKENSUBSTANZERTRAG

Weder auf den Objekten ohne noch auf denen mit Schlamm war der Trockensubstanzertrag hoch. Er kam 1973 bei einer Gabe an Handelsdünger-N von insgesamt 450 kg je ha ohne Klärschlamm kaum über 13 Tonnen je ha hinaus (Figur 12). Ohne Düngung mit Handelsdünger-N oder Schlamm betrug der Trockensubstanzertrag im Jahre 1973 etwa 6 Tonnen je ha. Die steigernde Wirkung von 6, 12 und 18 Tonnen Trockenschlamm je ha war 1,5 beziehungsweise 2 und 2,5 Tonnen Trockensubstanz.

Je nachdem mehr Handelsdünger-N gegeben worden war, war die Wirkung des Klärschlammes auf den Ertrag geringer. Bei insgesamt 450 kg N je ha (N₉₀) betrug der Mehrertrag auf den Schlammobjekten höchstens etwa 0,5 Tonne Trockensubstanz über dem Ertrag des Objektes ohne Schlammdüngung.

1975 war die Wirkung des Klärschlammes auf den Trockensubstanzertrag auf dem Objekt ohne Handelsdünger-N viel geringer als im Jahre 1973. Das geht hauptsächlich zurück auf den viel höheren Trockensubstanzertrag des Objektes ohne Handelsdünger-N und ohne Schlammdüngung. Übrigens war 1975 der Trockensubstanzertrag überhaupt höher als im Jahre 1973. Dennoch ist ein Ertrag von 14,5 Tonnen Trockensubstanz sowohl bei 360 (N₆₀) wie bei 540 kg Handelsdünger-N (N₉₀) nicht eben als hoch zu bezeichnen. Die ertragsteigernde Wirkung der Schlammdüngung war im Jahre 1975 im Höchsthfall 1,5 Tonnen Trockensubstanz. Diese Wirkung wurde erreicht mit 18 Tonnen Trockenschlamm je ha auf den Objekten mit insgesamt 180 (N₃₀) und 540 (N₉₀) kg Handelsdünger-N je ha.

1977 blieb der Trockensubstanzertrag bei insgesamt 630 kg Handelsdünger-N je ha (N₉₀) noch unter 13 Tonnen. Im allgemeinen lag der Ertrag im Jahre 1977 auf derselben Ebene wie im Jahre 1973. In beiden Jahren war auch die Schlammwirkung am stärksten auf dem Objekt ohne Handelsdünger-N. Auf diesem Objekt war der Mehrertrag sowohl mit 12 als mit 18 Tonnen Trockenschlamm je ha gut 3 Tonnen Trockensubstanz. Dies führte auf diesem Objekt bei den genannten Schlammdüngungen zu einem Jahresertrag von etwa 10 Tonnen Trocken-

substanz. Bei insgesamt 630 kg Handelsdünger-N je ha (N₉₀) hatte Schlamm kaum eine Ertragssteigerung zur Folge; der Ertrag war fast 13 Tonnen Trockensubstanz.

Bingham u.a. (1976) zeigten in Gefässversuchen, dass 40 ppm Cd im Boden eine deutliche Herabsetzung des Ertrags gab bei unter anderm Sudengras, Luzerne und Weiszklee. Derselbe Cd-Gehalt in der Bodenschicht 0-5 cm setzte aber in diesem Feldversuch den Ertrag nicht herab. Bingham u.a. setzten in ihren Versuchen dem Schlamm CdCl₂ zu, während im Feldversuch dem angewendeten Schlamm kein Metallsalz zugesetzt wurde. Schon eher wurde darauf hingewiesen, dass Mischung der oberen 5 cm durch die durchwurzelte Schicht weitergehende Folgen für den Cd-Gehalt des Grases und für den Trockensubstanzertrag haben könnte. Dies gilt natürlich auch für die Konzentrationen der andern Metalle im Pflanzenbestand.

EINFLUSS VON AMMONIUMNITRAT ALS N-DÜNGER AUF DIE GEHALTE DES GRASES AN SCHWERMETALLEN

Dass trotz der stark gesteigerten Gehalte des Bodens an Schwermetallen die Gehalte des Grases nicht mehr zunahm, war vermutlich eine Folge der Zunahme des Boden-pH, herbeigeführt durch die wiederholten Schlammdüngungen. Das stimmt zu den Befunden von Dijkshoorn u.a. (1979). Sie fanden in Gefässversuchen mit zum Beispiel ähnlichen Cd- und Cu-Gehalten des Bodens wie in diesem Feldversuch, aber bei viel niedrigerem pH, erheblich höhere Gehalte des Pflanzenbestandes, die über einer bestimmten Grenze zur Wachstums hemmung führten.

Es fragte sich, ob auch im Felde eine Herabsetzung des pH die Gehalte des Grases steigern würde. Um dies festzustellen wurde im letzten Jahr auf einem Teil des Versuchsfeldes der neutral wirkende Kalkammonsalpeter ersetzt durch den N-Dünger Ammoniumnitrat, der das pH herabsetzt. Figur 13 zeigt die Ergebnisse. Darin sind als Durchschnittswerte der Wachstumszeit die Gehalte einer Anzahl Schwermetalle bei Anwendung beider N-Dünger gegeneinander aufgetragen. Die Gehalte an Zn, Cu, Ni, Mo und Mn waren bei Ammoniumnitrat etwas höher als bei Kalkammonsalpeter. Bei Ni war in einige Fällen die Erhöhung mehr als 10% und bei Mo sogar mehr als 20%. Dass Düngung mit Ammoniumnitrat schon im ersten Jahr bei einer Anzahl Schwermetallen einen deutlichen Einfluss auf die Gehalte des Grases hatte, scheint zu bestätigen, dass das pH grossen Einfluss auf die Aufnahme von Schwermetallen durch die Pflanze haben kann.

Die Gehalte an Cd, Pb und Fe änderten sich aber kaum. Das lässt sich nicht ohne weiteres erklären.

GEHALTE AN CD, PB UND ZN IN TRIFOLIUM REPENS, TARAXACUM OFFICINALE UND RANUNCULUS ACER

Nur im ersten Jahr des Feldversuchs konnte von diesen drei Pflanzenarten genug Material für Analyse gesammelt werden.

Tabelle 2 zeigt die Gehalte an Cd, Pb und Zn in diesen 3 Arten und in Gras im 3. Schnitt.

Die Zahlen beziehen sich auf die Objekte ohne und mit 6 Tonnen Trockenschlamm je ha, beide bei 60 kg Handelsdünger-N je ha und Schnitt.

Sowohl Taraxacum officinale wie Ranunculus acer enthielten mehr Cd, Pb und Zn als das Gras. Der vom Vieh verschmähte Ranunculus acer

hatte höhere Gehalte an Cd und Zn als das vom Vieh gefressene *Taraxacum officinale*. Das scheint die ganze Wachstumszeit hindurch so gewesen zu sein.

Die Gehalte von *Trifolium repens* ähnelten denen des Grases mehr.

ZUSAMMENFASSUNG

Dauergrünland wurde 5 Jahre hindurch gedüngt mit Klärschlamm: 0, 6, 12 und 18 Tonnen Trockensubstanz je ha und Jahr. Jede Schlammgabe wurde kombiniert mit 0, 30, 60 und 90 kg Handelsdünger-N je ha und Schnitt. Die Aufnahme von den Schwermetallen Cd, Pb, Zn, Cu, Ni, Mo, Mn und Fe durch das Gras wurde verfolgt. Die Gehalte an den meisten der untersuchten Metalle nahmen zu, je nachdem die Menge Schlamm grösser war und je nachdem mehr Handelsdünger-N gegeben wurde. Die Pb-Gehalte waren im Herbst und Winter auffällig höher, was hauptsächlich auf Verunreinigung mit Blei aus der Luft zurückgehen wird. Die Mn-Gehalte stiegen anfangs zu Beginn der Wachstumszeit, nahmen danach aber stark ab. Die Klärschlammdüngung führte zu einer geringen Ertragssteigerung, besonders bei den kleineren Handelsdünger-N-Gaben.

