

MITTEILUNGEN
DER
ÖSTERREICHISCHEN
BODENKUNDLICHEN
GESELLSCHAFT

HEFT 29

WIEN 1985

MITTEILUNGEN
DER
ÖSTERREICHISCHEN
BODENKUNDLICHEN
GESELLSCHAFT

HEFT 29

WIEN 1985

Schriftleitung
tit. Ao. Univ.-Prof. Dr. O. Nestroy

© Eigentümer, Herausgeber und Verleger:
Österreichische Bodenkundliche Gesellschaft

Für den Inhalt verantwortlich:
tit. Ao. Univ.-Prof. Dr. O. Nestroy
Gregor-Mendel-Straße 33, 1180 Wien

Druck: Druckerei und Zeitungshaus J. Wimmer, 4020 Linz, Promenade 23

Genehmigter Nachdruck aus den Veröffentlichungen
der Landwirtschaftlich-chemischen Bundesversuchsanstalt Linz

Vorwort

Gemeinsam mit der Landwirtschaftlich-chemischen Bundesversuchsanstalt in Linz und der Oberösterreichischen Landesregierung veranstaltete die Österreichische Bodenkundliche Gesellschaft am 4. und 5. Juni 1984 ein Seminar über „Verwertung von Siedlungsabfällen aus der Sicht der Landwirtschaft unter besonderer Berücksichtigung der Eignung landwirtschaftlicher Böden“ an der Landwirtschaftskammer für Oberösterreich in Linz.

Die Aktualität des Themas, die Titel der Vorträge sowie die prominenten Vortragenden aus dem In- und Ausland haben ein unerwartet starkes Echo gefunden, das im zahlreichen Besuch und den lebhaften Diskussionen seinen Niederschlag fand.

Um auch jenen, die an dieser Veranstaltung nicht teilnehmen konnten, die neuesten Ergebnisse zu diesem Problemkreis zu vermitteln, ist dieses Heft der Mitteilungen der Österreichischen Bodenkundlichen Gesellschaft ganz im Zeichen dieser Tagung gestaltet.

Herrn Hofrat Professor Dr. W. Beck sei an dieser Stelle für die freundliche Gewährung des Nachdrucks für dieses Mitteilungsheft der verbindlichste Dank ausgesprochen.

O. Nestroy

Inhalt

| | |
|--|-----|
| Begrüßung und Eröffnung durch Hofrat Dir. Prof. Dipl.-Ing. Dr. Walther Beck, Landw.-chem. Bundesanstalt | 7 |
| Univ.-Prof. Dr. Winfried Blum, Österr. Bodenkundliche Gesellschaft | 11 |
| Hofrat Dipl.-Ing. Dietmar Kriechbaum, Oö. Landesregierung, Abt. Wasserbau | 15 |
| Referate | |
| Hoffmann, Gg.: Bodenkundliche und pflanzenbauliche Aspekte beim Einsatz von Siedlungsabfällen in der Landwirtschaft | 17 |
| Köchli, A.: Nutz- und Schadwirkung von Klärschlamm | 65 |
| Eder, G., Köck, M. u. Schechtner, G.: Klärschlammhygiene im Grünland | 81 |
| Aichberger, K. u. Hofer, G.: Chemische Untersuchung von Siedlungsabfällen | 87 |
| Müller, H.: Müllkompost — Gütekriterien (ÖNORM S 2022) und Anwendung | 97 |
| Mayr, E.: Modell Oberösterreich — Klärschlammfall und Entsorgung | 107 |
| Maierhofer, E.: Erwartungen der Landwirtschaft an die Qualität der Siedlungsabfälle und Forderungen an den Gesetzgeber | 125 |
| Nelhiebel, P.: Einsatzmöglichkeiten von Bodenkarten bei der Ausbringung von Siedlungsabfällen | 127 |
| Wimmer, J.: Aufbau und bisherige Ergebnisse des Klärschlamm- und Müllkompostversuches St. Florian | 135 |
| Öhlinger, R.: Bodenenzymatische Untersuchungen beim Versuch St. Florian | 143 |
| Generaldiskussion | 153 |
| Anhang: | |
| Unterlagen zur Exkursion | 175 |
| Teilnehmerverzeichnis | 195 |

Einleitung und Eröffnung

Hofrat Prof. Dipl.-Ing. Dr. Walther Beck

Direktor

der Landw.-chem. Bundesanstalt Wien und Linz

Die Landw.-chem. Bundesanstalt lädt seit nahezu 20 Jahren zu Seminaren ein, um aktuelle Themen zu besprechen, die in ihren Aufgabenbereich fallen. So wurden in den sechziger Jahren insbesondere methodische Fragen und die Probenahme und Stichprobenentnahme behandelt.

Nach einer längeren Pause wurden Ende der siebziger Jahre in vier Seminaren Mykotoxine in der landwirtschaftlichen Produktion, die Rückstandsproblematik in Futtermitteln, Erfahrungen mit der N_{min} -Methode sowie Salmonellen in Futtermitteln, wie die Futtermittelbewertung selbst besprochen. Im Jahre 1981 wurde der Stoffumsatz am Standort und 1982 die Abstammung der Kulturpflanzen und die Erhaltung des natürlichen Formenreichtums in Theorie und Praxis gezeigt.

Die Verwertung von Siedlungsabfällen aus der Sicht der Landwirtschaft soll in den beiden kommenden Tagen, unter besonderer Berücksichtigung der Eignung landwirtschaftlicher Böden behandelt werden. Dies deshalb, weil unter allen Umständen verhindert werden muß, daß infolge der Belastung durch Schwermetalle und schwer abbaubare Chemikalien Böden für die Produktion von Lebensmitteln nicht mehr geeignet sind.

Im Rahmen des in aktueller Bearbeitung stehenden Düngemittelgesetzes wird festgelegt werden, daß Klärschlamm und Müllkompost, ebenso wie Klärschlammkompost, unter die Bestimmungen des Gesetzes fallen und nur in Verkehr gebracht werden dürfen, wenn Stoffe, die für den Naturhaushalt oder die Fruchtbarkeit des Bodens schädlich sind, ein bestimmtes Ausmaß nicht überschreiten. Produkte mit erhöhtem Schadstoffgehalt dürfen nach diesem Gesetzesentwurf als Dünger nicht in Verkehr gebracht werden und stellen Sonderabfall gem. § 2 des Sonderabfallgesetzes dar.

Unsere Aufgabe ist es nun, die Grenzen der Belastbarkeit zu ermitteln und in Normen festzulegen.

Die Ausbringung von Wirtschaftsdüngern und Abfällen, die als Dünger verwendet werden können, d. h., also auch die Ausbringung von Klärschlamm und Müllkompost, die als Düngemittel geeignet sind, kann wahrscheinlich im Düngemittelgesetz nicht geregelt werden. Sie fällt gem. Artikel 15 Bundesverfassungsgesetz in die Kompetenz der Länder. Umso wichtiger erscheint uns eine koordinierte Vorgangsweise der Länder zu sein, die durch dieses Seminar gefördert werden soll.

Der Bund kann zwar auf forstwirtschaftlichen Flächen und im Hinblick auf den Gewässerschutz in Wasserschutz- und Schongebieten Beschränkungen für die Ausbringung von Klärschlamm und Müllkompost erlassen, wir glauben jedoch, daß darüber hinaus den Kläranlagenbetreibern und den verantwortlichen Behörden die Möglichkeit gegeben werden sollte, durch ein möglichst bald zu erstellendes Kartenmaterial jene Flächen bestimmen zu können, auf denen Klärschlamm ausgebracht werden darf, ohne daß Grundwasser gefährdet wird.

Nach unserem heutigen Wissen sind die in der Tabelle 1 angegebenen Grenzwerte für Schwermetalle noch umweltverträglich. Das heißt: Die hier festgelegten Mengen stellen die Grenze der Belastbarkeit der Böden dar. Daß diese Grenzen fließend sind, daß man gegen jede einzelne Zahl Einwände erheben kann, ergibt sich aus der Tatsache, daß Böden je nach Herkunft verschiedene Eigenschaften aufweisen, daß Klimafaktoren für die Fixierung oder Auswaschung ebenso wichtig sind und daß die Verhältnisse des Unterbodens oft sehr variabel sind.

Die zulässigen Schwermetallfrachten je ha und Jahr werden in Tabelle 2 dargestellt. Ich wollte hier zeigen, wie verschieden diese noch in den einzelnen Ländern beurteilt werden und wie viel Arbeit hier noch zu leisten sein wird, um zu wirklich naturwissenschaftlich begründeten Zahlen zu gelangen.

Tabelle 1: Schwermetall-Höchstwerte im Boden

| Schwermetalle | mg/kg Boden | (entsprechend kg/ha bei 3000 t Oberboden/ha) |
|---------------|-------------|--|
| Molybdän | 10 | 30 |
| Kupfer | 100 | 300 |
| Zink | 300 | 900 |
| Blei | 100 | 300 |
| Nickel | 60 | 180 |
| Chrom | 100 | 300 |
| Cadmium | 2 | 6 |
| Kobalt | 50 | 150 |
| Quecksilber | 2 | 6 |
| Arsen | 20 | 60 |

Selbst bei den vorsichtig kalkulierten österreichischen Schwermetallfrachten können die Höchstwerte im Boden im Verlauf von 50 bis 100 Jahren erreicht werden. Das heißt aber, daß wir uns mit den zur Zeit geltenden zulässigen Schwermetallfrachten nicht zufriedengeben dürfen, sondern versuchen müssen, durch Verhinderung der Einleitung schwermetallhaltiger Abwässer in die Kläranlagen die Höchstwerte noch wesentlich zu senken. Unsere Überlegungen für die Festlegung von Schwermetallfrachten gingen dahin, daß wir maximale Ausbringungsmengen von 100 m³ bei Ackerland und 50 m³ bei Grünland als praxisingerechte Ausbringungsmengen annahmen. Diese Mengen entsprechen 5 bzw. 2,5 t Trockenmasse. Bei einer Ausbringung in jedem zweiten Jahr können die zulässigen Schwermetallgehalte für landwirtschaftlich verwertbaren Klärschlamm, wie in Tabelle 4 angegeben, erreicht werden. Die maximalen Klärschlammaufwandmengen bezogen auf Trockensubstanz je ha in den verschiedenen Ländern finden Sie in Tabelle 3 wiedergegeben.

Tabelle 3: Maximale KS-Aufwandmengen (TS/ha)

| | | | |
|-------------------------|---|---|-------------|
| BRD | 5 t/3j. | = | (1,66 t/j.) |
| Schweiz | 2,5 t/j. | = | (2,5 t/j.) |
| Holland | 2 t/j. | = | (2 t/j.) |
| Finnland | 20 t/5j. | = | (4 t/j.) |
| Norwegen | 20 t/10j. | = | (2 t/j.) |
| Schweden | 5 t/5j. | = | (1 t/j.) |
| Österreich | 5 t/2j. Ackerland | = | (2,5 t/j.) |
| | 2,5 t/2j. Grünland | = | (1,5 t/j.) |
| Dänemark } England } | Mengenbegrenzung durch Schwermetallfrachten | | |

Tabelle 2: Zulässige Schwermetallfrachten (g/ha/Jahr)

| | BRD | | Dänemark | England | Holland | Schweden | Schweiz | Österreich*) | |
|----|-------|----|----------|---------|---------|----------|---------|--------------|----------|
| | | | | | | | | Ackerland | Grünland |
| Mo | — | — | — | — | — | — | — | 50 | 25 |
| Cu | 1.990 | — | — | 9.300 | 1.200 | 3.000 | 2.500 | 1.250 | 625 |
| Zn | 4.980 | — | — | 18.600 | 4.000 | 10.000 | 7.500 | 5.000 | 2.500 |
| Pb | 1.990 | — | — | 33.000 | 1.000 | 300 | 2.500 | 1.250 | 625 |
| Ni | 330 | — | — | 2.300 | 200 | 500 | 500 | 250 | 125 |
| Cr | 1.990 | — | — | 33.000 | 1.000 | 1.000 | 2.500 | 1.250 | 625 |
| Cd | 33 | 10 | — | 167 | 20 | 15 | 75 | 25 | 12,5 |
| Co | — | — | — | — | — | — | — | 250 | 125 |
| Hg | 42 | — | — | 67 | 20 | 8 | 25 | 25 | 12,5 |
| As | — | — | — | — | — | — | — | 50 | 25 |

*) In Österreich werden die maximalen Schwermetallfrachten bei Klärschlammfrachten bei Klärschlamm erreicht, wenn im Abstand von 2 Jahren jeweils 5 t Trockenmasse = 100 m³ bei Ackerland oder 2,5 t Trockenmasse = 50 m³ bei Grünland ausgebracht werden.

Tabelle 4: Zulässige Schwermetallgehalte für landwirtschaftlich verwertbaren Klärschlamm mg/kg TS

| | BRD | | Dänemark | Finnland | Frankreich | Holland | Norwegen | Schweden | Schweiz | Österreich |
|----|-------|-----|----------|----------|------------|---------|----------|----------|---------|------------|
| | Mo | — | — | — | — | — | — | — | — | 20 |
| Cu | 1.200 | — | — | 3.000 | 1.500 | 600 | — | — | 1.000 | 500 |
| Zn | 3.000 | — | — | 5.000 | 3.000 | 2.000 | — | 3.000 | 3.000 | 2.000 |
| Pb | 1.200 | 400 | — | 1.200 | 300 | 500 | 300 | 10.000 | 1.000 | 500 |
| Ni | 200 | 30 | — | 500 | — | 100 | — | 300 | 200 | 100 |
| Cr | 1.200 | — | — | 1.000 | 200 | 500 | — | 500 | 1.000 | 500 |
| Cd | 20 | 8 | — | 30 | 15 | 10 | 15 | 15 | 30 | 10 |
| Co | — | — | — | 100 | 20 | — | — | 50 | 100 | 100 |
| Hg | 25 | 6 | — | 25 | 8 | 10 | 7 | 8 | 10 | 10 |
| As | — | — | — | — | — | 10 | — | — | 10 | — |
| Mn | — | — | — | 3.000 | 500 | — | — | — | — | 20 |

Für Müllkompost gilt im Prinzip das gleiche, wenn hier auch schon Gütekriterien in der ÖNORM S 2022 festgelegt sind. Das heißt, die Ausbringung auf landwirtschaftliche oder sonstige Böden ist noch in Diskussion und kann daher noch nicht endgültig beantwortet werden.

Ich habe versucht, Ihnen mit den vorliegenden Tabellen einige Denkanstöße zu geben, konnte aber auf viele Probleme, wie z. B. auf jene der Klärschlammhygienisierung, die insbesondere im Grünland und im Gemüsebau Probleme aufwirft, nicht eingehen, ebensowenig auf den Zusammenhang zwischen Klärschlammasbringung und Menge der Gülleausbringung in Abhängigkeit von der Anzahl der Großvieheinheiten je ha, konnte hier auch nichts über mögliche Bodenschutzgesetze, wie sie in Europa zur Zeit im Entstehen sind, sagen.

Ich hoffe, daß die Tagung im Geiste gegenseitigen Verständnisses für die Bedürfnisse der Landwirtschaft ablaufen wird und daß es uns möglich ist, aus dem hier Vorgetragenen weitere Schlüsse für alle jene Maßnahmen zu finden, die in nächster Zeit zum Schutze der landwirtschaftlichen Produktion beschlossen werden sollen.

Im Namen der Österreichischen Bodenkundlichen Gesellschaft möchte ich Sie sehr herzlich zu dieser Seminarveranstaltung begrüßen. Im folgenden werde ich versuchen, aus bodenkundlicher Sicht einige grundsätzliche Überlegungen zum Seminarthema anzustellen.

Siedlungsabfälle in der Form von Klärschlamm oder Müllkompost verursachen unterschiedliche Wirkungen im Boden, die man generell in 3 unterschiedliche Wirkgruppen einordnen kann, vgl. Tab. 1.

Tab. 1: Wirkung von Siedlungsabfällen auf den Boden

- 1. Physikalisch:** Bodentextur (Körnung)
Bodenstruktur (Gefüge)
 - Porenvolumen
 - PorengrößenverteilungBodenfarbe

- 2. Chemisch:** pH-Wert
Redoxpotential
C-Gehalt
Austauschfunktionen (Kationen, Anionen)
Kolloidchemische und ionare Fällungs- und Bindungsreaktionen (z. B. Komplexierung u. a.)
Nährstoffgehalt
Schadstoffgehalt

- 3. Biologisch:** Biol. Aktivität
Flora (z. B. Mikroflora: Bakterien, Pilze, Algen)
Fauna (Mikro-, Meso- und Makrofauna)

Unter physikalischer Wirkung wird die Beeinflussung der Bodentextur (Körnung), der Bodenstruktur (Gefüge) und hier insbesondere des Porenvolumens und der Porengrößenverteilung sowie der Bodenfarbe verstanden. Diese Einflußgrößen bedingen wiederum eine Veränderung des Wasser-, Luft- und Temperaturhaushaltes der Böden.

Chemische Beeinflussungen sind z. B. Veränderungen des pH-Wertes, des Redox-Potentials, des Kohlenstoffgehaltes sowie des Kationenaustausches und der Anionenbindung. Außerdem werden kolloidchemische und ionare Fällungs- und Bindungsreaktionen, z. B. Komplexierungen u. a., verursacht. — Von besonderer Bedeutung ist jedoch die Veränderung der Nährstoffgehalte und insbesondere der durch Siedlungsabfälle verursachte Schadstoffgehalt der Böden.

Unter biologischen Wirkungen ist die Veränderung der biologischen Aktivität der Flora (z. B. Mikroflora: Bakterien, Pilze, Algen) und der Fauna (Mikro-, Meso- und Makrofauna) zu verstehen. Derartige Veränderungen können kurzfristig, mittelfristig oder langfristig, reversibel oder irreversibel sein.

Alle 3 Wirkgruppen hängen eng zusammen und sind in ihren Mechanismen miteinander verknüpft.

Von besonderer Bedeutung sind jedoch die Schadstoffgehalte, die durch Siedlungsabfälle in den Boden gelangen und dort weitere Wirkungen verursachen können, entweder durch Aufnahme dieser Elemente in die Pflanzen und damit Einschleusung derselben in die Nahrungskette oder aber Auswaschung dieser Elemente aus dem Boden in das Grundwasser und dadurch bedingte Beeinträchtigung der Wasserqualität.

Im folgenden soll die Problematik der Schadstoffgehalte aus bodenkundlicher Sicht kurz beleuchtet werden, wobei es nicht darum geht, einzelne Wirkungsmechanismen darzustellen, sondern die Grundproblematik aufzuzeigen. Einzelaspekte werden in den folgenden Vorträgen diskutiert werden.

Bei der Verwendung von Siedlungsabfällen in der Landwirtschaft wird an erster Stelle das Prinzip der Wiederverwendung von wertvollen Nährstoffen bzw. das „Recycling“ wertvoller Naturstoffe herausgestellt. Betrachten wir jedoch die Wirkung von Siedlungsabfällen, und hier insbesondere die Schadstoffgehaltfrage, so ist festzustellen, daß es sich bei der Verwendung von Siedlungsabfällen nicht in jedem Falle um eine Rückführung von Nährelementen handelt, sondern daß hier ganz eindeutig zwei sehr unterschiedliche Mechanismen unterschieden werden müssen.

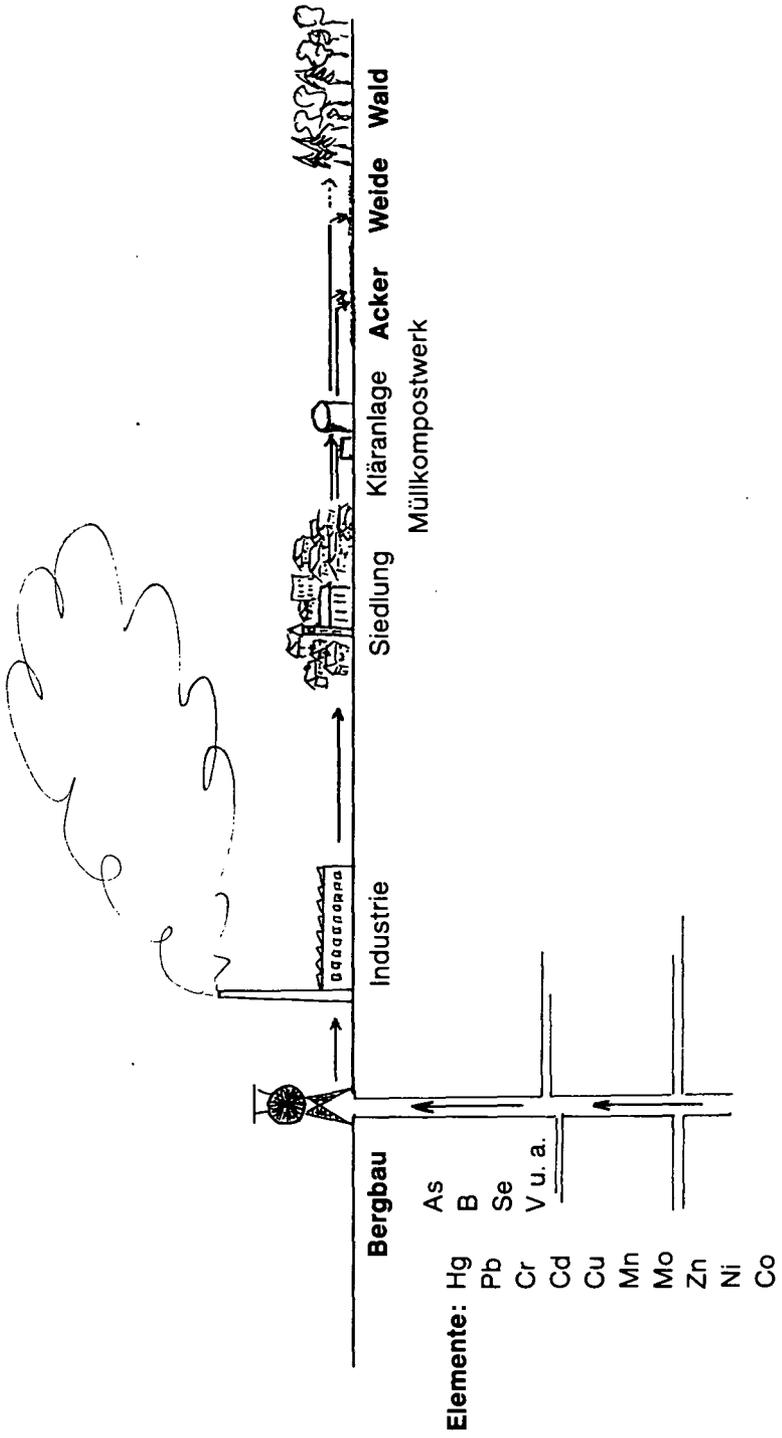
Bei Elementen, die wie die Makro- und Mikronährstoffe in der obersten Bodenschicht natürlich vorkommen und normalerweise in terrestrischen Ökosystemen umgesetzt werden, ist eine echte Rückführung über die Siedlungsabfälle möglich. Ich darf hierbei nur daran erinnern, daß jede Person pro Tag ca. 3 g Phosphor ausscheidet und dieser Phosphor durchaus in den Nährstoffkreislauf der landwirtschaftlichen Produktion zurückgeführt werden soll. Dasselbe gilt für weitere Elemente wie Stickstoff, Kalium, Calcium, Magnesium sowie für die Spurenelemente. Während somit bei diesen Elementen, soweit sie in Siedlungsabfällen enthalten sind, bei Ausbringung von Müllkompost und Klärschlamm eine echte Rückführung in natürliche Kreisläufe vorliegt, verhält sich die Problematik bezüglich der Schadstoffgehalte völlig anders.

Bei den Schadstoffgehalten ist keinerlei Rückführung aus terrestrischen Ökosystemen gegeben, sondern hier handelt es sich um eine echte Einwegreaktion, um nicht von einer Einbahnstraße oder sogar einer Sackgasse zu sprechen. Die grundsätzliche Problematik liegt darin, daß eine Fülle von in biologischen Systemen seltenen Elementen, die schon in kleinsten Konzentrationen toxisch wirken, durch den Bergbau aus dem Erdinneren herausgeholt werden, in der Industrie in entsprechenden Fabrikationsprozessen umgesetzt und an der Erdoberfläche in Kreislauf gebracht werden, wobei diese Elemente aus der Industrie über die Haushalte in die Siedlungsabfälle gelangen. Werden Siedlungsabfälle, die mit solchen Elementen belastet sind, in die Landwirtschaft gebracht, so werden diese Elemente in den Böden im besten Fall angereichert, im ungünstigsten Falle jedoch über den Boden durch Nährstoffaufnahme in die Pflanzen eingeschleust oder jedoch in das Grundwasser und damit in das Trinkwasser. Abbildung 1 zeigt diesen Mechanismus deutlich auf.

Schadelemente, wie z. B. Quecksilber, Blei, Chrom, Cadmium, Arsen, Selen, aber auch Elemente in höheren Konzentrationen, wie z. B. Kupfer, Mangan, Molybdän, Zink, Nickel, Kobalt, Vanadium, Bor u. a. stammen in den in Siedlungsabfällen vorliegenden Konzentrationen nicht aus terrestrischen Ökosystemen und werden daher auch nicht in diese wieder zurückgeführt. Vielmehr werden diese Schadstoffe aus inerten Verbindungen, die erdgeschichtlich entstanden sind und im Erdinneren ohne jegliche Auswirkung auf die Erdoberfläche gelagert waren, durch menschliche Tätigkeit aus dem Erdinneren an die Erdoberfläche gebracht und dort in Umlauf gesetzt. Dieser Weg gilt für alle genannten Elemente in mehr oder weniger gleicher Art und Weise, vgl. Abb. 1.

Gelingt es nicht, die Sackgasse, bzw. die Einbahnstraße der aus dem Erdinneren stammenden Schadelemente von der Rückführung von Nährelementen, die aus terrestrischen Ökosystemen an der Erdoberfläche stammen, zu trennen, so sehe ich prinzipiell erhebliche Probleme für die Zukunft, auch bei der derzeitigen Politik, Höchstbelastungsgrenzen für Schadstoffgehalte und einzelne landwirtschaftliche Produktionsflächen festzusetzen. Die Problematik liegt darin, daß wir bei der gemeinsamen Rückführung von Nähr- und Schadelementen unsere Böden langsam aber sicher mit Schadele-

Abb. 1: Siedlungsabfälle: Entstehung und Entsorgung
 Einbahnstraße (Sackgasse) der Schadelemente vom Bergwerk zur landw. Nutzfläche



menten anreichern. Dadurch werden von einem bestimmten Zeitpunkt ab, der zwischen 100 und 2000 Jahren liegt, die landwirtschaftlichen Böden mit Schadelementen derart angereichert sein, daß keine Pflanzenproduktion mehr möglich ist oder aber das Grundwasser und damit das Trinkwasser gefährdet wird. Meist werden jedoch, lange bevor solche Grenzsituationen erreicht werden, Einschränkungen der landwirtschaftlichen Produktion, vor allem in der Pflanzenwahl, notwendig sein. Hierbei erhebt sich die Frage, ob wir richtig liegen, wenn wir unseren Kindern oder Kindeskindern Böden hinterlassen, die mit Schadstoffgehalt bereits dermaßen angereichert sind, daß Produktions Einschränkungen notwendig werden oder aber bereits schwerwiegende Probleme der genannten Art auftreten.

Der einzige Ausweg wird sein, dort wo es möglich ist, vor allem bezüglich des Klärschlammes, evtl. auch bezüglich des Müllkompostes, die Schadstoffgehalte bei der Sammlung der Siedlungsabfälle abzutrennen, d. h. bei der Sammlung von Klärwässern solche Verursacher auszuschalten, die höhere Schadstoffkonzentrationen einbringen und damit die Klärschlämme belasten. Dasselbe gilt auch für den Müll, wo die Ausscheidung von schädlichen Stoffen bereits vor der Kompostierung durchgeführt werden müßte.

Sollte eine solche Verbesserung der Siedlungsabfälle im Hinblick auf die Wiederverwendung in der Landwirtschaft nicht möglich sein, so wird weder lang- noch mittelfristig eine Verwendung von derartigen Stoffen in der Landwirtschaft möglich sein.

Eine kurz- bis mittelfristige Verbesserung der Situation, insbesondere der Klärschlammasbringung in der Landwirtschaft, wird dadurch ermöglicht, daß als Grundlage für die Ausbringung solcher Stoffe in der Landwirtschaft Bodenkarten herangezogen werden, um damit, je nach unterschiedlicher Bodendynamik, Belastbarkeitsgrenzen solcher landwirtschaftlicher Standorte abschätzen zu können. Diese Verbesserung wird jedoch langfristig nichts bringen, da die Schadstoffgehalte sich in den Böden anreichern und hier auf lange Sicht Deponien auf landwirtschaftlichen Kulturflächen entstehen können, die eine weitere landwirtschaftliche Produktion ab einem bestimmten Anreicherungszeitpunkt von Schadelementen nicht mehr erlauben.

Ich hoffe, daß damit grundsätzlich die Problematik der Verwendung von Siedlungsabfällen in der Landwirtschaft aus bodenkundlicher Sicht aufgezeigt werden konnte und bin sicher, daß im Verlauf dieses Seminars wesentliche Fragen, die bei dieser allgemeinen Darstellung nicht berücksichtigt werden konnten, aufgezeigt und geklärt werden können.

Für dieses Seminar sind drei Veranstalter verantwortlich, ein Zeichen dafür, daß in Oberösterreich eine sehr gute Zusammenarbeit zwischen der Landwirtschaftlich-chemischen Bundesanstalt, der Landwirtschaftskammer und dem Land Oberösterreich besteht. Für das Verständnis gegenüber den Problemen der Abfallwirtschaft und für die Bereitschaft, an deren Lösung mitzuwirken, möchte ich namens des Landes herzlich danken.

In Oberösterreich fallen jährlich über 1.000.000 m³ Hausmüll und rund 200.000 m³ Klärschlamm an, die letztlich der Landschaft bzw. der Landwirtschaft zurückgegeben werden. Die wachsenden Mengen an Siedlungsabfällen und ihre kritischer werdende Zusammensetzung machen es notwendig, sich sowohl aus der Sicht des Umweltschutzes als auch der Landwirtschaft vermehrt mit Fragen der Verwertung dieser Siedlungsabfälle zu befassen.

Wie entwickelte sich die Abfallwirtschaft in den letzten Jahrzehnten?

Aus den ursprünglich weitgehend geschlossenen Kreisläufen der Produktion, der Konsumation und der Verwertung wurden immer mehr Einbahnsysteme, die alles Produzierte in kurzer Zeit zu Abfall werden lassen. Neue Produktions- und Vertriebstechniken, neue Konsumgewohnheiten einer in zunehmendem Wohlstand lebenden Gesellschaft und insgesamt der Prozeß der Verstädterung haben die Entwicklung zur Wegwerfgesellschaft beschleunigt.

Heute stehen wir vielfach vor der Frage, wohin mit den Abfällen? Ob flüssige oder feste Abfälle, ihre „Beseitigung“ — besser sollte von Behandlung oder Verwertung gesprochen werden — ist zum fast unlösbaren Problem geworden. Für die zuständigen Gemeinden wird es immer schwieriger, geeignete Standorte für Behandlungsanlagen zu finden und diese auch durchzusetzen.

Die Mengen an festen Abfällen nehmen in Österreich mit etwa 2—3 Gewichtsprozenten im Jahr zu.

Desgleichen wachsen die Klärschlammengen mit der Zahl der vollbiologischen Kläranlagen sprunghaft an. Je größer die Einzugsgebiete dieser regionalen Kläranlagen, desto eher besteht die Gefahr, daß durch einzelne abwassereinleitende Betriebe — vor allem der Metallverarbeitung — Klärschlämme für eine landwirtschaftliche Nutzung unbrauchbar gemacht werden.

Aus dieser Entwicklung ergeben sich für die Abfallwirtschaft folgende Ziele, die nur schlagwortartig genannt werden können:

Erstes Ziel muß sein, das Entstehen von Abfällen nach Möglichkeit zu vermeiden. Dies gilt sowohl für den Bereich der gewerblich-industriellen Produktion als auch für die Konsumation.

Ein zweites Ziel ist es, die Abfallmengen zu vermindern, also weniger Abfall zu produzieren.

Zum dritten müssen wir versuchen, die verwertbaren Anteile am Abfall wieder in Produktionsprozesse rückzuführen. Einerseits in die landwirtschaftliche Nutzung — dies ist unser heutiges Tagungsthema —, andererseits in den gewerblich-industriellen Produktionsprozeß. Für beide Bestrebungen — die Verwertung von Klärschlämmen in der Landwirtschaft und die Verwertung von Altstoffen in der Industrie — wurden in Oberösterreich Modelle entwickelt, die über die Grenzen unseres Bundeslandes hinaus Beachtung finden.

Der vierte und letzte Punkt des Zielkataloges einer umweltgerechten Abfallwirtschaft gilt der geordneten Ablagerung der verbleibenden Reststoffe.

Für die Abfallwirtschaft ist die bäuerliche Landwirtschaft ein Vorbild, weil sie seit alters her Recycling betreibt, ohne dafür dieses Modewort in Anspruch zu nehmen. Eine sinnvolle Verwertung der Siedlungsabfälle bedarf der Mitwirkung der Landwirtschaft. Eine weitere Vertiefung dieser Zusammenarbeit erhoffe ich vom heutigen Seminar.

Bodenkundliche und pflanzenbauliche Aspekte beim Einsatz von Siedlungsabfällen in der Landwirtschaft

Gg. Hoffmann

1. Einleitung

Seit Beginn des Industriezeitalters haben fortschreitende Industrialisierung und Urbanisierung zu immer größeren Mengen an flüssigen und festen Siedlungsabfällen geführt, die heute erschreckende Dimensionen angenommen haben. Daher ist es nur zu verständlich, daß die Kommunen eine verstärkte Entsorgung der sie belastenden Abfälle auf landbaulich genutzten Flächen anstreben, da der Deponieraum knapp und teuer wird und Schlämme wie auch Komposte seit alters her wegen ihres Gehaltes an wertgebenden Bestandteilen — Nährstoffe und organische Substanz — in Landwirtschaft und Gartenbau genutzt werden.

Der Wandel in der Siedlungsstruktur und veränderte Lebensgewohnheiten haben die Zusammensetzung der Abfälle gegenüber früher aber stark gewandelt. Im Müll überwiegen inzwischen mehr oder minder wertlose Ballaststoffe aus Verpackungsmaterialien u. ä. Quellen, als Folge der Mentalität einer achtlos gewordenen Wegwerfgesellschaft. Verwertbare organische Reste gingen laufend zurück, dafür nehmen potentielle Schadstoffe organischer und anorganischer Natur, in erster Linie Schwermetalle aus der gewerblichen und industriellen Produktion, die beide partiell in die öffentlichen Kanalisationen entwässern, nicht nur in den Klärschlämmen zu. Auch der Müll nimmt sie aus den verschiedensten Quellen auf.

Daraus ergeben sich mancherlei Einschränkungen für eine Verwertung der Siedlungsabfälle im Landbau, nicht allein wegen ihres Gehaltes an bodenfremden, teils unerwünschten, teils potentiell bis akut gefährlichen Stoffen. Auch hohe Gehalte an Nährstoffen, vornehmlich an Phosphor und Stickstoff, limitieren die Nutzung auf dem Acker, ebenso wie Hygieneprobleme, von denen insbesondere die Schlämme betroffen sind.

Im folgenden werden bodenkundliche und pflanzenbauliche Aspekte behandelt, die zu berücksichtigen sind, damit die aus kommunal- und gesellschaftspolitischer Sicht wünschenswerte Maßnahme der Rückführung wertgebender Stoffe in den natürlichen Kreislauf auch schadlos erfolgt. Die Zwangslage der Gemeinden, sich der Siedlungsabfälle kostengünstig zu entledigen, darf die Böden als die Subsistenzgrundlage jetziger und künftiger Generationen nicht nachhaltig negativ beeinflussen und die Er-

träge nicht nach Quantität oder gar nach Qualität mindern. Auf jeden Fall muß aber auch verhindert werden, daß die landwirtschaftlichen und gärtnerischen Nutzflächen zum Müllplatz einer Wohlstandsgesellschaft werden. Denn der Begriff „Verwertung“ setzt zumindest einen Anteil wertgebender Inhaltsstoffe in den Abfällen voraus, selbst wenn gefährliche abwesend oder nur in geringen Mengen vorhanden sein sollten.

Die Vielfalt der in der Weltliteratur inzwischen vorhandenen Untersuchungen zum Problem der Siedlungsabfälle zwingt zu einer Beschränkung der Belegbeispiele, die gleichwohl die Verhältnisse verschiedener europäischer Länder, soweit sie auf unseren Raum übertragbar sind, zu berücksichtigen versuchen.

2. Die Problemkreise der Abfallbeseitigung

Mit dem Anwachsen der Bevölkerung insgesamt und ihrem städtischen Anteil im besonderen sowie der fortschreitenden Industrialisierung ist das Abfallproblem zunächst ein reines Mengenproblem geworden. Genaue Messungen all dessen, was anfällt, sind nicht möglich, man kann die Mengen nur schätzen, deshalb weichen die Angaben verschiedener offizieller Stellen stets voneinander ab, liegen aber in der gleichen Größenordnung. Für die Bundesrepublik Deutschland können die in Tabelle 1 (N. N., 1980) niedergelegten Werte als verlässlich angesehen werden — allerdings mit zunehmender Tendenz.

Tabelle 1: Anfall an Siedlungsabfällen in der BRD
(Schätzung 1980)

| Klärschlamm (Mio. m ³) | Feste Abfälle (Mio. t) |
|--|--|
| 10 Industrieschlamm davon ca. 40—60 % verwertbar | 90 Inertmaterial (Abraum, Bauschutt usw.) |
| 44 Klär- und Fäkalschlamm | 15 Industriemüll 20 Hausmüll 7 hausmüllähnliche } 27 Abfälle davon 22 % verbrannt 75 % Deponie (nicht verwertbare Anteile) ~ 3 % kompostiert |

Den größten Anteil der 54 Mio. m³ an flüssigen Abfällen nehmen Klär- und Fäkalschlämme ein, von denen 40—60 % landwirtschaftlich verwertbar sind. Der Rest muß zusammen mit den reinen Industrieschlämmen anderweitig entsorgt werden, weil auch in Schlämmen größerer Siedlungen

Anteile aus dem gewerblichen Sektor enthalten sind, die wegen ihrer Schwermetallgehalte ähnlich wie die industrieller Herkünfte einzustufen sind.

Von den festen Abfällen in Höhe von rund 130 Mio. t ist nur ein verschwindend kleiner Anteil verwertbar. Abraum, Bauschutt und Industrier Müll sind es von vornherein nicht und müssen teils ganz auf die Deponie gebracht, können aber teils auch zum Verfüllen von Löchern oder anderweitig verwendet werden. Nur 3 % des Hausmülls werden über die Kompostierung verwertet, der Rest wird teils verbrannt bzw. mit den nicht nutzbaren Teilen aus der Kompostierung und der Asche aus der Verbrennung deponiert.