LITERATUR

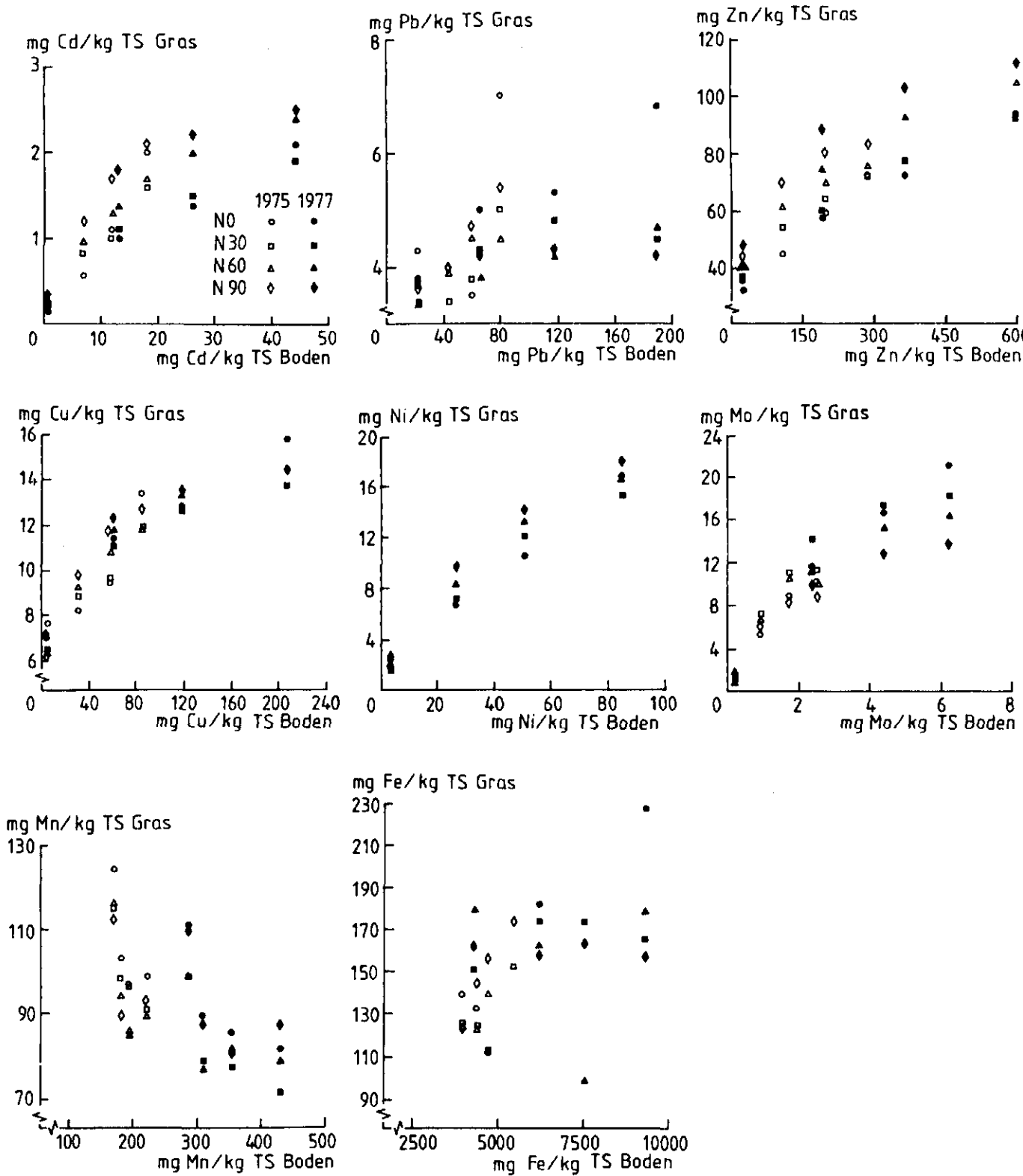
- BINGHAM, F.P., A.L. Page, R.J. Mahler and T.J. Ganje, 1976. Yield and cadmium accumulation of forage species in relation to cadmium content of sludge-amended soil. *J. Environ. Qual.* 5: 57-60.
- DIJKSHOORN, W., 1962. The effect of soil-pH on manganese absorption by *Lolium perenne* L. *Jaarboek I.B.S.*: 131-133.
- DIJKSHOORN, W., L.W. van Broekhoven and J.E.M. Lampe, 1979. Phytotoxicity of zinc, nickel, cadmium, lead, copper and chromium in three pasture plant species supplied with graduated amounts from the soil. *Neth. J. agric. Sci.* 27: 241-253.
- HEMKES, O.J., A. Kemp and L.W. van Broekhoven, 1980. Accumulation of heavy metals in the soil due to annual dressings with sewage sludge. *Neth. J. agric. Sci.* 28: 228-237.
- JONES, L.H.P., S.C. Jarvis and D.W. Cowling, 1973. Lead uptake from soils by perennial ryegrass and its relation to the supply of an essential element (sulphur). *Plant and Soil* 38: 605-619.
- LAGERWERFF, J.V., 1971. Uptake of cadmium, lead and zinc by radish from soil and air. *Soil Sci.* 111: 129-133.
- MITCHELL, R.L. and J.W.S. Reith, 1966. The lead content of pasture herbage. *J. Sci. Fd Agric.* 17: 437-440.
- SMILDE, K.W., 1981. Heavy metal accumulation in crops grown on sewage sludge amended with metal salts. *Plant and Soil* 62: 3-14.
- WILLIAMS, C.H., 1977. Trace metals and superphosphate. Toxicity problems. *J. Aust. Inst. agric. Sci.*, Sept/Dec: 99-109.
- WILLIAMS, C.H. and D.J. David, 1976. The accumulation in soil of cadmium residues from phosphate fertilizers and their effect on the cadmium content of plants. *Soil Sci.* 121: 86-93.
- WILLIAMS, C.H. and D.J. David, 1977. Some effects of the distribution of cadmium and phosphate in the root zone on the cadmium content of plants. *Aust. J. Soil Res.* 15: 59-68.