Als Folge regional verschieden starker Besiedlungsdichten fallen die Abfälle nicht gleichmäßig über das Land verteilt an, wie aus Tabelle 2 für den ehemals badischen Landesteil von Baden-Württemberg hervorgeht. Danach liefern 16 Klärwerke (4 %), die in den Ballungsgebieten von Mannheim/Heidelberg und Karlsruhe und in größeren Städten mit über 100.000 Einwohnergleichwerten (EGW) liegen, 53 % der gesamten Klärschlämme. 470 kleinere Anlagen (96 %) sammeln mit 47 % der EGW weniger als die Hälfte des Abwasseranfalles von insgesamt rund 8 Millionen EGW.

Tabelle 2: Klärwerke im Dienstbezirk der LUFA Augustenberg

| Klärwerksklasse in EGW* in Tausend | Summe EGW je Klasse | | Anzahl Klärwerke je Klasse | | |
|---------------------------------------|------------------------|------|-------------------------------|-----|-------|
| | absolut in Tausend | % | absolut | % | |
| > 250 | 1894 | 23,5 | 3 | ~ 1 | } ~ 4 |
| 100—250 | 2371 | 29,4 | 16 | ~ 3 | |
| 5—100 | 3252 | 40,5 | 150 | 31 | } 96 |
| 1—5 | 462 | 5,7 | 187 | 37 | |
| 0,5—1 | 51 | 0,6 | 59 | 12 | } 47 |
| < 0,5 | 27 | 0,3 | 77 | 16 | |
| Gesamt | 8057 | 100 | 489 | 100 | |

* Einwohnergleichwerte

Diese riesigen Mengen an Abfällen haben unser heutiges Entsorgungsproblem heraufbeschworen, das im wesentlichen ein Flächenproblem ist. Alle diese Stoffe müssen letztendlich irgendwo abgelagert werden. Abgesehen davon, daß dafür geeignete Flächen mit genügendem Abschluß gegen das Grundwasser immer knapper werden, der zunehmende Bedarf für den Haus- und Straßenbau, die Anlage von Erholungsflächen usw. schränkt ihren Umfang weiterhin ein, und schließlich sind Deponien

bei den Bürgern nicht mehr erwünscht. Die Schließung vorhandener wird verlangt und die Errichtung neuer nach Möglichkeit verhindert.

Auch für die Verwertung brauchbarer Siedlungsabfälle stellt sich die Frage nach verfügbaren Flächen, die jedoch bei emotionsfreier Beurteilung durchaus positiv beantwortet werden könnte, wie die Übersicht 1 für die Bundesrepublik Deutschland zeigt.

Übersicht 1: Flächenbedarf zur Unterbringung des verwertbaren Klärschlammes der BRD

verwertbar $\sim 22 \cdot 10^6 \text{ m}^3$

Lt.KSVO*) erlaubt $100 \text{ m}^3 \cdot 3a^{-1} \cdot \text{ha}^{-1} = 70.000 \text{ ha} \cdot a^{-1}$

d. s. $\sim 700 \text{ km}^2 \text{ GesLF}_{(\text{BRD})} \sim 123.000 \text{ km}^2$, davon ca. 5 % beschlammbar $\sim 6200 \text{ km}^2$

d. h. jedes 8.—10. Jahr Klärschlamm auf die gleiche Fläche, gleichmäßige Verteilbarkeit vorausgesetzt

*) Klärschlammverordnung vom 1. 4. 1983

Bei einer Limitierung der ausgebrachten Schlammmenge auf 100 m^3 jedes 3. Jahr, sind für rund 21 Mio. m^3 an verwertbarem Klärschlamm jährlich 70.000 ha oder 700 km^2 Ackerfläche erforderlich. Von den insgesamt 123.000 km^2 an landwirtschaftlich genutzter Fläche sind nur ca. 5 %, um zu lange Transportwege zu vermeiden, kostengünstig beschlammbar. Im Prinzip müßten somit die sich aus dieser Rechnung ergebenden 6200 km^2 nur jedes 8. bis 10. Jahr beschlammbar werden, vorausgesetzt, die Eigentümer der in Frage kommenden Grundstücke ließen eine Beschlammung zu. In der Praxis werden die derzeit verwerteten Schlämme aber nicht nach einem statistischen System verteilt, sondern erhalten immer wieder die gleichen Flächen innerhalb relativ kurzer Abstände die nächste Gabe. Sind sie zufällig bereits höher vorbelastet und hat der laufend benützte Schlamm der gleichen Herkunft nicht extrem niedrige Schadstoffgehalte, dann kann die Grenze einer zumutbaren Zufuhr schon nach kurzer Zeit erreicht sein.

Damit kommt man zum nächsten, dem Qualitätsproblem. Wenn ein Siedlungsabfall im Landbau verwertet werden soll, dann muß er eine Reihe von Anforderungen erfüllen, die in Übersicht 2 in Anlehnung an KICK (1984) zusammengefaßt sind. Einige sind als Positiv-, andere als Negativ-Voraussetzungen ausgedrückt. Besonders den letzteren gilt ein verschärftes Augenmerk, um zu verhindern, daß Äcker und Grünland keine Ersatzabfallgruben werden und bedenkliches Material, anstatt über die Deponie, über die Kulturlandschaft entsorgt wird.

Übersicht 2: Voraussetzungen zur Verwertung von Siedlungsabfällen in der Landwirtschaft

Positiv: Ausreichende Nährstoff- und Humuswirkung

Negativ: Keine Beeinträchtigung von Ertrag und Qualität pflanzlicher Erzeugnisse.

Keine hygienisch-gesundheitliche Gefährdung bei Ausbringung und für den Konsumenten von Bodenprodukten.

Keine das tolerierbare Maß überschreitende Anreicherung unerwünschter oder toxischer Stoffe in Boden und Pflanze.

Kein Austrag dieser Stoffe in Grund- und Oberflächenwasser.

Ein Siedlungsabfall ist nur dann verwertbar, wenn

- er hygienisch einwandfrei ist (hier kann eine zeitliche Limitierung der Aufbringung und der Ausschluß bestimmter Flächen, die der Produktion von Frischnahrung und Viehfutter dienen, Abhilfe bringen);
- eine schädigende Anreicherung unerwünschter Stoffe in Böden und Pflanzen sowie eine Beeinträchtigung des Ertrages nach Menge und Güte ausgeschlossen ist;
- das Grundwasser nicht belastet wird;
- eine ausreichende Menge an Pflanzennährstoffen und solchen organischen Stoffen vorhanden ist, die in den biologischen Kreislauf wieder eintreten können.

Armut oder Freiheit von schädigenden Inhaltsstoffen allein, neben ansonsten nur ackerfremdem Inertmaterial, befriedigt den Verwertungsgedanken nicht. Soll die Landwirtschaft als gutwillige aufnehmende Hand für einen unvermeidbaren Zivilisationsabfall fungieren, dann muß sie einen gewissen Mindestnutzen von diesen aus gesellschaftspolitischen Rücksichten über den Acker entsorgten Substanzen fordern. Es genügt nicht allein, daß kein Schaden verursacht wird.

Auf diese Anforderungen ist es zurückzuführen, daß von der in der Bundesrepublik Deutschland anfallenden Gesamtmenge an Klärschlämmen im Schnitt nur 50 %, gegendweise noch weniger, verwertbar sind. So liefern z. B. die in Tabelle 2 aufgeführten 19 großen Klärwerke aus Industriezonen durchwegs in der Landwirtschaft nicht verwertbare Schlämme, aber auch von den restlichen sind nicht alle brauchbar, da auch in kleineren Orten angesiedelte Gewerbe- und Industriebetriebe ihre meist schwermetallhaltigen Abwässer ohne Vorabscheidung ins öffentliche Netz abgeben.

Schließlich ergeben sich aus der Konsistenz der Siedlungsabfälle noch 2 Variationen für das Verwertungsproblem.

Da die Vorbereitungsarbeiten für die Deponierung flüssiger Siedlungsabfälle (Wasserentzug) arbeitsaufwendig und kostspielig sind, steht bei

der Verwertung die Frage einer unschädlichen Entsorgung brauchbarer Chargen im Vordergrund, während es sich bei den festen Abfällen von Müllcharakter in erster Linie um eine echte Verwertung solcher Anteile handelt, die nach einem vorangeschalteten Kompostierungsschritt (mit oder ohne Zusatz von brauchbarem Klärschlamm) eine normierbare Qualität erreicht haben und dadurch in der Lage sind, Mangelsituationen bei der Zufuhr von organischer Substanz zu den Böden zu überwinden und zu ihrer Verbesserung beizutragen.

Anbetrachts der vielschichtigen Problematik ergibt sich die Frage, wer denn eigentlich Bedarf an Siedlungsabfällen hat.

Prinzipiell braucht die Landwirtschaft zur sachgerechten Produktion keine Siedlungsabfälle, weder von der Nährstoff- noch von der Humusseite her, da sie den Humusspiegel ihrer Böden, soweit Vieh gehalten wird, über Stallmist, ergänzt durch Zwischenfruchtanbau und Gründüngung, in vieharmen Betrieben durch die beiden letzteren Maßnahmen und Strohdüngung aufrechterhalten kann. Wenn sie ihre Flächen den Kommunen daher zur Entsorgung von Klärschlamm zur Verfügung stellt, ist von einer kostenfreien Lieferung unschädlicher Substanz zumindest mit einer gewissen Nährstoffwirkung auszugehen, da die im Klärschlamm enthaltenen organischen Stoffe — obwohl sie relativ wertvoll sind — von der Menge her als Bodenverbesserungsmittel kaum ins Gewicht fallen.

Anders verhält es sich mit kompostiertem Müll der verschiedenen Fertigungsverfahren. Für ihn besteht in Intensivbetrieben des Sonderkulturanbaus, die aus betriebswirtschaftlichen Gründen keine Viehhaltung mehr betreiben, aber wegen intensiver Bodenbearbeitung großen Bedarf an Humusersatzstoffen aufweisen, im Landschaftsbau und begrenzt auch in Forstpflanzgärten ein gewisser Bedarf, der auch ein Entgelt für die Ware rechtfertigt, soweit sie die erforderliche innere und äußere Qualität besitzen (BRUGGER, 1976). Auf diesem Sektor treten die Siedlungskomposte jedoch mit anderen Humusersatzstoffen in Konkurrenz, so daß neben der Qualität auch der Preis über ihre Verwendung entscheidet.

3. Zusammensetzung der Siedlungsabfälle

Bevor einzelne pflanzenbauliche und bodenkundliche Aspekte beim Einsatz von Siedlungsabfällen behandelt werden, soll eine Aufnahme der gegenwärtigen Situation aufzeigen, inwieweit die Grundanforderungen an ihre innere Qualität überhaupt erfüllbar sind.

3.1 Gehalte an wertgebenden Bestandteilen

Klärschlämme haben in der Mehrzahl Trockenmassegehalte um bis unter 5 % und sind nur nach mechanischer, seltener thermischer Vorbehandlung wasserärmer. Knapp 1200 an der LUFA Augustenberg während der letzten 4 Jahre untersuchte Proben enthielten im Mittel 4 % Gesamtstickstoff (davon etwa $\frac{1}{6}$ leicht löslich) und rund 2 % P_2O_5 . Damit ist die Anforderung an einen nicht unbeträchtlichen Nährstoffgehalt befriedigt, denn diese Gehalte entsprechen einer Gesamtzufuhr von 202 kg N und 98 kg P_2O_5 je ha, wenn 5 t Klärschlamm-trockenmasse ausgebracht werden. Nach FURRER und BOLLIGER (1978) ist, wie später noch ausgeführt wird, bei einer N-Gabe in dieser Größenordnung mit der Zufuhr von rund 80 kg an wirksamem Stickstoff zu rechnen. Das Phosphat im Klärschlamm ist nach verschiedenen Autoren zu 80—100 % verfügbar (HÄNI und GUPTA, 1978), was auch für Anlagen mit sogenannten dritten (chemischen) Reinigungsstufen zutrifft (WERNER, 1975; GUPTA u. HÄNI, 1978; TIMMERMANN u. Mitarb., 1980, u. a.).

Die angebotenen Nährstoffmengen ändern sich mit der Konsistenz der Schlämme. Sie liegen in Flüssigschlämmen deutlich über dem Mittel, sinken bei Teilentwässerung, die sowohl an Trübstoffen gebundene schwer lösliche als auch den größten Prozentsatz der leicht löslichen Anteile abführt, auf rund die Hälfte bis ein Drittel der Mittelwerte und bei Entwässerung bis auf Stichfestigkeit noch darunter. Dabei nimmt die Nährstoffwirkung ab und die Humuswirkung zu (Tab. 3).

Tabelle 3: Nährstoffgehalt in den Klärschlämmen aus dem Einzugsbereich der LUFA Augustenberg (1981—1983)

| Art | Anzahl | Gesamt | % N leicht löslich | % P_2O_5 Gesamt |
|----------------|--------|---------------|-----------------------|----------------------|
| Gesamt* | 1177 | 4,04 (202) | 0,67 (32) | 1,95 (98) |
| flüssig | 840 | 4,73 | 0,84 | 2,30 |
| teilentwässert | 170 | 2,19 | 0,28 | 1,33 |
| entwässert | 169 | 1,78 | 0,17 | 0,73 |

* in Klammern $kg\ N \cdot ha^{-1} \cdot 5t\ TS^{-1}$

Die Masse der Schlämme liegt im N-Gehalt mit Schwerpunkt bei den Mittelwerten, es gibt aber Chargen mit weitaus höheren Gehalten, wie die Verteilungsmuster der Abbildung 1 zeigen. Phosphor nimmt in der Regel mit steigenden Stickstoffgehalten in einer nach oben abgeflachten Kurve ebenfalls zu.

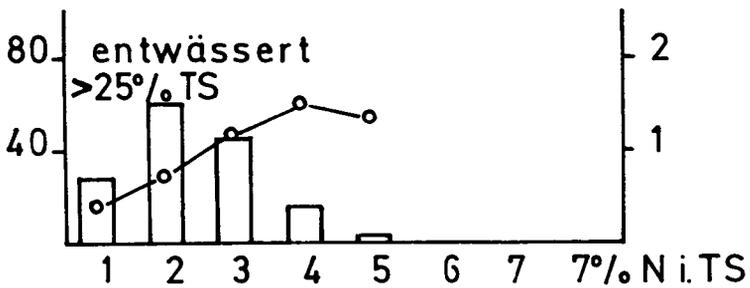
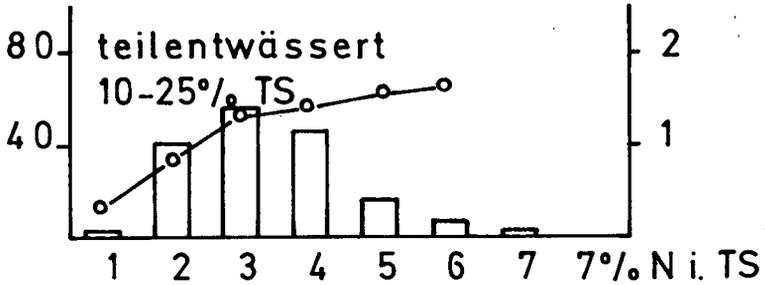
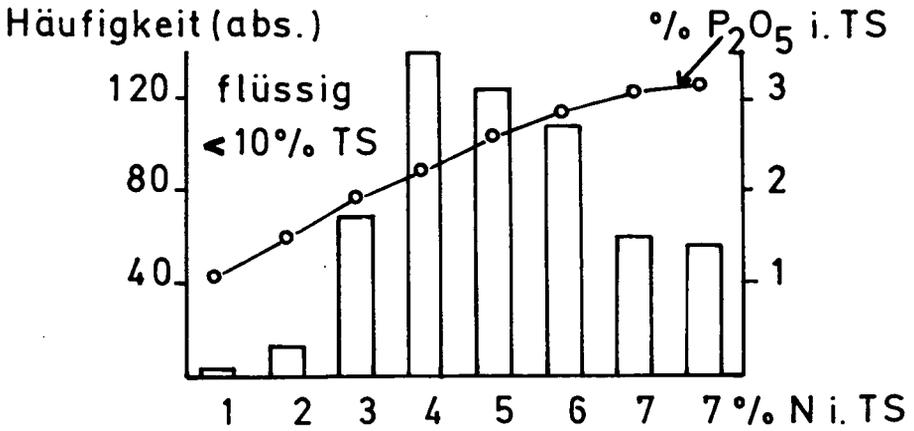


Abb. 1: Häufigkeit verschiedener N-Gehalte von 895 nach Gehaltsgruppen geordneten Klärschlämmen unterschiedlichen Entwässerungsgrades und die zugehörigen mittleren P_2O_5 -Gehalte

Beide Nährstoffe können Konzentrationen erreichen, die zu geringeren Aufwandmengen als 5 t Trockenmasse Anlaß geben, um Überdüngungen bzw. unerwünschte Anreicherungen (vornehmlich von P) im Boden oder Auswaschungen von N zu vermeiden.

In Siedlungskomposten (MK und MKK) sind die Trockenmasse und damit die Humusgehalte höher, die Nährstoffgehalte niedriger als in Schläm-
men, woraus sich ihre Hauptwirkung als Humuslieferanten ergibt (Tab. 4).

Tabelle 4: Zusammensetzung von Siedlungskomposten aus Versuchen der LUFA Augustenberg im Rebbau

| Inhaltsstoff | % |
|---------------------------|---------|
| Wasser | 16—38 |
| Trockenmasse | 62—84 |
| Org. Substanz | 15—47 |
| Salzgehalt (ber. als KCl) | 1,7—2,6 |
| Gesamt-N | 0,7—1,5 |

Mitunter können hohe Salzgehalte ihre Verwendbarkeit als Pflanzsubstrate in Frage stellen, was an einem Beispiel noch gezeigt wird. Sollen Komposte ihrer Hauptaufgabe als Bodenverbesserungsmittel gerecht werden, müssen sie die in Übersicht 3 gestellten Anforderungen erfüllen. Ein Ersatz von Stallmist ist gewährleistet, wenn eine Gabe von ca. 20 t Frischkompost mit 60 % Trockenmasse und 40 % organischer Masse in der Trockensubstanz (entspricht ca. 30 m³ bei einem Volumengewicht von 0,6 kg/Liter) je ha ausgebracht wird. Diese von HOFFMANN (1980 a) aufgestellte Anforderung ist aufgrund seiner Untersuchungen an Komposten verschiedener Herkunft fabrikmäßig ohne Schwierigkeiten zu erreichen, ja sogar zu übertreffen.

Übersicht 3: Anforderungen an Siedlungskomposte zur Verwertung im Landbau

Grundvoraussetzung: Stallmistersatz muß möglich sein, d. h. 250 dt Stallmist · ha⁻¹ · 2a⁻¹ mit ca. 20 % organischer Substanz (vollwirksam) sind mindestens auszugleichen, entspricht ca. 5 t · org. Trockenmasse

Erfüllbar durch: ca. 30 m³ Siedlungskompost mit 60 % Trockenmasse, 40 % organische Substanz i. T. (ca. 50 % wirksam), 0,6 kg/Liter Volumengewicht enthalten ~ 18 t Feststoffe davon ~ 1 t Trockenmasse mit ~ 4,5 t org. Substanz, davon ~ 2—2,5 t wirksam, d. h. Stallmistersatz mit ~ 30 t · ha⁻¹ · a⁻¹ Siedlungskompost der o. a. Charakterisierung möglich.

3.2 Gehalte an Schadstoffen

Während die eben behandelten Positivbestandteile der Siedlungsabfälle keinen Anlaß zu generellen Anwendungsverböten, höchstens wegen sehr hoher Nährstoffgehalte zu einer sinnvollen Einschränkung der Aufwandsmengen geben, die sich am Bedarf der angebauten Kultur orientieren sollte, sind Überschreitungen bestimmter Gehalte an absoluten oder potentiellen Schadstoffen immer Auslöser, einen derart belasteten Abfall zur Verwertung in der Landwirtschaft nicht zuzulassen.

Vorerst gibt es solche Einschränkungen nur für Schwermetalle, da nur für sie ausreichende Untersuchungen über natürliche Gehalte in den Böden und Toxizitätsschwellen vorliegen, nicht dagegen für andere Kontaminanten, z. B. von organischer Natur.

3.2.1 Schwermetalle

In der inzwischen in Kraft getretenen Klärschlammverordnung (N.N., 1982) werden Grenzwerte für die beiden nutritiven und nur in relativ hohen Konzentrationen toxischen Metalle Zink und Kupfer und für die meist human-, teils auch phytotoxischen Metalle Blei, Chrom, Nickel, Cadmium und Quecksilber festgelegt. Eine Untersuchung von fast 1200 Klärschlämmen an der LUFA Augustenberg aus den letzten 4 Jahren zeigt die derzeitige Situation solcher Schlämme, die nach den Richtlinien der Verordnung brauchbar waren, d. h. in denen keines der 7 Schwermetalle die gesetzlich vorgeschriebenen Grenzwerte überschritten hatte (Tab. 5, 1. Zeile). Gegenübergestellt werden rund 200 Schlämme, in denen mindestens ein Element darüber lag (2. Zeile).

Tabelle 5: Schwermetallgehalte* in Siedlungsabfällen (mg/kg TS)

| Art | Zn (3000) | Cu (1200) | Pb (1200) | Cr (1200) | Ni (200) | Cd (20) | Hg (25) | Anzahl |
|--------------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------------|------------|------------|--------|
| Klärschlamm (brauchb.) | 1420 | 334 | 178 | 75 | 34 | 4,2 | 2,7 | 1177 |
| Klärschlamm (nicht brauchb). | 3232 | 863 | 600 | 572 | 202 | 17,8 | 6,0 | 218 |
| Müll- u. 1) | 1315 | 207 | — | — | — | 7 | — | 44 |
| Müll- Klär- 1) | — | — | 517 | 55 | 44 | — | — | 32 |
| schlamm- Komposte 1) | — | — | — | — | — | — | 4,7 | 8 |
| 2) | 2230 | 780 | 1570 | — | 90 | 12 | — | 65 |
| Klärschlamm- Kompost 3) | 8170 | 294 | 2260 | 240 | 245 | 277 | 4,2 | 5 |

1) LUFA Augustenberg (verwertbare Provenienzen)

2) Schweizer Untersuchungen nach FURRER

3) LUFA Augustenberg (nicht verwertbare Provenienzen aus einem Industriebereich)

* in Klammern in der Kopfzeile: Grenzwerte der KSVO

Die mittleren Gehalte der brauchbaren Schlämme liegen weit unter den Grenzwerten. Sie betragen im ungünstigsten Fall knapp 50 % (Zn), im günstigsten ca. 6 % (Cr) des tolerierbaren Wertes. Die nicht brauchbaren Schlämme liegen im Mittel deutlich höher. Zink und Nickel überschreiten die Grenzwerte eben, Cadmium reicht fast heran. Da Schlämme mit Grenzwertüberschreitungen etwa $\frac{1}{2}$ aller für eine landwirtschaftliche Nutzung vorgesehenen Provenienzen betragen (nur solche sind überhaupt zur Untersuchung eingesandt worden), ergibt sich die Notwendigkeit einer laufenden Kontrolle von allein, weil sonst eine gezielte Verwertung unmöglich ist. Es ist nämlich keinesfalls so, daß Überschreitungen der Grenzwerte stets nur in den gleichen Anlagen auftreten. Auch solche mit langen Untersuchungsreihen brauchbarer Schlämme liefern immer wieder einmal nicht verwertbare Chargen an.

War von allen für die Verwertung in der Landwirtschaft vorgesehenen Klärschlämmen der weitaus größere Prozentsatz auch wirklich brauchbar, so liegen die Verhältnisse bei den Siedlungskomposten anders (Tab. 5, Mittelteil). Läßt man nämlich pro Jahr die gleichen Schwermetallfrachten zu wie mit 5 t Klärschlamm-trockenmasse, dann sinken die tolerierbaren Schwermetallgehalte je kg Kompost beträchtlich unter die Grenzwerte für Schlämme, z. B. für Zink auf 1200 mg, für Blei auf 330 mg, für Cadmium auf 7 mg/kg Kompost-trockenmasse (HOFFMANN, 1980 a). Damit aber erfüllen nur noch die wenigsten der untersuchten Komposte die Anforderungen, die an Klärschlamm gestellt werden. Ein besonders kritisches Element in Komposten ist das Blei. In anderen Ländern liegen die Verhältnisse noch ungünstiger, wie die einer Arbeit von FURRER entnommene Zahlenreihe von Schweizer Komposten belegt (vorletzte Zeile, Tab. 5).

Doch können bei besonders ungünstigen Ausgangsmaterialien auch noch bedenklichere Schwermetallgehalte in Komposten zustande kommen. Die in der letzten Zeile der Tabelle 5 zusammengefaßten Daten stammen von reinen Klärschlammkomposten einer Anlage mit einer Fabrik für Blei- und Nickel/Cadmium-Akkumulatoren in ihrem Einzugsgebiet. Die Komposte dieser Anlage sind nie für eine landwirtschaftliche Verwertung freigegeben worden und kamen alle auf Deponie.

Wie schon beim Stickstoff gezeigt, geben Verteilungsmuster der Schwermetallgehalte ein besseres Bild der Belastungssituation als Mittelwerte (Abb. 2). Die leeren Säulen der jeweils letzten Klassen zeigen die Anzahl der Proben mit Grenzwertüberschreitungen, z. B. bei Zink 100, bei Nickel 80, bei Kupfer 50, bei Cadmium 40 usw., wobei es durchaus vorkommt, daß in ein und demselben Schlamm mehr als ein Element seine Unbrauchbarkeit bedingt.

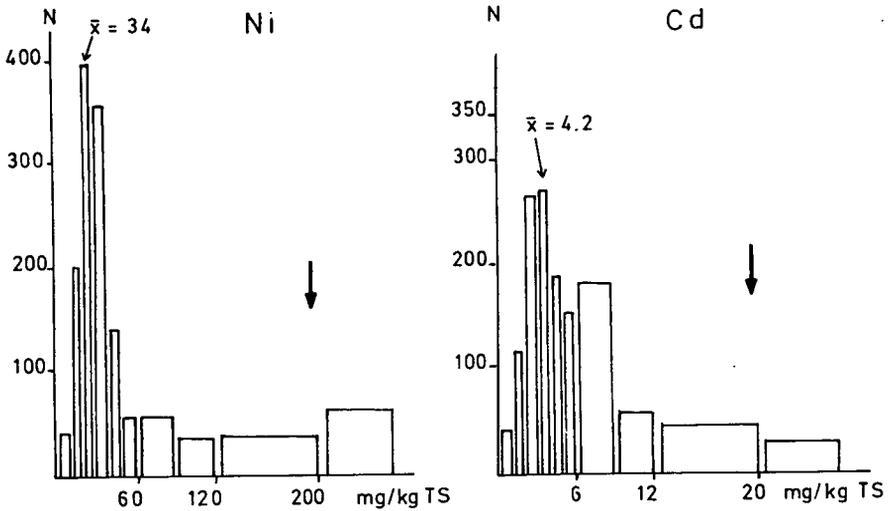
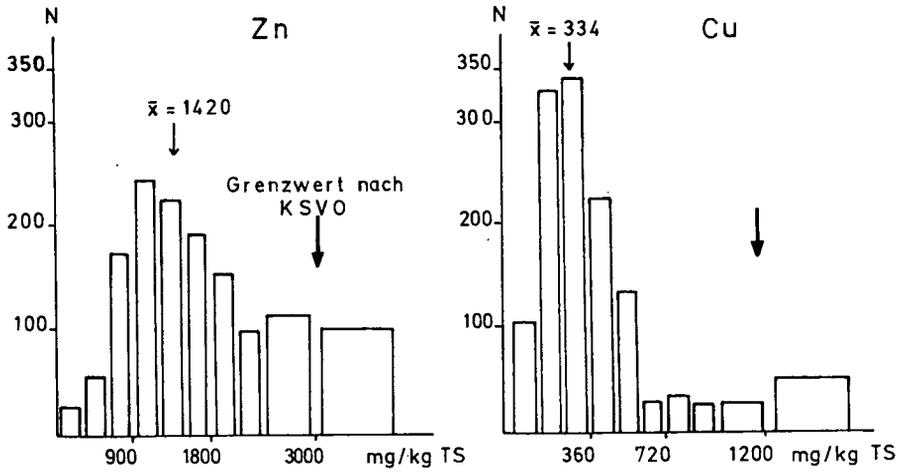


Abb. 2: Verteilungsmuster einiger Schwermetalle nach Gehaltsklassen in 1177 brauchbaren Klärschlämmen

3.2.2 Organische Schadstoffe

Über die Gehalte von Klärschlämmen an organischen Umweltstoffen gibt es praktisch noch keine repräsentativen Untersuchungen. Deshalb hat die Anstalt des Autors dieses Referats vom vorgesetzten Fachministerium (Ernährung, Landwirtschaft, Umwelt und Forsten Baden-Württemberg) einen Forschungsauftrag für eine Erhebungsuntersuchung der Klärschlämme aus dem Dienstbezirk der Anstalt, den beiden Regierungspräsidien Karlsruhe und Freiburg, erhalten. Innerhalb der ersten beiden Jahre konnte von fast jedem Klärwerk ab einer Größe von 1000 EGW mindestens eine Probe auf 18 Chlorkohlenwasserstoff-Pestizide (HCB; α - bis δ -HCH; Heptachlor und -Epoxid; α - und γ -Chlordan; Aldrin; Dieldrin; α -Endosulfan; DDE; o,p'- und p,p'-DDT u. -DDD; Endrin) und den Summengehalt an PCBs nach Perchlorierung zu Dekachlorbiphenyl (DCB) untersucht werden (TRENKLE, 1984).

Insgesamt wurden bislang 204 Proben aus dem Regierungspräsidium (RP) Karlsruhe und 240 Proben aus dem RP Freiburg erfaßt (Tabelle 6).

Tabelle 6: Gehalte von Klärschlämmen an chlorierten Kohlenwasserstoffen (in % der Proben)

a) Chlorierte Kohlenwasserstoffe Pestizide (Σ von max. 18 Wirkstoffen)

| Bereich Reg. Präs. | Anzahl Proben | Gehaltsklasse mg/kg Trockenmasse | | | | | \bar{x} |
|-----------------------|------------------|----------------------------------|------------|----------|---------|-------|-----------|
| | | < 0,001 | 0,001—0,01 | 0,01—0,1 | 0,1—1,0 | > 1,0 | |
| Karlsruhe | 204 | 2 | 1 | 29 | 60 | 8 | 0,40 |
| Freiburg | 240 | 4 | 1 | 20 | 65 | 10 | 0,43 |

b) PCBs berechnet als Dekachlorbiphenyl

| Bereich Reg. Präs. | Anzahl Proben | Gehaltsklasse mg/kg Trockenmasse | | | | | \bar{x} |
|-----------------------|------------------|----------------------------------|----------|-----------|-----------|--------|-----------|
| | | < 1,0 | 1,0—10,0 | 10,0—30,0 | 30,0—50,0 | > 50,0 | |
| Karlsruhe | 204 | 1 | 51 | 38 | 6 | 4 | 15,95 |
| Freiburg | 240 | 1 | 41 | 42 | 10 | 6 | 20,23 |

Abgesehen von geringfügigen Unterschieden waren die Klärschlämme aus beiden RP ziemlich gleichartig mit organischen Schadstoffen kontaminiert.

Der Schwerpunkt lag bei den Pestiziden im Gehaltsbereich von 0,1—1,0 mg/kg Klärschlamm-Trockenmasse (als Summe der jeweils angetroffenen Wirkstoffe) mit 60—65 % der Proben bei annähernd gleichen Mittelwerten (0,40 bzw. 0,43 mg/kg) in den beiden Bereichen. In allen 5 in der Tabelle 6a ausgewiesenen Gehaltsklassen waren HCB, γ -HCH und Heptachlor, in den Gehaltsklassen 0,01—0,1 und 0,1—1,0 mg/kg auch DDE, in einem er-

Tabelle 6a: Gehalte von Klärschlümmen an CKW (Organochlor-Pestiziden) aus Regierungsbezirken Freiburg und Karlsruhe, bez. auf Trocken-
substanz

| CKW | Nr. | <0,001* mg/kg | 0,001—0,01 mg/kg | >0,01—<0,1 mg/kg | 0,1—1,0 mg/kg | >1,0 mg/kg | Anzahl (%-Satz) der kontaminierten Klärschlümmen |
|----------------------|-----|------------------|---------------------|---------------------|------------------|---------------|---|
| HCB | 1 | 1 (<1,0 %) | 28 (6,3 %) | 213 (48,0 %) | 98 (22,1 %) | 13 (3,2 %) | 353 (79,5 %) |
| α -HCH | 2 | — | 23 (5,2 %) | 16 (3,6 %) | 9 (2,0 %) | — | 48 (10,8 %) |
| γ -HCH | 3 | 1 (<1,0 %) | 33 (7,4 %) | 141 (31,8 %) | 75 (16,9 %) | 3 (<1,0 %) | 253 (57,0 %) |
| β -HCH | 4 | — | 6 (1,4 %) | 19 (4,3 %) | — | — | 25 (5,6 %) |
| Heptachlor | 5 | 1 (<1,0 %) | 16 (3,6 %) | 113 (25,5 %) | 38 (8,6 %) | 1 (<1,0 %) | 169 (38,1 %) |
| δ -HCH | 6 | — | 11 (2,5 %) | 16 (3,6 %) | — | — | 27 (6,1 %) |
| Aldrin | 7 | — | 2 (<1,0 %) | 14(3,2 %) | 2 (<1,0 %) | — | 18 (4,1 %) |
| Heptachlorepoxyd | 8 | — | — | 8 (1,8 %) | — | — | 8 (1,8 %) |
| γ -Chlordan | 9 | — | 2 (<1,0 %) | 1 (<1,0 %) | — | — | 3 (<1,0 %) |
| α -Chlordan | 10 | — | 11 (2,5 %) | 13 (3,2 %) | 6 (1,4 %) | — | 29 (6,5 %) |
| α -Endosulfan | 11 | — | 5 (1,1 %) | 28 (6,3 %) | 6 (1,4 %) | — | 39 (8,8 %) |
| DDE | 12 | — | 6 (1,4 %) | 138 (31,1 %) | 72 (16,2 %) | — | 216 (48,7 %) |
| Dieldrin | 13 | — | 2 (<1,0 %) | 12 (2,7 %) | 5 (1,1 %) | 1 (1,0 %) | 20 (4,5 %) |
| o'-p-DDD | 14 | — | 5 (1,1 %) | 8 (1,8 %) | 2 (<1,0 %) | — | 15 (3,4 %) |
| Endrin | 15 | — | — | 3 (<1,0 %) | 1 (<1,0 %) | — | 6 (1,4 %) |
| o'-p-DDT | 16 | — | 1 (<1,0 %) | 22 (5,0 %) | 23 (5,2 %) | — | 46 (10,4 %) |
| p,p-DDD | 17 | — | 1 (<1,0 %) | 11 (2,5 %) | 17 (3,8 %) | — | 29 (6,5 %) |
| p,p-DDT | 18 | — | — | 3 (<1,0 %) | 7 (1,6 %) | — | 10 (2,3 %) |
| Summe CKW | 14 | 3 (3,2 %) | 4 (<1,0 %) | 112 (25,2 %) | 179 (40,3 %) | 34 (7,7 %) | 444 (100 %) |

*) in 13 (3,2 %) Klärschlümmen keine Pestizide nachweisbar

heblichen Prozentsatz der Proben vorhanden, die übrigen Wirkstoffe nur in weniger Proben. Mehrfachkontaminationen mit verschiedenen Wirkstoffen waren die Regel, doch traten relativ hohe Gehalte an einer Substanz nur insgesamt 3mal auf (8,5 bzw. 9,2 mg/kg HCB und 6,6 mg/kg γ -HCH). Insgesamt betrachtet ist die Kontamination der Klärschlämme im ehemals badischen Landesteil mit Chlorkohlenwasserstoff-Pestiziden nicht problematisch.

Die PCBs wurden in ziemlich gleicher Menge von ca. 40—50 % der Proben in den beiden Gehaltsklassen 1,0—10,0 und 10,0—30,0 mg/kg angetroffen und lagen damit im Gehalt deutlich höher als die Pestizide, auch wenn man weiß, daß die Perchlorierung zu ca. 3—4fach überhöhten Gehalten an PCBs in der Matrix Klärschlamm führt. Selbst wenn man diesen Faktor berücksichtigt, liegt der Gehalt der PCBs im Mittel noch 10mal höher als die Organochlorpestizide. Durch Übergang zur Kapillargaschromatographie sind künftig von PCBs vortäuschenden Begleitstoffen unverfälschte Ergebnisse zu erwarten, die darüber hinaus anhand der Peakmusteranalyse auch den Nachweis der vorwiegend angetroffenen Handelsprodukte (z. B. Clophen A 30 usw.) ermöglichen werden.

Während sich großstädtische und ländliche Kläranlagen im Gehalt an Organochlorpestiziden nicht typisch unterscheiden (Abb. 3), sind erstere mit PCBs eindeutig stärker belastet als die letzteren (Abb. 4), wie Mehrfachuntersuchungen der gleichen Anlage im Verlauf von etwa 2 Jahren belegen.

Nach diesen ersten großräumigen Untersuchungen kann eine akute Gefährdung von Böden und Pflanzen durch die überprüften organischen Verbindungen ausgeschlossen werden, da die Gehalte besonders bei den Organochlorpestiziden niedrig sind und PCBs bei Angebot in der festgestellten Größenordnung wegen ihrer geringen Löslichkeit unter Feldbedingungen praktisch nicht in die Pflanzen übergehen und die städtischen Schlämme ohnedies nicht zur Verwertung geeignet sind. Dennoch erfordert die Frage der PCBs noch weitere Untersuchungen.