Tabelle 1. Die chemische Zusammensetzung des Schlammes

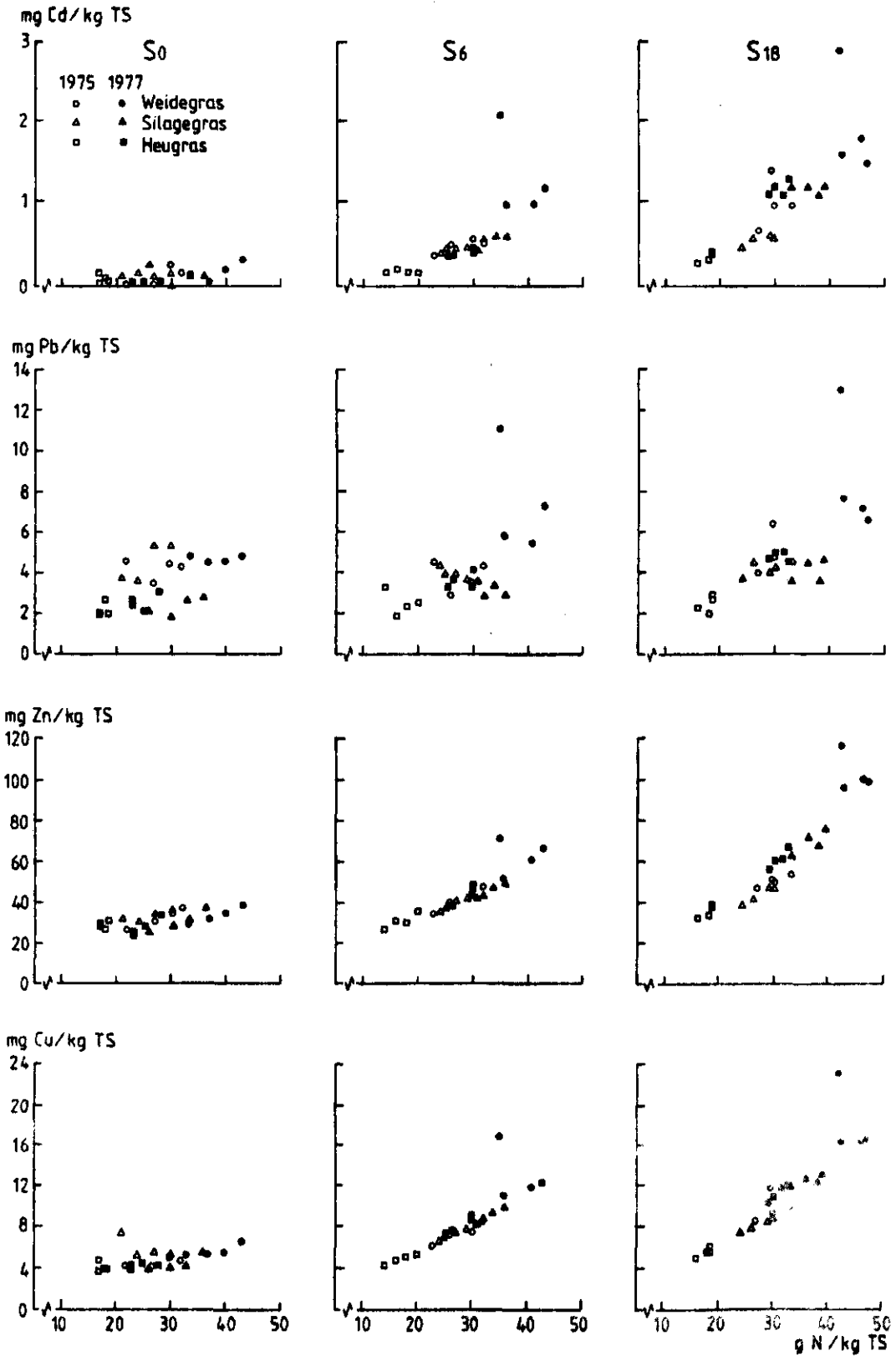
	1973	1974	1975	1976	1977
Trockensubstanz (g/kg)	300	-	252	245	262
Organisches Material (g/kg TS)	468	395	448	503	467
Stickstoff (g/kg TS)	22,5	17,7	24,1	24,4	23,4
Ca (g/kg TS)	-	-	-	-	40,7
pH-KCl	5,5	6,9	6,5	6,6	6,8
Metalle (mg/kg TS)					
Cd	370	215	316	349	327
Pb	450	333	1561	1693	1610
Zn	4941	3149	3953	4353	4055
Cu	1446	722	1594	1724	1661
Ni			497	573	630
Mo			144	168	117
Mn			1071	1186	1151
Fe			36500	42200	43100

Tabelle 2. Gehalte im ersten Versuchsjahr an Cd, Pb und Zn in Gras, *Trifolium repens*, *Taraxacum officinale* und *Ranunculus acer* im 3. Schnitt auf den Objekten mit 0 und 6 Tonnen Trockenschlamm je ha, beide mit 60 kg Handelsdünger-N je ha und Schnitt in mg pro kg Trockensubstanz.

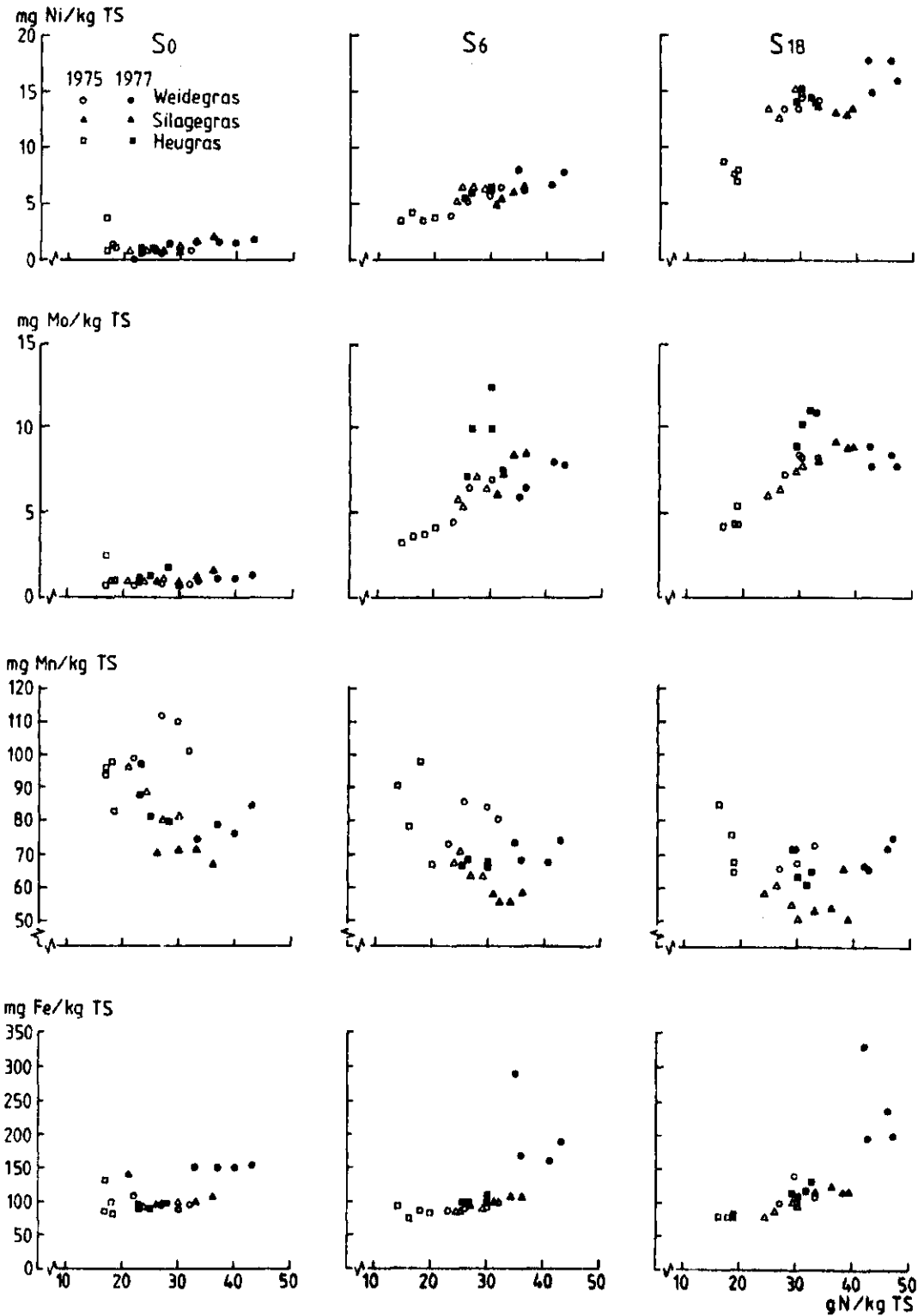
	Cd		Pb		Zn	
	S ₀	S ₆	S ₀	S ₆	S ₀	S ₆
Gras	0,04	0,22	3,0	4,3	39	42
TR	0,14	-	10	4,9	35	44
Tar	1,2	1,2	5,8	7,1	45	58
Ran	1,7	2,1	7,0	3,9	66	72