3.3 Gesetzliche Regelungen

Die zunehmende Sensibilisierung gegenüber Umweltfragen hat schon frühzeitig Regelungen für die landwirtschaftliche Verwertung von Klärschlämmen verlangt, seit die Zahl der Untersuchungen gewachsen ist und in manchen Herkunftsorten unverhältnismäßig hohe Schwermetallgehalte nachgewiesen wurden. Noch vor dem Inkrafttreten der schon erwähnten Klärschlammverordnung (KSVO) ab 1. 4. 1983 in der gesamten Bundesre-

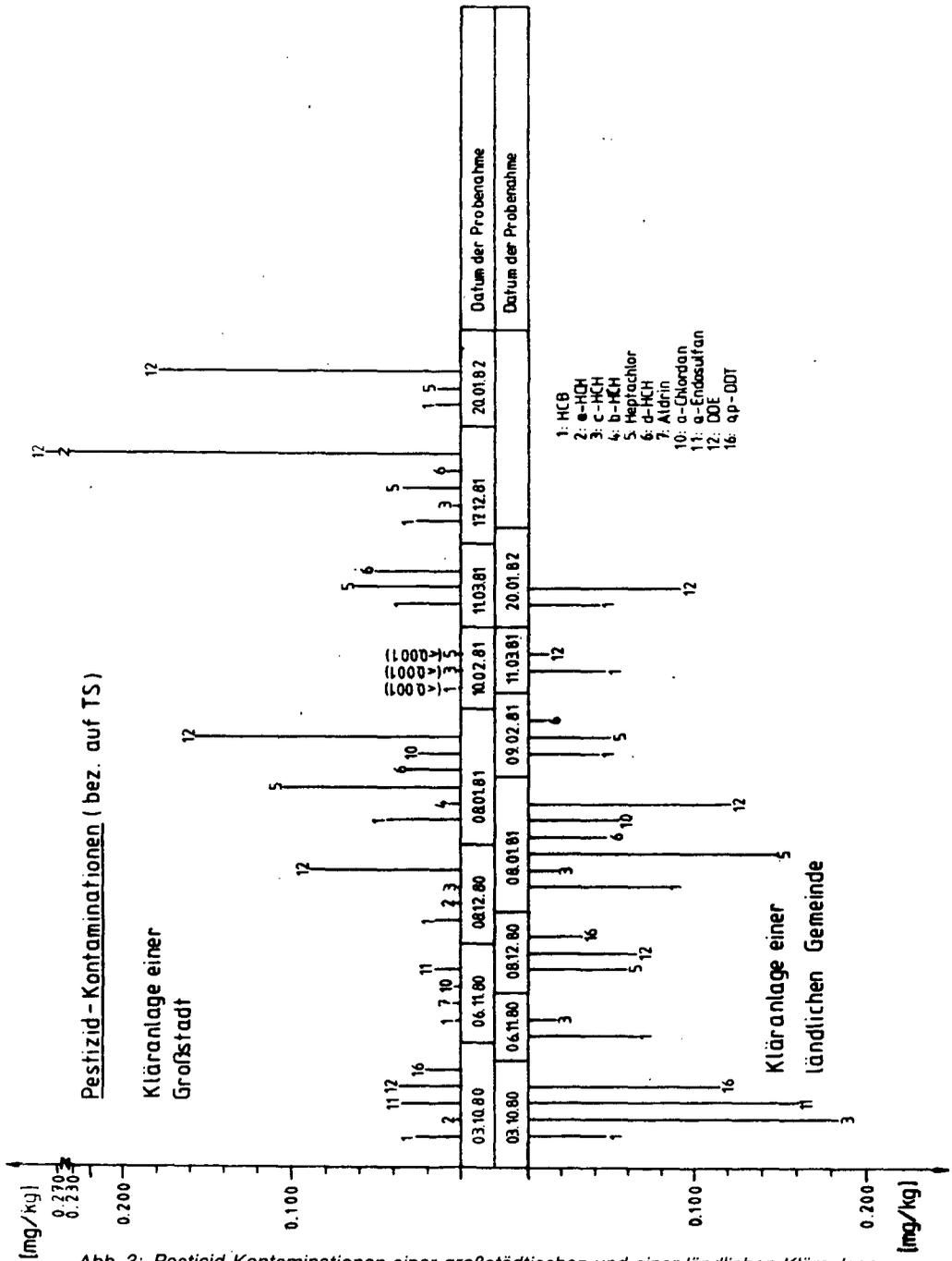


Abb. 3: Pesticid-Kontaminationen einer großstädtischen und einer ländlichen Kläranlage

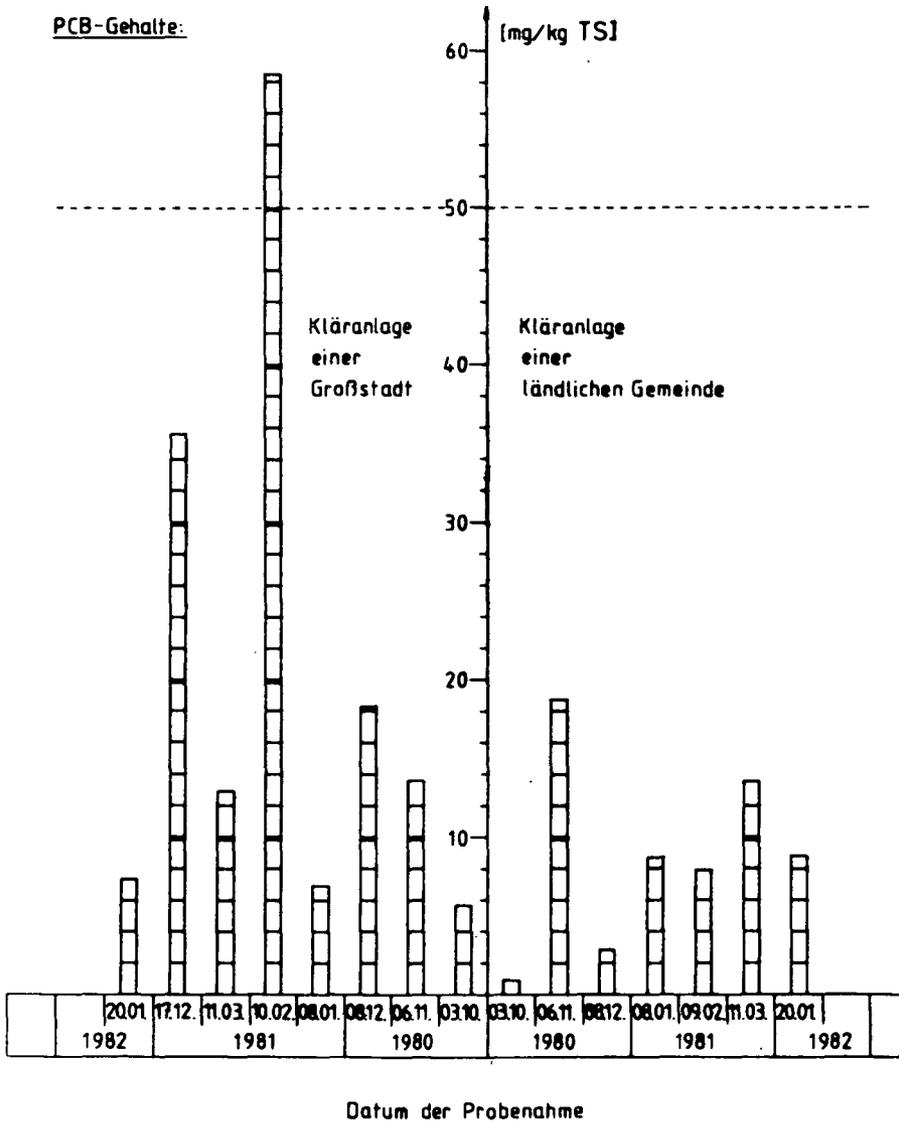


Abb. 4: Vergleich der PCB-Belastung einer großstädtischen und einer ländlichen Kläranlage

publik Deutschland hat das Land Baden-Württemberg Anwendungsrichtlinien erlassen (N.N., 1977) und ihre Befolgung durch die Klärwerksbetreiber auf freiwilliger Basis erreicht.

Der Inhalt der KSVÖ ist in Übersicht 4 gerafft wiedergegeben. Sie legt die Aufwandmenge auf 5 t Klärschlamm-trockenmasse je ha Ackerland alle 3 Jahre (auf Grünland 2,5 t) fest und schreibt Höchstgehalte für Schwermetalle vor, deren Überschreitung auch nur bei einem Element eine landwirtschaftliche Verwertung ausschließt. Sie wird auch untersagt, wenn ein Boden schon eine bestimmte Vorbelastung, sei es auf natürliche Weise aus dem Muttergestein oder durch anthropogene Einflüsse, aufweist. Dabei war die Überlegung maßgebend, daß durch einen Schlamm mit den festgeschriebenen Höchstgehalten ein nicht belasteter Boden frühestens nach 150 Jahren auf den tolerierbaren Gehalt mit dem jeweiligen Schwermetall angehoben werden darf, wobei letzterer keine Schadensschwelle, sondern einen Wert bedeutet, der noch vertretbar ist, ohne davon Schäden an Pflanzen und ihren Konsumenten befürchten zu müssen.

Übersicht 4: Gesetzliche Regelungen in der BRD für den Einsatz von Klärschlamm in der Landwirtschaft (KSVÖ v. 1. 4. 1983)

1. Maximalaufwand 5 t Trockenmasse (100 m³ Frischschlamm) · ha⁻¹
2. Früheste Wiederholung nach 3 Jahren
3. Maximalgehalte mg/kg*) (Grenzwerte)

| | Klärschlamm-Trockenmasse | zu beschlammende Böden (lufttrocken) |
|--------|--------------------------|--------------------------------------|
| Zn | 3000 (2000) | 300 |
| Cu, Pb | | |
| Cr je | 1200 (500) | 100 |
| Ni | 200 (100) | 50 |
| Hg | 25 (10) | 2 |
| Cd | 20 (10) | 3 |

*) in Klammern Richtwerte nach dem Modell Oberösterreich

4. Absicherung, daß mit Schlämmen, deren Gehalte am Grenzwert liegen, eine Überschreitung der Grenzwerte im Boden nach frühestens 150 Jahren eintritt

Ähnliche Regelungen, die — bei kleinen Abweichungen in den Zahlenwerten — auf Aufwandmengen in ähnlicher Größenordnung hinauslaufen, gibt es in vielen anderen Ländern. Als Beispiel ist das Modell Oberösterreich (AICHBERGER u. Mitarb., 1983) in der Übersicht eingetragen, das niedrigere Grenzwerte und geringere Aufwandmengen, dafür engere Zeitspannen für die Folgegaben vorsieht und damit auf etwa gleiche Jahres-

frachten an Schwermetallen pro Flächeneinheit kommt, wie sie in der Bundesrepublik Deutschland gelten.

Welche Wirkung eine solche Verordnung in der Praxis haben kann, geht aus Abbildung 5 hervor. Sie zeigt den ständigen Rückgang an unbrauchbaren und die Zunahme an brauchbaren Schlämmen während der Laufzeit der noch als Richtlinie geltenden Anwendungsvorschrift des Landes Baden-Württemberg.

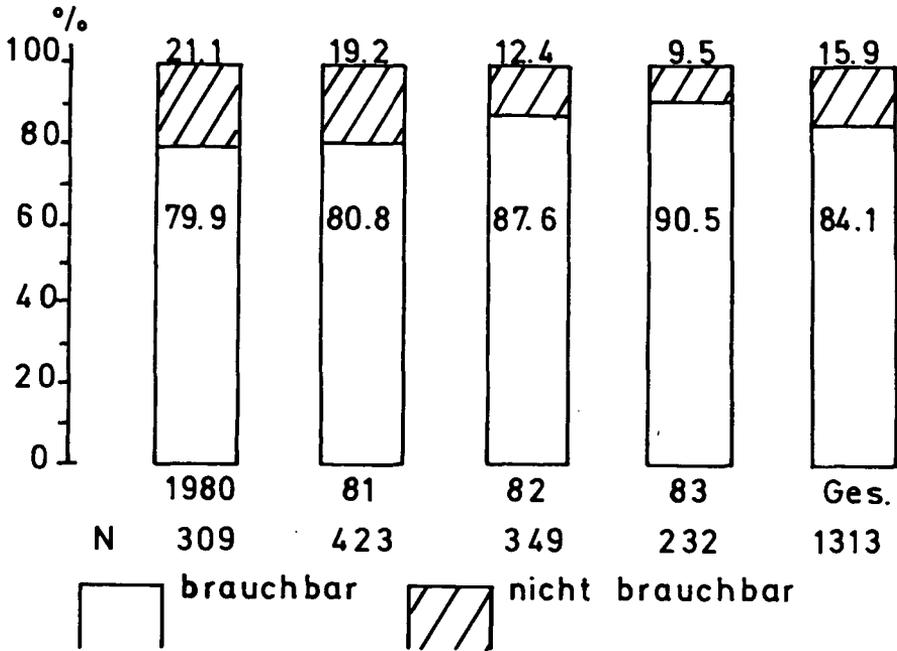


Abb. 5: Prozentuale Anteile brauchbarer und nicht brauchbarer Klärschlämme am Probenaufkommen der LUFA Augustenberg in den Jahren 1980—1983

Ursachen für den Rückgang der unbrauchbaren Schlämme waren sowohl Bemühungen der Klärwerke, ihr Endprodukt zu verbessern, als auch der Rückgang des Angebots solcher Schlämme an die Landwirtschaft, die häufig beanstandet werden mußten und wo sich Gemeinden zu einer Abstellung nicht in der Lage sahen oder dazu aus lokalen Gründen nicht willens waren. Diese Schlämme gehen seither auf Deponie.

3.4 Vorbelastung und Belastbarkeit der Böden mit Schwermetallen

Für die Verwertung der schwermetallhaltigen Abfälle ist die Kenntnis der Vorbelastung der Böden mit den Elementen wichtig, die in der KSVO geregelt sind. Dabei ist eine Auftrennung zwischen natürlichen, d. h. geogen

bedingten und anthropogen verursachten Gehalten von Interesse. Zu diesem Zweck wurden in einem Programm des Landes Baden-Württemberg von der LUFA Augustenberg und der Landesanstalt für Landwirtschaftliche Chemie in Stuttgart-Hohenheim 5 Jahre lang die Böden aus der Aktion „Besondere Ernteermittlung“ auf die 7 Schwermetalle der KSVO untersucht. Diese Flächen, die der Ermittlung der zu erwartenden Ernten der Hauptfruchtarten dienen, um der Einfuhr- und Vorratsstelle Unterlagen zur Ernährungssicherung zu liefern, rotieren nach einem System der statistischen Verteilung über die Ackerfläche des Landes, so daß mehrjährige Befunde die Schwermetallsituation der Böden repräsentativ darstellen.

In Tabelle 7 wird ein vierjähriges Zwischenergebnis der Mittelwerte aus den untersuchten Flächen wiedergegeben, das sich ab dem 2. Jahr durch Hinzunahme der Befunde weiterer Jahre nur unwesentlich verändert hat.

Tabelle 7: Mittlere Schwermetallgehalte von Ackerböden mit und ohne Applikation von Siedlungsabfällen (mg/kg: Besondere Ernteermittlung Baden Württemberg 1977—1980)*

| Behandlung | Anzahl | | Zn (300) | Cu (100) | Pb (100) | Cr (100) | Ni (50) | Cd (3) |
|-----------------------|--------|------|-------------|-------------|-------------|-------------|------------|-----------|
| | abs. | % | | | | | | |
| ohne | 3518 | 98,4 | 92,1 | 21,4 | 38,4 | 35,2 | 34,0 | 0,36 |
| Klärschlamm | 51 | 1,4 | 107,7 | 28,0 | 47,1 | 39,1 | 33,6 | 0,47 |
| Siedlungs- kompost | 7 | 0,2 | 148,1 | 30,7 | 44,2 | 56,1 | 37,9 | 0,43 |

*in Klammern in der Kopfzeile: Grenzwerte der KSVO

Aufgrund einer gleichzeitig vorgenommenen Erhebungsbefragung der Grundstückseigentümer konnten Flächen, die nach ihrer Erinnerung noch nie mit Siedlungsabfällen belegt worden sind, von solchen abgetrennt werden, auf denen innerhalb der jeweils vorangegangenen 3—4 Jahre mindestens einmal Klärschlamm oder ein Siedlungskompost ausgebracht worden ist. Über 98 % der Äcker waren bislang mit Siedlungsabfällen unvorbelastet. Ihre mittleren Schwermetallgehalte liegen bei einem Drittel (Zn) bis einem Zehntel (Cd) der Grenzwerte der KSVO für Böden, bei Hg (hier nicht wiedergegeben) sogar nur 1/20. Der mittlere Nickelgehalt beträgt dagegen fast 70 % des Grenzwertes. Ähnliche Verhältnisse wurden von Autoren verschiedener europäischer Länder (z. B. AICHBERGER u. Mitarb., 1981) ebenfalls nachgewiesen. Mutmaßlich lag zum Zeitpunkt der Festlegung des Grenzwertes kein ausreichend großes Datenmaterial von unbelasteten Böden vor, so daß ein zu niedriger Grenzwert festgesetzt wurde, der den natürlicherweise vorkommenden und schadlos von den Pflanzen vertragenen Nickelgehalten nicht angemessen ist.

Statt der geschätzten 5 % der Ackerfläche sind nach dieser Erhebung im Landesdurchschnitt nicht einmal 2 % (58 Flächen) mit Siedlungsabfällen belegt worden. In diesen ist gegenüber den nicht behandelten Böden ein Anstieg der Gehalte an den meisten Schwermetallen erfolgt, an einigen besonders stark nach Anwendung von Müllkompost (SCHWEIGER, 1984 a). Da die Erhebungsbefragungen keine Auskunft über die Menge und Häufigkeit der Ausbringung von Abfällen gaben und die behandelten mit keinen gleichartigen unbehandelten Böden verglichen werden konnten, wurde eine gezielte Untersuchung zur Absicherung gegen einen Zufallsbefund ausgeführt (Tab. 8). Darin wird eine größere Anzahl an Flächen, von denen bekannt war, daß sie in den letzten 6 Jahren zum Teil zweimal Klärschlamm erhalten hatten, mit benachbarten Grundstücken der gleichen Bodenverhältnisse aber ohne Beschlämmung verglichen (SCHWEIGER, 1984 b).

Tabelle 8: Vergleich der Schwermetallgehalte von Ackerböden der gleichen Bodenart mit und ohne Klärschlamm (mg/kg: LUFA Augustenberg 1979)

| Probenzahl Klärschlamm | 178 ohne | 247 mit | + % |
|---------------------------|-------------|------------|-----|
| Schwermetall | | | |
| Zn | 88,7 | 109,7 | 23 |
| Cu | 26,1 | 30,4 | 16 |
| Pb | 44,2 | 50,6 | 15 |
| Cr | 44,9 | 43,2 | -3 |
| Ni | 27,5 | 31,1 | 13 |
| Cd | 0,28 | 0,34 | 21 |
| Hg | 0,24 | 0,37 | 54 |

Dieser echte Vergleich bestätigt die Ergebnisse aus der „Besonderen Ernteermittlung“ in der Größenordnung. In beiden Fällen werden die Schwermetallgehalte der behandelten gegenüber den unbehandelten Flächen je nach Metall um 13–20 %, beim Quecksilber mit den absolut niedrigsten Gehalten um 50 % angehoben, jedoch werden die Grenzwerte der KSVO in dem die Verwertung umfassenden Zeitraum bei weitem nicht erreicht. Eine ähnlich geringe Anreicherung des Bodens mit Cadmium durch Siedlungsabfälle, Abwasserverregnung (seit 1896!) und Müllkompostanwendung hat EL BASSAM (1977) in älteren Untersuchungen mit Bodensäulen bereits gefunden.

Eine Kenngröße für die Belastbarkeit eines bestimmten Bodens mit Schwermetallen ist die Anzahl von Jahren, die es theoretisch dauern würde, bis die Grenzwerte der KSVO erreicht sind, wenn brauchbarer Klärschlamm in der zugelassenen Art und Weise (nach Menge und Zeitinter-

vall) laufend zugeführt würde. Dafür sind von verschiedenen Autoren Rechenschemata vorgeschlagen worden (z. B. EL BASSAM, 1977; HOFFMANN, 1980 b u. a.). Für den Einzugsbereich der LUFA Augustenberg ergeben sich die Belastbarkeitszahlen aufgrund von Mittelwerten in den Zeilen 8.1 bis 8.3 der Tabelle 9.

In den Zeilen 1 und 5 sind die Grenzwerte der KSVO für Klärschlamm und Boden als Basis der KSVO wiedergegeben. Werden alle 3 Jahre 5 t Trockenmasse ausgebracht, ergibt sich eine jährliche Fracht von 5 kg Zn bis herab zu 33 g Cd je ha (Zeile 3), woraus sich jährliche Anreicherungen im Boden unter Zugrundelegung eines Gewichtes von 1 ha Ackerkrume (22,5 cm; Raumgewicht 1,3; Wassergehalt 2,5 %) zu 3 Millionen kg von 1,67 mg (Zn) bis 11 µg (Cd) je kg Boden errechnen (Zeile 4). Wären die Böden völlig unvorbelastet, dann würde es, wie die KSVO verlangt, mindestens rund 150 Jahre, bei Cd fast doppelt und bei Ni dreimal so lange dauern, wenn Klärschlämme mit Gehalten am Grenzwert der KSVO laufend verwertet würden (Zeile 8.1). Diese Zahlen verringern sich zwar, wenn man die mittlere Vorbelastung der Böden (Zeile 6) berücksichtigt und der Berechnung für Klärschlämme mit voller Last nur die noch freien Anteile der Böden (Zeile 7) zugrunde legt, auf nur noch ca. 100 bis 240 Jahre (Zeile 8.2). Da aber die mittleren Schwermetallgehalte der Schlämme, in deren Nähe auch der Schwerpunkt der Mengenverteilung der erfaßten Proben liegt, weniger als die Hälfte (Zn) bis herab zu ca. 6 % (Cr) der Grenzwerte der KSVO betragen (Zeile 2), steigen die Kennziffern für die Belastbarkeit trotz der natürlichen Vorbelastung der Böden auf einen Minimalwert von 120 (Hg) bis auf 1500 Jahre (Cr) an (Zeile 8.3), wenn man mit diesen Gehalten rechnet.

Diese Zeiträume sind angesichts der Brisanz des Verwertungsproblems für Siedlungsabfälle genügend große Sicherheitsmargen, um alle Vorkehrungsmaßnahmen gegen weitere vermeidbare Einträge von Schwermetallen in die Abwässer treffen zu können, wie Vorwegausscheidung von Einleitern, die schwermetallhaltige Abwässer ohne Vorklärung abgeben, Ersatz nicht unbedingt nötiger Schwermetalle in Fertigungsprozessen, bessere Abtrennung unerwünschter Stoffe schon vor der Sammlung der Siedlungsabfälle, Verbesserung der Klärtechnologie usw. Das würde uns in die Lage versetzen, die Grenzwerte zu erniedrigen und damit die Belastbarkeitszeiträume zu verlängern.

Verlängerungen auf die rund 3fache Zeit wären aber schon jetzt erreichbar, wenn eine gleichmäßige Verteilung der anfallenden Schlämme auf die gesamten 5 % der verfügbaren Fläche möglich wäre (alle 8—10 statt 3

Tabelle 9: Belastbarkeit der Böden mit Schwermetallen aus Klärschlamm

| Zeile | Zn | Cu | Pb | Cr | Ni | Cd | Hg |
|-------|------|------|------|------|------|-------|-------|
| 1 | 3000 | ← | 1200 | → | 200 | 20 | 25 |
| 2 | 1420 | 334 | 178 | 75 | 34 | 4,2 | 2,7 |
| 3 | 5000 | ← | 2000 | → | 330 | 33 | 42 |
| 4 | 1,67 | ← | 0,67 | → | 0,11 | 0,011 | 0,014 |
| 5 | 300 | ← | 100 | → | 50 | 3 | 2 |
| 6 | 89,7 | 21,7 | 37,6 | 35,7 | 33,7 | 0,34 | 0,12 |
| 7 | 210 | 78 | 62 | 64 | 20 | 2,7 | 1,9 |
| 8,1 | 180 | ← | 150 | → | 450 | 270 | 140 |
| 8,2 | ← | 120 | → | 100 | 145 | 240 | 130 |
| 8,3 | 270 | 420 | 630 | 1500 | 1000 | 1100 | 120 |

*N = 1105 **N = 4437

Jahre auf das gleiche Grundstück) und wenn durch verbesserte Transporttechniken auch der Radius der wirtschaftlich beschlambaren Fläche um die Klärwerke erweitert werden könnte.

4. Bodenkundliche Aspekte

Eine der Grundforderungen an die gefahrlose Verwertung von Siedlungsabfällen, die mit dem Boden zusammenhängt, bezieht sich auf die Vermeidung von Schäden an den Böden selbst durch Überbelastung mit unerwünschten Inhaltsstoffen. Ihnen beugt die gesetzliche Regelung einer Mengenbegrenzung vor, über die bereits berichtet wurde. Darüber hinaus dürfen jedoch auch die tieferen Bodenschichten und über sie das Grundwasser nicht belastet werden.

4.1 Verfrachtung von Inhaltsstoffen in tiefere Bodenschichten

Echte Messungen, inwieweit das Grundwasser mit Inhaltsstoffen von Siedlungsabfällen belastet wird, sind sehr schwer auszuführen, denn der Grundwasserleiter liegt in landwirtschaftlichen Betrieben nur selten so oberflächennahe, daß man oben aufgebraachte Stoffe innerhalb kurzer Zeit an Grundwasseraustritten messen bzw. auftretende erhöhte Gehalte einer definierten Anwendung zuordnen könnte. Man ist deshalb fast ausschließlich auf Modellversuche, in erster Linie auf Lysimeter- und Saugkerzenanlagen, mit all ihren Abweichungen von den Verhältnissen in ungestörten Böden angewiesen. Deshalb sind die Befunde auch oft widersprüchlich.

KICK (persönl. Mitteilung) konnte auf einem Versuchsfeld, auf dem langjährig Klärschlamm ausgebracht wurde, in den Abläufen aus einer eingebauten Lysimeteranlage keine Unterschiede im sehr niedrigen Schwermetallgehalt zwischen Kontrollen und behandelten Parzellen feststellen. Zur Beweglichkeit des Cadmiums hat EL BASSAM (1977) ungestörte Bodensäulen von 1 m Mächtigkeit aus langfristig mit Siedlungsabfällen behandelten Böden in einem Regensimulator nach Zufuhr von 115 m^3 Cd als Chlorid mit einer Lösung von 1 g Cadmiumchlorid je Liter beregnet und die Cd-Verlagerung radiometrisch verfolgt. Innerhalb von 4 Monaten verlagerte sich das markierte Cd bei 320 mm Beregnung in den Kontrollsäulen mit tonigem Schluff um 6 cm, in schluffigem Sand schon nach 2 Monaten um 11 cm nach unten. In Böden, die mit Siedlungsabfällen gedüngt waren, verzögerte sich die Abwärtsbewegung auf etwa $\frac{2}{3}$ der Strecke. Cadmium scheint somit einer Tiefenverlagerung zu unterliegen, die ein Erreichen der Grundwasserzone nicht ausschließt.

Das geht auch aus Befunden von de HAAN (1980, 1981 a) hervor, der den Austrag an Schwermetallen mit dem Dränwasser aus 70 cm tiefen Gefäßen mit 140 l Fassungsvermögen, die mit Sand- bzw. Tonboden gefüllt, mit verschiedenen Siedlungsabfällen (Klärschlämme flüssig und trocken, Müllkompost) beschickt und 8 Jahre lang bewirtschaftet waren. Nach Klärschlammbehandlung traten im Abschlußjahr im Vergleich zum unbehandelten Kontrollboden besonders hohe Nickelgehalte (Klärschlamm aus einer Industriezone), aber auch Zink-, Kupfer-, Cadmium- und Chrommengen in den Dränwässern auf, während aus Müllkompost kein Cadmium verloren ging. Tabelle 10 weist auch eine deutlich erhöhte Verfrachtung von organischen Verbindungen (als CBS gemessen) nach Verwendung flüssiger, weniger jedoch fester Abfälle aus (ähnliches gilt für Stickstoff).

Tabelle 10: Austrag an verschiedenen Stoffen nach Behandlung der Böden mit Siedlungsabfällen durch Drainagewasser

| Stoff | Dimension je Liter | unbehandelt | nach 8 Jahren Behandlung mit | |
|---------------------|--------------------|-------------|------------------------------|-------|
| | | | Klärschlamm | MKK* |
| O ₂ -CSB | mg | 45—60 | 140—270 | 150 |
| N | mg | 20 | 90—240 | 45 |
| Zn | ↑ | 20—50 | 40—3900 | 120 |
| Cu | | 30 | 88—460 | 170 |
| Pb | | 1—2 | < 5 | < 5 |
| Cr | μg | 10—20 | 10—50 | 10 |
| Ni | | 10 | 20—12.400 | 25 |
| Cd | ↓ | < 1 | 1—210 | 0 |
| Hg | | < 1 | < 0,1—2 | < 0,1 |

*Müll-Klärschlamm-Kompost

nach de HAAN (1980)

Eine potentielle Gefahr für die Auswaschung von Schwermetallen besteht somit, wenn auch unter gewissen Umständen, die von der Art und der Bindungsform des Elements im jeweiligen Abfall, der Sorptionskraft des Bodens und der Tiefe des anstehenden Grundwassers bestimmt werden, eine akute Gefährdung nicht zu bestehen braucht.

Auch die Nährstoffe aus Siedlungsabfällen unterliegen einer Wanderung im Bodenprofil. Phosphor wird davon kaum betroffen, da er im Boden fast nicht beweglich ist. Im Sickerwasser von Versuchspartzen, die mit flüssigem Klärschlamm gedüngt waren, konnte auf verschiedenen Böden selbst nach 5jähriger Anwendung kein P-Anstieg festgestellt werden (de HAAN, 1981 b), was ältere Untersuchungen von PLATZEN (1977) in 1,6 m tiefen Lysimetern bestätigen.

Nur auf sehr leichten und gleichzeitig sauren Böden konnten Tiefenverlagerungen bis 1,50 m festgestellt werden, ansonsten verbleibt Phosphor,

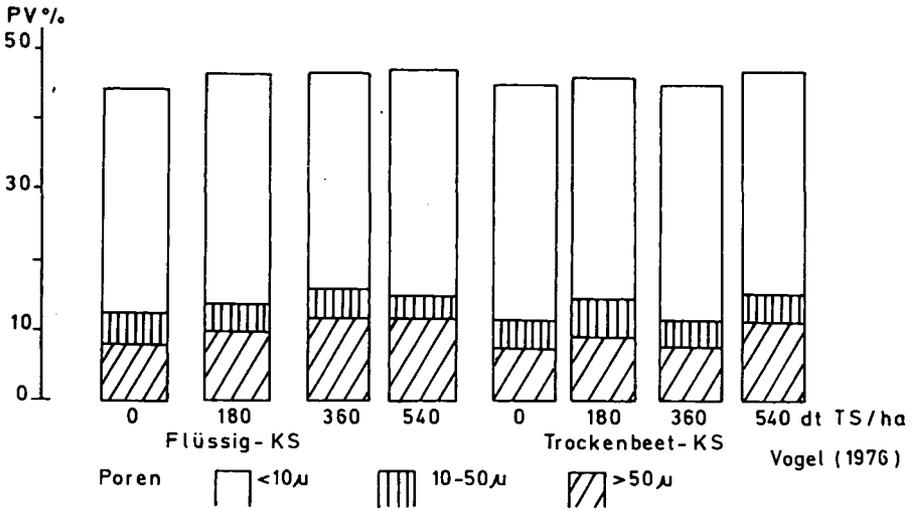
ähnlich wie die meisten Schwermetalle, in der Krume. Insoweit erweist sich der Boden für diese Stoffe als Endglied einer Transportkette, wo sie verbleiben. Sichere Aussagen über ihr weiteres Schicksal können z. Zt. nicht gemacht werden, da die Mechanismen zu ihrer Remobilisierung von so vielen einander teils unterstützenden, teils hemmenden Faktoren gesteuert werden, daß die Begrenzung der Zufuhr und die Erhaltung einer wenig um den Neutralbereich schwankenden Bodenreaktion sich als sicherste Maßnahme gegen ein Mobilwerden anbieten.

Stickstoff unterliegt hingegen aus allen Siedlungsabfällen einer Tiefenverlagerung, deren Geschwindigkeit von den ausgebrachten Mengen abhängt. EL BASSAM u. Mitarb. (1973) fanden im Wasser von Saugkerzen aus 1 und 2 m Tiefe nach Ausbringung von 93 und 366 mm Klärschlamm, der in Teilgaben von 10 mm über einen längeren Zeitraum verregnet worden war, Erhöhungen der Nitratgehalte auf 300 bis 600 mg/Liter gegenüber 40 mg auf der unbeschlämten Fläche, während eine Gabe von nur 10 mm Klärschlamm keine Unterschiede erkennen ließ. Die Verfrachtung des Stickstoffs aus Siedlungsabfällen bis in größere Tiefe erfolgte praktisch nur als Nitrat und ist gegenüber einer mineralischen Düngung mit Kalkammonsalpeter in äquivalenter Menge deutlich verringert (AMBERGER u. Mitarb., 1980 a). In Saugkerzenmessungen stellten diese Autoren als Wanderungsgeschwindigkeit von Nitrat aus MKK ca. 1 m im 2. und ca. 1,5 m im 3. Jahr nach Applikation fest. Durch Wahl der Menge und der Form der verwerteten Siedlungsabfälle kann daher das Grundwasser vor einer Eutrophierung durch Stickstoff bewahrt werden, wenn auch in Abhängigkeit von der Bodenart, dem Witterungsverlauf und der Durchlässigkeit des Bodens die Versickerung gewisser Stickstoffmengen bis in das Grundwasser nicht immer zuverlässig ausgeschlossen werden kann.

4.2 Beeinflussung der physikalischen Verhältnisse des Bodens

Mit Siedlungsabfällen führt man dem Boden organische Stoffe zu, die — insbesondere bei Verwendung von Klärschlamm aus Trockenbeeten und von Siedlungskomposten — in der für den Humusersatz oder den Erosionsschutz im Weinbau erforderlichen Menge zu einer deutlichen Zunahme des Gehaltes der Böden an organischer Substanz führen und anhaltende positive Wirkungen auf das Bodengefüge ausüben können, wie die Beispiele der Abbildung 6 zeigen.

In den hier dargestellten Untersuchungen von VOGEL u. KOWALD (1976) führten steigende Mengen (von 180—540 dt Trockenmasse/ha) von Frisch- und Trockenbeetschlamm grundsätzlich zu Erhöhungen des Grobporenvolumens ($> 50\mu$) auf Kosten der Feinporen ($< 10\mu$), während



MKK-Steigerung 300-1200 t/ha in 8 Jahren

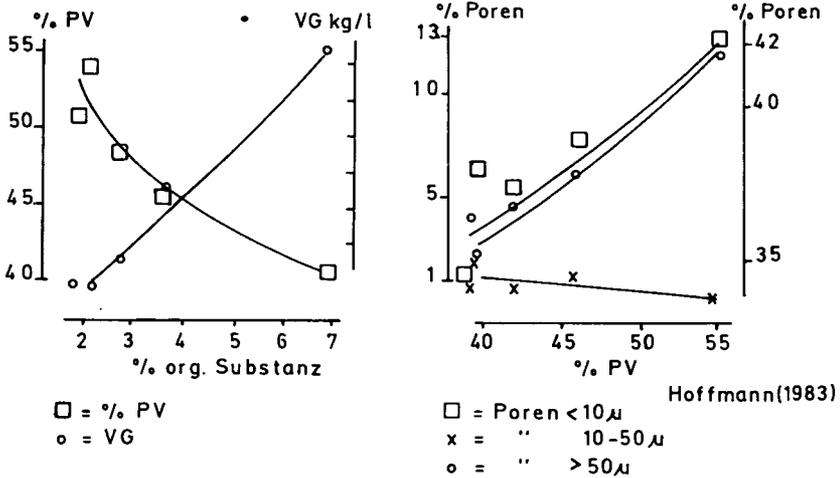


Abb. 6: Einfluß von Siedlungsabfällen auf verschiedene physikalische Kenngrößen der Parzellen eines MKK/MKK-Steigerungsversuches im Rebbau

die dazwischenliegenden Mittelporen in diesen Untersuchungen praktisch unverändert blieben. Eigene Versuche (HOFFMANN, 1983) zur Verwertung von MKK bzw. MK im Rebbau erhöhten mit Gesamtgaben von 300 bis 1200 t Kompost im Anlieferungszustand innerhalb von 8 Jahren den Gehalt der Böden an organischer Substanz von 2 % (Ausgangswerte) auf 2,9 bis

6,9 %. Dabei sank das Raumgewicht von 1,35 (ohne Kompost) über 1,22 (niedrigste) bis 0,91 kg/Liter (höchste Kompostmenge). Durch diese Behandlung sind die Böden rein visuell erheblich in der Struktur verbessert und leichter bearbeitbar geworden. Das Gesamtporenvolumen hat proportional zur Kompostmenge von 40 auf 55 Vol.-% zugenommen. Ähnlich wie in den Versuchen von VOGEL stieg das Volumen der luftführenden Grobporen. Allerdings nahmen auch die wasserhaltenden Feinporen zu. Die Mittelporen gingen hingegen in der Tendenz minimal zurück.

Diese Veränderungen der Struktur sind auch über andere Bodenparameter meßbar. So fand EPSTEIN (1975) in einem Bebrütungsversuch eines schluffigen Lehmbodens mit 5 Gewichts-% Klärschlamm nach 175 Tagen eine Zunahme der stabilen Aggregate im Vergleich zum unbehandelten Boden von 17 % auf das Doppelte. Die hydraulische Leitfähigkeit des Bodens wurde jedoch nur anfangs erhöht. Zunahmen der Krümelstabilität um 8 % durch Klärschlammgaben von 480 m³/ha und Jahr auf Ackerböden fand auch FURRER (1977).

Die Verwertung ansonsten brauchbarer Siedlungsabfälle ist somit durchaus zu wesentlichen Verbesserungen der Bodenphysik in der Lage, die als ihre wesentlichste Positivwirkung zu werten ist. Sie gelingt mit den festen Abfällen, die ja im wesentlichen mit der Absicht dieser Wirkung verwendet werden, schneller als mit Klärschlämmen, deren organische Substanz zwar oft wertvoller ist, die aber aus den weiter vorn geschilderten Gründen nur in limitierten Mengen von 5 t Trockenmasse alle 3 Jahre ausgebracht werden dürfen.

4.3 Beeinflussung der biologischen Verhältnisse des Bodens

Mit der Verbesserung der Bodenphysik und der dauerhaften Erhöhung der organischen Substanz der Böden werden durch Siedlungsabfälle auch die biologischen Verhältnisse verändert. Auch sie wandeln sich erst im Verlaufe längerer Zeit in deutlich meßbaren Größenordnungen. Deshalb muß man auch hier häufig auf Modellversuche zurückgreifen oder kommt erst nach langjähriger Versuchsdauer in der Praxis zu signifikanten Ergebnissen.

In einem Modellversuch im Gewächshaus (BECK u. SÜSS, 1979) mit steigenden Mengen an unvorbehandeltem bzw. zur Entseuchung pasteurisiertem oder γ -bestrahltem Klärschlamm wurde das Bodenleben über einen längeren Zeitraum aktiviert.