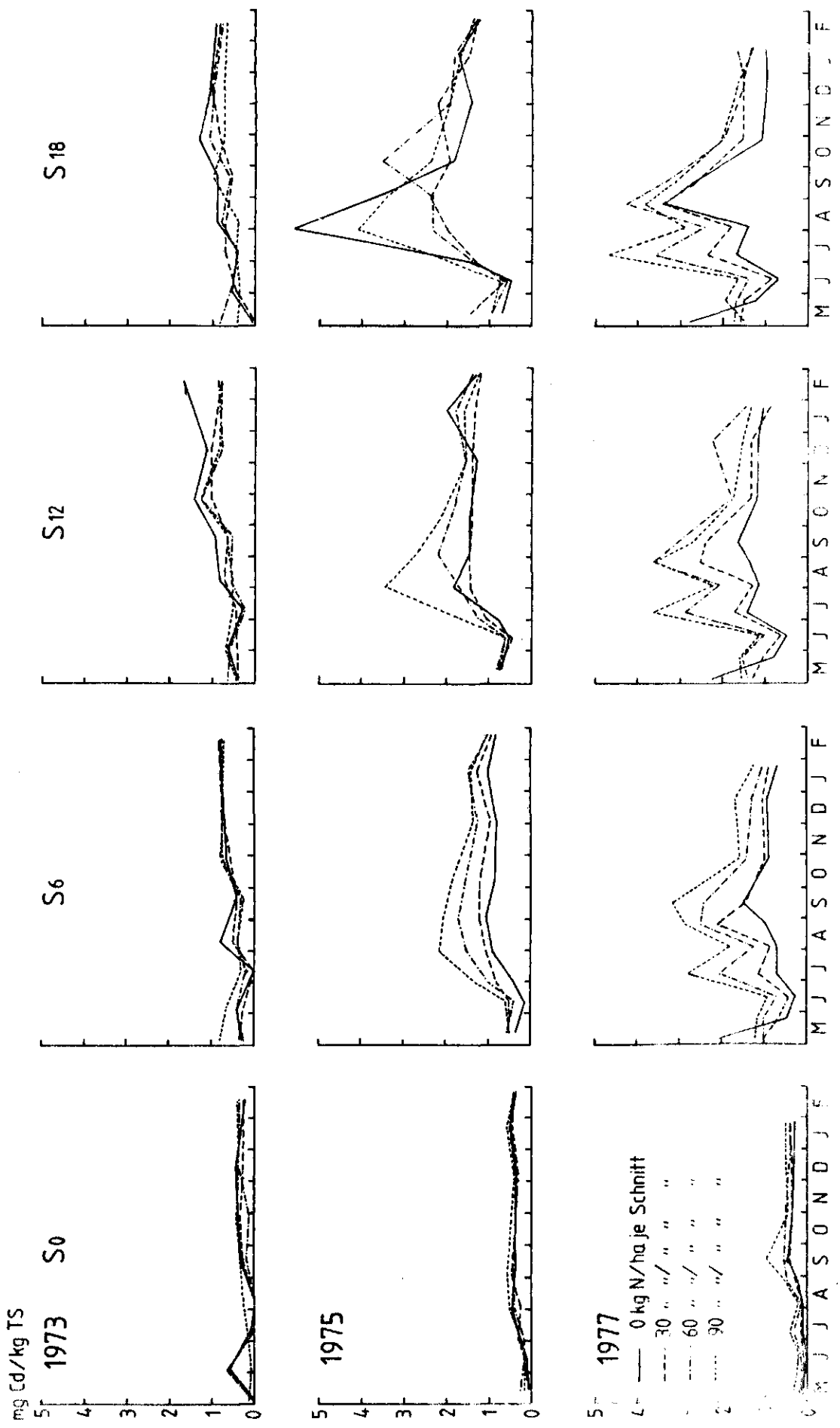
Figur 1. Der Zusammenhang zwischen den Gehalten von Gras und Boden an Cd, Pb, Zn, Cu, Ni, Mo, Mn und Fe bei verschiedenen Handeldünger-N-Gaben.



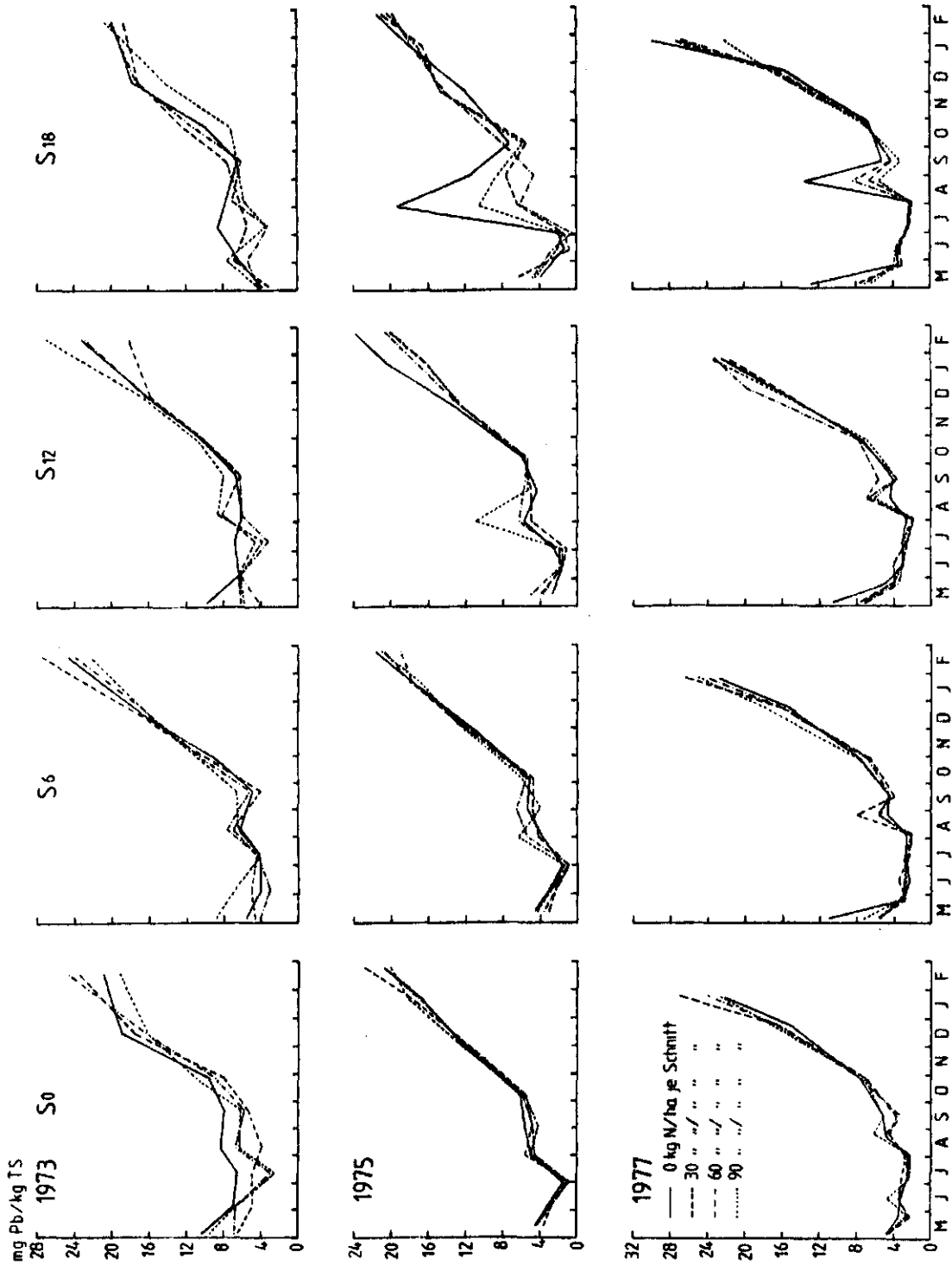
Figur 2. Gehalte des Grases an Cd, Pb, Zn und Cu im erste Schnitt in Abhängigkeit vom Wachstumsenergiepotential (g N/kg TS) bei verschiedenen Mengen Klärschlamm und Reifezeit des N.



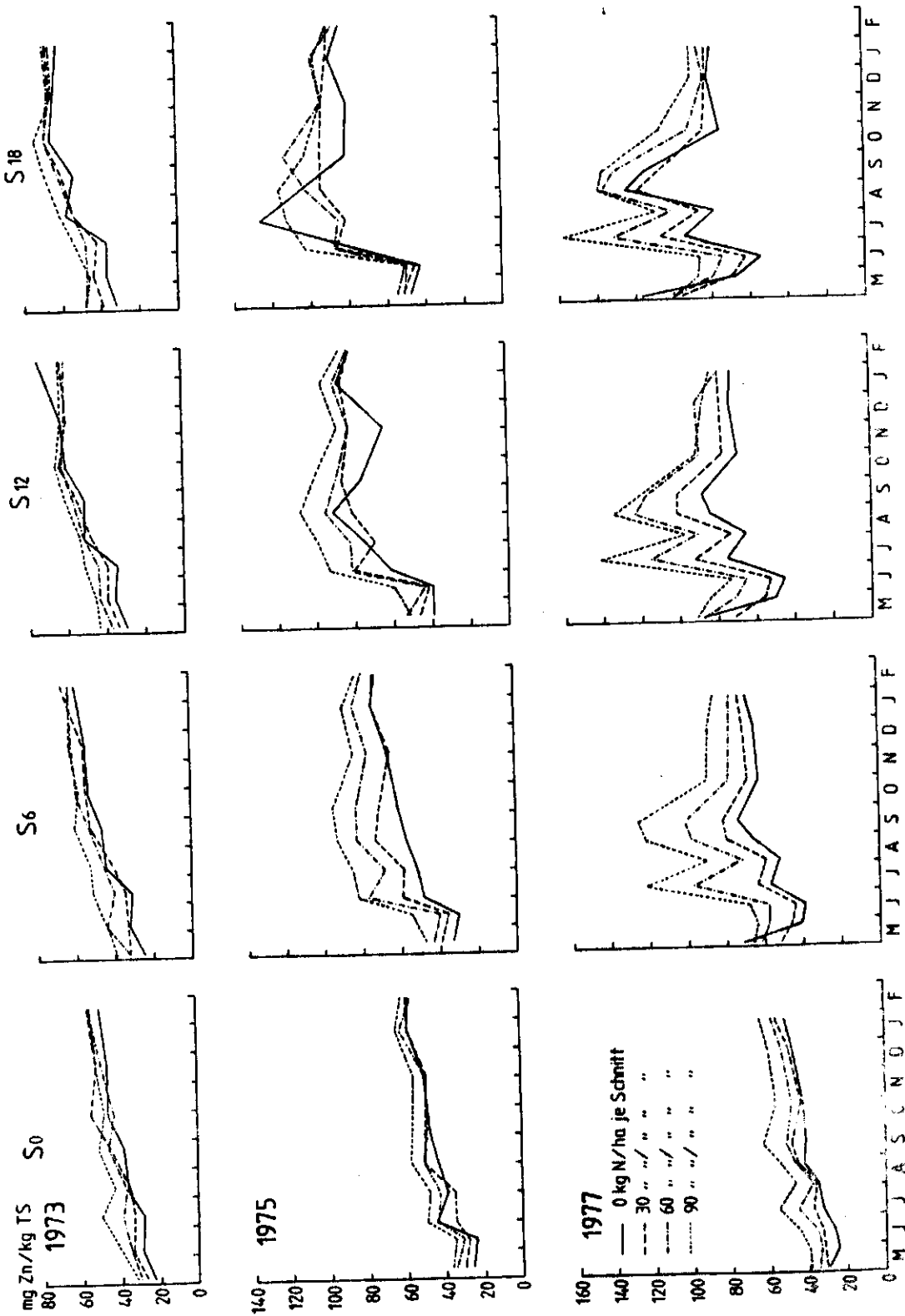
Figur 3. Gehalte des Grases an Ni, Mo, Mn und Fe im ersten Schnitt in Abhängigkeit vom Wachstumsstadium (N-Gehalte) bei verschiedenen Mengen Klärschlamm und Handelsdünger-N.



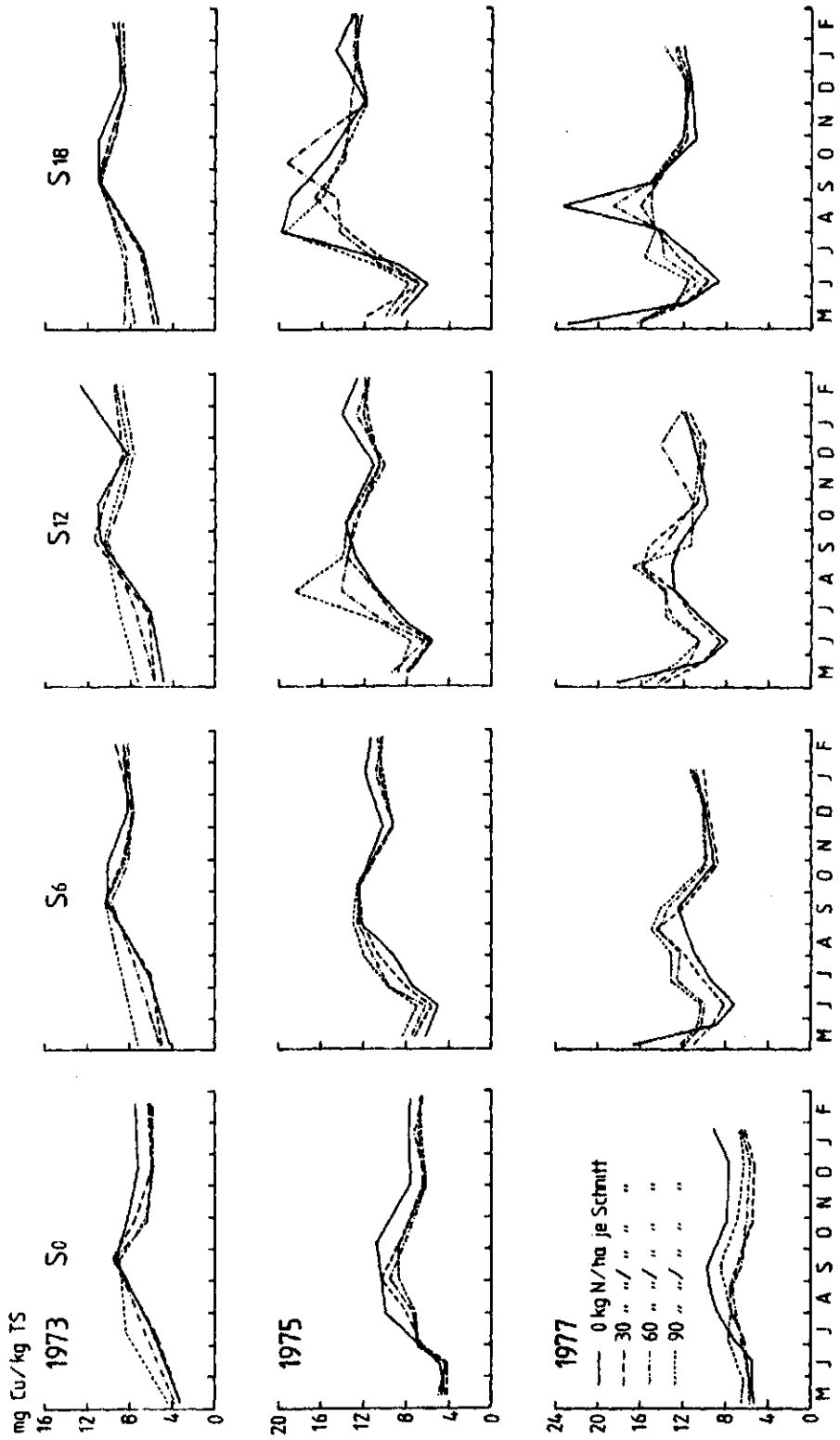
Figur 4. Der Verlauf der Gehalte des Grases an Cd während der Weidezeit und einiger Monate danach im ersten, dritten und fünften Versuchsjahr bei verschiedenen Mengen Klärschlamm und Handelsdünger-N.