Durch Gaben, die 200 bis 300 m³ Klärschlamm/ha entsprachen, bildete sich auf Parabraunerde ein Optimum an aktiver Biomasse (Abb. 7) aus, während höhere Gaben deren Produktion beachtlich senkten. In diesem

aktive Biomasse
mg C / 100g

Boden: pH 7.5 , Parabrauerde
(Gewächshaus)

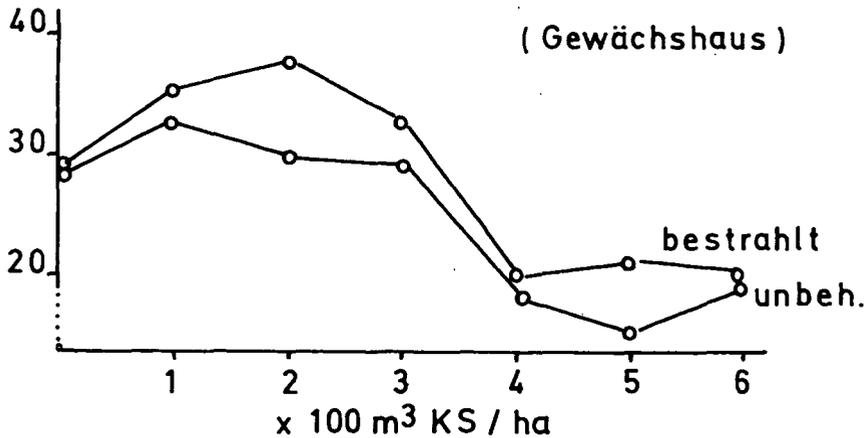


Abb. 7: Einfluß einer Strahlenhygienisierung von Klärschlamm auf die biologische Stoffproduktion in Gefäß- und Feldversuchen

und ähnlichen weiteren Gefäßversuchen mit anderen Böden traten keine signifikanten Unterschiede zwischen entseuchten und unbehandeltem Klärschlamm auf. Die steigernde Wirkung der Klärschlammgaben auf die Bildung mikrobieller Biomasse bestätigte sich auch im Feldversuch mit den gleichen Böden. Sie war noch 4 Jahre nach der Applikation deutlich meßbar (Tab. 11), und auch die globale biologische Aktivität, gemessen als Summenwert verschiedener Enzymaktivitäten (Reduktasen und Hydro-lasen; SÜSS u. Mitarb., 1978), war erhöht. Neubeschlammungen führten zu gleichartigen Veränderungen wie im ersten Versuchsabschnitt.

Tabelle 11: Veränderungen einiger bodenbiologischer Kriterien
4 Jahre nach Applikation verschieden hoher Klärschlammgaben im
Feldversuch (unbehandelt = 100)

| Klärschlamm m ³ · ha ⁻¹ | Pseudogley | | Parabraunerde | | | |
|--|------------|--------------------|----------------|--------------------|----------------|--------------------|
| | Biomasse | Biol. Aktivität | a) Biomasse | Biol. Aktivität | b) Biomasse | Biol. Aktivität |
| 130 | 108 | 111 | 108 | 116 | 99 | 100 |
| 400 | 110 | 110 | 118 | 140 | 107 | 109 |
| 800 | 116 | 132 | 114 | 138 | 111 | 114 |

nach BECK u. SÜSS (1979)

Die Keimzahlen vermehrten sich in diesen Versuchen im Freiland bei der höchsten Klärschlammgabe (800 m³/ha) im ersten Jahr gegenüber der Kontrolle im Durchschnitt um ca. 250 %. Steigende Klärschlammgaben führten auch zu erhöhter Denitrifikationskapazität der Böden. Im zweiten Jahr waren die Erhöhungen jedoch nur noch ausnahmsweise gesichert. Die eigenen, bereits erwähnten Versuche des Referenten mit MKK bzw. MK im Rebbau bestätigten auch für diese Abfallart eine positive Beeinflussung der Bodenbiologie, gemessen an den Keimzahlen von Azotobacter (als allgemeiner Indikator für bessere Standorte) und Aerobiern, der CO₂-Produktion und der Dehydrogenase-Aktivität (Abb. 8). Im Gegensatz zu den von BECK gefundenen, nur temporären Erhöhungen der Keimzahl blieben die Werte aber erhöht. Die hier vorgelegten Zahlen wurden nämlich nach 8 Versuchsjahren 2 Jahre nach der letzten Gabe bestimmt. Denitrifikanten nahmen durch steigende Kompostgaben — anders als nach Klärschlamm — ab, was sich zwanglos mit den die Durchlüftung fördernden Veränderungen des Porenvolumens (Abb. 6, untere Hälfte) erklären läßt.

Die Katalaseaktivität, die in den Versuchen von BECK und auch nach Ergebnissen von FURRER (1977; Acker- und Wiesenkrumen) durch steigende Klärschlammgaben zugenommen hatte, zeigte in den eigenen Versuchen den Verlauf einer Optimumkurve nach MK-Anwendung, der sich aus den Begleitumständen nicht erklären läßt. Zwar hatten die Komposte z. T. höhere Gehalte an einzelnen Schwermetallen, doch waren es gerade solche, die das Enzym Katalase aktivieren.

Insgesamt zeigen alle Ergebnisse, daß sich durch Siedlungsabfälle die physikalischen Verhältnisse der Böden verbessern lassen und als Folge sowohl dieser Verbesserung als auch der Zufuhr von umsetzbarer organischer Masse auch die Biologie des Bodens aktiviert wird. Rückschläge für die Mikroflora durch die mitgebrachten Schwermetalle sind in den vorgestellten Ergebnissen verschiedener Autoren nicht feststellbar.

4.4 Beeinflussung der chemischen bzw. physiko-chemischen Verhältnisse des Bodens

Das Problem wird an dieser Stelle nur noch gestreift, denn in vorangegangenen Abschnitten wurde mehrfach auf die Zunahme von Nährstoffen und Schwermetallen in den Böden nach langdauernder Anwendung von Siedlungsabfällen verwiesen. So erhöhen sich insbesondere die Gesamt-P-Gehalte, besonders wenn Klärschlämme aus Anlagen mit einer dritten Reinigungsstufe verwendet werden (siehe auch SÖCHTIG u. Mitarb., 1982). Aber auch die Gehalte an löslichem Phosphat steigen (FURRER,

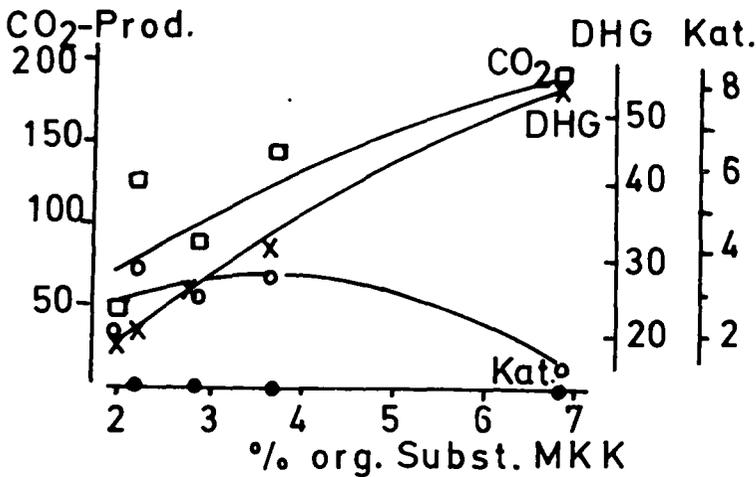
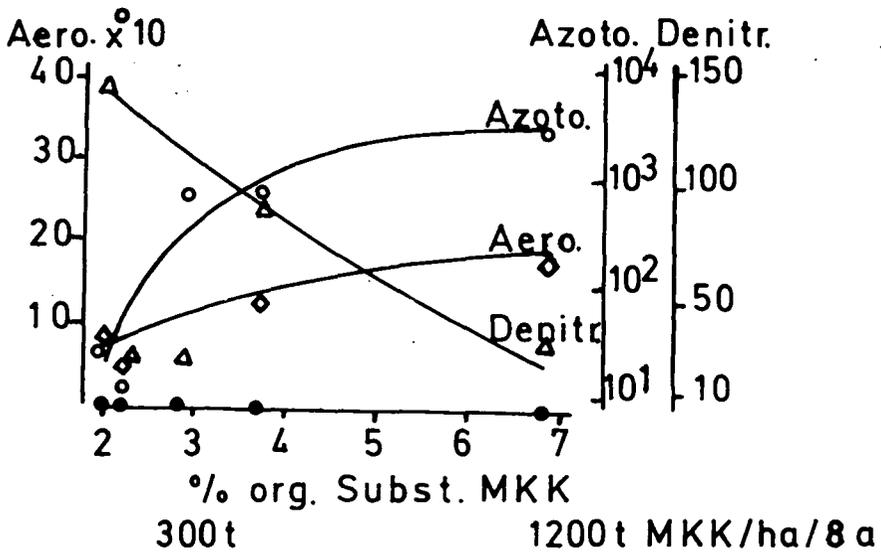


Abb. 8: Einfluß von Siedlungskomposten auf verschiedene bodenbiologische Parameter der Parzellen eines MK/MKK-Steigerungsversuches im Rebbau

1977; DIEZ u. WEIGELT, 1980, u. a.). Klärschlämme wirken dabei meist stärker als Siedlungskomposte. Sehr hohe Gaben P-reicher Abfälle können daher nur vorübergehend zur P-Anreicherung armer Böden vertreten werden, sind aber auf Dauer zu unterlassen, um Gefährdungen von Gewässern durch Abschwemmung P-reicher Erde zu vermeiden.

Erhöht wird weiterhin der Kalkgehalt. Da mit Kalk behandelte Klärschlämme und Siedlungskomposte allgemein höhere Mengen an basisch wirksamen Bestandteilen enthalten, werden auch die pH-Werte saurer Böden gelegentlich bis über den Neutralpunkt angehoben (z. B. PFULB u. Mitarb., 1978).

Mit der anhaltenden Vermehrung der organischen Substanz des Bodens wird nicht nur die Bodenphysik günstig beeinflusst. Sie verbessert auch physikochemische Parameter, wie die Sorptionskapazität. ASCHE (1982) stellte eine Verdoppelung der effektiven Kationenumtauschkapazität in den obersten 5 cm von Waldböden fest — wegen unterbliebener Einarbeitung nicht mehr in der Schicht unter 5 cm. Tiefengreifend (bis etwa 10 cm) waren aber Veränderungen im Ionenbelag der Austauschere, in Form einer Vermehrung der Nährstoff-Kationen am Sorptionskomplex, was eine Verbesserung der Ernährungssituation der Bäume anzeigt. Auch eine für den Forst sehr wesentliche Verbesserung, nämlich eine Verengung des Ca/Al-Verhältnisses von 1 : 6 auf 2 : 1 in der Schicht 0 bis 5 cm (Umkehrung der Ionensättigung der Komplexe) und noch von 1 : 14 auf 1 : 3 in 5 bis 10 cm Bodentiefe stellte sich ein.

5. Pflanzenbauliche Aspekte

Siedlungsabfälle wirken sich, wie vorstehend beschrieben, günstig auf Physik, Biologie und Chemie der Böden aus, wodurch diese indirekt auch als Standort der höheren Pflanzen verbessert werden. Darüber hinaus liefern sie Nährstoffe, in erster Linie Stickstoff und Phosphor, teilweise sogar in so großer Menge, daß Restriktionen für die Ausbringung erforderlich werden. Die übrigen Hauptnährstoffe sind in der Regel dagegen in unzureichender Konzentration enthalten und sollen nicht gesondert abgehandelt werden. Die begünstigende Wirkung des Kalziums verschiedener Herkünfte der Abfälle bezieht sich direkt auf den Boden, worüber schon berichtet wurde. Sie ist ohnedies allgemeiner Natur und nicht abfallspezifisch.

5.1 Einfluß des Stickstoffgehaltes der Siedlungsabfälle auf das Pflanzenwachstum

Die Literatur enthält bereits sehr viele Angaben über die Stickstoffwirkung von Siedlungsabfällen. Aus allen gehen günstige Einflüsse auf Erträge und Qualität verschiedener Kulturpflanzen durch mittlere Mengen, deren Stickstoffangebot im Bereich des optimalen N-Bedarfs der Kulturen

liegt, hervor. Hohe Gaben führen bei Getreide zu Einbußen in Menge und Güte. Mais, Rüben und Gras reagierten in Versuchen von FURRER (1977) jedoch eher positiv. Berechnungsmengen von 93 und 366 mm Klärschlamm erhöhten in verschiedenen Pflanzen nicht nur die Gesamt-N-Gehalte, sondern auch die Nitratmengen um rund das Achtfache gegenüber den unbehandelten oder den nur mit 10 mm Klärschlamm beregneten Flächen (EL BASSAM u. Mitarb., 1973).

Eine wesentliche Frage der N-Düngung über Siedlungsabfälle ist die Nutzbarkeit des Gesamtangebots, denn nur ein Teil davon steht den Pflanzen unmittelbar zur Verfügung, Teile nicht einmal mehr über die Nachwirkung in späteren Jahren. Im Vergleich mit einer mineralischen N-Düngung erreichte die Ertragsleistung von MKK in 9jährigen Versuchen von DIEZ u. WEIGELT (1980) im Mittel auf Lößböden nur 50 %, auf Böden aus Schotter 21 %, während Klärschlamm auf dem Lößboden mit der Mineraldüngung annähernd gleich, auf Schotter bei etwa 60 % lag. AMBERGER u. Mitarb. (1980 b) verglichen die N-Wirkung von MKK mit derjenigen von Kalkammonsalpeter, indem sie den Kompost nach einem angenommenen „wirksamen Anteil“ seines Gesamt-N-Gehaltes zu 20 % bewerteten. Trotz guter Nachwirkung im 3. Jahr erwies sich über die erste Fruchtfolge „Zuckerrüben — Winterweizen — Hafer“ nur $\frac{1}{3}$ (ca. 7 % von Gesamt-N) des angenommenen wirksamen Anteiles als pflanzenverfügbar.

Wegen der häufig beobachteten hohen Wirksamkeit des Stickstoffs im Klärschlamm kommt einer Prognose des „wirksamen“ N-Anteils (N_w) besondere Bedeutung zu. FURRER u. BOLLIGER (1978) bestimmten ihn, mit Gras als Testpflanze, aus 13 Klärschlammproben mit NH_4 -N-Anteilen am Gesamt-N von 9 bis 72 % auf drei verschiedenen Böden zu $N_w = 0,9 \times \text{Ammonium-} + 0,25 \times \text{organisch gebundener Stickstoff}$.

Da feste Siedlungsabfälle, deren NH_4 -N-Anteile am Gesamt-N zu vernachlässigen sind, erheblich geringere N-Wirkungen aufweisen und sich Klärschlämme mit zunehmendem Entwässerungsgrad diesen Verhältnissen nähern, überprüften SCHWEIGER u. VÖLKEL (1980) die Gültigkeit dieser Berechnungsformel an 7 Klärschlammproben von flüssiger, entwässerter und fester Konsistenz (Tab. 12) in Gefäßversuchen auf lehmigem Sandboden mit Weidelgras als Versuchsfrucht in 5 Schnitten. Mineralischer Vergleichsdünger war Ammoniumnitrat.

Die N-Ausnutzung geht aus Abbildung 9 hervor. Sie erreicht beim Mineraldünger erwartungsgemäß 80 % des Gesamtangebots, liegt in den festen Klärschlammproben (einer davon lag 2 Jahre auf Deponie) bei rund 7 % (Wirkung in der gleichen Größenordnung wie von AMBERGER weiter vorn für MKK angegeben), in den flüssigen bei 18—25 % und in den (teil-) ent-

Tabelle 12: Stickstoffgehalte und -ausnutzung verschiedener Klärschlämme im Gefäßversuch mit Weidelgras*

| Konsistenz | Klärschlamm Herkunft | Art der Anlage** | N-Fractionen (i. T.) | | | Ausnutzung*** (Mehrentzug) in % der Zufuhr |
|------------|------------------------|------------------------|----------------------|----------------------------|---------------|--|
| | | | Gesamt-N % | davon NH ₄ -N % | wirksamer N % | |
| fest | Karlsruhe 1 | BB, T, K | 3,0 | 0,1 | 0,75 | 7,8 |
| | Karlsruhe 2 Deponie | BB, 2 Jahre Deponie | 4,4 | 1,7 | 1,15 | 6,5 |
| flüssig | Berghausen 1 | BB | 5,1 | 8,9 | 1,16 | 18,5 |
| | Bibertal- Hegau | BB | 2,8 | 28,0 | 0,85 | 25,5 |
| | Weingarten | BB | 7,0 | 16,5 | 1,21 | 20,8 |
| entwässert | Berghausen 2 | BB, S | 3,2 | 2,4 | 2,50 | 31,1 |
| | Kleinsteins- bach | BB, S | 1,7 | 4,1 | 0,47 | 32,4 |

- * Versuch angelegt mit 3 g „wirksamen“ N/Gefäß; N_w berechnet nach FURRER u. BOLLIGER (1978) aus N_w = 0,9 NH₄-N + 0,25 org. geb. N; org. geb. N = GesN - NH₄-N
- ** BB-Belebungsanlage; T=Thermische Konditionierung; K=Kammerfilterpresse; S=Siebbandpresse
- *** Kontrolle NH₄-N zu 84,2 % ausgenutzt; Versuch nach SCHWEIGER u. VÖLKE (1980)

N-Ausnutzung

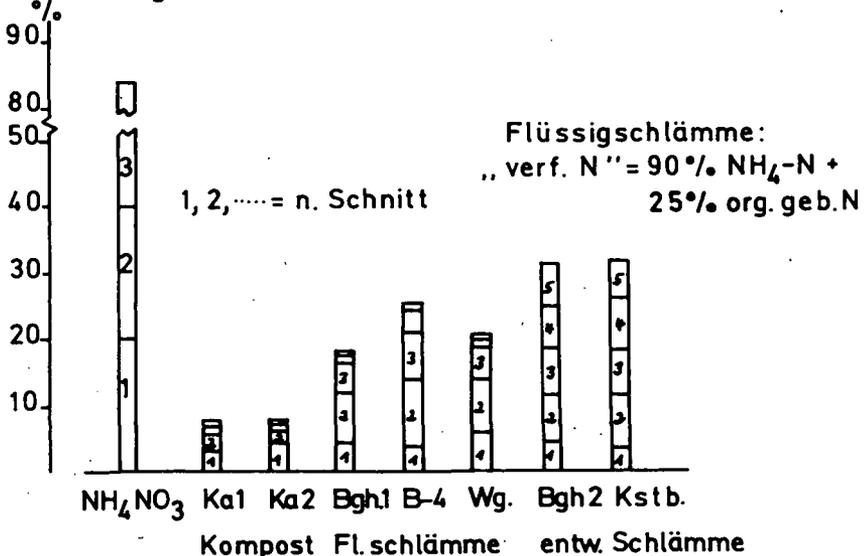


Abb. 9: Stickstoffwirkung verschieden stark entwässerter Klärschlämme im Gefäßversuch mit Weidelgras

wässerten, wo man eine geringere Wirkung erwartet hätte, mit über 30 % des Gesamtangebots am höchsten.

Als Schlußfolgerung (Übersicht 5) ergibt sich, daß sich die Formel nach FURRER u. BOLLIGER für flüssige Klärschlämme nach diesen Versuchen im großen und ganzen bestätigt. Bei guter Sofort- ist die Nachwirkung (ab dem 4. Schnitt) aber gering. Ähnlich größeren Gaben von Ammoniumnitrat kann ein hoher Ammonium-N-Anteil der Schlämme im ersten Schnitt zu Pflanzenschäden führen. Die (teil-)entwässerten Schlämme werden mit der Formel etwas unterbewertet. Ihre Anfangswirkung ist zwar gering, sie wirken aber bis zum 5. Schnitt sehr gut nach. Die festen Klärschlämme überbewertet die Formel eindeutig. Sie haben eine sehr geringe N-Wirkung und dienen im wesentlichen einer Humusanreicherung der Böden.

Übersicht 5: Schlußfolgerungen zur N-Anlieferung an Weidelgras aus Klärschlämmen verschiedener Konsistenz im Gefäßversuch

| Schlamm-konsistenz | N-Anlieferung und Bewertung nach der Formel von FURRER u. BOLLIGER (1978) |
|--------------------|--|
| flüssig | Gute Anfangs-(Sofort-)Wirkung; Nachwirkung (ab dem 4. Schnitt) gering; Gefahr der Überdosierung; Formel nach FURRER trifft i. a. zu |
| entwässert | Anfangswirkung gering; sehr gute Nachwirkung (bis zum 5. Schnitt); für Kulturen mit langer Vegetationszeit; mit Formel nach FURRER etwas unterbewertet |
| fest | Gesamte N-Wirkung gering; Humuslieferant; bestenfalls physikalische Verbesserung der Böden zu erwarten; mit Formel nach FURRER eindeutig überbewertet |

5.2 Einfluß des P-Gehaltes von Siedlungsabfällen auf das Pflanzenwachstum

Der Phosphor der Schlämme entspricht, wie schon angegeben, in seiner Wirkung auf das Pflanzenwachstum in etwa derjenigen von mineralischen P-Düngern, die nach ihrem Gehalt an citronensäurelöslicher Phosphorsäure bewertet werden (vgl. TIMMERMANN u. Mitarb., 1980; WERNER, 1975). Da es Klärschlämme aus Anlagen mit chemischer Reinigungsstufe gibt, deren Gesamt-P₂O₅-Gehalt bis zu 8 % beträgt, muß man für solche Chargen noch weitergehende Mengenbeschränkungen erwägen, wie sie mit rund 100 m³ (= 5 t Trockenmasse in 3 Jahren) in der KSVO ohnedies vorgesehen sind. Aus verschiedenen Gründen sollte man über Gaben von 300 kg Ges.-P₂O₅ (die Ausnutzbarkeit im ersten Jahr zu

20—30 % angenommen) nicht hinausgehen. Schlämme mit hohen Phosphatgehalten führen dem Boden mit der zulässigen Menge von $100 \text{ m}^3/\text{ha}$ aber das 3 bis 5fache der sinnvollen Höchstgabe von P_2O_5 zu.

5.3 Einfluß von Schwermetallen in Siedlungsabfällen auf die Pflanze

5.3.1 Gesamtgehalte als Bezugsgröße

Die KSVO legt Grenzwerte für Schwermetalle in Böden und Klärschlämmen als Gesamtgehalte fest, die sich bislang, wegen der geringen Kenntnisse über ihre Verfügbarkeit aus unterschiedlichen Bindungsformen unter wechselnden Boden- und Klimabedingungen für Pflanzen, als die am zuverlässigsten reproduzierbaren Bestimmungsgrößen erwiesen hatten. Viele Autoren haben bislang auf dieser Basis Versuche mit Siedlungsabfällen ausgeführt und bei zulässigen Aufwandmengen generell zwar Anreicherungen im Boden, aber nur selten dadurch bedingte stärkere Aufnahmen von Schwermetallen in Pflanzen festgestellt, die zu einer Überschreitung der Richtwerte des Bundesgesundheitsamtes (soweit solche für die einzelnen Schwermetalle überhaupt schon vorliegen) führten. Eine sehr beschränkte Anzahl von Literaturbefunden dient der Demonstration von Beispielen. Je nach Boden, Typ des Schlammes und Pflanzenart werden aus der gleichen Quelle verschiedene Metalle verstärkt (z. B. Zn) aufgenommen, andere (z. B. Cu und Cd) gegenüber der Kontrolle sogar gesenkt (METZGER u. Mitarb., 1983), als phytotoxisch angesehene Gehalte in den Pflanzen selbst im Falle von Ertragsminderungen (die mit der Schlammgabe in der Regel nicht zusammenhängen), bei weitem nicht erreicht. Überschreitungen der Richtwerte des BGA für Pb und Cd traten nur in wenigen Fällen auf und waren weder stark noch nachhaltig, selbst wenn hohe Schlammengen in der Absicht einer deutlichen Anreicherung der Böden mit P ausgebracht worden waren.

In einem nunmehr 8 Jahre laufenden Versuch zur Prüfung der Auswirkung steigender Mengen von Siedlungskomposten auf Rebböden und dem darauf gewachsenen Wein (HOFFMANN, 1983; s. dort weitere Literatur zu den Versuchen) wurden die Schwermetallgehalte der Versuchspartellen in der Krume, nicht jedoch im Unterboden, proportional zur verabreichten Gabe von 37,5 bis 150 t Kompost/ha und Jahr gegenüber der Kontrolle erhöht. Auf Böden aus Urgesteinsverwitterung (jedoch nicht Löß) wurde mit der höchsten Gabe der Grenzwert der KSVO für Zink gerade erreicht, für Blei nicht unwesentlich überschritten. Unabhängig von der Kompostgabe lag der Schwermetallgehalt der Moste in jedem der Versuche auf annähernd der gleichen Höhe (einmal hatte Zn sogar in der Kontrolle den höchsten Wert). Aus der Urgesteinsverwitterung wurde jedes

Metall stärker aufgenommen, als aus dem Lößboden. In beiden Fällen blieben die Gehalte der Moste aber weit unter den Grenzwerten des deutschen Weingesetzes (Cu 5,0, Zn 6,0, Pb 0,4 mg/Liter Wein) und erst recht im fertigen Wein, denn die Metalle der Schwefelwasserstoffgruppe fallen durch dieses bei der Gärung entstehende Gas aus, Blei und Cadmium stärker als Zink, und verbleiben im Hefetrub (Abb. 10). Auch in das Weinlaub gehen die Schwermetalle unter dem Einfluß der steigenden Kompost-

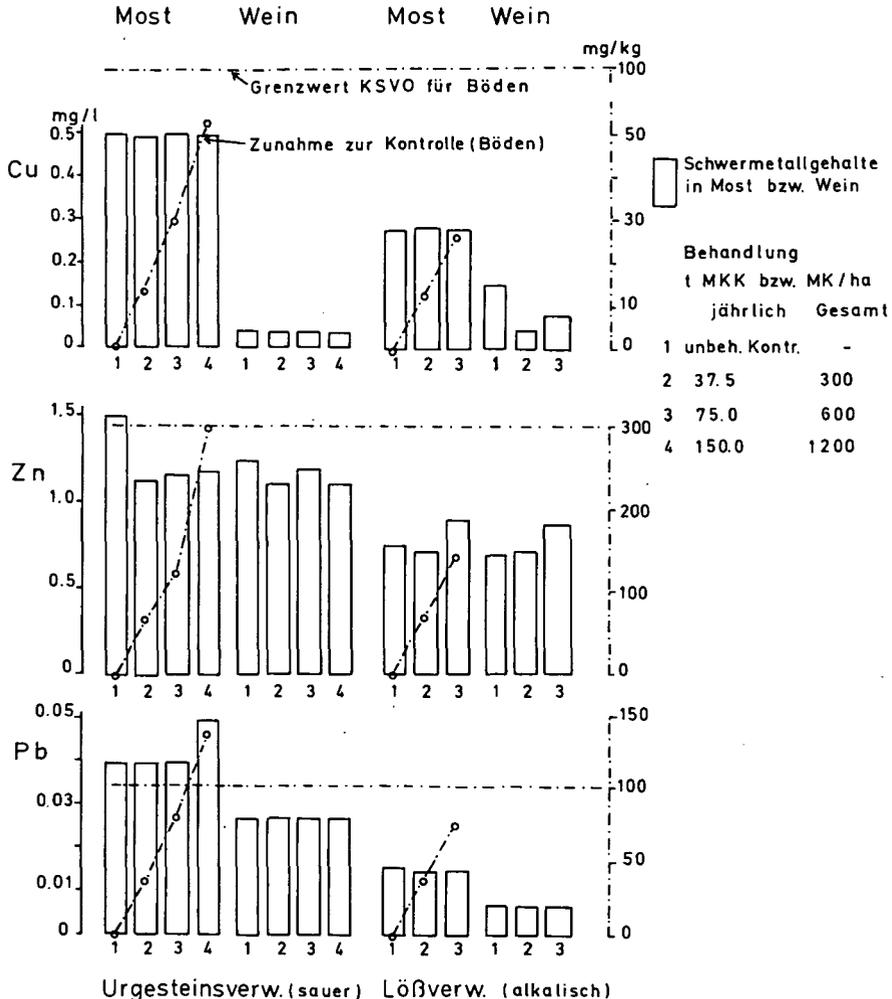


Abb. 10: Schwermetallgehalte in Böden, Most und daraus bereitetem Wein nach 8jähriger Versuchsdauer mit steigenden Gaben an MKK bzw. MK

gaben nicht verstärkt über (z. B. Cu mit 23—25, Zn mit 127—135 und Cd mit 2,6—3,1 mg/kg Blattrockenmasse in allen 4 Behandlungsarten des Versuches auf der Urgesteinsverwitterung).

Hält man sich an die bestehenden Vorschriften zur Verwertung von Siedlungsabfällen, dann sind kaum Überschreitungen der Schwermetall-Richtwerte in Pflanzen zu befürchten. Sie treten nur unter besonderen Bedingungen bei so leicht beweglichen Elementen wie Cadmium auf, das andererseits, wie gezeigt, auch schwächer in die Pflanzen übergehen kann, als aus unbehandelten Böden. Diese oftmals widersprüchlichen Ergebnisse lassen sich mit dem Zusammenwirken verschiedener Komponenten der Siedlungsabfälle selbst oder dem Einwirken von Bodenbedingungen erklären, die letztere dort antreffen oder auch verursachen.

Ein Versuch von ALT u. KROMHOUT (1977) mit Tomaten in einer Containerkultur in Mischungen von Torf mit MKK in verschiedenen Verhältnissen ist ein Beispiel eines solchen Zusammenwirkens verschiedener Faktoren (Abb. 11). In diesem Versuch sank die Kupferaufnahme in die Pflanzen mit steigendem MKK-Anteil der Mischungen ab, bis etwa zu dem Verhältnis, das den tolerierbaren Kupfergehalt eines Freilandbodens einstellte. Ähnlich, aber mit deutlicherem Abfall, verhielt sich auch das Zink.

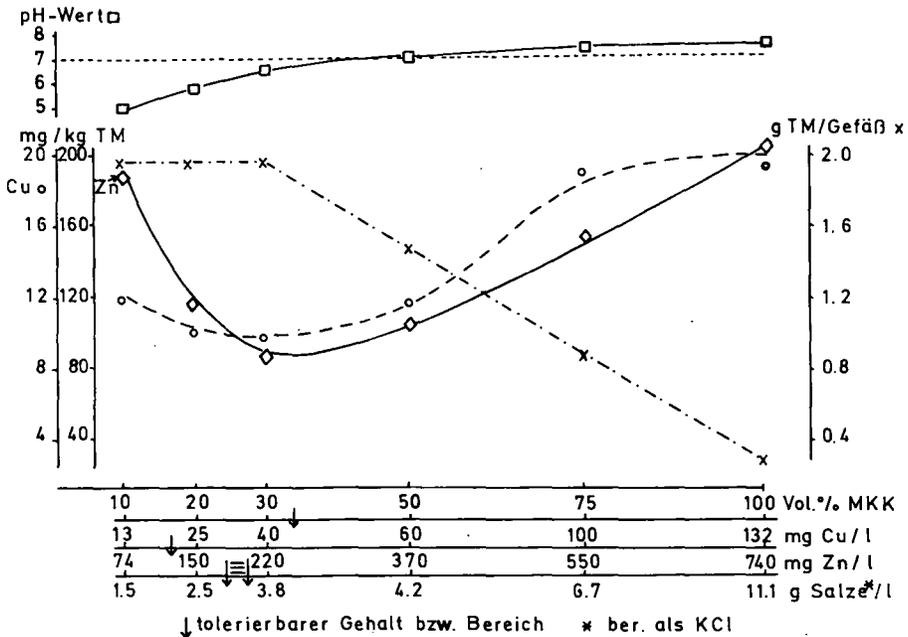


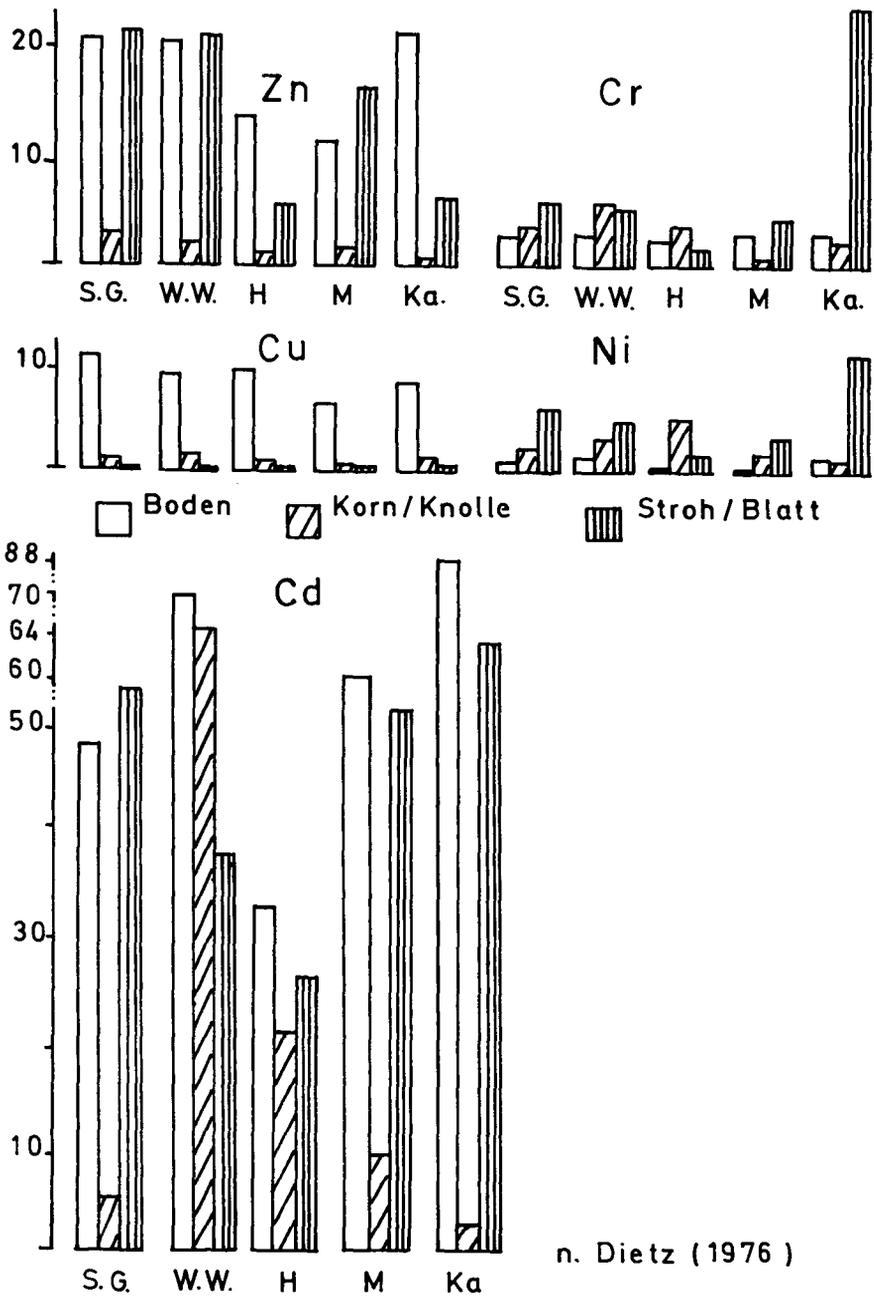
Abb. 11: Aufnahme von Kupfer und Zink durch Tomatenpflanzen aus Torf-MKK-Gemischen

Die Abnahme folgt der gleichzeitig eingetretenen Anhebung der pH-Werte der Substrate durch die basisch wirksamen Inhaltsstoffe des Komposts bis zum Neutralpunkt, die zu einer Verringerung der Pflanzenverfügbarkeit von Schwermetallen führt. Daß die Schwermetallaufnahme in die Pflanzen, die als Konzentration ausgedrückt ist, trotz weiter steigender pH-Werte stark zunimmt, findet ihre Erklärung im Verlauf der Ertragskurve.

Etwa bis zur geringsten Schwermetallaufnahme unterscheiden sich die Erträge in Torf und Mischungen nicht. Von da ab sinken sie linear bis zum unverdünnten MKK als Substrat und verursachen höhere Konzentrationen in der Pflanzensubstanz, da auch das Angebot laufend wächst und nur mehr von einer sinkenden Erntemenge genutzt wird. Es wäre aber ein Trugschluß, das erhöhte Schwermetallangebot als Ursache der Ertragsdepression anzusehen. Im gleichen Maße wie die Erträge sinken, steigen die Salzgehalte der Mischungen vom duldbaren Gehalt bei ca. 3 g auf ca. 11 g/Liter an und verursachen den starken Abfall im Ertrag.

Wie die besprochenen und viele andere Beispiele zeigen, treten bei Anwendung von Siedlungsabfällen in normaler Höhe in den Pflanzen keine überhöhten Gehalte an Schwermetallen auf bzw. gehen keine beängstigenden Mengen in sie über. Wo aber übermäßig große Gaben höher belasteter Klärschlämme, zu Zeiten als ihre Schwermetallproblematik noch gar nicht absehbar, ja noch nicht einmal bekannt war, laufend auf die Äcker kamen, können extreme Anreicherungen eintreten. DIEZ u. ROSOPULO (1976) berichten über Untersuchungen von Böden und den darauf gewachsenen Pflanzen nach Ausbringung von insgesamt 700 t Klärschlamm-Trockenmasse/ha über viele Jahre auf einem Gut in der unmittelbaren Nähe der Münchener Kläranlage. In den Böden reicherte sich Zink gegenüber der Kontrolle auf das 10 bis 20fache, Kupfer auf das 10fache, Chrom nur etwa auf das Doppelte, Nickel praktisch kaum an.

In den generativen und den Speicherorganen der angebauten Pflanzen standen die Anreicherungen in den Pflanzen mit wenigen Ausnahmen (Cr u. Ni in einigen Getreiden) in keinem Verhältnis zur Anreicherung in den Böden. Kupfer wurde sogar von den vegetativen Organen nicht vermehrt aufgenommen, dagegen gingen die übrigen 3 Schwermetalle in Stroh oder Blatt deutlich verstärkt über, Zink mehr in Getreide, Chrom und Nickel besonders in das Kartoffellaub. Cadmium verhielt sich gänzlich abweichend. Bei Anreicherungen im Boden auf das 30 bis 80fache ging es nicht nur in die vegetativen Organe sehr stark über, sondern bei Winterweizen und Hafer auch in das Korn, nur beschränkt in Sommergerste, Mais und Kartoffeln (Abb. 12).



Ordinaten: Anreich. Faktoren gegen unbehandelt

Abb. 12: Schwermetallgehalte in verschiedenen Ackerfrüchten nach Gaben von 700 t Klärschlamm-Trockenmasse je ha

Diese Befunde zeigen aber, daß es nicht nötig ist, aus früheren Zeiten stark belastete Böden ganz aus der Kultur zu nehmen. Bei Unterbindung künftiger Kontaminationen kann man durch Wahl der angebauten Frucht bzw. Nutzung bestimmter Organe auch auf solchen Böden weiter Landwirtschaft betreiben, ohne unzulässig hoch belastete Produkte zu ernten.