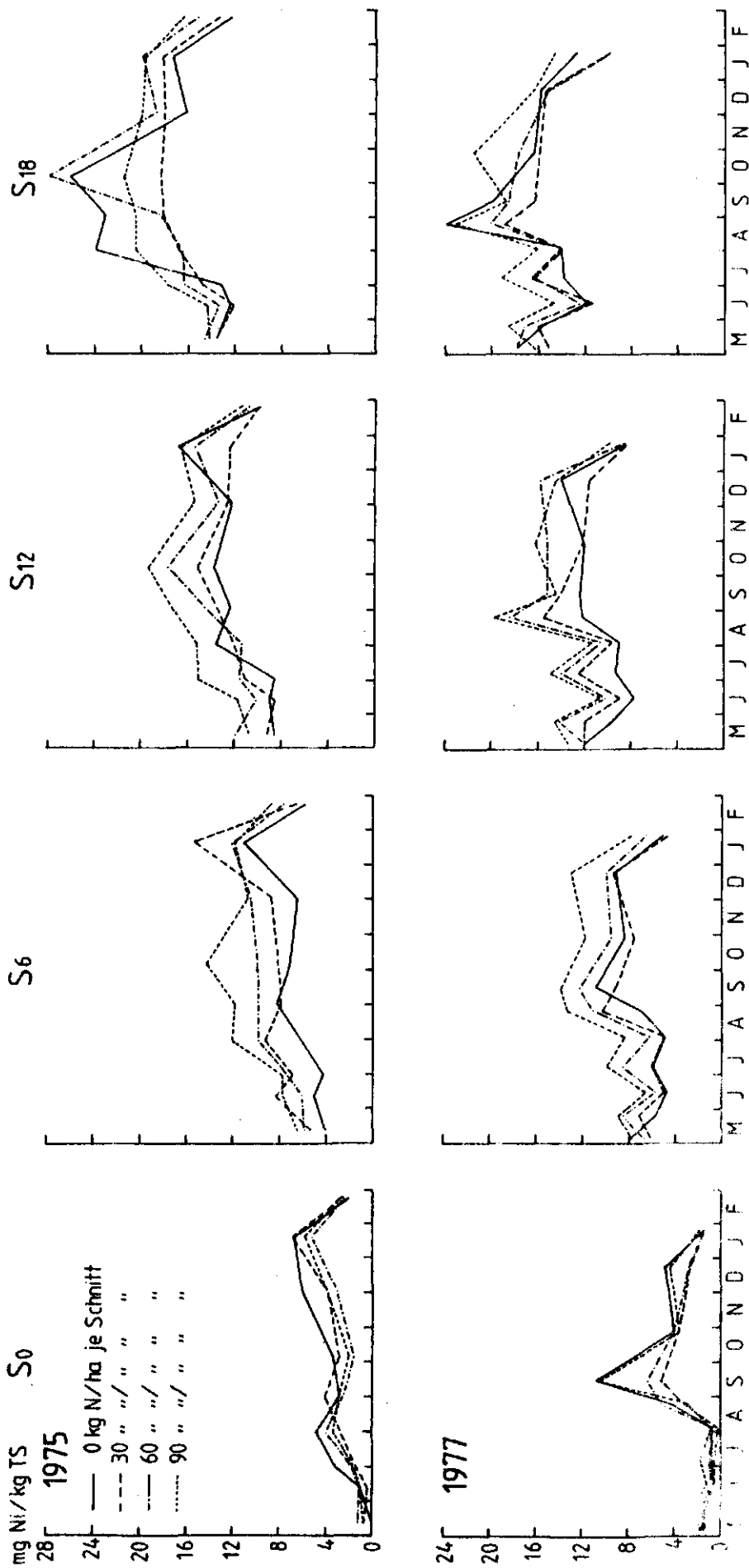
Figur 5. Der Verlauf der Gehalte der Grases an Pb während der Weidezeit und einiger Monate danach im ersten, dritten und fünften Versuchsjahr bei verschiedenen Mengen Klärschlamm und Handelsdünger-N.



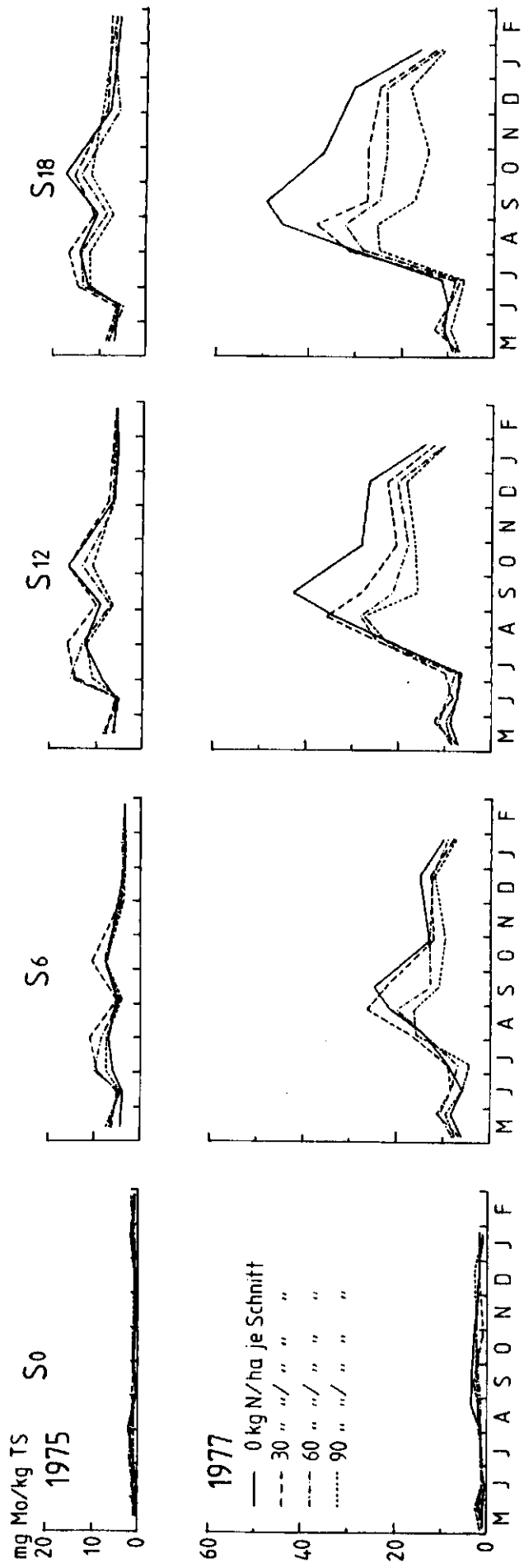
Figur 6. Der Verlauf der Gehalte des Grases an Zn während der Weidezeit und einiger Monate danach im ersten, dritten und fünften Versuchsjahr bei verschiedenen Mengen Klärschlamm und Handelsdünger-N.