Die von DIEZ u. ROSOPULO gefundene unterschiedliche Aufnahme von Schwermetallen in Pflanzen und deren Organe wird von zahlreichen Autoren bestätigt. Im allgemeinen sind Pflanzen gegen Blei am verträglichsten und gegen Zink, Kupfer, Nickel und Cadmium zunehmend immer unverträglicher. Bei Anordnung nach Pflanzengruppen sinkt die Aufnahme von Blattgemüsen (je nach Element in der Reihenfolge etwas wechselnd) über Tabak, Wurzelfrüchte und Futterpflanzen bis zu Getreide und innerhalb der Pflanzenorgane in der Regel von Wurzeln über Blätter, Sproß und unterirdische Speicherorgane zu den Früchten ab (Übersicht 6).

Übersicht 6: Pflanzenverträglichkeit verschiedener Schwermetalle und deren Aufnahme in einige Pflanzengruppen bzw. die Organe von Kulturpflanzen

| Beurteilungskriterium | Rangfolge der Metalle bzw. der Pflanzen (geringste Verträglichkeit bzw. Aufnahme am weitesten rechts) |
|---|---|
| Pflanzenverträglichkeit Aufnahme*) in Pflanzengruppen | Pb > > > Zn > > Cu > Ni > Cd Blattgemüse, Tabak > Wurzelgemüse > Futterpflanzen > Getreide |
| Pflanzenorgane | Wurzeln > > Blätter > Sproß > unterird. Speicherorgane > Früchte |

*) gilt für die verschiedenen Metalle nahezu gleich, jedoch auf unterschiedlichem Niveau bzw. mit verschieden steilem Gradienten

5.3.2 Pflanzenverfügbare Anteile als Bezugsgröße

Die Gesamt-Schwermetallgehalte als Bezugsgrößen der KSVO sind häufig auf Kritik gestoßen, da sie der Verfügbarkeit der Metalle nicht gerecht werden. In Versuchen von METZGER u. Mitarb. (1983) erhöhte ein mit Aluminium gefällter Klärschlamm trotz erheblich höherer Schwermetallzufuhr auf einem schluffigen Lehmboden nur die Zinkaufnahme deutlich, dagegen auf anderen Böden — ebenso wie die Cd-Aufnahme — nur mäßig stärker im Vergleich zu einem mit Kalk gefällten Schlamm, der dafür die Bleiaufnahme verstärkte. Bemerkenswert in diesen Versuchen war auch die Beobach-

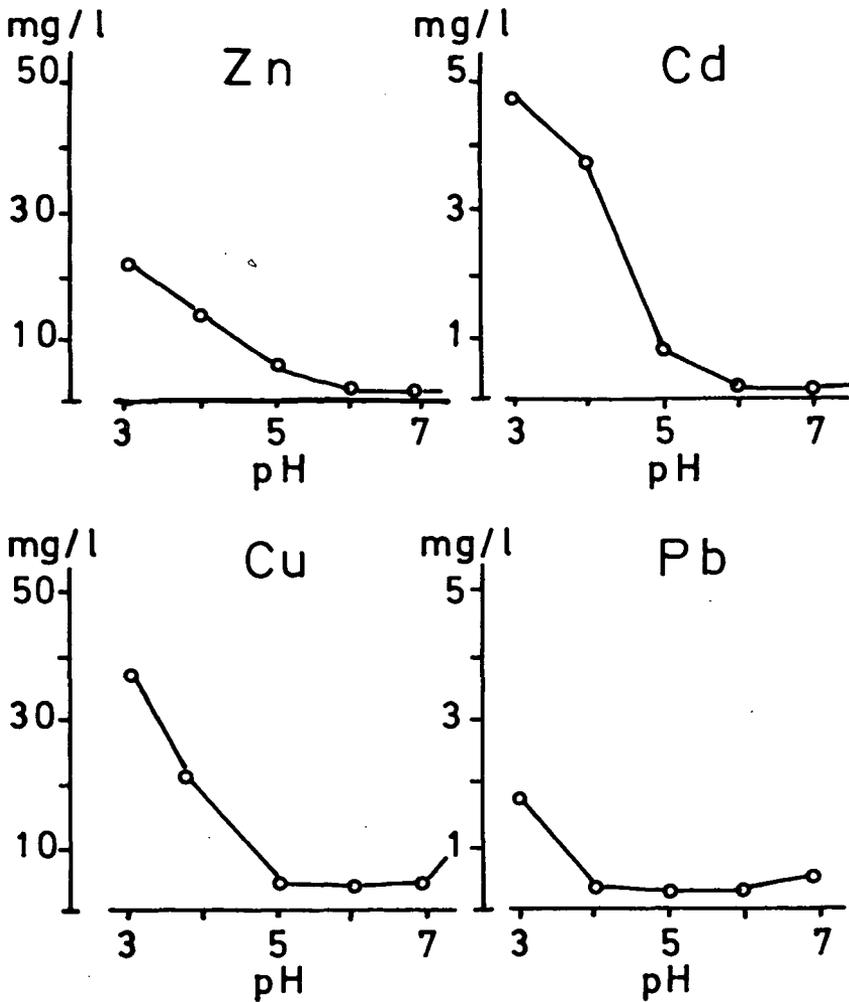
tung, daß ein nach KSVO wegen zu hoher Cu-Gehalte unbrauchbarer Schlamm die Kupferaufnahme selbst bei sehr hoher Dosierung eher senkte als steigerte und ein als brauchbar eingestuftes die Bleigehalte der Pflanzen auf einem schluffigen Lehm und einem Rendzina-Kolluvium nahe an den kritischen Bereich hob.

Diese Befunde zeigen, daß die Anwendung eines brauchbaren Schlammes auf bestimmten Böden das Risiko von Richtwertüberschreitungen nicht ausschließen muß, während das Verbot der Ausbringung eines als nicht brauchbar eingestuftes auf gewissen Standorten eine unnötige Einschränkung bedeutet. Die Konsequenz aus diesen und vielen ähnlichen Befunden wäre eine Bewertung der Schlämme nach den pflanzenzugänglichen Anteilen der Schwermetalle.

Wie aus vielen der gezeigten Beispiele hervorgeht, hängt die Pflanzenverfügbarkeit von der angebauten Pflanze und von zahlreichen Bodenfaktoren ab, die bei der Analyse des Schlammes, zu welchem Zeitpunkt die Behörden aber bereits über seine Brauchbarkeit zu entscheiden haben, noch nicht bekannt sind. Nicht zuletzt könnte der Fall eintreten, daß die Zugänglichkeit des gleichen Elements auf verschiedenen Böden in einer einzigen Schlammcharge verschieden bewertet werden müßte, wodurch die Handhabung der KSVO sich über Gebühr erschweren würde.

Zur Zeit sind noch gar nicht genügend Zusammenhänge zwischen einzelnen Bodenparametern und der Löslichkeit der Schwermetalle quantitativ bekannt. Man studiert sie zunächst meist noch in Modellversuchen. Als einen entscheidenden Faktor fanden HERMS u. BRÜMMER (1980) dabei den pH-Wert des Bodens. Nach Zusatz verschiedener Klärschlämme und Siedlungskomposte zu Proben von Böden unterschiedlichen Typs, die hierauf künstlich angesäuert wurden, ergab sich in Sättigungsextrakten im Neutralbereich eine ziemlich geringe Löslichkeit von Zink, Cadmium, Blei und Kupfer und je nach Element eine beachtliche Erhöhung der Konzentration in der Lösung je tiefer der pH-Wert abgesenkt wurde. In weitaus schwächerem Ausmaße stieg sie auch bei alkalischer Reaktion (Abb. 13). Organische Substanz beeinflusst die Löslichkeit ebenfalls. Wurde der bodeneigene Humus in den Proben vor Versuchsbeginn durch Glühen bei 450°C inaktiviert und ihnen hierauf neben Siedlungsabfällen eine definierte Menge organischer Substanz in Form von 5 % fermentiertem Heu zugesetzt, dann enthielten die Gleichgewichtslösungen je nach Element im sauren Bereich unterschiedlich geringere, oberhalb des Neutralpunktes höhere Schwermetallmengen wie die unbehandelten Böden (Abb. 14).

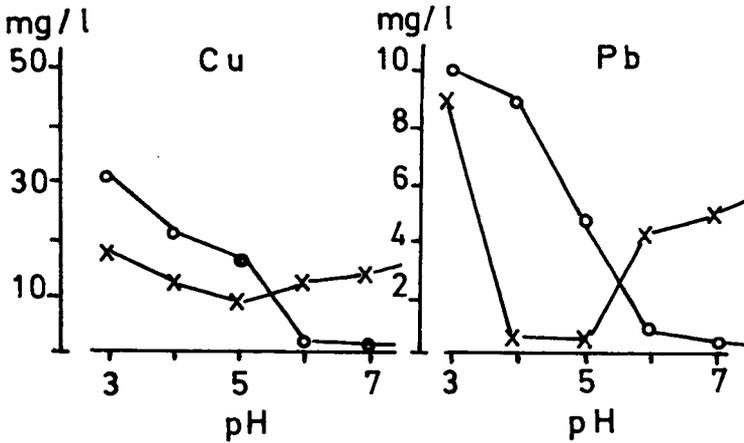
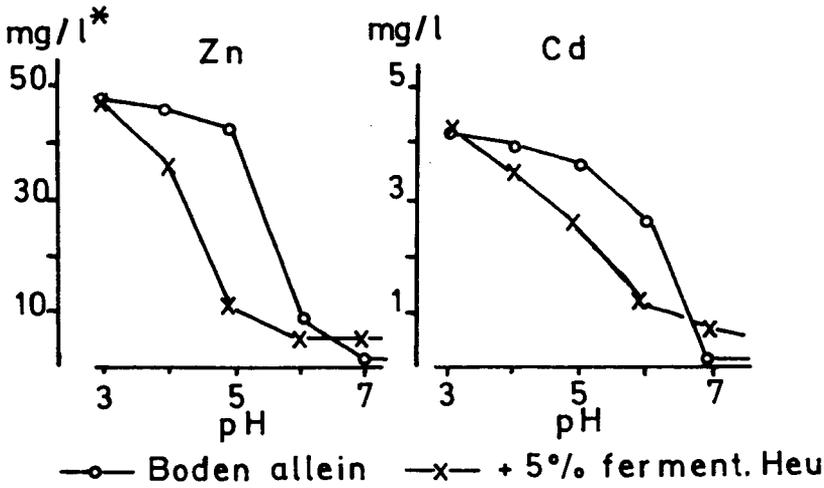
Offensichtlich verlangsamt die organische Substanz das Löslichwerden der Schwermetalle mit Koordinationszahlen über 6 besonders stark, da sie



n. Herms u. Brümmer
(1980)

Abb. 13: Schwermetallgehalte in der Gleichgewichtsbodenlösung einer Parabraunerde nach Gaben von Klärschlamm bzw. MKK

eine höhere Affinität zu ihr haben, während solche mit Koordinationszahlen von 6 stärker von Tonmineralen gebunden werden, in deren Oktaeder sie isomorph eintreten können. Neben der Menge spielt auch die Qualität der organischen Substanz eine bedeutende Rolle. Wird statt einer Substanz mit wertvolleren Humusstoffen ein rohhumusähnliches Material be-



* = gleichgew. Bodenlösung
n. Herms u. Brümmer (1980)

Abb. 14: Einfluß von organischer Substanz (5 % fermentiertes Heu) auf die pH-abhängige Löslichkeit einiger Schwermetalle

nützt, das den pH-Wert des Bodens stark absenkt, dann kann der dadurch verursachte Versauerungsschub die Abpufferung der Schwermetalle durch die Humuszufuhr abblocken und eine Löslichkeitserhöhung bewirken (MOHR; YLERANTA et al., cit. bei HOFFMANN, 1982).

Bisherige Untersuchungen zur Bestimmung von Fraktionen der Schwermetalle in Lösungsmitteln verschiedener Stärke (Beispiele s. bei HOFFMANN, 1982) geben bislang auch nur wenig Hoffnung, daß es ein universelles Extraktionsmittel geben wird, das die Pflanzenzugänglichkeit genügend sicher charakterisiert. So fand HÄNI in Extrakten mit Wasser, niedrig und hoch konzentrierten Salzlösungen sowie schwachen und starken Säuren stets sehr hohe Korrelationen zu den von den Pflanzen aufgenommenen Schwermetallmengen, wenn ähnliche Böden miteinander verglichen wurden. Variierten die Bodenherkünfte stark, ergab eine graphische Darstellung stets eine Wolke von Punkten, die keiner Regressionsrechnung zugänglich war.

Deshalb wird man für geraume Zeit bei den Gesamtgehalten als Bezugsgrößen für die Bewertung der landwirtschaftlichen Verwendbarkeit von Siedlungsabfällen und die Belastbarkeit der Böden mit Schwermetallen bleiben müssen, bis weitere Untersuchungen über die Einflußgrößen für ihre Pflanzenverfügbarkeit eine Modifizierung der bislang gebräuchlichen Bewertungsgrundlage gestatten.

Eine viel stärkere Einschränkung für die Bereitschaft zur Verwertung von Siedlungsabfällen, als eine nicht bis ins letzte ausgefeilte Bewertungsgrundlage, könnten gesetzliche Auflagen werden, die von Klärwerksbetreibern und Grundstückseigentümern im Zusammenhang mit der Aufbringung von Klärschlamm in der KSVO verlangt werden. So müssen alle Flächen, die beschlammte werden, die aufgebrachten Mengen und die Häufigkeit der Ausbringung schriftlich erfaßt werden. Diese Forderungen haben manche Gemeinde inzwischen dazu veranlaßt, selbst brauchbare Klärschlämme anderweitig zu entsorgen, um einem zu großen Bürokratismus zu entgehen.

Literatur

- Aichberger, K., Bachler, W., u. Pichler, H. (1981): Schwermetalle in Böden Oberösterreichs und deren Verteilung im Bodenprofil. Landwirtsch. Forsch., Sonderheft 38, 350—362.
- Aichberger, K., Mayr, E., u. Schmoigl, K. (1983): Landwirtschaftliche Verwertung von Klärschlamm nach den Richtlinien des Modells Oberösterreich. Der Förderungsdienst 31, 263.
- Alt, B., u. Kromhout, B. (1977): Einfluß von Müllkompost-Torf-Mischungen auf das Wachstum von Tomaten- und Salatjungpflanzen. Landwirtsch. Forsch. 30, 130—136.

- Amberger, A., Gutser, R., u. Wünsch, A. (1980): Wirkung von Müllklärschlammkompost auf N-Umsatz und -Verlagerung in einer Lößbraunerde im Vergleich zu einer mineralischen N-Düngung. Bayer. Landwirtsch. Jahrb. 57 (2), 156—171.
- Amberger, A., Gutser, R., u. Wünsch, A. (1980): Wirkung von Müllklärschlammkompost auf Erträge und Mineralstoffaufnahme von Kulturpflanzen im Vergleich zu einer mineralischen N-Düngung. Bayer. Landwirtsch. Jahrb. 57 (2), 148—155.
- Asche, N. (1982): Die Wirkung von Klärschlamm auf die Kationenumtauschverhältnisse einer Lößlehm-Parabraunerde unter Fichte. Z. Pflanzenernähr. Bodenkd., 145, 17—24.
- Beck, Th., u. Süß, A. (1979): Der Einfluß von Klärschlamm auf die mikrobielle Tätigkeit im Boden. Z. Pflanzenernähr. Bodenkd. 142, 299—309.
- Brugger, G. (1976): Möglichkeiten und Grenzen von Müll- und Klärschlamm-Komposten in der Land- und Forstwirtschaft. Allg. Forstzeitschr. 22/1976, S. 460—461 u. 464.
- Diez, Th., u. Rosopulo, A. (1976): Schwermetallgehalte in Böden und Pflanzen nach extrem hohen Klärschlammgaben. Landwirtsch. Forsch., Sonderh. 33/I, 236—248.
- Diez, Th., u. Weigelt, H. (1980): Zur Düngewirkung von Müllkompost und Klärschlamm. Landwirtsch. Forsch. 33, 47—66.
- El Bassam, N., Tietjen, C., u. Mertens, F. (1973): Nitrat-, Nitrit- und Ammoniak-N im Boden und Bodenwasser sowie Aufnahme durch Markstammkohl und Zuckerrüben bei Zufuhr hoher Klärschlammgaben. Landwirtsch. Forsch., Sonderh. 30/II, 29—38.
- El Bassam, N. (1977): Anreicherung und Verlagerung von Cadmium in Böden durch Zufuhr kommunaler Siedlungsabfälle. Landwirtsch. Forsch. 30, 215—22.
- Epstein, E. (1975): Effect of Sewage Sludge on Some Soil Physical Properties. J. Environm. Qual. 4 (1), 139—142.
- Furrer, O. J. (1977): Einfluß hoher Gaben an Klärschlamm und Schweinegülle auf Pflanzen-ertrag und Bodeneigenschaften. Landwirtsch. Forsch., Sonderh. 33/I, 249—256.
- Furrer, O. J., u. Bolliger, R. (1978): Die Wirksamkeit des Stickstoffs im Klärschlamm. Schweizer landwirtsch. Forsch. 17 (3/4), 137—147.
- Gupta, S. K., u. Häni, H. (1978): Form und Wirksamkeit von Klärschlammphosphat. Bull. Bodenkd. Ges. der Schweiz, Heft 2/1978, 24—31.
- Haan, S. de (1980): Die chemische Zusammensetzung von Dränwässern aus mit Klärschlamm oder Müllkompost behandelten Böden. Landwirtsch. Forsch. 33, 166—178.
- Haan, S. de (1981a): Chemical composition of drainage water from sewage sludge, used as plant substrates. Proc. 1st europ. sympos. „treatment use of sewage sludge“, Cadarache (13—15. 2. 1979), p. 420—430.

- Haan, S. de (1981b): Effect of phosphorus in sewage sludge on phosphorus in crops and drainage water; in Hucker, T. W. G. and Catroux, 9 (eds.): „Phosphorus in sewage and animal waste slurries“. Reidel, Dordrecht, pp. 241—254.
- Häni, H., u. Gupta, S. K. (1978): Kann Klärschlamm als P-Dünger verwendet werden? Schweiz. landwirtsch. Forsch. 17 (1/2), 15—28.
- Herms, U., u. Brümmer, G. (1980): Einfluß der Bodenreaktion auf Löslichkeit und tolerierbare Gesamtgehalte an Nickel, Kupfer, Zink, Cadmium und Blei in Böden und kompostierten Siedlungsabfällen. Landwirtsch. Forsch. 33, 408—423.
- Hoffmann, Gg. (1980a): Richtwerte für Schwermetallkonzentrationen in Müll- und Müllklärschlammkomposten in Deutschland und in der Europäischen Gemeinschaft. Sammelband der Referate einer Informationstagung im Gottlieb-Duttweiler-Institut, 8803 Rüschlikon/Zürich, S. 12—28.
- Hoffmann, Gg. (1980b): Klärschlamm — nicht alles ist verwertbar (kontrollierter Einsatz von Klärschlamm in der Landwirtschaft). DLG-Mitt. 95, Heft 12, 684—686.
- Hoffmann, Gg. (1982): Zusammenhänge zwischen kritischen Schadstoffgehalten im Boden, in Futter- und Nahrungspflanzen. Landwirtsch. Forsch. Sonderheft 39, 130—153.
- Hoffmann, Gg. (1983): Recycling of municipal waste composts in vineyard-soils. Proc. Intern. Symp. Humus and Planta (im Druck).
- Kick, H. (1984): Anforderungen des Landbaues an die Beschaffenheit der Abwasserklärschlämme. Gewässerschutz, Wasser, Abwasser; 16. Essener Tagung: Klärschlamm — Rohstoff oder Schadstoff, S. 9—32.
- Metzger, F., Monn, L., u. Schlichting, E. (1983): Risiko einer Schwermetallkontamination von Pflanzen bei Klärschlammdüngung. Landwirtsch. Forsch. 36, 300—307.
- N. N. (1977): Möglichkeiten und Grenzen der Verwertung von Klärschlamm in der Landwirtschaft. Informationsschrift des Ministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Umwelt Baden-Württemberg.
- N. N. (1980): Anfall an Siedlungsabfällen. Drucksache des Deutschen Bundestages 8/4488 vom 25. 9. 1980.
- N. N. (1982): Klärschlammverordnung — AbfKlärV vom 25. Juni 1982 Bundesgesetzblatt I, 734.
- Pfulb, K., Völkel, R., Enkelmann, R., Scholl, W., u. Wiechens, E. (1978): Einsatz von kompostierten Siedlungsabfällen im Weinbau — Teilergebnisse nach 3 Versuchsjahren. Landwirtsch. Forsch., Sonderh. 35, 377—393.
- Platzen, H. (1977): Untersuchungen über die vertikale Wanderung einiger Nährstoffe im Boden nach Düngung hoher Gaben von Siedlungsabfällen. Landwirtsch. Forsch. 30, 189—199.
- Schweiger, P., u. Völkel, R. (1980): Zur N-Wirkung von Klärschlämmen im Gefäßversuch mit Weidelgras. Landwirtsch. Forsch. 33, 323—330.

- Schweiger, P., (1984a): Anreicherung von Schwermetallen im Boden durch Klärschlamm-
düngung. Wasser und Boden 2/1984, 65—68.
- Schweiger, P., (1984b): Auswirkung der Schwermetallbelastung aus Klärschläm-
men auf landwirtschaftlich genutzte Böden. Gewässerschutz, Wasser, Ab-
wasser, 16. Essener Tagung: Klärschlamm — Rohstoff oder Schad-
stoff, 439—448.
- Söchtig, H., Timmermann, F., u. Krause, R. (1982): Wirkung einer Klärschlamm-
düngung auf Nährstoffgehalte von Pflanzen und Böden. Landwirtsch.
Forsch., Sonderh. 39, 262—275.
- Timmermann, F., Cervenka, L., u. Barau, E. (1980): Phosphatrückgewinnung aus Ab-
wässern und Einsatz der Fällungsprodukte in der Düngung. Land-
wirtsch. Forsch., Sonderh. 37, 176—185.
- Trenkle, A. (1984): Chlorierte Kohlenwasserstoffe in Futtermitteln, Böden und Klärschläm-
men; in Gg. Hoffmann u. Mitarb.: Festschrift 1859—1984 125 Jahre
Staatliche Landwirtschaftliche Untersuchungs- und Forschungsan-
stalt Augustenberg in Karlsruhe-Durlach, S. 195—214.
- Vogel, Chr., u. Kowald, R. (1976): Klärschlammverwertung in der Landwirtschaft — Er-
gebnisse eines mehrjährigen Feldversuches auf einem Basaltverwit-
terungsboden. Landwirtsch. Forsch., Sonderh. 33/1, 228—235.
- Werner, W. (1975): Untersuchungen zur Phosphatwirkung von Klärschläm-
men aus der chemischen Abwasserreinigung. Landwirtsch. Forsch., Sonderh. 32/1,
177—185.

Nutz- und Schadwirkung von Klärschlamm

A. Köchl

1. Einleitung

Rund 3,6 Millionen m³ Klärschlamm müssen nach dem gegenwärtigen Ausbaustand der Abwasserreinigung in Österreich jährlich entsorgt werden. (1) Das bedeutet, daß mit der Wahl des Entsorgungsverfahrens auch über den Verbleib von 61.000 t organischer Substanz, 6200 t Stickstoff, 4200 t Phosphat, 6500 t Calcium- und 2000 t Magnesiumoxyd pro Jahr entschieden wird. Diese Mengen errechnen sich aufgrund der in Tabelle 1 angegebenen Analysenergebnisse für Naßschlamm. Bei vollständiger Verwertung des derzeit anfallenden Schlammes in der Landwirtschaft könnte der Verbrauch an Stickstoff- und Phosphathandelsdüngern somit um 4—5 % verringert werden. Legt man den österreichischen Durchschnittsbedarf an Zukaufdüngemitteln von 57,4 kg N und 35,6 kg P₂O₅ pro Hektar zugrunde, so reicht der Klärschlammfall theoretisch für ein Gebiet von 108.000—118.000 ha. Theoretisch deshalb, weil die Transportkosten zu einer Verwertung im Nahbereich des Siedlungsraumes zwingen und in diesen Zonen der Handelsdüngerbedarf allein aus Gründen verminderter Viehhaltung über dem Durchschnitt liegt. Auch kann die Nährstoffausbeute aus Mineraldüngern und Klärschlamm nicht unmittelbar gleichgesetzt werden.

Die potentiell versorgbare Fläche dürfte daher in bezug auf Stickstoff bei 50.000 ha und hinsichtlich Phosphat bei 80.000 ha pro Jahr liegen. Die Zahlen zeigen, daß es in der Frage der Klärschlammverwertung um nicht unerhebliche Dimensionen geht, sowohl was das Aufkommen an wiederverwertbaren Pflanzennährstoffen anlangt, als auch das Ausmaß an Flächen betrifft, die vor unzulässig hoher Verunreinigung mit Schadstoffen zu schützen sind. Beiden Zielen kann entsprochen werden, wenn die Schadstoffbelastung des Klärschlammes in vertretbaren Grenzen gehalten wird. Auf keinen Fall aber dürfte Großzügigkeit am Ort des Entstehens der Abwasserbelastung mit Risikofreudigkeit bei der Schlammverwertung kompensiert werden. Verschmutzte Gewässer lassen sich durch die Errichtung von Kläranlagen sanieren, auch die Reinheit der Luft kann durch Beseitigung der Schadstoffquelle wiederhergestellt werden, ein unzulässig mit Schwermetallen kontaminierter Boden aber ist irreversibel geschädigt und für die Nahrungsmittelproduktion weitgehend verloren. Die Verwertung von Klärschlamm in der Landwirtschaft verlangt daher eine sorgsame Vorgangsweise von allen daran Beteiligten.

2. Die Nutzwirkung von Klärschlamm

2.1. Wertgebende Inhaltstoffe

Mit Ausnahme von Kali enthält Klärschlamm alle wichtigen Pflanzennährstoffe in einer für Düngezwecke hinreichenden Konzentration.

Vor allem der N-Gehalt mit rund 5 % und P₂O₅-Gehalt mit 3,5 % der Trockenmasse verdienen als wertgebende Inhaltstoffe hervorgehoben zu werden. Wie aus den Variationskoeffizienten in Tabelle 1 ersehen werden kann, sind N und P zugleich die Elemente mit den geringsten Gehaltsschwankungen im Naßschlamm. Ihre Gehalte und Streuungen verschlechtern sich allerdings merklich im teilentwässerten oder streufähigen Gut. Vom Stickstoff nimmt vor allem der Ammoniumanteil deutlich ab. Eingedickte Schlämme entfalten demnach nur eine geringe Düngewirkung. Im Lichte dieser Tatsache spielt die für strukturschwache Böden positiv zu beurteilende Natriumarmut eingedickter Schlämme nur noch eine unbedeutende Rolle. Das Natrium weist übrigens in allen TS-Gehaltsklassen die stärkste Streuung in der Konzentration auf.

Tab. 1: Der Gehalt an Makronährstoffen in 25 Klärschlammproben aus 18 Kläranlagen (NÖ., Stmk., Ktn.) Angaben in % i. TS.

| Bestimmung | TS-Gehaltsklassen u. Probenanzahl | | | | | |
|--|-----------------------------------|-----|-------------|-----|-------------|-----|
| | < 5 % (14) | | 10—15 (3) | | > 25 (8) | |
| | \bar{X} | s % | \bar{X} | s % | \bar{X} | s % |
| Trockensubstanz | 3.25 | 71 | 12.93 | 16 | 48.56 | 43 |
| Asche | 47.7 | 36 | 53.8 | 20 | 63.8 | 33 |
| org. Anteil | 52.3 | 33 | 46.2 | 24 | 36.2 | 59 |
| Gesamt-N | 5.28 | 26 | 2.96 | 33 | 1.68 | 56 |
| NO ₃ — N | 0 | | 0 | | 0 | |
| NH ₃ — N | 1.77 | 67 | 0.78 | 18 | 0.41 | 67 |
| org. geb. N | 3.51 | 46 | 2.18 | 41 | 1.28 | 65 |
| Gesamt — P ₂ O ₅ | 3.57 | 44 | 2.84 | 41 | 2.45 | 66 |
| Gesamt — K ₂ O | 0.67 | 64 | 0.33 | 78 | 0.51 | 53 |
| CaO | 5.58 | 67 | 5.55 | 84 | 9.24 | 21 |
| MgO | 1.69 | 52 | 1.47 | 47 | 2.34 | 53 |
| Na ₂ O | 1.95 | 210 | 0.82 | 146 | 0.13 | 155 |
| pH | 6.98 | 4 | 7.02 | 4 | 7.13 | 9 |

Mit einer Schlammprobe von 5 t Trockenmasse pro Hektar wird somit im Durchschnitt die respektable Nährstoffmenge von 260 kg Gesamt-N, 180 kg Phosphat, 280 kg CaO, 85 kg MgO und — was für den Zuckerrübenbau oder die Grünlandwirtschaft von Bedeutung sein kann — 100 kg Na₂O auf das Feld gebracht. Hierzu kommt die organische Substanz im Ausmaß von 2,6 t Trockenmasse, etwa ebensoviel wie eine Stallmistgabe

von 125 Dezitonnen enthält. Allerdings fördert die organische Masse des Schlammes infolge ihrer leichten Abbaubarkeit mehr die biologische Aktivität des Bodens als die Bildung von Dauerhumus.

Zu den wertvollen Bestandteilen des Schlammes zählen natürlich auch die Mikronährstoffe Bor, Kupfer, Zink, Mangan, Kobalt und Molybdän, sofern sie in geringfügigen Mengen vorkommen und der Boden Mangel an diesen Elementen aufweist. Nimmt man die Analyseergebnisse von Tabelle 2 als Kalkulationsgrundlage, so werden mit 5 t Schlamm-trockenmasse im Mittel 1,2 kg Cu, 3 kg Mn, 8,4 kg Zn, 0,05 kg Co und 0,03 kg Mo in den Boden eingetragen. Das ergibt im Vergleich zu einer Spurenelementdüngung, wie sie im Bedarfsfalle mit Mineralsalzen empfohlen wird, lediglich bei Zink einen Überhang von etwa 3 kg. Da eine übliche Spurendüngung immer weit über dem Entzug liegt, wird sie nur im Fall einer Versorgungslücke, nicht aber als Dauermaßnahme empfohlen, sodaß sich auch für den Schlammanwender diese Nutzenfunktion im Laufe der Zeit erschöpft oder nach Durchschreiten des optimalen Konzentrationsbereiches im Boden sogar in einen Negativeffekt umkehren kann. Ob und inwieweit Beschlämmungen hinsichtlich Spurenelementzufuhr nützlich oder überhaupt zulässig sind, kann im Einzelfall nur mittels Bodenuntersuchungsbefund beurteilt werden.

Tab. 2: Die Schwermetallgehalte im Schlamm von 18 Kläranlagen (25 Proben; Angaben in ppm i. TS bzw. s %)

| Element | Mittelwert | Schwankungsbereich | Variationskoeffizient |
|---------|------------|--------------------|-----------------------|
| Cu | 247 | 86— 1.222 | 101 |
| Mn | 595 | 114— 3.117 | 103 |
| Fe | 15.434 | 4.973—31.250 | 42 |
| Zn | 1.685 | 250— 5.890 | 69 |
| Co | 9 | 3— 67 | 131 |
| Mo | 5 | 1— 14 | 71 |
| Pb | 190 | 8— 557 | 67 |
| Cd | 16 | 1— 94 | 164 |
| Cr | 107 | 5— 1.089 | 198 |
| Ni | 71 | 18— 209 | 83 |

2.2 Düngungserfolg

Da neben dem chemisch ermittelbaren Nährstoffreichtum von organischen Düngern und insbesondere solchen mit Salzbeimengungen undefinierter Löslichkeit auch die Nährstoffverfügbarkeit für den Düngungserfolg maßgeblich ist, wird die positive Klärschlammwirkung im folgenden an eini-

gen Versuchsergebnissen dargestellt. Die Resultate wurden auf tiefgründigem, carbonatreichem Tschernosem mittlerer Schwere (Fuchsenbigl) unter Verwendung von Schlamm der Kläranlage Baden bei Wien gewonnen.

2.21 Die Stickstoffleistung

2.211 N-Wirkung im Anwendungs- und Folgejahr

Die im Versuch aufgewendete Schlammmenge betrug 200 m³/ha, womit laut Analysenbefund 320 kg N in den Boden gelangt sind. Auf den Mineraldüngervergleichs-Parzellen wurden im Hauptnutzungsjahr (Winterweizen) 0, 60 und 100 kg N/ha, im Folgejahr (Sommergerste) 0,35 und 70 kg N/ha gestreut. Um die Phosphat- und allfällige Kali-Wirkungskomponente des Schlammes auszuschalten, erhielten sämtliche Prüfparzellen ausreichend hohe PK-Gaben in mineralischer Form. Die erzielten Ergebnisse sind in Tabelle 3 zusammengestellt.

Tab. 3: Die Haupt- und Nachwirkung des Klärschlamm-Stickstoffs

| Mineraldüngung | | kg N/ha über Klärschlamm | Kornertrag dt/ha (%) | Ertragsdifferenz dt/ha |
|------------------------------|-----------------|-----------------------------|-------------------------|---------------------------|
| PK | N in kg/ha | | | |
| Anwendungsjahr; Winterweizen | | | | |
| PK | 0 | 0 | 27,9 (100) | |
| PK | 0 | 320 | 47,0 (168) | + 19,1 |
| PK | 60 | 0 | 46,7 (167) | + 18,7 |
| PK | 100 | 0 | 50,1 (179) | + 22,2 |
| | GD ₅ | | 12 | 3,3 |
| Folgejahr; Sommergerste | | | | |
| PK | 0 | 0 | 39,4 (100) | |
| PK | 0 | — | 46,4 (118) | + 7,1 |
| PK | 35 | 0 | 47,2 (120) | + 7,9 |
| PK | 70 | 0 | 51,1 (130) | + 11,8 |
| | GD ₅ | | 9 | 3,7 |

Die Ergebnisse zeigen im 1. Prüffjahr eine Wirkungsübereinstimmung zwischen der Schlammvariante und der 60-kg-Mineraldüngergabe, im Nachwirkungsjahr wird auf den Klärschlammparzellen der Düngeeffekt von 35 kg Dünger-N erreicht. Damit wird bereits im groben Zahlenvergleich deutlich, was mathematisch auch über die ermittelte Ertragsfunktion abzuleiten war, daß nämlich rund 20 % des eingesetzten Klärschlamm-Stickstoffs im Jahr der Anwendung und weitere 10 % im Jahr darauf zur Wirkung gelangen.

Eine weitere Prüffolge mit Zuckerrübe und Winterweizen als Testkulturen und Schlammausbringung zur Rübe hat ergeben, daß die Hackfrüchte

entsprechend ihrer längeren Vegetationszeit und dem höheren Aneignungsvermögen für Stickstoff den N-Vorrat des Klärschlammes besser nutzen (~ 30 %), dafür aber der Folgefrucht weniger N aus dem Schlamm zur Verfügung steht (nur 5 %).

2.212 N-Wirkung in Abhängigkeit vom Düngetermin

Die Möglichkeit des Einsatzes nicht pasteurisierten oder andersartig entseuchten Schlammes bleibt im wesentlichen auf die vegetationsfreie Zeit beschränkt. Lediglich zu Mais und Zuckerrübe wäre eine Beschlämmung auch während der Vegetation bis zu gewissen Wachstumsstadien produktionstechnisch und hygienisch vertretbar. Im Zuckerrübenbau spricht ferner die mit dem Schlammeinsatz im Frühjahr verbundene Anbauverzögerung durch den begleitenden Wasseranteil für eine Verlagerung des Düngetermines in die Frühsommermonate. Inwieweit Spätdüngungen zur Rübe allerdings mit Qualitätsansprüchen in Einklang stehen oder ähnlich negativ wie mineralische N-Kopfdüngergaben zu beurteilen sind, wurde in einem Termindüngungsversuch geprüft.

400 m³ Klärschlamm und 160 kg Mineraldünger-N gelangten auf gesonderten Prüfparzellen als Gesamtgabe (Herbst, Frühjahr) oder in Teilgaben von 2 × 200 m³ bzw. 2 × 80 kg zu Terminkombinationen (z. B. Frühjahr und vor dem Blattschluß) zum Einsatz. Als frühestmöglicher Beschlämmungszeitpunkt nach dem Auflaufen der Rübe wurde das 6-Blattstadium erachtet, weil die Pflanze bei der Schlammverregnung einer gewissen mechanischen Beanspruchung ausgesetzt wird. Um die Klärschlammwirkung wiederum auf die N-Komponente einzuengen, wurde allen Parzellen eine hinreichend hohe Basisdüngung mit PK verabreicht.

Das Ergebnis bestätigt den Frühjahrstermin als bestgeeigneten Düngungszeitpunkt. Aber auch die Beschlämmung im Herbst liefert zufriedenstellende Resultate. Eine Gabenteilung auf die Termine „Frühjahr und vor dem Blattschluß“ beeinträchtigt zwar nicht den Ertrag, wohl aber die Qualität empfindlich. Wird die gesamte Düngermenge im Verlauf der Vegetation verabreicht, so geht auch das Rübengewicht merklich zurück. Die Stickstoffleistung der 400 m³ Klärschlammgabe entspricht laut Befund dem Düngungserfolg des N-Aufwandes von 160 kg in mineralischer Form oder ist sogar geringfügig überlegen. Das mag zum Teil auch daran liegen, daß dem Mineraldünger der begleitende Wasseranteil fehlt und die Wirkung somit eine nicht begünstigte ist.