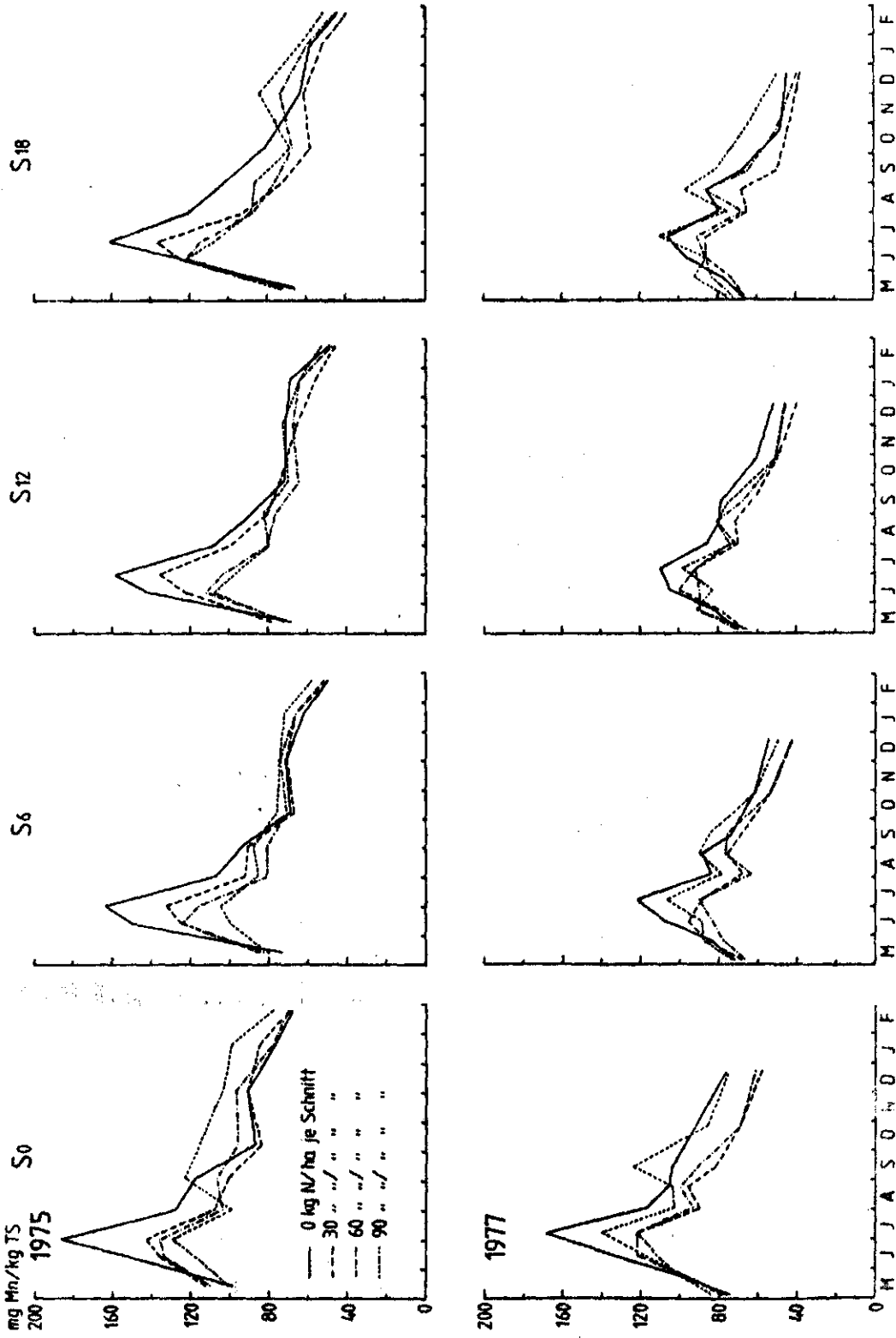
Figur 7. Der Verlauf der Gehalte des Grases an Cu während der Weidezeit und einiger Monate danach im ersten, dritten und fünften Versuchsjahr bei verschiedenen Mengen Klärschlamm und Handelsdünger-N.



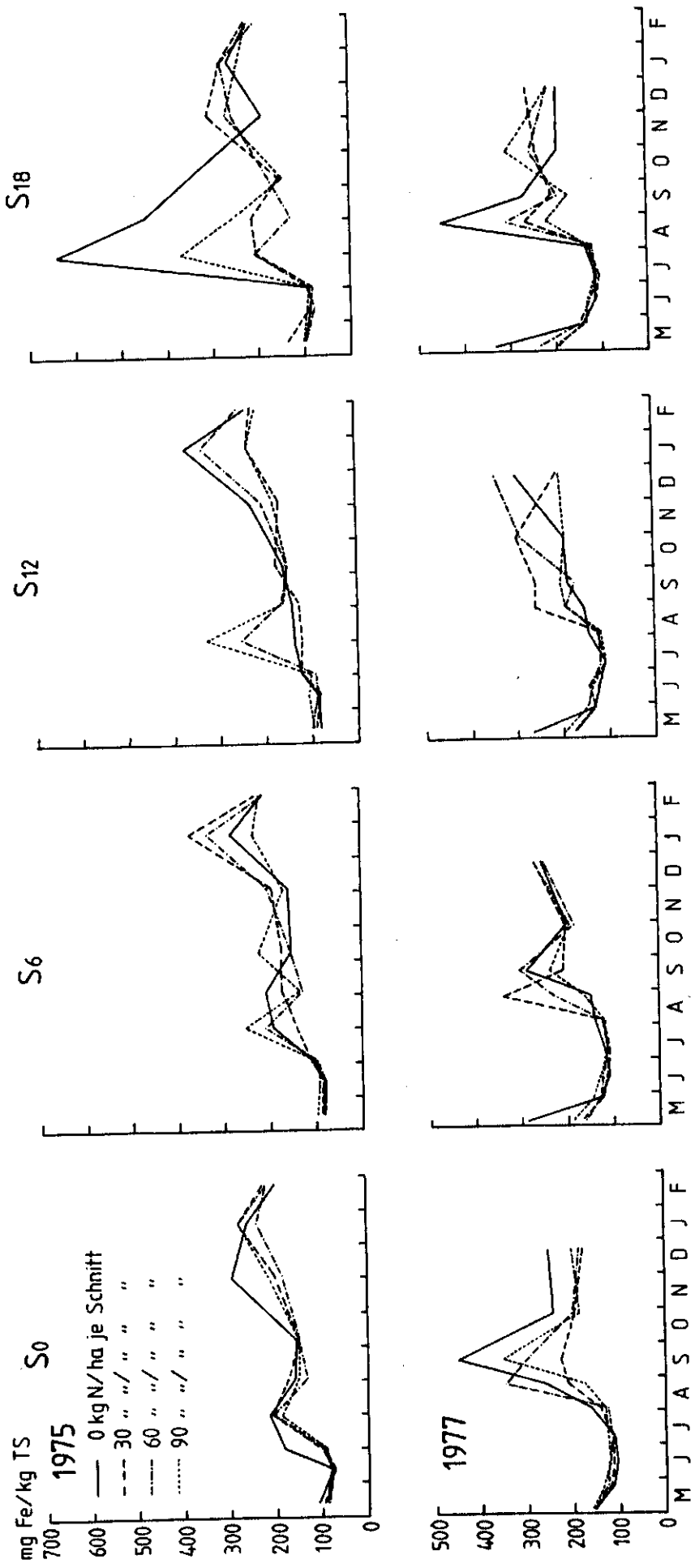
Figur 8. Der Verlauf der Gehalte des Grases an Ni während der Weidezeit und einiger Monate danach im ersten, dritten und fünften Versuchsjahr bei verschiedenen Mengen Klärschlamm und Handelsdünger-N.