Tab. 4: N-Wirkung von Klärschlamm und mineralischen N-Gaben auf den Ertrag und die Qualität der Zuckerrübe in Abhängigkeit vom Düngungstermin. Angabe in Rel. %

| Düngungstermin | Ertrag an Blatt-TM Rübe | | Zucker- gehalt | £-Amino- N-Gehalt | Zuckerbindung i. d. Melasse |
|--|----------------------------|-----|-------------------|----------------------|--------------------------------|
| Klärschlammvarianten (400 m ³ bzw. 2 × 200 m ³) | | | | | |
| ohne N | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| Herbst | 122 | 118 | 92 | 245 | 121 |
| Frühjahr | 122 | 120 | 92 | 250 | 119 |
| Frühjahr u. vor dem Blattschluß | 131 | 117 | 90 | 349 | 140 |
| 6-Blattst. u. v. dem Blattschluß | 130 | 114 | 88 | 293 | 121 |
| 6-Blattst. u. Anfang Juli | 134 | 111 | 88 | 328 | 141 |
| Mineraldünger-N-Varianten (160 kg bzw. 2 × 80 kg) | | | | | |
| Herbst | 130 | 112 | 95 | 214 | 109 |
| Frühjahr | 130 | 120 | 91 | 185 | 104 |
| Frühjahr u. v. dem Blattschluß | 130 | 107 | 95 | 208 | 104 |
| 6-Blattst. u. v. d. Blattschluß | 127 | 114 | 89 | 224 | 111 |
| 6-Blattst. u. Anfang Juli | 124 | 110 | 92 | 231 | 110 |
| GD ₅ | 15 | 10 | 1 | 46 | |

2.22 Die Phosphatwirkung

Auf reichlich mit Stickstoff und Kali, aber nur mangelhaft mit Phosphat versorgten Parzellen wurde die P-Wirkung des Schlammes geprüft. Der P-Eintrag über Schlamm (200 m³) belief sich auf 160 kg P₂O₅/ha. Die Phosphatstaffeln in der Mineraldüngerreihe lagen im Haupt- und Nachwirkungsjahr einheitlich bei 0,50 und 100 kg P₂O₅/ha. Testfrüchte des Beschlammungs- und Folgejahres waren wiederum in der Reihe ihrer zeitlichen Abfolge Winterweizen und Sommergerste. Die Ergebnisse werden in Tabelle 5 mitgeteilt.

Wie aus den Tabellenwerten hervorgeht, verzeichnet die Schlammvariante in beiden Jahren signifikante P-Effekte. Den für die Mineraldüngerreihe ermittelten Ertragsgleichungen zufolge korrespondieren sie mit der Düngewirkung von 19 bzw. 12,5 kg P₂O₅/ha. Damit wurden im ersten Jahr 12 % und im zweiten Jahr 8 % des P-Gesamtgehaltes der Klärschlammgabe wirksam. Die Phosphatwirkung erreicht somit geringere Anfangswerte als Stickstoff, zeichnet sich aber durch größere Nachhaltigkeit aus (Rück-

gang auf zwei Drittel der Ausgangsleistung, bei Stickstoff hingegen um genau die Hälfte).

Tab. 5: Die Phosphathaupt- und -nachwirkung von Klärschlamm

| Minderaldüngung NK P ₂ O in kg/ha | | kg P ₂ O ₅ /ha über Klärschlamm | Kornertrag dt/ha (%) | Ertragsdifferenz dt/ha |
|---|-----------------|--|-------------------------|---------------------------|
| Beschlammungsjahr; Winterweizen | | | | |
| NK | 0 | 0 | 34,9 (100) | |
| NK | 0 | 160 | 41,1 (118) | + 6,2 |
| NK | 50 | 0 | 47,9 (137) | + 12,9 |
| NK | 100 | 0 | 50,1 (143) | + 15,1 |
| | GD ₅ | | 9 | 3,4 |
| Folgejahr; Sommergerste | | | | |
| NK | 0 | 0 | 41,4 (100) | |
| NK | 0 | — | 45,7 (110) | + 4,3 |
| NK | 50 | 0 | 53,3 (129) | + 11,8 |
| NK | 100 | 0 | 51,1 (123) | + 9,7 |
| | GD ₅ | | 9 | 3,7 |

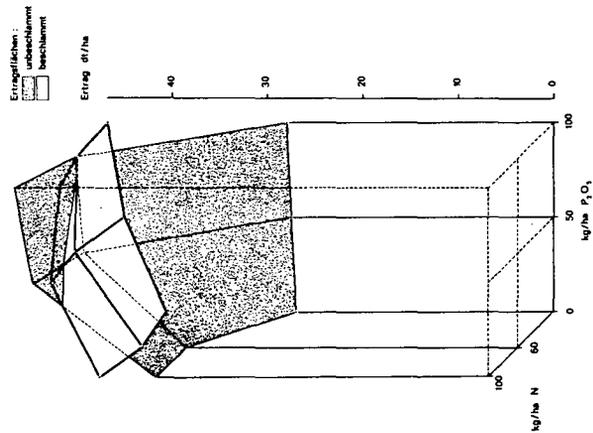
2.23 Der kombinierte NP-Effekt

Der kombinierte NP-Effekt des Schlammes und damit der überwiegende Teil seines Nutzwertes wird in einer Ertragsflächendarstellung in Abbildung 1 veranschaulicht. Sie zeigt die Ertragsgewinne, die auf verschiedenen Niveaus einer mineralischen N-P-Düngung durch eine Klärschlammzufuhr zu erzielen sind. Besonders über den Nulllinien machen sich die Leistungsunterschiede zwischen beschlammten und unbeschlammten Feldflächen bemerkbar. Wird die mineralische Versorgung angehoben, so vermindert sich der Spielraum für einen Klärschlammeffekt oder es treten auf Grund des Nährstoffüberangebotes an Mineral- plus Klärschlammdüngung Ertragsdepressionen auf (siehe Winterweizen).

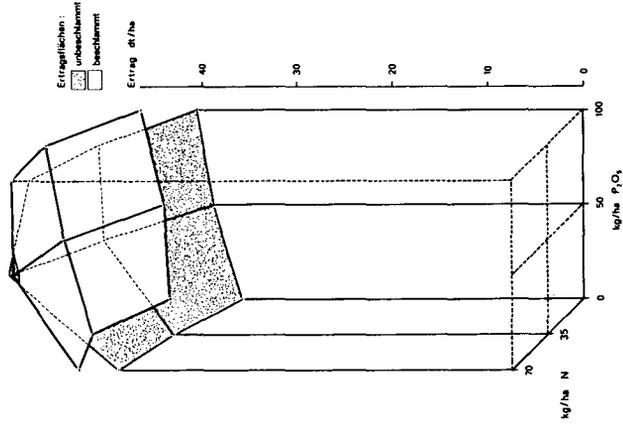
2.24 Zusammenfassende Ergebnisbewertung

Wie den dargelegten Versuchsbeispielen entnommen werden kann, entfaltet Klärschlamm in bezug auf seine Bestandteile N und P eine erstaunlich gute Düngewirkung. Diese Feststellung bezieht sich sowohl auf das Anwendungs- als auch auf das Folgejahr (Nachwirkung), wofür die jeweils wirksam gewordenen Anteile des Gesamteintrages an Stickstoff und Phosphat in Tabelle 6 zusammengestellt sind.

Hauptwirkung im Anwendungs-
jahr
Winterweizen (Korn)



Nachwirkung bei der 1. Folgefrucht
Sommergerste (Korn)



Nachwirkung bei der 2. Folgefrucht
Ackersenf (TM)

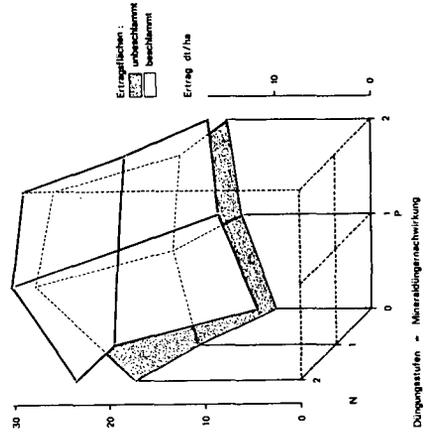


Abb. 1: Die Klärschlamm-Düngewirkung einer Gaben von 6,1 t TM/ha im Anwendungs- und Folgejahr (bei unterschiedl. N-P-Mineraldüngerangebot; Standort Fuchsensbigl)

Tab. 6: Verfügbarkeit der im Klärschlamm enthaltenen Pflanzennährstoffe

| Nährstoff | Klärschlammdüngung zu | |
|-------------------------------|-----------------------|--------------|
| | Getreide | Hackfrüchten |
| Im Anwendungsjahr: | | |
| N | 20 % (19,4) | 30 % (26,4) |
| P ₂ O ₅ | 10 % (11,9) | 20 % (19,1) |
| K ₂ O | 0 | 30 % (29,7) |
| Im Folgejahr: | | |
| | wenn Vorfrucht | |
| | Getreide | Hackkultur |
| N | 10 % (9,7) | 5 % (4,8) |
| P ₂ O ₅ | 8—10 % | |
| K ₂ O | — | |

Die Ergebnisse stehen in guter Übereinstimmung mit den Befunden von DEBRUCK und VÖMEL (2) oder den Angaben von KICK (3), erreichen allerdings in bezug auf die Stickstoffverfügbarkeit nicht die von FURRER (4) angegebenen Werte. Das mag dem Umstand zuzuschreiben sein, daß die Ammoniakverflüchtigung auf dem kalkreichen Standort Fuchsenbigl (15 % CaCO₃) stärker ins Gewicht fällt als anderswo.

Beachtung im Zuge der Nutzenabwägung verdient auch die Fernwirkungskomponente des Schlammes. Abbildung 1 macht deutlich, daß — insbesondere bei Phosphat — mit Düngeeffekten über die 2. Folgefrucht hinaus zu rechnen ist. Folglich wird auf Böden, wo es in der Düngung nicht um die unmittelbare Abdeckung eines P-Versorgungsdefizites geht, sondern um die langfristige Aufrechterhaltung günstiger Gehaltsverhältnisse, Klärschlammphosphat ähnlich zu bewerten sein wie eine mineralische P-Düngerquelle.

3. Die Schädwirkung von Klärschlamm

Das Zusammentreffen von Stoffen, die Ackerböden, Erzlagerstätten, Kohlengruben, Erdölfeldern, chemischen Synthesenanlagen oder sonstigen Ressourcen entstammen, im Abfallprodukt Schlamm bringt mit sich, daß dessen Verwertung in der Landwirtschaft nicht nur Recycling, sondern in gewissem Umfang auch Abfallbeseitigung darstellt. Solange die Konzentration der nicht bodenbürtigen Begleitstoffe so gering ist, daß sie auch bei langfristiger Schlammanwendung zu keiner für das Pflanzenwachstum oder die Gesundheit von Mensch und Tier (Nahrungskette) bedrohlichen Veränderung der natürlichen Gehaltsverhältnisse des Bodens führt, kann die Verunreinigung zugunsten der Nutzwirkung des Schlammes toleriert werden. Ist diese Voraussetzung nicht gegeben, muß ein Einsatz in der Landwirtschaft entschieden abgelehnt werden.

Über die Höhe der zulässigen Grenzkonzentration unerwünschter Beimengungen gibt es mitunter verschiedene Auffassungen. Das bestätigen auch die voneinander abweichenden Limits in den Verordnungen und Richtlinien diverser Staaten (5). Die österreichischen Empfehlungen zählen hierunter schon seit Jahren zu den vorsichtigsten, was aufgrund von Schadstoffbilanzen, aber auch eigenen Versuchsergebnissen befürwortet werden kann.

Unter den Schadstoffen steht das Cadmium wegen seiner Mobilität und Giftwirkung in besonders schlechtem Ruf. Es ist ubiquitär, d. h. auch die Ackerkrume enthält von Natur aus Cadmium, im Mittel 600 g/ha. Als Quellen einer Anreicherung sind im wesentlichen der atmosphärische Schadstoffeintrag (Abgase aus Kraftwerken, Fabriksschloten, Hausfeuerungsanlagen, Müllverbrennungsanlagen, Straßen- und Luftverkehr), die Phosphatdüngung und die Klärschlammverwertung zu nennen. Bezogen auf die Gesamtfläche des landwirtschaftlich genutzten Landes ist der Cd-Eintrag über Schlamm natürlich eine marginale Größe, auf den tatsächlich beschlammten Acker- und Wiesenflächen kann er jedoch je nach Schlammqualität und -menge beträchtlich sein. Werden die in Österreich empfohlenen Grenzen für Cd-Gehalt und Schlammaufbringung eingehalten, so gelangen höchstens 25 g Cd/ha und Jahr in den Boden. Im benachbarten Ausland werden laut Verordnung 33 g (BRD) oder 75 g/ha und Jahr (Schweiz) toleriert. Eine unkritische Schlammauswahl könnte jedenfalls auch einen Cd-Eintrag im Ausmaß des natürlichen Boden-Cadmiumgehaltes (600 g) zur Folge haben, wie das Ergebnis der Analyse verschiedener Schlämme in Tabelle 2 zeigt: 6,4 t TM (durchaus übliche Menge) des Schlammes mit 94 ppm Cd beinhalten diese Fracht bereits.

Um die Auswirkungen einer längerfristigen Schwermetallanreicherung des Bodens auf die Metallgehalte in der Pflanze bzw. im Erntegut zu untersuchen, wurde unter Feldbedingungen auf drei Böden (alkalisch, neutral und sauer) und zu fünf Kulturen (SW, SG, H, KM u. Erbse) Klärschlamm üblicher Zusammensetzung in Mengen angewandt, wie sie bei Jahresgaben von 2,5 t Trockenmasse/ha erst nach 15-, 30- und 45jähriger Beschlämmungspraxis in den Boden gelangen. Außerdem sind eintragungsgleiche Schwermetallmengen in Form von leicht-löslichen Salzen auf separaten Prüfparzellen aufgebracht worden. Sie sollten Aufschluß über die Pflanzenverfügbarkeit der im Klärschlamm enthaltenen Schwermetalle und den Grenzfall ihrer vollständigen Freisetzung durch Schlammineralisierung geben. Cadmium ist darüber hinaus bis an die zulässige Kontaminationsschwelle des Bodens (6 kg/ha) gesteigert worden.

Über einen Teil der Ergebnisse ist bereits an anderer Stelle berichtet

worden (6). Im folgenden wird auf nunmehr vorliegende Cd-Resultate näher eingegangen.

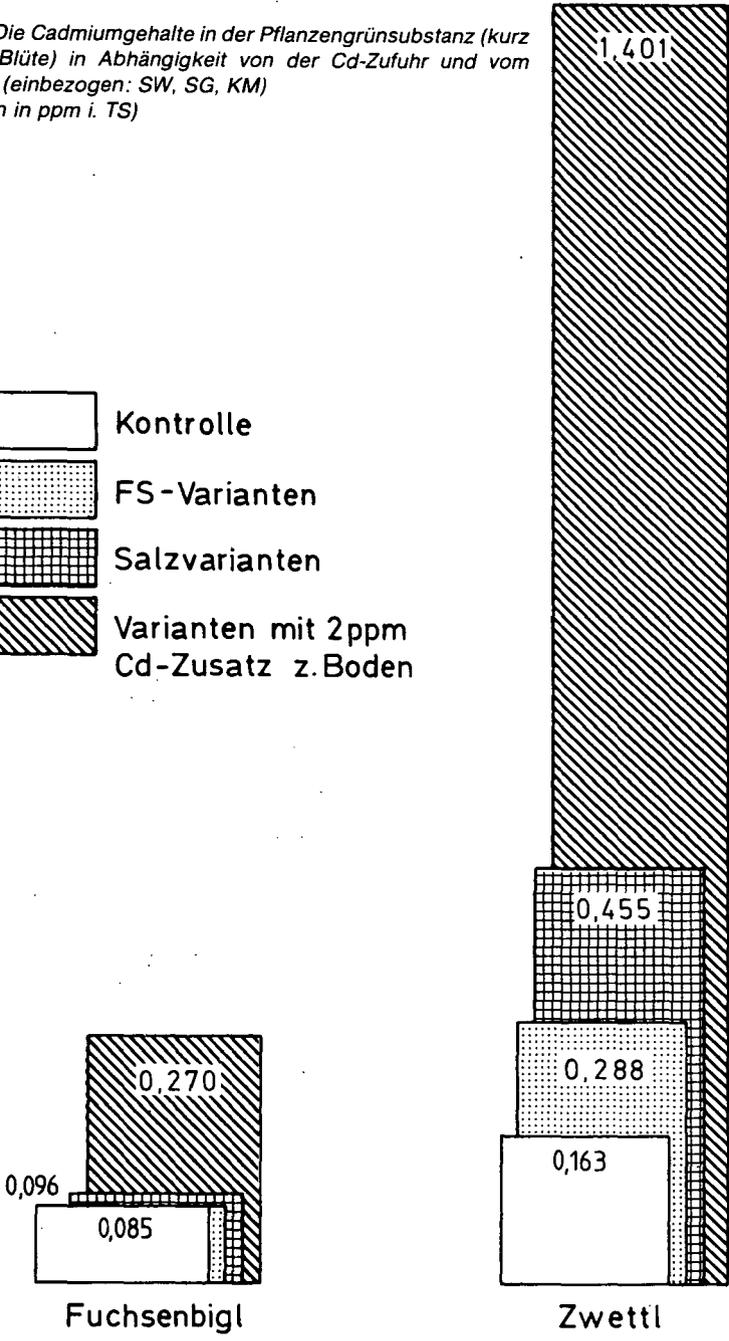
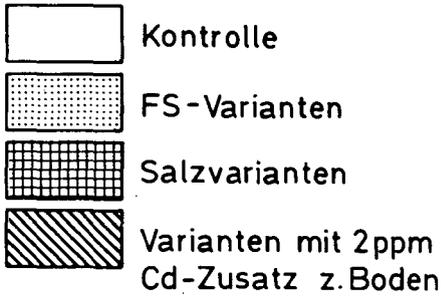
Zunächst zeigt sich in Übereinstimmung mit den Befunden anderer Autoren (7, 8), daß der Schwermetallübergang vom Boden in die Pflanze in hohem Maße von den Bodeneigenschaften, insbesondere dem pH-Wert, abhängt. Das gilt sowohl für das im Boden bereits vorhandene Cadmium als auch das über Klärschlamm oder Salz zugesetzte. Die Mobilitätsunterschiede gehen — wie Abbildung 2 demonstriert — sogar soweit, daß die Cadmiumgehalte in der Pflanzengrünsubstanz von SW, SG und Körnermais auf dem alkalischen Standort Fuchsenbigl (pH 7,5) trotz hoher Beschlämmung (bis 112 t TM/ha) und einer dementsprechenden Cd-Zufuhr (0,66 kg Cd/ha) in Form des leicht-löslichen Cadmiumsulfates niedriger liegen als der Naturpegel in Zwettl (pH 5,4). Erst die Aufstockung des Bodenwertes um 2 ppm Cadmium durch Salzzufuhr bringt auch in Fuchsenbigl die Gehalte im Pflanzenaufwuchs in Bewegung, insgesamt aber nicht mehr als mit 45 Jahren Beschlämmung in Zwettl bewirkt wird. Daraus läßt sich ersehen, daß wir das Augenmerk bei der Verhütung von Cd-Schadwirkungen primär auf die basenarmen Böden zu richten haben.

Für die Einschätzung zulässiger Schwermetallanreicherung im Boden wesentlich ist ferner das Aufnahmevermögen einzelner Kulturarten für Elemente dieser Art. Wie Abbildung 3 zu erkennen gibt, bestehen erhebliche Unterschiede sowohl im Cd-Grundgehalt einzelner Kulturen als auch in deren Bereitschaft, Cadmium zusätzlich zu akkumulieren. Mais, Weizen und Hafer sind in besonderem Maße zur Cd-Anreicherung fähig, während Sommergerste und Roggen eher träge auf ein Angebot reagieren (9). Bekannt ist die verhältnismäßig starke Cadmiumaufnahme verschiedener Gemüsearten, insbesondere auch von Blattgemüse (Spinat, Salat), was wegen des unmittelbaren Verzehrs der Blatt- und Sproßorgane eine besondere Zurückhaltung in der Schadstoffbefrachtung der gärtnerisch genutzten Böden erfordert. Wenig Cadmium hingegen enthalten Obst und die Kartoffelknollen.

Abbildung 3 führt außerdem vor Augen, daß die Cadmiumverfügbarkeit aus Klärschlamm im Applikationsjahr verhältnismäßig hoch ist und sich im Vergleich zu jener aus Cadmiumsulfat wie 0,4:1 verhält.

Inwieweit das Korn von den Veränderungen des Cadmiumspiegels im Boden durch Klärschlamm- oder Salzzugabe betroffen ist, geht aus den Tabellen 7 und 8 hervor.

Abb. 2: Die Cadmiumgehalte in der Pflanzengrünsubstanz (kurz vor der Blüte) in Abhängigkeit von der Cd-Zufuhr und vom Standort (einbezogen: SW, SG, KM) (Angaben in ppm i. TS)



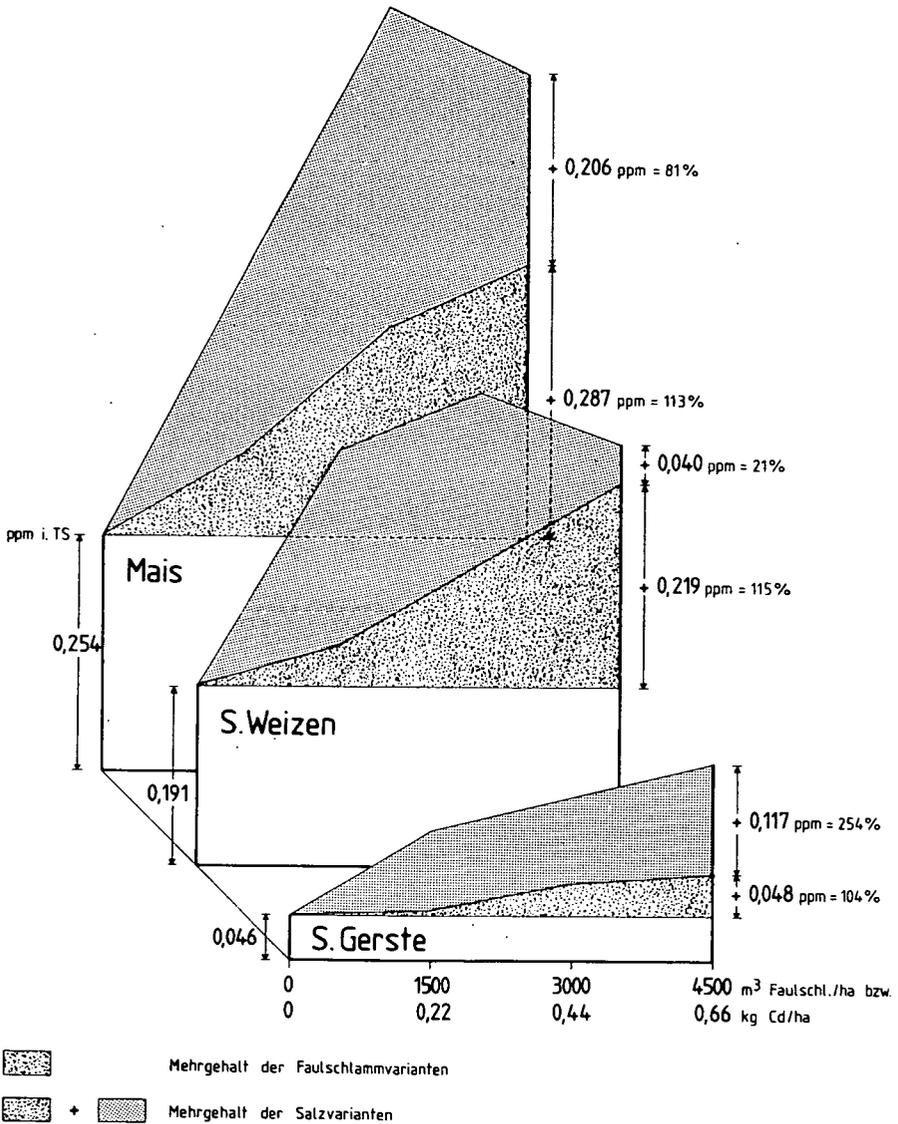


Abb. 3: Der Cadmiumgehalt einiger Kulturarten (kurz vor der Blüte) bei hoher Bevorratung des Bodens mit Klärschlamm bzw. Cadmiumsulfat. Zweitl.

Tab. 7: Die Auswirkungen einer Anreicherung des Bodens mit Klärschlamm bzw. leichtlöslichen Cadmiumsalzen auf die Cd-Gehalte im Korn (ppm i. TS)
Standort Fuchsenbigl (pH 7,5)

| Behandlung | SG | SW | Erbse | KM |
|--------------------|------|------|-------|------|
| Kontrolle | 0,02 | 0,04 | 0,02 | 0,10 |
| 37,5 } t KS-TM/ha | 0,02 | 0,04 | 0,02 | 0,10 |
| 74,0 } t KS-TM/ha | 0,03 | 0,05 | 0,02 | 0,10 |
| 112,5 } t KS-TM/ha | 0,02 | 0,05 | 0,02 | 0,10 |
| 0,22 } kg Cd/ha | 0,02 | 0,04 | 0,02 | 0,10 |
| 0,44 } kg Cd/ha | 0,02 | 0,04 | 0,02 | 0,10 |
| 0,66 } kg Cd/ha | 0,02 | 0,05 | 0,03 | 0,11 |
| 6,0 kg Cd/ha | 0,03 | 0,11 | 0,05 | 0,12 |

Tab. 8: Die Auswirkungen einer Anreicherung des Bodens mit Klärschlamm bzw. leichtlöslichen Cadmiumsalzen auf die Cd-Gehalte im Korn (ppm i. TS)
Standorte ROTTENHAUS (pH 7,0) u. ZWETTL (pH 5,4)

| Behandlung | SG | Rottenhaus | | | Zwettl | |
|--------------------|------|------------|------|------|--------|------|
| | | SW | H | KM | SG | KM |
| Kontrolle | 0,03 | 0,07 | 0,04 | 0,14 | 0,02 | 0,11 |
| 37,5 } t KS-TM/ha | 0,04 | 0,07 | 0,04 | 0,15 | 0,02 | 0,11 |
| 74,0 } t KS-TM/ha | 0,04 | 0,07 | 0,04 | 0,15 | 0,04 | 0,11 |
| 112,5 } t KS-TM/ha | 0,04 | 0,08 | 0,05 | 0,15 | 0,04 | 0,11 |
| 0,22 } kg Cd/ha | 0,06 | 0,07 | 0,06 | 0,16 | 0,03 | 0,09 |
| 0,44 } kg Cd/ha | 0,06 | 0,09 | 0,10 | 0,16 | 0,05 | 0,12 |
| 0,66 } kg Cd/ha | 0,06 | 0,09 | 0,15 | 0,15 | 0,06 | 0,13 |
| 6,0 kg Cd/ha | 0,27 | 0,41 | 0,83 | 0,17 | 0,18 | 0,20 |

Die vorliegenden Ergebnisse zeigen in keinem Fall eine nennenswerte Beeinträchtigung der Kornzusammensetzung durch die verabreichten Klärschlammgaben. Lediglich unter der Voraussetzung, daß alles Cadmium aus dem Schlamm freigesetzt würde und eine dem Cadmiumsulfat vergleichbare Verfügbarkeit erlangt, überschreiten die Cd-Gehalte des Haferkornes in Rottenhaus (pH 7) die Toleranzgrenze (= 0,1 ppm). Obwohl dem Eintreten eines solchen Falles unter Praxisbedingungen wenig Wahrscheinlichkeit zukommt, zeichnet sich eine gewisse Grenznähe ab, wenn die Reaktionsverhältnisse des Bodens die Mobilität des Elementes nicht sonderlich hemmen oder gar begünstigen und überdies Kulturarten mit hoher Aufnahmebereitschaft angebaut werden. Es empfiehlt sich daher, auf sauren und leichten Standorten nicht oder nur unwesentlich größere Schlammengen auf Dauer aufzubringen als dies im gegenständlichen Versuch geschehen ist (112 t TM/ha). Eine Überschreitung sollte zumindest

nicht ohne begleitende Kontrolle des Belastungsgrades durch eine Boden- und/oder Pflanzenanalyse erfolgen.

Die unabhängig von obiger Fragestellung eingeplante Behandlung, in welcher dem Boden 2 ppm Cd als CdSO_4 zugesetzt wurde, hat ergeben, daß der Toleranzwert für das Getreidekorn ($=0,1$ ppm) unter den Bodenverhältnissen Rottenhaus und Zwettl durchwegs überschritten und auf dem alkalischen Standort Fuchsenbigl bei Sommerweizen zumindest erreicht wurde. Dieser Befund sollte nicht als Nachweis für die Unzulässigkeit eines Grenzwertes von 2 oder 3 ppm Cd im Boden verstanden werden, da sich die zulässigen Höchstgehalte nicht auf wasser-, sondern königswasserlösliches Cadmium beziehen, wohl aber als Hinweis für die Notwendigkeit einer Reduktion des Cd-Grenzwertes von 3 auf 2 ppm für carbonatfreie Böden gewertet werden.

4. Zusammenfassung

Klärschlamm enthält eine Reihe von Pflanzennährstoffen in wirtschaftlich interessanter Konzentration und ist auch geeignet, die mitunter bestehende Versorgungslücke des Bodens mit organischer Substanz zu beheben. Die hohe organische Bindungsrate schränkt zwar die Verfügbarkeit der enthaltenen Nährstoffe stark ein, im Jahr der Anwendung kann jedoch der Pflanzenbedarf an N und P — wie Versuche ergeben haben — zu einem erheblichen Teil über die Klärschlammdüngung abgedeckt werden. Außerdem ist mit einer beträchtlichen N-P-Nachwirkung in den Folgejahren zu rechnen. Weitere Komponenten von Wert sind der Kalk- und Magnesiumgehalt, zumeist ausreichend, um auf basenarmen Böden die im Anwendungsjahr auftretenden Verluste durch Entzug plus Auswaschung zu ersetzen.

Ferner muß dem Bor-, Kupfer-, Zink-, Mangan-, Kobalt- und Molybdängehalt in spezifischen Bedarfsfällen Nutzenfunktion zugeschrieben werden.

Andererseits muß jedem Anbieter und Anwender von Klärschlamm klar sein, daß eine Nutzung der im Abfall enthaltenen Pflanzennährstoffe dort ihre Grenzen hat, wo die begleitenden Gehalte an Fremd- und Schadstoffen zu einer für das Pflanzenwachstum oder die Gesundheit von Mensch und Tier (Nahrungskette) bedrohlichen Veränderung der natürlichen Gehaltsverhältnisse des Bodens führen. Diese Gefahr scheint unter allen in Frage kommenden Stoffen primär bei den Schwermetallen gegeben zu sein, weil ihre Konzentration im Klärschlamm nicht selten um das Hundert-

bis Tausendfache höher liegt als im Boden, und dem Schwermetalleintrag keine nennenswerte Reduktion über Entzug oder Auswaschung gegenübersteht, sodaß mit jeder Beschlämmung eine nahezu irreversible Schwermetallanreicherung im Boden einhergeht. Dies unterstreicht die Notwendigkeit der Einhaltung von Anwendungsrichtlinien und Grenzwerten, um aus der ökologisch wünschenswerten Rückführung von Pflanzennährstoffen in den natürlichen Kreislauf nicht eine Form der „Schlammbe-seitigung“ mit neuen Belastungsgefahren für die Umwelt entstehen zu lassen.

Literatur:

- (1) Stalzer, W.: Klärschlammverwertung in der Landwirtschaft. Schriftenreihe d. Österr. Wasserwirtschaftsverbandes 59, S. 243—257, 1983
- (2) Debruck, J. und Vömel, A.: Die Verwertung der Nährstoffe im Abwasserschlamm. Landw. Forschung 27/1, S. 39—60, 1972
- (3) Kick, H.: Anforderungen des Landbaues an die Beschaffenheit der Abwasserschlämme. Gewässerschutz — Wasser — Abwasser 65, S. 9—32, 1984
- (4) Furrer, O. J. und Candina, T.: Art, Menge und Wirksamkeit des Stickstoffs im Klärschlamm. Gewässerschutz — Wasser — Abwasser 65, S. 519—547, 1984
- (5) Beck, W.: Einleitung zum Seminar „Verwertung von Siedlungsabfällen aus der Sicht der Landwirtschaft unter besonderer Berücksichtigung der Eignung landwirtschaftlicher Böden“. Vortrag am 4. 6. 1984 in Linz.
- (6) Köckl, A.: Anwendung und Auswirkung der Klärschlammdüngung. Dokumentation der Österr. Gesellschaft f. Land- und Forstwirtschaftspolitik über die Wintertagung 1980 in Wien, S. 179—206.
- (7) Oberländer, H. E. und Roth, K.: Uptake and Distribution of Soil-applied Labelled Heavy Metals in Cereal Plants and Products. FAO/IAEA International Symposium on Agrochemicals in Rome, 7—12 June 1982.
- (8) Tjell, J. C., Hansen, J. A., Chrisensen, T. H. und Hovmand, M. F.: Prediction of Cadmium Concentrations in Danish Soils. Second European Symposium on Characterisation, Treatment and Use of Sewage Sludge in Vienna, 20—24 Oct. 1980.
- (9) Diez, Th. und Rosopulo, A.: Schwermetallaufnahme verschiedener Getreidearten aus hochbelasteten Böden unter Feldbedingungen. Second European Symposium on Characterisation, Treatment and Use of Sewage Sludge in Vienna, 20—24 Oct. 1980.

Klärschlammhygiene am Grünland

G. Eder, M. Köck, und G. Schechtner

Einleitung

Da das Problem der Klärschlammasbringung am Grünland durch vermehrte Inbetriebnahme neuer Kläranlagen, auch im ländlichen Raum, stark an Aktualität gewann, wurden an der Bundesanstalt Gumpenstein zwei Grünlandversuche mit Klärschlammdüngung begonnen. Da es für die Kläranlagebetreiber momentan noch schwierig ist, den anfallenden Schlamm in ausreichender Menge abzusetzen, wäre dieses Problem in Grünlandgebieten weitgehend zu lösen, wenn man auch das Grünland verstärkt mit Klärschlamm düngen könnte. Die Gumpensteiner Versuche sollen nun klären, wie dies ohne Beeinträchtigung der Umwelt (Anreicherung des Bodens mit Schwermetallen, Verunreinigung des Sickerwassers) und Verschlechterung der Futterqualität möglich wäre.

Der Feldversuch der Abteilung Grünland wird von Univ.-Doz. Dr. G. SCHECHTNER betreut, der Feldversuch der Abteilung Bodenkunde und die dazugehörigen Lysimeteranlagen von Dipl.-Ing. G. EDER.

Material und Methoden

Zuerst zum Feldversuch der Abteilung Grünland. Der Übersicht 1 ist zu entnehmen, woher der für den Düngungsversuch der Grünlandabteilung verwendete Schlamm im wesentlichen stammt.

Der verwendete Schlamm stammt demnach durchwegs aus Belebtschlammanlagen ohne weitere Aufbereitung in einem Faulturm und auch ohne spezifische Maßnahmen zur Hygienisierung. Das Einzugsgebiet der Anlagen, die durchwegs in grünlandbetonten Gebieten liegen, ist relativ klein bis mittelgroß. Die den Anlagen zugeführten Abwässer stammen im wesentlichen aus ländlichen bis kleinstädtischen Gemeinwesen, mit Gewerbe, Handel- und Fremdenverkehr als den wichtigsten Wirtschaftszweigen. Die Industrie ist in den Einzugsgebieten durchwegs nur von untergeordneter Bedeutung.

Der im Frühjahr 1982 auf einer älteren Dauerwiesen-Neuanlage angelegte Klärschlammversuch der Grünlandabteilung läuft — wie Übersicht 2 zeigt — zweiteilig, d. h. bei mäßiger bis semi-intensiver Bewirtschaftungsintensität. Der Boden des direkt an der Zentrale in Gumpenstein laufenden Versuches ist verhältnismäßig leicht, ein schluffig lehmiger Sandboden mit einem pH-Wert von 6.4.

Übersicht 1: Kurzbeschreibung der Kläranlagen, deren Produkte für die Düngungsversuche der Grünlandabteilung verwendet werden

| Bezeichnung d. Anlage (Chiffre) | Anlage-typus | Größenordn. i. Einwohnergleichwerten | Art des Einzugsgebietes |
|---------------------------------|--|--------------------------------------|--|
| A | Belebtschlammanlage ohne Faulturm | 7000 | Kleinstadt mit starkem Fremdenverkehr |
| B | Belebtschlammanlage ohne Faulturm | 3000 | typisch ländliche Marktgemeinde |
| C | Belebtschlammanlage ohne Faulturm Schlammpressung | 13.000 | Verbundanlage Kleinstadt m. mehreren Landgemeinden |

Übersicht 2: Versuchsbedingungen im zweiteiligen Klärschlammversuch der Grünlandabteilung der BA Gumpenstein

| | Teilversuch I | Teilversuch II |
|---|----------------------------|---|
| Düngungsintensität bei den Klärschlammvarianten | nur Klärschlamm (+ min. K) | Klärschlamm (+ min. K) + 120 kg min. N |
| Klärschlamm-Aufwandmenge | 3 t TS | 4 t TS |
| Schnitthäufigkeit | 2mal (+ sim. Nachweide) | 3mal |

Im Teilversuch I erfolgt die N-Zufuhr im wesentlichen nur in Form von Klärschlamm. Die Nutzungsintensität ist dabei — bezogen auf die Winterfuttergewinnung — landesüblich, d. h. zweischnittig mit simulierter Nachweide. Die Klärschlamm-Aufwandmenge beträgt in diesem Versuchsteil 3 t Klärschlamm-TS je ha und Jahr (in einer Jahresgabe). Der Teilversuch II läuft dreischnittig. Jene Futteraufwüchse, die nicht mit Klärschlamm gedüngt werden, erhalten in diesem Versuchsteil im großen und ganzen 60 kg min. N je ha und Aufwuchs. Die Klärschlamm-Aufwandmenge ist in diesem Teil des Versuches 4 t Klärschlamm-TS je ha und Jahr, ebenfalls in einer Jahresgabe.

In beiden Versuchsteilen wird nicht nur geprüft, wie sich die Klärschlamm-Düngung auf Wiesenflächen an und für sich auswirkt, sondern darüber hinaus auch die Bedeutung des Ausbringungszeitpunktes erfaßt, und zwar differenziert nach Frühjahr, Sommer und Herbst.

In hygienischer Hinsicht werden — in Zusammenarbeit mit dem Hygiene-Institut der Universität Graz — folgende Untersuchungen durchgeführt:

1. Untersuchungen der verwendeten Klärschlammproben auf Salmonellen- und Wurmbesatz.
2. Untersuchung des mit Klärschlamm gedüngten Futters und des Futters der mineralischen Vergleichsvariante auf Salmonellen- und Wurmbesatz.

Diese Untersuchungen erfolgen teils am Hygiene-Institut der Universität Graz, teils an der Salmonella-Zentrale der Bundesstaatlichen bakteriologisch-serologischen Untersuchungsanstalt Graz.

Die Futterproben werden dazu unmittelbar nach der Ernte mittels Futterprobenbohrer aus dem Erntegut entnommen und in grünem Zustand in Plastiksäcken postexpres zur Durchführung der o. a. Untersuchungen von Gumpenstein an das Hygiene-Institut der Universität Graz gesandt.

Ergebnisse

Die wesentlichsten Ergebnisse bezüglich Salmonellenbesatz im Klärschlamm und Futter sind in der Übersicht 3 zusammengefaßt.