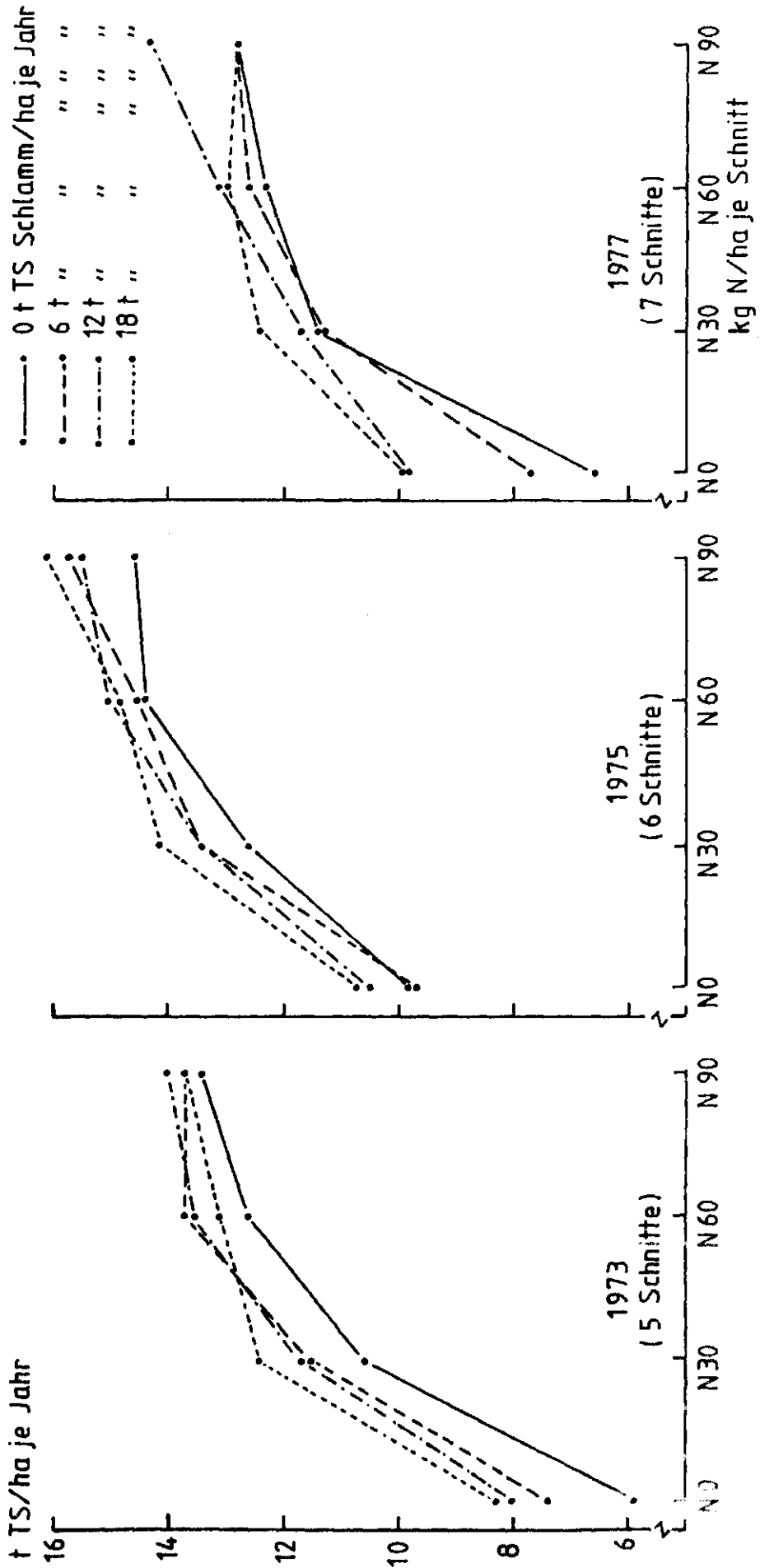
Figur 9. Der Verlauf der Gehalte des Grases an Mo während der Weidezeit und einiger Monate danach im ersten, dritten und fünften Versuchsjahr bei verschiedenen Mengen Klärschlamm und Handelsdünger-N.



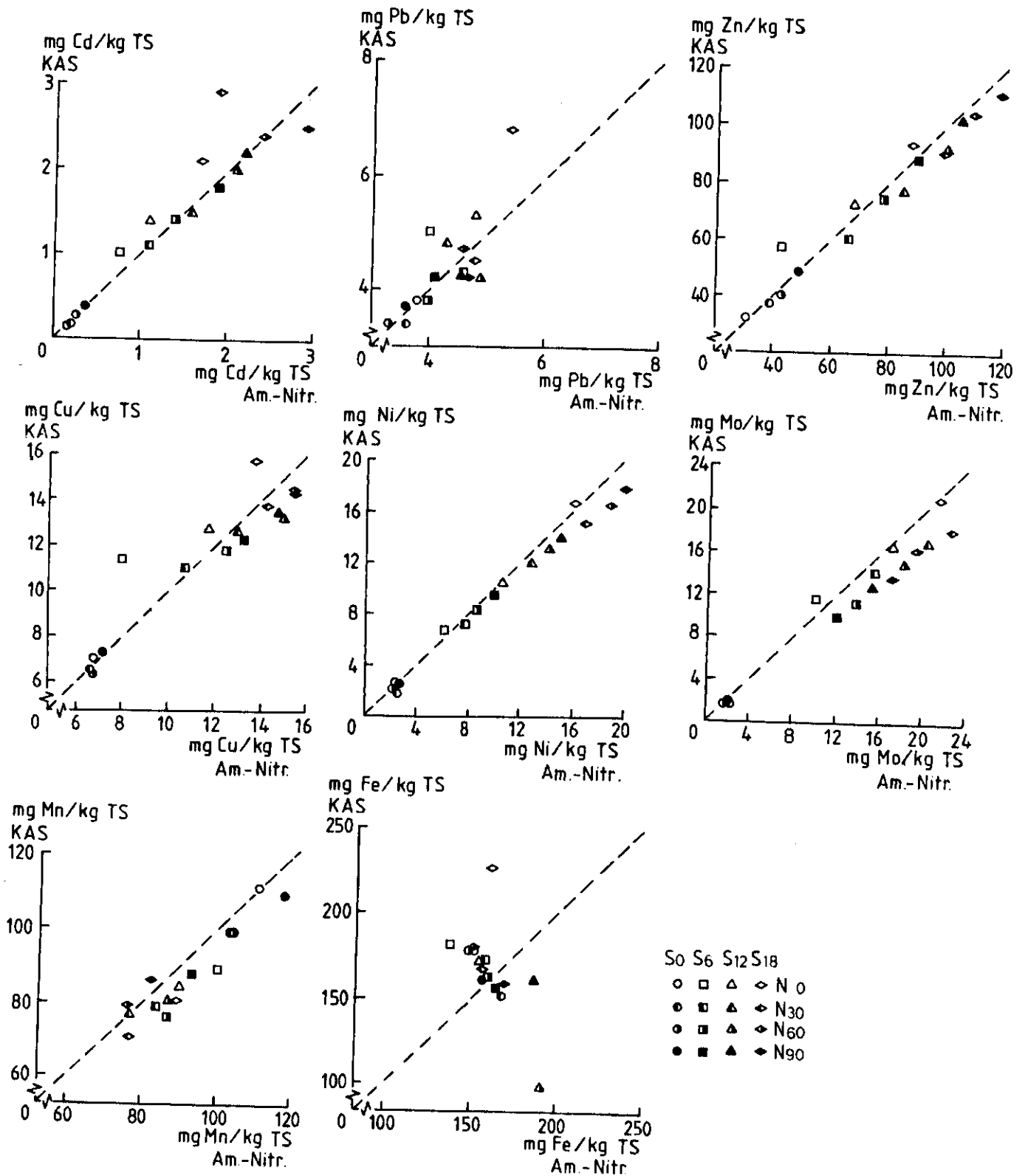
Figur 10. Der Verlauf der Gehalte des Grasses an Mn während der Weidezeit und einiger Monate danach im ersten, dritten und fünften Versuchsjahr bei verschiedenen Mengen Klärschlamm und Handelsdünger-N.



Figur 11. Der Verlauf der Gehalte des Grases an Fe während der Weidezeit und einiger Monate danach im ersten, dritten und fünften Versuchsjahr bei verschiedenen Mengen Klärschlamm und Handelsdünger-N.



Figur 12. Trockensubstanzertrag je ha und Jahr bei verschiedenen Mengen Klärschlamm und Handelsdünger-N.



Figur 13. Gehalte des Grases an Cd, Pb, Zn, Cu, Ni, Mo, Mn und Fe bei Anwendung der N-Dünger Kalkammonsalpeter und Ammoniumnitrat.