Folgendes ist dabei besonders bemerkenswert:

1. Sechs der insgesamt 8 Klärschlammportionen, die in den ersten beiden Versuchsjahren zur Anwendung gelangten, wurden hygienisch untersucht. Drei dieser sechs Portionen enthielten Salmonellen. Von einer weiteren, diesbezüglich nicht untersuchten Klärschlammportionen ist der Salmonellenbesatz sehr wahrscheinlich, da die etwa einen Monat später untersuchte Klärschlammportionen derselben Anlage verschiedenerlei Salmonellen enthielt. Es handelt sich dabei um die im Sommer 1982 ausgebrachten Klärschlammportionen der Anlage B. Zumindest die Hälfte der in den beiden ersten Versuchsjahren eingesetzten Klärschlammportionen enthielten demnach Salmonellen.
2. Neun der zehn Futteraufwüchse, die bisher mit Klärschlamm gedüngt worden sind, wurden hygienisch untersucht. Keine einzige dieser Futteraufwüchse enthielt Salmonellen, obwohl die im Versuch eingesetzten Klärschlämme wie gesagt wenigstens zur Hälfte Salmonellen aufwiesen. Selbst das während der Vegetationsperiode mit Klärschlamm gedüngte Futter war salmonellenfrei, obwohl der im Sommer 1982 eingesetzte Klärschlamm nachweislich bzw. ziemlich sicher Salmonellen enthielt.

Hinsichtlich der Gefahr der Verbreitung von Parasiten hat sich im Verlaufe der bisherigen Versuchsdurchführungen vor allem folgendes ergeben:

Mit Parasitenkeimen waren die bisher verwendeten Klärschlämme wesentlich weniger häufig kontaminiert als mit Salmonellen. Von den sechs hygienisch untersuchten Klärschlammportionen, die im gegenständlichen

Übersicht 3: Salmonellenbesatz von Klärschlamm und Grünlandfütter
(Klärschlammversuche I und II der Grünlandabteilung der BA Gumpenstein)

| Vers. Per. | Art u. Herkunft des Schlammes | TS. Geh. in % | Salmonellenbesatz des Schlammes | Vers. Teil | Düngung | Zeitpunkt der Ernte | Salmonellen im Grünfütter |
|------------------|-------------------------------|---------------|--|------------|------------|-----------------------|---------------------------|
| Frj. 82 | Naßschlamm Anlage A | 2.3 | S. infantis | I | 19. 4. 82 | 23. 6. 82 | n. n. |
| So. 82/I | Naßschlamm Anlage B | 4.7 | nicht untersucht | II | 19. 4. 82 | 17. 6. 82 | n. unters. |
| So. 82/II | Naßschlamm Anlage B | 3.8 | S. panama S. saint-paul S. senftenberg | I | 25. 6. 82 | 30. 8. 82 | n. n.- |
| H 82/ Frj. 83 | Preßschlamm Anlage C | 18.1 | S. gold-coast S. kapemba S. panama | II | 3. 8. 82 | 30. 9. 82 | n. n. |
| Frj. 83 | Preßschlamm Anlage C | 21.7 | nicht untersucht | I | 28. 10. 82 | 7. 6. 83 | n. n. |
| So/I 83 | Preßschlamm | 21.5 | n. n. | II | 28. 10. 82 | 30. 5. 83 | n. n. |
| /II | Anlage C | 20.0 | n. n. | I | 6. 4. 83 | 7. 6. 83 | n. n. |
| H 83 | Preßschlamm Anlage C | 17.4 | n. n. | II | 6. 4. 83 | 30. 5. 83 | n. n. |
| Frj. 84 | Anlage C | | n. n. | I | 14. 6. 83 | 23. 8. 83 | n. n. |
| | | | | II | 2. 8. 83 | 28. 9. 83 | n. n. |
| | | | | I+II | 18. 10. 83 | Ernte noch ausständig | |

Abkürzungen: n. n. = nicht nachweisbar

Versuch zum Einsatz gelangten, enthielt nur der im Herbst 1983 verwendete Schlamm Nematodenlarven.

Im Futter ergab sich bezüglich der Parasiten folgende Situation: Zwei der neun mit Klärschlamm gedüngten und hygienisch untersuchten Futteraufwüchse enthielten Nematodenlarven, ein kausaler Zusammenhang mit der Klärschlammdüngung ist aber von den bisher erzielten Ergebnissen nicht abzuleiten. Zumindest in einem dieser beiden Fälle waren nämlich im Klärschlamm keine Nematoden nachweisbar. Außerdem enthielt im Frühjahr 1983, als der Wurmbesatz im Teilversuch I auftrat, auch das Futter der mineralischen Vergleichsvarianten Nematodenlarven.

Schlußfolgerungen

Die Gefahr einer Weiterverbreitung von Krankheitskeimen und Parasiten durch Klärschlammmanwendung auf Dauerwiesen ist auf Grund dieser Ergebnisse eher nur gering, im besonderen dann, wenn man die Wiesen nur mäßig intensiv bis semi-intensiv bewirtschaftet und das Erntegut aus Sicherheitsgründen auch nicht grün verfüttert, sondern siliert.

Anschließend zum Feldversuch und den Lysimetern der Abteilung Bodenkunde.

Material und Methode

An Klärschlämmen werden in diesem Versuch die Schlämme von zwei Kläranlagen verwendet. Es ist dies die Anlage, die in Übersicht 1 mit C bezeichnet wird, und eine weitere Anlage, die in Übersicht 1 nicht angeführt ist. Diese Kläranlage liefert ausgefaulten Schlamm aus Schlammtürmen, ist für 300.000 Einwohnergleichwerte ausgelegt und hat eine Großstadt mit umliegenden Gemeinden zum Einzugsgebiet.

Mit den Klärschlämmen dieser Anlage werden nun der bodenkundliche Grünlandversuch und die dazugehörigen Lysimeterkammern gedüngt.

Versuchsboden ist der gleiche wie vorher beschrieben.

Die Nutzung erfolgt durch drei Schnitte pro Jahr. Jeder der drei Aufwüchse wird mit Klärschlamm gedüngt und bekommt auch eine mineralische Kalidüngung. Von jedem der zwei Klärschlämme werden so, pro ha und Jahr, insgesamt 2,5 t, 5 t und 7,5 t Trockenmasse ausgebracht. Zu jedem der drei Futteraufwüchse wird somit ein Drittel der jeweiligen Jahresgabe an Klärschlamm gedüngt.

Die Lysimeterkammern haben eine Profiltiefe von 1 m und eine Oberfläche von 1 m². Jede der Varianten des Feldversuches hat eine Lysimeterkammer zugewiesen, die in der gleichen Art gedüngt wird wie die Feldversuchsvariante. Das durch die Bodensäulen hindurchgehende Sickerwas-

ser wird aufgefangen und die darin enthaltenen Nährstoffe werden analysiert. In diesem Versuch sollen vor allem Fragen der Anreicherung von Schwermetallen und chlorierten Kohlenwasserstoffen im Boden und deren eventuelle Einspülung in tiefere Bodenhorizonte beantwortet werden.

In hygienischer Hinsicht werden nun vom Hygiene-Institut der Universität Graz (Leitung: Prof. MÖSE, Mitarbeiter: Dr. KÖCK) folgende Untersuchungen durchgeführt:

1. Stichprobenartige Untersuchung der auszubringenden Klärschlämme auf Salmonellen und Wurmbesatz.
2. Stichprobenartige Untersuchung des Sickerwassers auf Salmonellen und Wurmbesatz.

Ergebnisse

Von den untersuchten Klärschlämmen hatte der Klärschlamm der Anlage C im Herbst 1982 Salmonellen und Nematodenlarven enthalten und im Frühjahr 1983 Nematodenlarven. Im Sickerwasser der Versuchsvariante mit der hohen Gabe dieses Schlammes (7,5 t TS pro ha und Jahr) waren im Frühjahr 1983 Nematodenlarven nachweisbar. Allerdings auch im Sickerwasser der Versuchsvariante mit der hohen Gabe des anderen Schlammes (Anlage mit 300.000 Einwohnergleichwerten), obwohl der Schlamm selbst keine Nematoden enthielt.

Sonst waren keine Nematodenlarven und nie Salmonellen im Sickerwasser nachweisbar.

Somit reichen diese Ergebnisse wohl nicht aus (nur sporadische Untersuchungen, keine systematische Probenentnahme), um einen ursächlichen Zusammenhang zwischen hohen Klärschlammgaben und Nematoden im Sickerwasser zu konstatieren.

Allerdings war auf allen klärschlammgedüngten Parzellen bis zu drei Wochen nach der Schlammausbringung ein mehr oder minder starker Kanalgeruch feststellbar. Auch auf den Varianten mit Faulschlamm.

Chemische Untersuchung von Siedlungsabfällen

K. Aichberger und G. Hofer

Wir haben heute schon einiges über die Inhaltsstoffe von Müllkompost und Klärschlamm gehört, wir haben gehört, welche Nutz- und Schadwirkungen Siedlungsabfälle verursachen können, welche hygienischen Aspekte von Belang sind, und ich darf jetzt in meinem Referat auf die praktische Durchführung der Analytik von Siedlungsabfallstoffen eingehen. Es sollen dabei — gleich vorweg gesagt — keine detaillierten Kochrezepte dargelegt, sondern an Hand von Dias einmal der Untersuchungsablauf, angefangen von der Probenziehung bis zum fertigen Analysenresultat, vorgestellt werden. Weiters wird auf einige spezielle Fragen und Probleme, die sich bei der Untersuchung stellen, hingewiesen und Lösungsmöglichkeiten werden dazu diskutiert.

Im österreichischen Bundesdurchschnitt fallen derzeit pro Tag und Einwohner etwas mehr als $\frac{1}{2}$ kg Müll und ca. 1 l Klärschlamm an, die entweder landwirtschaftlich verwertet oder in Deponien gelagert werden. Eine wesentliche Voraussetzung für die landwirtschaftliche Nutzung von Müllkompost oder Klärschlamm ist die Kenntnis der stofflichen Zusammensetzung des jeweiligen Produktes, die durch eine genaue chemische Analyse erhalten werden kann. Bevor mit der chemischen Untersuchung im Labor begonnen werden kann, ist die richtige und repräsentative Probenahme einmal erste Grundbedingung, da die hiebei begangenen Fehler später durch noch so genaue Analysen nicht mehr egalisiert werden können. So befaßt sich auf Bundesebene zur Zeit eine Arbeitsgruppe mit der Normierung von Anwendungsrichtlinien und Untersuchungsmethoden bei Müllkompost, wobei auch die Probenahme behandelt wird, während eine ÖNORM betreffend Müllkompost-Gütekriterien bereits festgelegt wurde (ÖNORM S2022). Die zur Zeit diskutierten Vorschläge für die Probenahme bei Müllkompost lauten, daß pro Miete oder loser Schüttung mindestens drei Querschnitte zu bilden sind (mindestens einer pro 200 m^3 Material) und sodann über die Querschnittfläche verteilt 6 Einzelproben zu mindestens 1 kg entnommen werden müßten. Sämtliche Einzelproben aus der zu bemusternden Ware sind zu vermischen und sodann nach dem Mischkreuzverfahren je nach Materialbeschaffenheit (Korngröße) in mehreren Schritten bis zur Laborprobe (ca. 10 kg) zu verjüngen. Die Aufbereitung der Analysenprobe durch Feinvermahlung und Homogenisierung der Laborprobe stellt eine weitere Fehlerquelle dar. So ist es mit den sich derzeit im Handel befindlichen Mühlen nicht möglich, völlig abriebfrei zu arbeiten

und es besteht die große Gefahr, die Proben während der Homogenisierung mit Schwermetallen (z. B. Nickel, Chrom, Eisen) zu kontaminieren (LEINERT, 1984). Wir versuchen dieses Problem über eine „schonende“ Zerkleinerung mittels Bodensiebmaschine und anschließender Feinvermahlung in einer Zirkonoxid-Mörsermühle zu umgehen, wobei allerdings keine vollständige Homogenisierung erreicht wird, da besonders Kunststoffanteile oder Hartmetallstücke nicht zerkleinert werden und als Rückstand verbleiben.

Die Probenahme bei Klärschlamm erfolgt von der Zustandsform in der das Material in die Landwirtschaft abgegeben wird. Bei Entnahmen aus dem Faultrum, Eindicker etc. ist der Inhalt vorerst gründlich zu durchmischen, bei Trockenbeeten sind aus verschiedenen Stellen Einzelproben zu ziehen und zur Durchschnittsprobe zu vereinigen. Die Untersuchungen sollten zu verschiedenen Jahreszeiten erfolgen, wobei die Häufigkeit der Stichprobennahme von der Kläranlagengröße und der Menge des an die Landwirtschaft abgegebenen Schlammes abhängt (ÖWWV-REGELBLATT, 1984).

Als Probengefäße eignen sich besonders verschraubbare 1- bis 2-l-PVC-Behälter, die gewaschen und desinfiziert mehrmals verwendet werden können. Die Proben sollen frisch oder tiefgekühlt ins Untersuchungslabor gebracht werden, um Veränderungen in der stofflichen Zusammensetzung des Materials (lösliche N-Fractionen, organische Verbindungen) weitgehend auszuschließen. Es hat sich weiters als günstig erwiesen, die Gefäße nur zu ca. $\frac{2}{3}$ ihres Inhaltes zu beschicken, da damit das Bombieren der Dosen vermieden wird und außerdem die Homogenisierung der Schlammprobe mittels eines Stabmixgerätes im selben Behälter vorgenommen werden kann. Aus Gründen einer hohen Entmischungsneigung (besonders dünnflüssige Klärschlämme) hat unmittelbar nach dem Homogenisieren die Probeneinwaage zur Bestimmung der Trockensubstanz und der chemischen sowie physikalischen Kenndaten zu erfolgen (Abb. 1). Die Einwaagen können auf oberhalbigen Analysenwaagen auf $\pm 0,1$ % genau vorgenommen werden. Da während der gesamten Probenaufbereitung das Laborpersonal hauptsächlich mit nichthygienisiertem Material in Kontakt steht (Klärschlamm oder Müllkompost werden bei uns aus verschiedenen Gründen nicht sterilisiert), sind eine Reihe von hygienischen Maßnahmen wie die Verwendung von Mundschutzmasken, Benützung von Wegwerfhandschuhen und Arbeitsschutzkleidung, Desinfektion von Arbeitstischen und Geräten etc. unbedingt einzuhalten.

Ohne auf die verschiedenen Bestimmungen näher einzugehen, da sie teilweise ohnehin bestehenden Methodenvorschriften entnommen wer-



Abb. 1: Probeneinwaage bei Klärschlamm

den können, soll der von uns ausgearbeitete Probenaufschluß (HOFER und AICHBERGER, 1984) etwas detaillierter beschrieben werden. Dabei werden in 100 ml Rundkolben 20 bis 30 g Klärschlamm (entsprechend 1 bis 2 g TrS) oder eine aliquote Menge Müllkompost eingewogen, mit 15 ml 65%iger HNO_3 und 10 ml 70%iger HClO_4 versetzt; die Kolben werden sodann mit rotierenden Kühlrohren verbunden und die Proben in einem flüssigen Salzbad bei 180 bis 200° C unter Rückfluß aufgeschlossen (Abb. 2). Sehr wesentlich ist, die Proben vor dem eigentlichen Aufschluß mehrere Stunden (über Nacht) mit Säure vorreagieren zu lassen, um ein Überschaäumen oder Verpuffen während des Erhitzens zu vermeiden. Die Aufschlußzeit beträgt 2 bis 3 Stunden, wobei in den letzten 60 Minuten die Temperatur nochmals erhöht wird, um die Salpetersäure abzudestillieren und die reine perchlorsaure Lösung bis zum vollständigen Farblos- bzw. Klarwerden zu kochen. Gegenüber dem bekannten Königwasseraufschluß hat dieses Verfahren den Vorteil, daß tatsächlich alle Reste organischer Substanzen oxidiert werden und anschließend daher Quecksilber und Arsen mittels AAS-Kaltdampf- bzw. -Hydridtechnik einwandfrei bestimmbar sind. Die Bestimmung der Nährstoffe, Spurenelemente, Schwermetalle oder organischen Inhaltsstoffe erfolgt nach den einschlägigen Methoden der Flammenphotometrie, AAS-Spektroskopie, Dünnschicht- oder Gaschromatographie (Abb. 3).

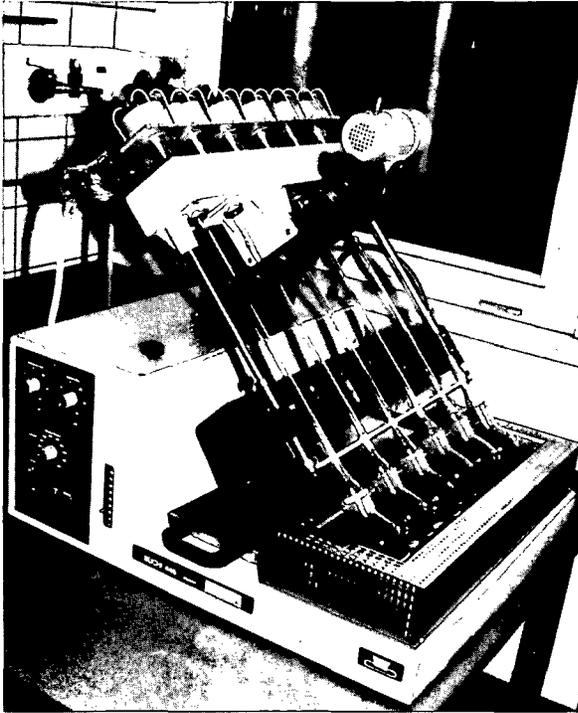


Abb. 2: *Probennaβaufschluß*

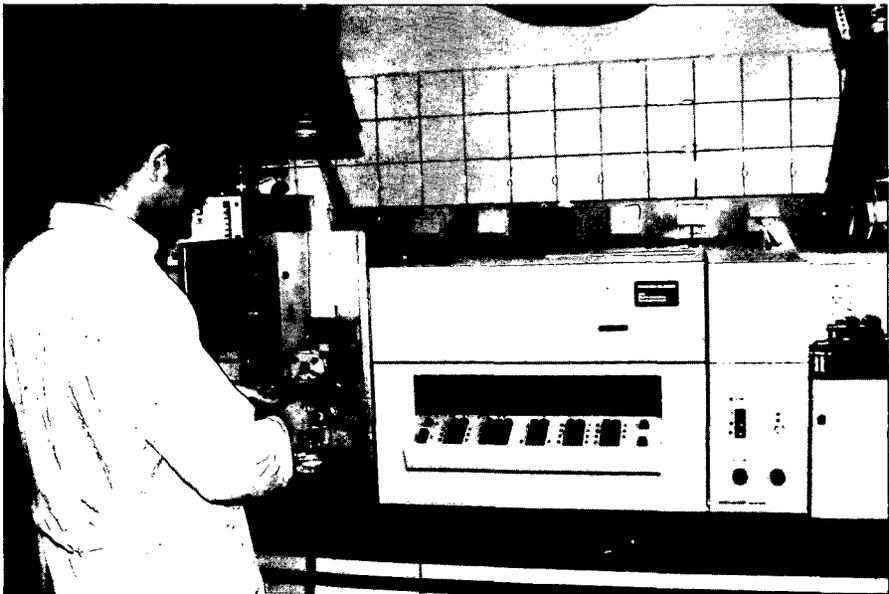


Abb. 3: *Atom-Absorptions-Spektrophotometer*

In Tabelle 1 sind die Analysenparameter aufgeführt, die wir praktisch im analytischen Routineprogramm haben. Es besteht die Möglichkeit, insgesamt an die 30 Kenndaten untersuchen zu lassen, wobei aber nicht bei jeder Probe der volle Untersuchungsumfang verlangt bzw. bestimmt wird. In der Serienanalyse wird so vorgegangen, daß jährlich ein bis zwei Parameter neu ins Untersuchungsprogramm genommen werden und dafür andere Bestimmungsstücke (z. B. Natrium, Eisen, Mangan) wegbleiben. Mit dieser Vorgangsweise hoffen wir, die Siedlungsabfallanalytik laufend zu erweitern, zu verbessern und damit letztlich zu einem höheren Informationsgrad zu gelangen. So sollen in der nächsten Zeit auch PCBs, phenolische Substanzen und Selen serienmäßig bestimmt werden.

Tab. 1.: Analysenparameter

| | | | |
|----------------------------------|-----------|----------|-------------|
| H ₂ O/Trockensubstanz | Phosphor | Eisen | Cobalt |
| pH-Wert | Kalium | Mangan | Cadmium |
| el. Leitfähigkeit | Calcium | Bor | Quecksilber |
| org. Substanz | Natrium | Molybdän | Arsen |
| Stickstoff | Magnesium | Kupfer | Benzpyren |
| C/N | Sulfat | Zink | Phenole |
| Ammon-N | Chlorid | Blei | PCBs |
| Nitrat-N | | Nickel | Selen |
| | | Chrom | |

Werden nun mehrere Jahre Siedlungsabfälle untersucht — in den letzten Jahren sind sicher weit über 1000 Proben durch unser Labor gegangen — so ist für den Analytiker einmal die große Variationsbreite bei den Werten auffallend (AICHBERGER u. Mitarb., 1983). Die Schwankungen betragen, wie aus Tabelle 2 ersichtlich, bei den Nährstoffgehalten 2 bis 3 Zehnerpotenzen und die Spurenelementwerte variieren von wenigen ppm bis in den Prozentbereich. Das bedeutet, daß praktisch jede einzelne Probe analysiert werden muß, sollte das Produkt landwirtschaftlich oder anderweitig verwertet werden, und daß Schlußfolgerungen basierend auf wenigen Analysen auf Siedlungsabfallstoffe anderer Herkunft generell nicht übertragen werden können.

Tabelle 2: Streubreite einiger Analysenwerte
(Untersuchungszeitraum 1979—82)

| | | |
|---|---------|------------|
| Trockensubstanz | % | 0,5—58,1 |
| Stickstoff | kg/t FS | 0,14—10,4 |
| Phosphor (P ₂ O ₅) | kg/t FS | 0,06—18,0 |
| Kalium (K ₂ O) | kg/t FS | 0,03—2,8 |
| Zink | ppm | 100—12.900 |
| Chrom | ppm | 8—59.500 |
| Blei | ppm | 5—23.900 |
| Quecksilber | ppm | 0,04—126 |

Was sind die Ursachen der großen Streuungen? Abgesehen von zufälligen Fehlern des Laborpersonals beginnt das bei der gerätespezifischen Meßstreuung, setzt sich fort über die Analysenstreuung (= Reproduzierbarkeit der Methode bei mehrfacher Wiederholung) und reicht bis zur Heterogenität der Probe bzw. zum Probenahmefehler. Beachten Sie bitte in Tabelle 3, wie die Variationskoeffizienten von der Messung über die Analyse bis zur Probenahme sowohl bei den Makro- als auch bei den Mikroelementen größer werden.

Tabelle 3: Streuungsursachen (s %)

| Parameter | Messung (Gerät) | Analyse (Repr. d. Methode) | Probenheterogenität/ Probenahme |
|----------------------|--------------------|-------------------------------|------------------------------------|
| TrS | — | 1—5 | 10 |
| N | 1 | 5 | 10—20 |
| P, K, Ca, Mg | 1—5 | 5—10 | 10—20 |
| Cu, Zn, Ni, Pb . . . | 1—7 | 10 | 20 |

Eine weitere Streuungsursache liegt in den laufenden Änderungen der Produktzusammensetzung begründet. Wenn man beispielsweise den Klärschlamm einer Anlage täglich, wöchentlich oder monatlich untersucht, so kann der Variationskoeffizient hier bereits über 100 % betragen. Am stärksten wird das Streuungsmaß aber letztlich durch die Herkunft der Probe selbst beeinflusst. So hängt beispielsweise der Chromgehalt des Klärschlammes sehr wesentlich davon ab, ob das Material aus rein ländlichen Gemeinden oder aus Gemeinden mit entsprechendem Gewerbe- respektive Industrieanteil stammt. Aus der Häufigkeitsverteilung der Chromgehalte der Klärschlammuntersuchung 1983 in Abb. 4 sind neben den Prozentanteilen in den jeweiligen Gehaltsklassen auch die Unterschiede zwischen den Werten rein ländlicher Anlagen („Grundbelastung“) und den von Industrieanlagen sehr deutlich ersichtlich.

Um nun trotz all dieser Streuungsmöglichkeiten und Fehlerwahrscheinlichkeiten dennoch zuverlässige Ergebnisse zu liefern, ist es sehr wichtig, das Labor einer laufenden internen und externen Kontrolle zu unterziehen. Das erfolgt so, daß wir mindestens einmal jährlich an einer nationalen oder internationalen Ringuntersuchung teilnehmen (= externe Kontrolle) und außerdem bei jedem Analysendurchgang eine Standardreferenzprobe (= eigens aufbereiteter, trockener, homogenisierter Klärschlamm) mit bekannten Nährstoff- und Schadstoffgehaltswerten mitanalysieren. Für alle wesentlichen Parameter werden sogenannte Kontrollkarten geführt (DOERFFEL, 1965), in die der gefundene Wert mit jeweiligem Analysendatum eingetragen wird. Der Sinn dieser Kontrollkarten besteht somit darin, daß

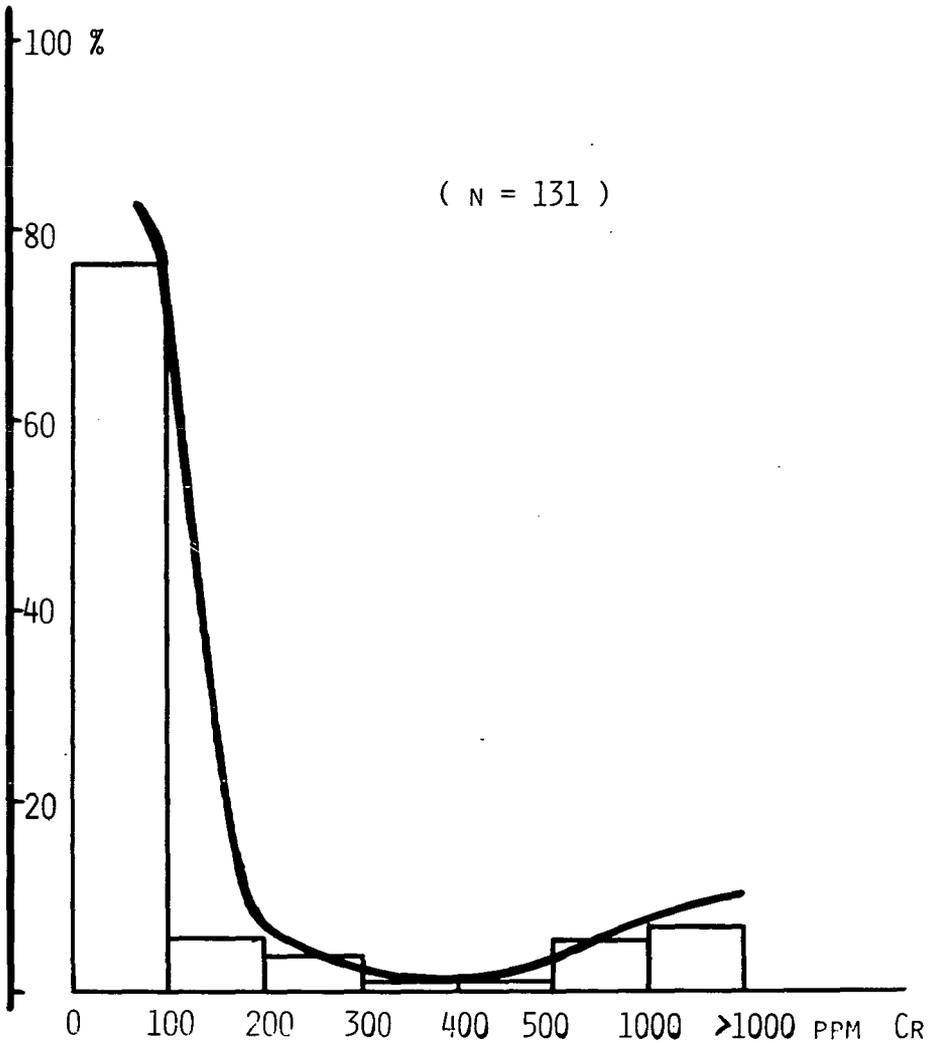


Abb. 4.: Prozentuelle Häufigkeitsverteilung der Chrom-Gehalte in Klärschlämmen OÖs im Jahre 1983

gravierende Abweichungen vom langfristigen Mittelwert („wahrer Wert“) bzw. tendenzielle Über- oder Unterschreitungen des \bar{X} durch die optische Darstellung rasch erkannt werden und entsprechende Maßnahmen zur Beseitigung von eventuell serienmäßigen Analysefehlern gesetzt werden können (Abb. 5).

Nach all den aufgezeigten Problemen wie Analysenstreuung, Probenahmefehler, Schwankung in der Zusammensetzung, zeigen die Ergebnisse

von 5 Jahren systematischer Klärschlammkontrolle in Oberösterreich am Beispiel der jährlichen Durchschnitts- und Häufigkeitswerte eine ausgesprochene Konstanz, die gewissermaßen auch als analytische Bestätigung für das Labor gewertet werden kann — oder zumindest als Beweis dafür gilt, daß, wenn schon Fehler passierten, diese sehr konstant gemacht werden müßten.

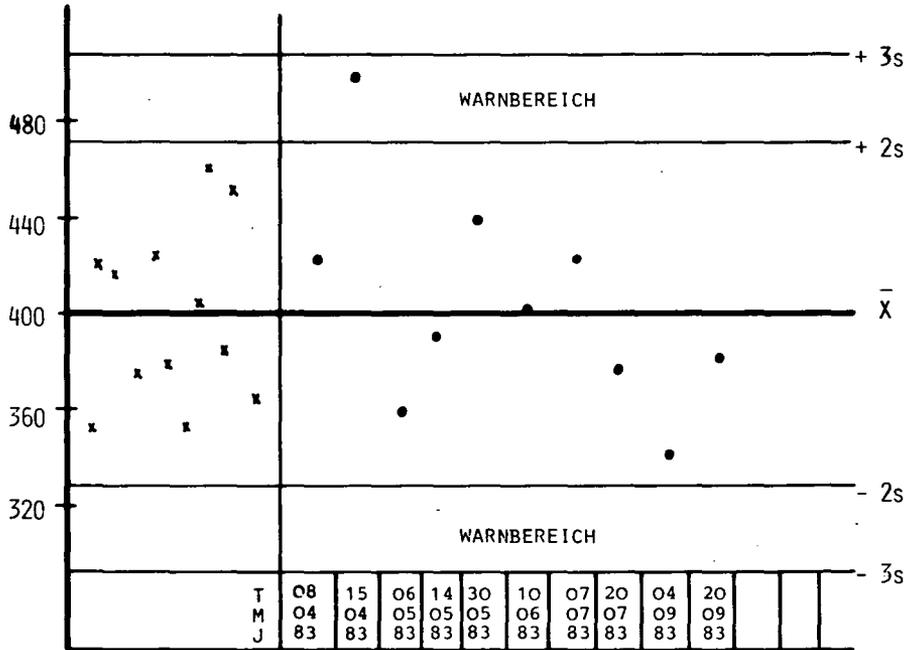


Abb. 5: Kontrollkarte für Blei (ppm)

Zusammenfassung:

An Hand von Dias wird versucht, den Ablauf der Müllkompost- und Klärschlammuntersuchung darzustellen, wobei besonders auf Fragen der Probenahme, der Homogenisierung der Proben sowie der chemischen Analytik eingegangen wird. Ein großes Problem stellt die Probenaufbereitung bzw. Homogenisierung dar, weil es nach den derzeitigen technischen Möglichkeiten bei der Vermahlung der Proben einerseits zu Kontaminationen mit Schwermetallen kommen kann, andererseits nur eine Teilhomogenisierung erreicht wird. Der Probenaufschluß erfolgt auf naß-chemischem Wege mittels Salpetersäure/Perchlorsäure-Gemisches in einem halbautomatischen Büchi-Digester unter Rückflußkühlung. Die quantitative Bestimmung von Makro- und Mikroelementen mittels flammenphotometrischer

oder AAS-spektrometrischer Verfahren und einiger organischer Verbindungen wird erläutert. Weiters werden die Analysenparameter besprochen und Vergleiche zwischen Müllkompost und Klärschlamm angestellt; die Schwankungsbreite in den Untersuchungsergebnissen beträgt 2 bis 3 Zehnerpotenzen, wobei als Streuungsursachen die Reproduzierbarkeit der Methode, Probenheterogenität, Variabilität in der Zusammensetzung sowie die Herkunft des Materials in Frage kommen. Als Möglichkeit für eine laufende Eigenkontrolle des Untersuchungslabors werden die Teilnahme an Ringuntersuchungen, sowie die Überprüfung jedes Analysendurchganges mittels Standardreferenzprobe und deren graphischer Darstellung in sogenannten Kontrollkarten genannt.

Literatur:

- Aichberger, K., Mayr, E. und Schmoigl, K.: Systematische Klärschlammkontrolle und landwirtschaftliche Verwertung in OÖ. Posterreferat anlässlich des 3. Internationalen Symposiums „Processing and Use of Sewage Sludge“, Brighton, 1983.
- Doerffel, K.: Beurteilung von Analysenverfahren und -ergebnissen. Springer, Berlin—Heidelberg—New York; Bergmann, München, 1965.
- Hofer, G. und Aichberger, K.: Landwirtschaftliche Verwertung von Klärschlamm — Richtlinien des Modells Oberösterreich (Teil II). Der Förderungsdienst, 32. Jg., H.4, 1984.
- Leinert, E.: Über den Abrieb von Mühlen und dessen Auswirkung auf die Schwermetallanalytik. Vortrag zur ALVA-Tagung, FG Pflanzenanalyse, Graz 1984.
- Önorm S2022: Gütekriterien für Müllkompost. Österr. Normungsinstitut, Wien 1984.
- Regeln des Österreichischen Wasserwirtschaftsverbandes: Landwirtschaftliche Verwertung von Klärschlämmen — Empfehlungen für Betreiber von Abwasserreinigungsanlagen. ÖWWV-Regelblatt 17, Österr. Wasserwirtschaftsverband, Wien 1984.

Müllkompost — Gütekriterien (ÖNORM S 2022) und Anwendung

H. Müller

Der Mensch — und insbesondere der Mensch unserer Zeit und des westlichen Zivilisationskreises — erzeugt zeit seines Lebens Abfälle. Es sind dies Stoffe, die er nicht mehr benötigt, die ihn stören oder belästigen und die er deshalb wegzuschaffen bestrebt ist. Unser heutiges Leben ist so organisiert, daß die entstehenden Abfälle fast nie von selbst „verschwinden“ und es wird uns in der Regel kaum bewußt, welche gewaltigen technischen Einrichtungen und wie viele Menschen zusammenwirken müssen, damit die Abfallbeseitigung funktioniert und wir dadurch in einer so gepflegten Atmosphäre leben können, wie wir es gewohnt sind. Wir denken vielleicht daran, wenn die Müllabfuhr streikt, wenn unser Klo verstopft ist oder wenn wir in der Zeitung wieder einmal von einem „Müllskandal“ lesen.

Im Grunde genommen lassen sich Abfälle nicht beseitigen. Einmal vorhandene Produkte können immer nur entweder an andere Orte verfrachtet, in neue Produkte umgewandelt oder in andere Aggregatzustände übergeführt werden. Dementsprechend stehen für die Beseitigung von Hausmüll heute drei Grundtypen von Verfahren in praktischer Anwendung:

- Deponierung
- Verrottung oder Kompostierung
- Verbrennung

Dem gestellten Thema entsprechend soll hier nur auf die Verrottung oder Kompostierung eingegangen werden. Bei diesem Verfahren wird der Hausmüll von den Haushalten abgeholt und zu einer Verrottungsanlage gebracht.

Dort wird er mehr oder weniger stark zerkleinert und von ursprünglich ca. 30 % Wassergehalt auf ca. 45—50 % Wassergehalt angefeuchtet. Damit wird ein rasches Einsetzen der Rotte gewährleistet. Anschließend wird der so behandelte Hausmüll auf zeilenförmigen Mieten aufgesetzt. Innerhalb von zwei bis drei Tagen entsteht in diesen Mieten eine Temperatur von ca. 70 Grad Celsius. Je nach Verfahren werden diese Zeilenmieten während der Rottezeit ein oder mehrere Male umgesetzt. Nach vier bis sechs Monaten ist der Rotteprozeß soweit fortgeschritten, daß der Kompost aus dem Rottegut abgesiebt und für verschiedene Zwecke des Pflanzenbaues eingesetzt werden kann.

Situation in Oberösterreich

Für die ländlichen Bereiche Oberösterreichs sind nach einem Konzept des Landes 8—10 Verrottungsanlagen vorgesehen. Davon sind 5 bereits in Betrieb, welche 10 politische Bezirke mit insgesamt 620.000 Einwohnern entsorgen. An diesen fünf Anlagen könnten pro Jahr ca. 40.000 Tonnen Müllkompost gewonnen werden. Damit könnten beispielsweise 2500 Dreiachsskipper zu je 16 t Nutzlast gefüllt und bei zweckentsprechender Verwertung 50.000 m³ Deponievolumen eingespart werden. Bei einer Anwendungsmenge von 20 t Müllkompost pro Hektar würde für die Unterbringung des gesamten Müllkompostanfalles eine Fläche von jährlich 2000 ha erforderlich sein.

Kompostqualität:

Die Qualität eines Kompostes richtet sich im wesentlichen nach folgenden Kriterien:

a) Wertbestimmende Inhaltsstoffe

Organische Substanz, Stickstoff, Phosphor, Kalium, Kalzium, Magnesium, Eisen, Mangan, Kupfer, Zink, Bor.

b) Wertmindernde Inhaltsstoffe

Glas, Metallstücke, Kunststoffteile, Problemmetalle (Zink, Chrom, Blei, Kadmium, Quecksilber), erhöhte Salzkonzentration, Asche, Bauschutt, Erde, Sand.

c) Pflanzenverträglichkeit

Für die Definition der Pflanzenverträglichkeit von Substraten und insbesondere Müllkompost wurde vom Amt der oö. Landesregierung gemeinsam mit der Landw.-chemischen Bundesanstalt Linz ein eigenes Verfahren entwickelt (J. GUSENLEITNER, H. MÜLLER, W. NIMMERVOLL, 1982).

Analysenwerte bei Müllkompost

In den Jahren 1979 bis 1982 wurden im Auftrag des Amtes der oö. Landesregierung von der Landw.-chemischen Bundesanstalt Linz 52 Müllkompostproben — teils auch aus anderen Bundesländern und aus dem Ausland — untersucht. Dabei wurden die in Tabelle 1 aufgezeigten Mittelwerte festgestellt.

Kompostuntersuchung in der Praxis

Von der Unterabteilung Abfallbeseitigung des Amtes der oö. Landesregierung wird an jenen Anlagen, an welchen Müllkompost abgesiebt wird,

Tab. 1:

| Parameter | gefundener Mittelwert | Wert nach Önorm S 2022 |
|---------------------------|-----------------------|------------------------|
| H ₂ O-Gehalt % | 32,23 | 25—35 |
| Glührückstand % | 84,02 | 70—82 |
| pH | 7,55 | 7—8,5 |
| N % | 0,66 | 0,5—1,5 |
| Leitfähigkeit μ S | 3,398 | < 5,0 |
| P % | 0,42 | 0,17—0,34 |
| K % | 0,56 | 0,25—0,80 |
| Mg % | 1,10 | 0,30—1,80 |
| Ca % | 4,99 | 1,40—8,60 |
| Na % | 0,286 | — |
| Fe ppm | 48.987 | 10.000—60.000 |
| Nn ppm | 1.072 | 500—1.200 |
| Cu ppm | 379 | 100—1.000 |
| Zn ppm | 1.431 | 300—1.500 |
| Pb ppm | 875 | 200—900 |
| Ni ppm | 38 | 30—200 |
| Cr ppm | 50 | 50—300 |
| Co ppm | 12,1 | — — |
| Cd ppm | 4,87 | 1—6 |
| Hg ppm | 2,95 | 1—4 |

zwei bis dreimal pro Jahr eine Probenannahme an den für den Verkauf vorgesehenen Komposten vorgenommen. Die Proben werden einer chemischen Analyse und dem Pflanzenverträglichkeitstest unterzogen. Die Untersuchungsergebnisse werden in eine „Eignungsbescheinigung“ übertragen, welche sodann dem Müllanlagenbetreiber zur Verfügung gestellt wird. Der Bewertung werden die Anforderungen der Önorm S 2022 zugrunde gelegt. Demnach kann ein Kompost für die Verwendungszwecke Fertigerde, Mischkomponente für Fertigerden oder Bodenverbesserungsmittel für Freiland als geeignet, bedingt geeignet oder nicht geeignet eingestuft werden (Muster siehe Abb. 1).

Kompostanwendung

Aus der Literatur sind zahlreiche Versuche zur Untersuchung des Einflusses von Müllkompost auf das Pflanzenwachstum bekannt. Vom Amt der ö. Landesregierung wurden bisher ca. 25 Versuche, großteils in Gefäßen, aber auch im Freiland durchgeführt. Im folgenden werden drei dieser Versuche und deren Ergebnisse vorgestellt (Abbildungen 2—4).

1. Ertragsverlauf bei Raygras auf reiner Erde, 50 % Frischkompost und 100 % Reifkompost.

Dieser Versuch in Mitscherlich-Gefäßen hat sehr deutlich die Wirkung von Müllkompost als langsam fließende Stickstoffquelle herausgestellt.

EIGNUNGSBESCHEINIGUNG

Das Substrat: Probe Nr.

Herkunft und nähere Bezeichnung:

Probenahme am: ist für die Verwendung im Pflanzenbau

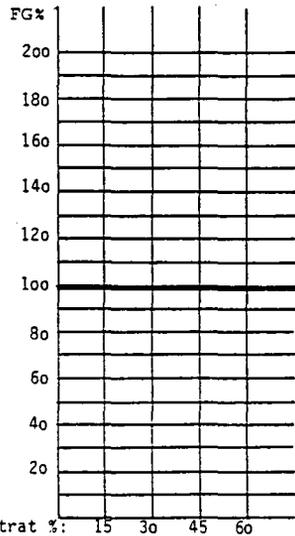
- geeignet
- bedingt geeignet
- nicht geeignet

als Fertigerde

Mischkomponente

Bodenverbesserungs-
mittel für Freiland

(Nicht für Pflanzen,
die der menschlichen
oder tierischen Er-
nährung dienen, ein-
setzen!)



Pflanzenverträglichkeitstest:
=====

Testpflanze:

Frischgewicht Vergl.Substrat:..... g (100 %)

FG % auf Prüfsubstrat:

| Mindestanforderungen: | | |
|-----------------------|-----|-----|
| FE | MK | BVM |
| 100 | 110 | 80 |
| 110 | 110 | 70 |
| 120 | 100 | 50 |
| 130 | 80 | 30 |

15 % -

30 % -

45 % -

60 % -

Keimverzögerung Tag(e)) auf Prüfsubstrat

Keimungsrate %) 30 % gegenüber

) Vergl. Substrat

Chem., physik. Analyse:
=====

H₂O %/s Leitf. ms P₂O₅ CAL..... mg/100 g

GV % N(Kjell.) % K₂O CAL mg/100 g

Feuchtdichte g/l

Die o.a. Probe wurde im Labor
geprüft bzw. analysiert. Der Eignungsbefund bezieht sich ausschließlich auf diese
Probe und die daraus abgeleiteten Werte.

Für die o.ö. Landesregierung:
Im Auftrage

Abb. 1: Muster einer Eignungsbescheinigung

Er bestätigte aber auch die Tatsache, daß reiner Müllkompost kein geeignetes Pflanzensubstrat ist. Erfolgversprechend kann Müllkompost nur in — der Pflanze entsprechenden — Mischungen oder dosierten Gaben im Freiland eingesetzt werden.

2. Kleinparzellenversuch auf unterschiedlichen Böden.

Bei den Müllverrottungsanlagen Attnang (Schotterboden) und Katsdorf (sandiger Lehmboden) wurden über einen Zeitraum von 5 Jahren Kleinparzellenversuche mit verschiedenen Pflanzen durchgeführt.

Die einzelnen Prüfglieder wurden in vier Wiederholungen angelegt, aus Platzgründen mußte jedoch auf Standardvarianten verzichtet werden. Dem Prüfglied „ungedüngt“ wurden die Düngungsstufen 700 kg/ha Vollkorn orange, sowie Müllkompostgaben von 25 t/ha, 50 t/ha, 75 t/ha, 100 t/ha, 125 t/ha und 150 t/ha gegenübergestellt. Bei der Versuchsanlage in Katsdorf mußten aus Platzgründen die Düngungsstufen mit Müllkompost 125 t/ha und 150 t/ha weggelassen werden. Da die Erträge der verschiedenen Anbaufrüchte (Sommergerste, Rotklee, Sommerraps, Winterweizen und Kartoffel) nicht in absoluten Zahlen einander gegenübergestellt werden können, wurde für die Versuchsauswertung ein Punktesystem gewählt.

Die Auswertung zeigt, daß das Ertragsoptimum bei ausschließlicher Müllkompostdüngung zwischen 25 t/ha und 75 t/ha liegen dürfte. Auf dem Schotterboden konnte beobachtet werden, daß auch die Prüfglieder mit 125 t/ha bzw. 150 t/ha Müllkompost noch beachtliche Ertragszuwächse gebracht haben. Für die praktische Anwendung können jedoch derartige Aufwandmengen zu Düngezwecken nicht in Frage kommen. Ein wesentlicher Teil dieses Versuches war auch der Frage nach Anreicherung von Schwermetallen in Boden und Pflanze gewidmet. Diesbezüglich liegt umfangreiches Analysen- und Zahlenmaterial vor, welches jedoch noch nicht ausgewertet ist.

3. Untersuchung über die erosionshemmende Wirkung von Müllkompost.

Diese Frage wurde gemeinsam vom Amt der oö. Landesregierung, mit der Technischen Universität Wien und der Bayerischen Landesanstalt für Wasserwirtschaft untersucht. Die Ergebnisse wurden bereits veröffentlicht („Österreichische Wasserwirtschaft“, Heft 1/2, 1984).

Bei Aufwandmengen von 180 t/ha (18 kg/m²) bzw. 360 t/ha (36 kg/m²) konnte gegenüber einer unbehandelten Parzelle der Wasserablauf um 58 bzw. 70 %, und der Bodenabtrag um 85 bzw. 97 % verringert werden. Diese Werte wurden bei 20 % Hangneigung festgestellt. Die angegebenen Aufbringungsmengen wären bei Rekultivierung erosionsgefährde-

ter Hanglagen durchaus vorstellbar. Inwieweit durch Müllkompostanwendung eine Verringerung von Erosionsschäden bei Maisbau in Steillagen möglich wäre, konnte bisher noch nicht untersucht werden.

Bezüglich des Gehaltes von Nährelementen im Müllkompost und deren Verfügbarkeit können aus eigenen Untersuchungen und Literaturangaben folgende Angaben gemacht werden (kg je t):

| Nährelement | Gesamtgehalt i. d. TS | Gesamtgehalt bei 30 % H ₂ O | Verfügbarkeit in % | Verfügbar im ersten Anwen- dungsjahr |
|-------------------------------|--------------------------|---|-----------------------|--|
| N | 7 | 5 | 40 | 2 |
| P ₂ O ₅ | 11 | 8 | 12 | 1 |
| K ₂ O | 7 | 5 | 70 | 3,5 |
| CaO | 70 | 50 | 100 | 50 |
| MgO | 17 | 12 | 70 | 8,4 |
| Org. Substanz | 150 | 100 | — | — |

Für die Anwendung von Müllkompost liegen in Österreich derzeit keine Richtlinien vor. Vom Österreichischen Wasserwirtschaftsverband wurde ein Merkblatt für die Anwendung von Klärschlämmen erarbeitet, welches für Schwermetalle Höchstgehalte und höchstzulässige Frachten pro Jahr enthält. Diese Richtlinie kann vorläufig auch analog für die Müllkompostanwendung herangezogen werden.

Beim Österreichischen Normungsinstitut befindet sich die Önorm S 2024 in Ausarbeitung, welche Richtlinien für die Anwendung von Müllkompost in den verschiedensten Einsatzbereichen beinhalten wird. Darüber hinaus ist auch zu erwarten, daß das Österreichische Düngemittelgesetz auf Fragen der Klärschlamm- und Müllkompostanwendung eingehen und unter Umständen eine diesbezügliche Verordnungsermächtigung enthalten wird.

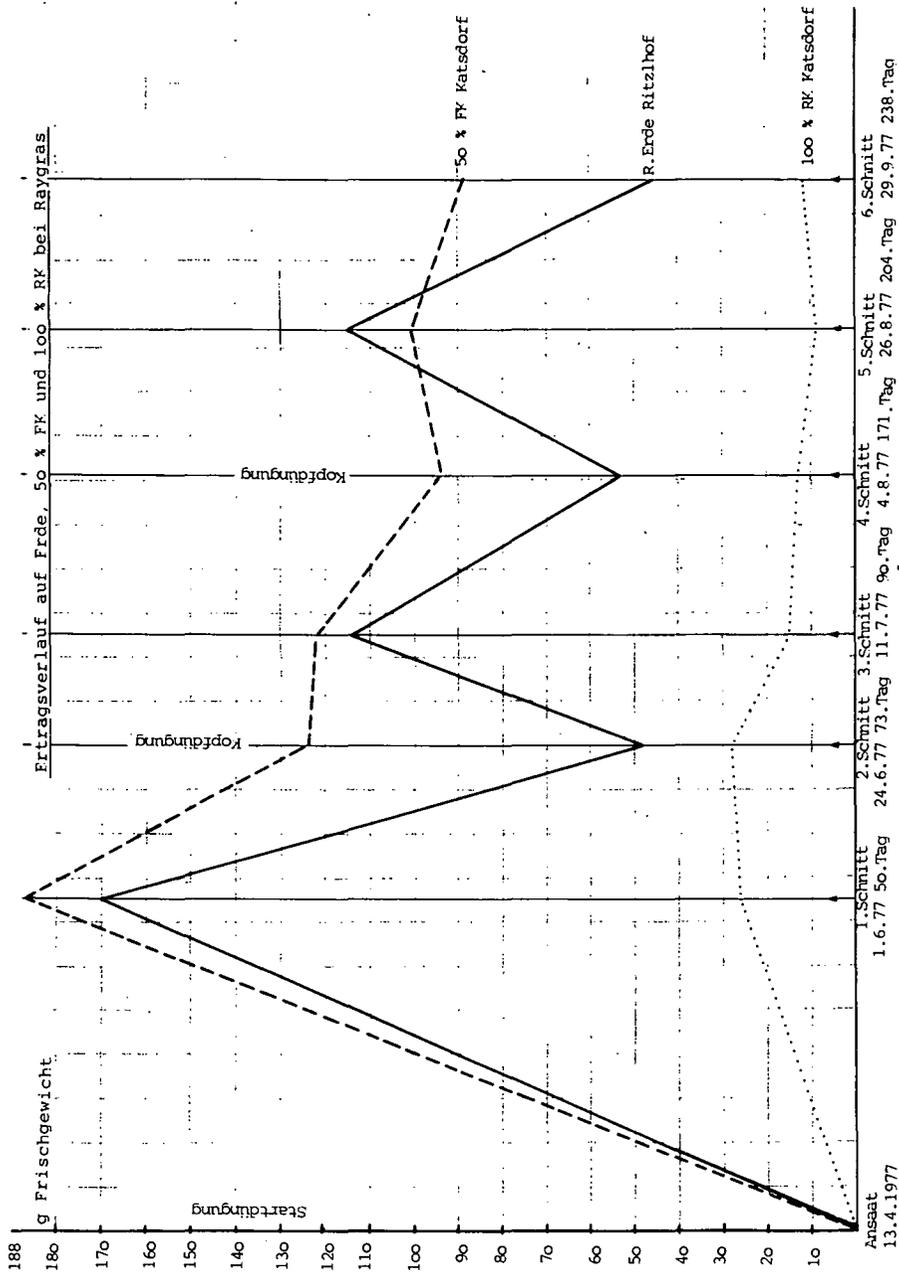


Abb. 2

Ertrags-
punkte

Relative Durchschnittserträge der Versuchsjahre 1980, 1981, 1982

(Parzellendurchschnitt = 12,5 Punkte)

----- = Attnang, Schotterboden, \bar{x} aus je 20 Einzelwerten
----- = Katsdorf, sandiger Lehm Boden, \bar{x} aus je 20 Einzelwert
ohne Ausreißerelimination

Versuchsform: Langparzellen - Anlage ohne Standardvariante
4 Wiederholungen

Fruchtarten: SO Gerste
Rotklee
SO-Raps
W-Weizen
Kartoffel

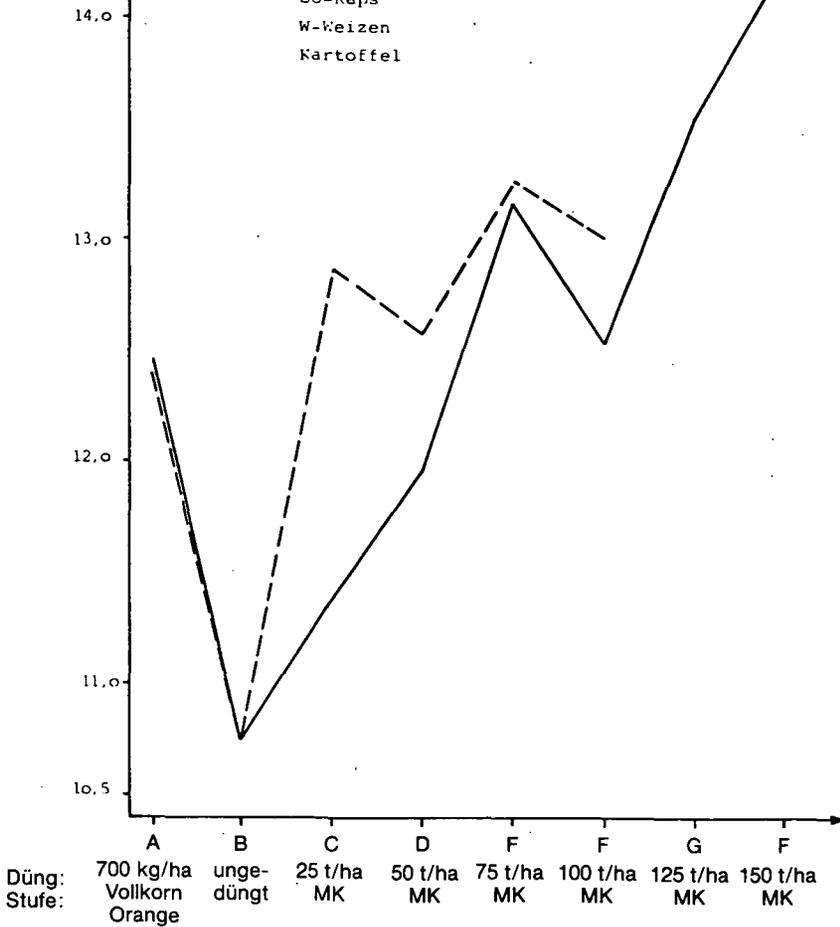


Abb. 3

DIE EROSIONHEMME WIRKUNG VON MÜLLKOMPOST

FELDVERSUCH MIT DER TU WIEN UND DER BAYERISCHEN LANDESANSTALT FÜR
 WASSERWIRTSCHAFT, MÜNCHEN
 VERSUCHSPARZELLEN JE 100 M² MIT 20 % HANGNEIGUNG

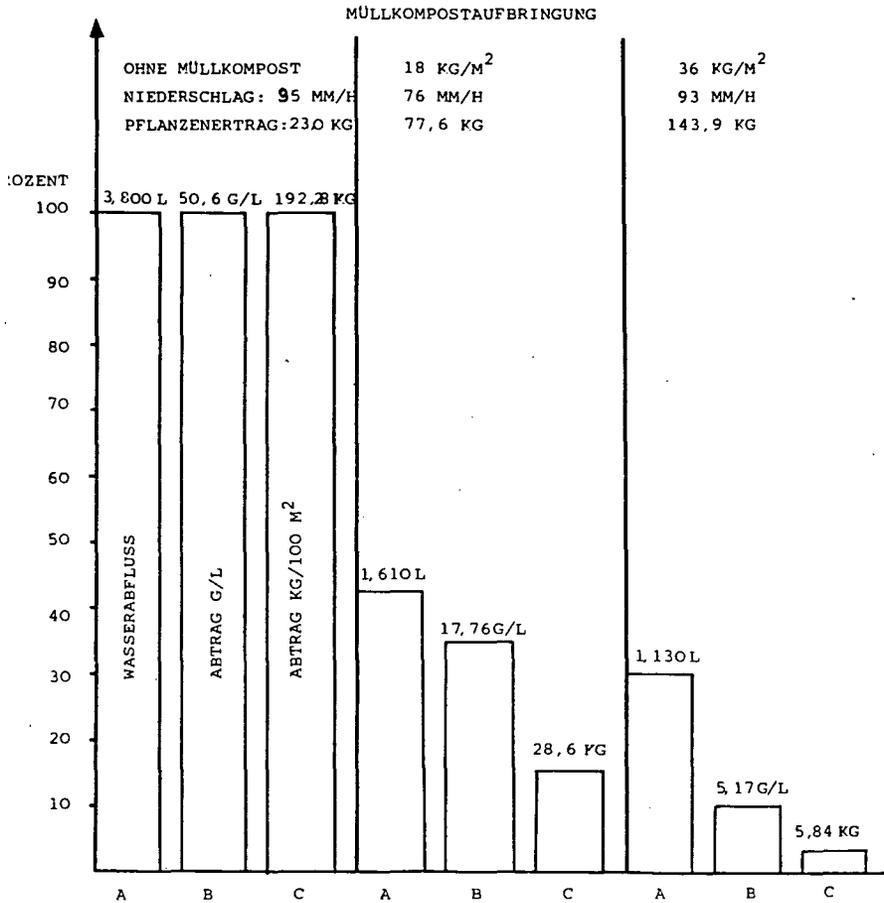


Abb. 4

Modell Oberösterreich — Klärschlammanfall und Entsorgung

E. Mayr

In Oberösterreich wurden in den letzten Jahren bedeutende Fortschritte bei der Reinigung häuslicher und gewerblich -industrieller Abwässer erzielt (Abb. 1).

Betrag die Ausbaugröße der Kläranlagen, d. h. deren Kapazität, im Jahre

| | | |
|------|----------------|------------------------------------|
| 1970 | nur rund | 260.000 EW, stieg sie bis zum Jahr |
| 1978 | auf | 650.000 EW, |
| 1981 | auf | 1,500.000 EW und erreichte |
| 1983 | einen Wert von | 2,250.000 EW |

KLÄRANLAGEN - AUSBAUGRÖSSE KOSTEN KANAL + KLÄRANLAGEN

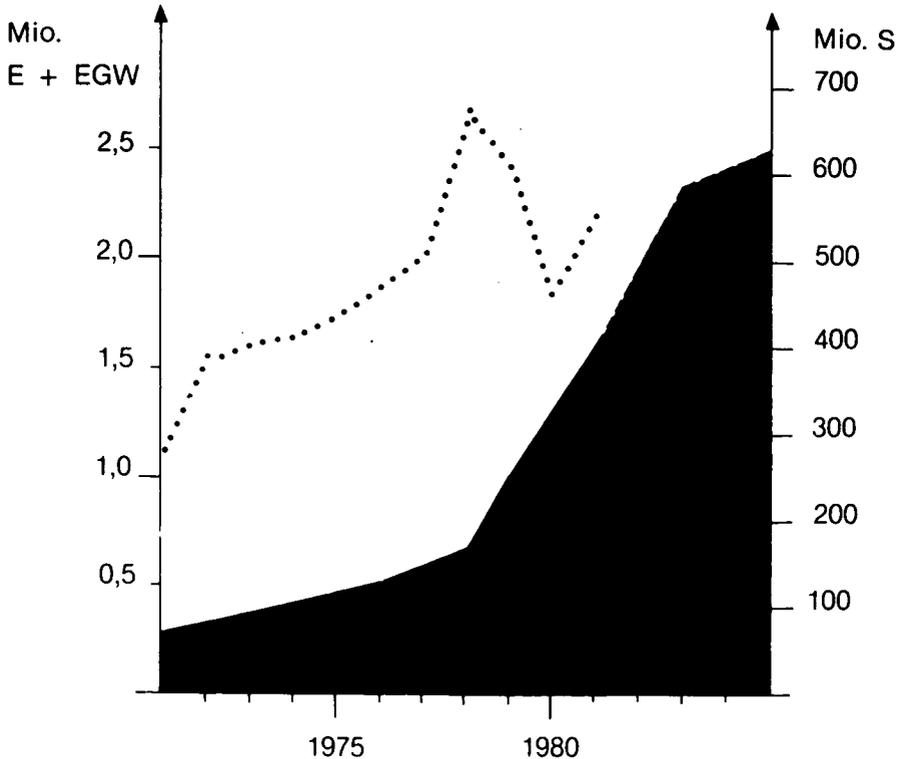


Abb. 1

Dies bedeutet eine Zunahme um das 10fache in 13 Jahren.
Ende 1983 waren rund
50 % der Bevölkerung Oberösterreichs an zentrale Abwasserreinigungsanlagen angeschlossen.
30 % sind noch nicht angeschlossen.
20 % sind nicht erfaßbar oder entsorgen ihre Abwässer im Rahmen eines landwirtschaftlichen Betriebes (Abb. 2).

Eine wesentliche Verbesserung war auch bei der Reinigungsleistung der Kläranlagen zu verzeichnen.

Ende 1981 waren noch 63,6 % der Kapazität mechanische Kläranlagen mit einer Reinigungsleistung von etwa 30 %.

1985 werden es nur noch 2,5 % sein.

In diesem Zeitpunkt werden somit 97,5 % der Anlagenkapazität biologische Kläranlagen mit einer Reinigungsleistung von durchschnittlich 95 % sein.

Waren weiters

1981 etwa 1,200.000 Einwohner und Einwohnerequivalente angeschlossen, werden es

1985 voraussichtlich 2,000.000 Einwohnerwerte (E + EGW) sein (Abb. 3).

Diese Entwicklung und die gestiegenen Anforderungen an die Reinigungsleistung von Kläranlagen zum Schutze der Gewässer haben ein neues Problem, das Problem Klärschlamm, geschaffen. Denn eine Kläranlage erfüllt nur dann ihre Funktion, wenn nicht nur das Abwasser gereinigt wird, sondern auch die Schlammabfuhr geregelt ist.

Welche Technologien und Verfahrensschritte auch immer zur Anwendung kommen, zuletzt bleiben nur zwei Alternativen (Abb. 4):

- Deponie
- Landwirtschaftliche Verwertung

Wenngleich es in der Kürze nicht möglich ist, auf die Vor- und Nachteile der einzelnen Verfahren sowie deren Kosten einzugehen, so ist doch klar erkennbar, daß die landwirtschaftliche Verwertung den geringsten technologischen Aufwand und damit auch die geringsten Kosten verursacht.

Dies ist zweifellos ein wesentlicher Aspekt, kann aber nicht der einzige und wichtigste sein. Vielmehr ist zu beachten, daß die Umweltbelastung nicht vom Gewässer in die Luft, den Boden oder das Grundwasser verlagert wird.

Bedenkt man aber andererseits, daß durch die landwirtschaftliche Verwertung von Klärschlamm Rohstoffe und Devisen gespart und eine Bodenverbesserung durch die im Klärschlamm enthaltene organische Sub-

OBERÖSTERREICH

Anzahl der an die ÖÖ. Zentralreinigungs-
anlagen angeschlossenen
Einwohner nach Bezirken

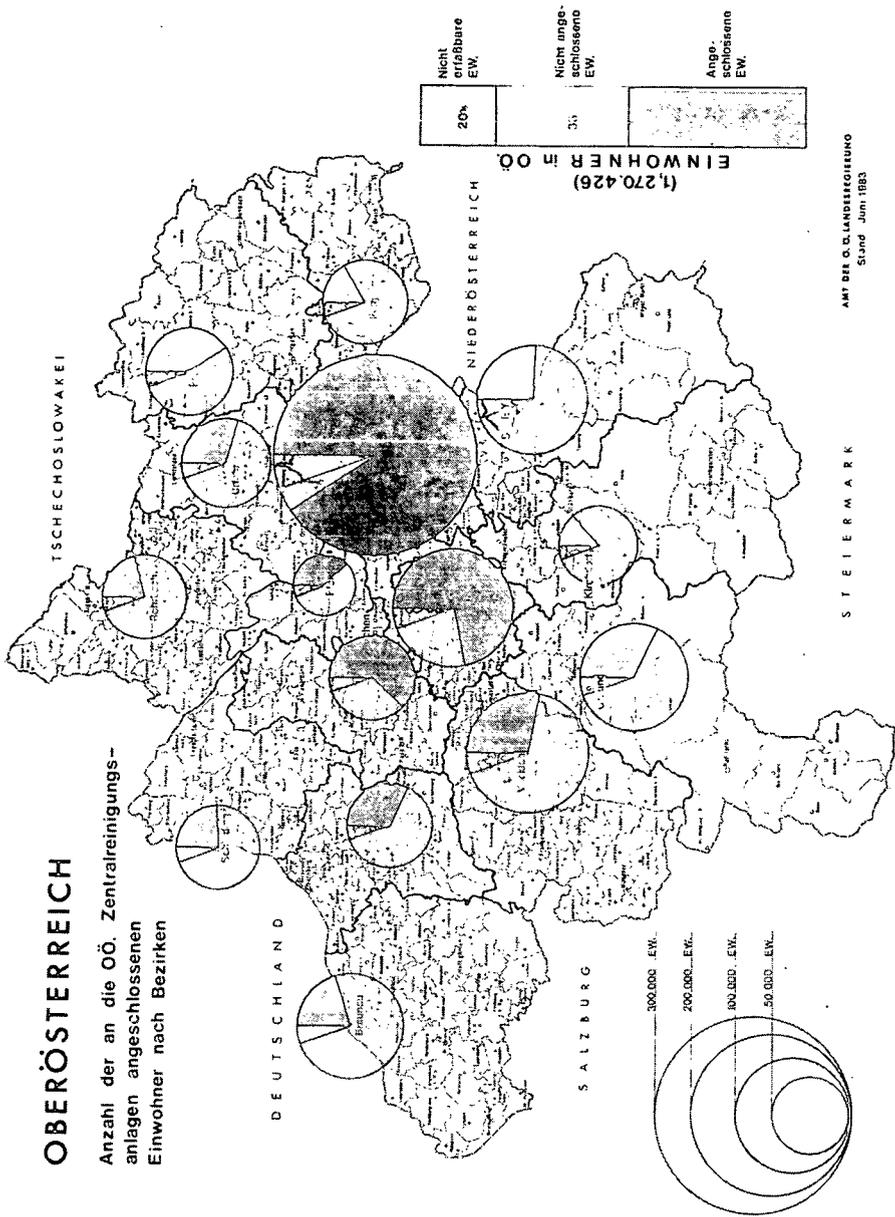


Abb. 2

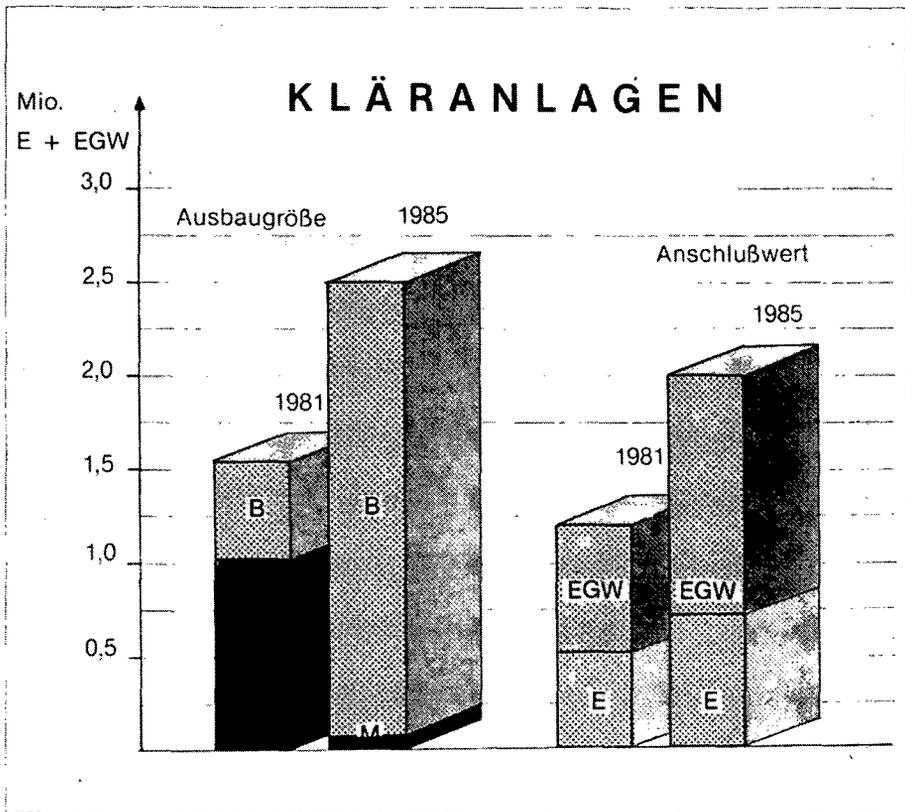


Abb. 3

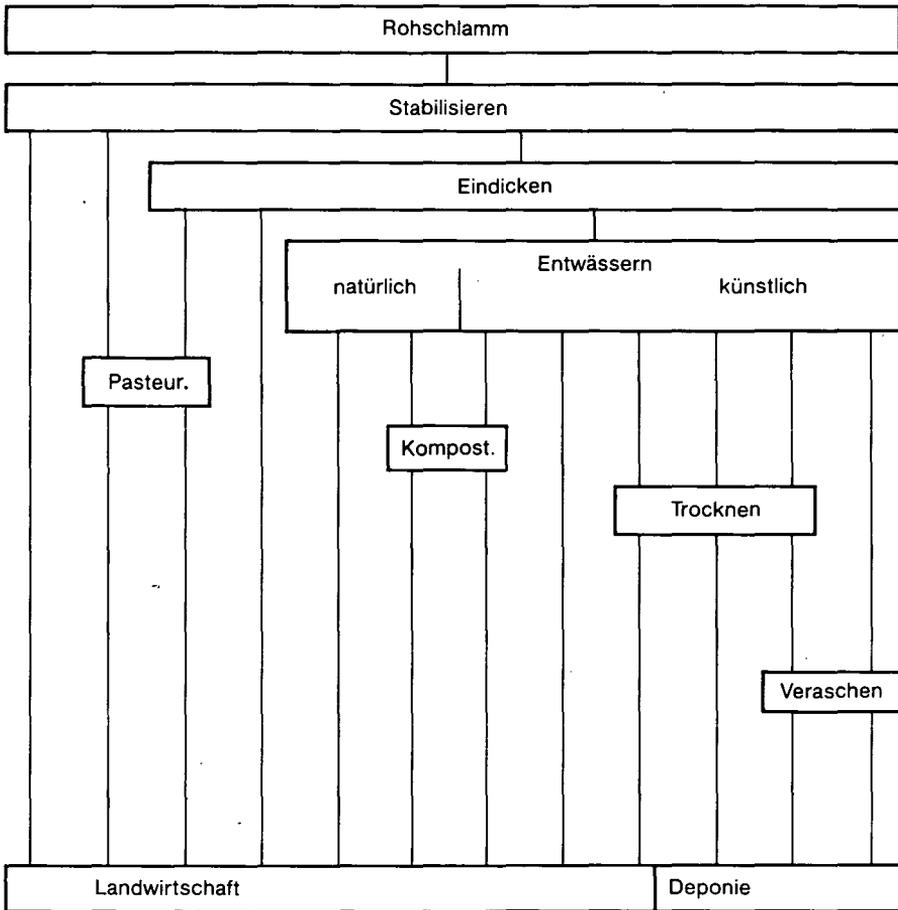


Abb. 4

stanz und die Spurenelemente erzielt werden können, sollte die Möglichkeit der Wiederverwertung von Abfallstoffen entsprechend genutzt werden. Welche Probleme eine Verbrennung mit anschließender Aschendeponie oder eine Deponierung verursachen kann, braucht nicht in Detail besprochen zu werden, ist es doch praktisch unmöglich geworden Deponiestandorte zu finden.

Folgende Voraussetzungen bzw. Randbedingungen sind dabei zu beachten:

- Die Landwirtschaft darf nicht als „Deponieersatz“ betrachtet werden.
- Die Landwirtschaft muß den Klärschlamm als Dünge- und Bodenverbesserungsmittel anerkennen.
- Der Klärschlamm darf keine überhöhten Gehalte an Schadstoffen (Schwermetalle) enthalten.
- Die Klärschlammkontrolle muß umfassend und effizient sein. Der Landwirt muß zu dieser Kontrolle Vertrauen haben.
- Die Aufwandmengen müssen auf den Bedarf abgestimmt sein.
- Stickstoff, Phosphor, Kalk, die Spurenelemente und die organische Substanz sind zu berücksichtigen.
- Der finanzielle Mehraufwand durch die Ausbringung ist entsprechend abzugelten.
- Die Forderungen bezüglich Klärschlamm- und Bodenuntersuchung, und der Kontrolle der Verbringung müssen verwaltungstechnisch durchführbar sein.
- Die Abnahme durch die Landwirtschaft muß gesichert sein.

Diese grundsätzlichen Überlegungen und die voraussehbare Entwicklung der Abwasserreinigung haben in Oberösterreich im Jahre 1977 zur Zusammenarbeit von Landwirtschaftskammer, Landwirtschaftlich-chemischer Bundesanstalt und dem Land Oberösterreich geführt.

Die Zusammenarbeit hat sich in den vergangenen sieben Jahren bewährt und umfaßt folgende wesentliche Punkte:

- Festsetzung der maximal zulässigen Schwermetallgehalte und daraus folgend die Einteilung der Klärschlämme in „geeignet“, „bedingt geeignet“, „nicht geeignet“.
- Festsetzung der maximal zulässigen Ausbringungsmengen.
- Amtliche Probennahme durch die Kläranlagenüberwachung des Amtes der öö. Landesregierung.
- Analyse der Proben durch die Landwirtschaftlich-chemische Bundesanstalt.
- Ausstellung einer Eignungsbescheinigung durch das Amt der öö. Landesregierung.
- Erstellung eines gesonderten Merkblattes zur Anwendung von Klärschlamm durch die Landwirtschaftskammer.
- Informations- und Beratungsveranstaltungen für Landwirte und Kläranlagenbetreiber.

In Oberösterreich gelten folgende Grenzwerte (Tab. 1):

Tab. 1:

| Schwermetall-Grenzwerte mg/kg TS | | | | | | | | | |
|-------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | A | BRD | CH | EG | | DK | NL | F | SF |
| | | | | e | v | | | | |
| Cadmium | 10 | 20 | 30 | 20 | 40 | 30 | 10 | 15 | 30 |
| Kupfer | 500 | 1200 | 1000 | 1000 | 1500 | 700 | 600 | 1500 | 3000 |
| Nickel | 100 | 200 | 200 | 300 | 400 | — | 100 | — | 500 |
| Blei | 500 | 1200 | 1000 | 750 | 1000 | 1200 | 500 | 300 | 1200 |
| Zink | 2000 | 3000 | 3000 | 2500 | 3000 | 6000 | 2000 | 3000 | 5000 |
| Chrom | 500 | 1200 | 1000 | 750 | — | 500 | 500 | 200 | 1000 |
| Quecksilber | 10 | 25 | 10 | 16 | — | — | 10 | 8 | 25 |

Im Vergleich mit der Europäischen Gemeinschaft und anderen europäischen Ländern ist festzustellen, daß die bei uns zulässigen Werte in fast allen Fällen bei weitem niedrig sind. Die Konzentrationen sind zwar nicht das alleine entscheidende Kriterium, geben aber grundsätzlich die Garantie, daß kein Klärschlamm, welcher durch industriell-gewerbliche Abwässer kontaminiert ist, zur Anwendung kommt.

Durch die Festsetzung der zulässigen Ausbringungsmengen wurden auch die zulässigen Frachten begrenzt, welche dem internationalen Standard entsprechen bzw. teilweise erheblich darunter liegen.

Tab. 2:

| Schwermetall-Frachten kg/ha-a | | | | | | | |
|----------------------------------|-------|-------|-------|------|------|-------|---------|
| | A | BRD | CH | EG | | GB | OÖ Ø |
| | | | | e | v | | |
| Cadmium | 0,037 | 0,034 | 0,075 | 0,10 | 0,15 | 0,167 | 0,013 |
| Kupfer | 1,87 | 2,04 | 2,5 | 10 | 12 | 9,3 | 0,75 |
| Nickel | 0,375 | 0,34 | 0,5 | 2 | 3 | 2,3 | 0,15 |
| Blei | 1,87 | 2,04 | 2,5 | 10 | 15 | 33 | 0,71 |
| Zink | 7,5 | 5,1 | 7,5 | 25 | 30 | 18,6 | 4,87 |
| Chrom | 1,87 | 2,04 | 2,5 | 10 | — | 33 | 0,26 |
| Quecksilber | 0,037 | 0,042 | 0,025 | 0,40 | — | 0,07 | 0,01 |

Die Probennahme erfolgt an Hand des Schlammennahme-Protokolls, wobei besonders darauf geachtet wird, daß die Probe möglichst repräsentativ ist (Abb. 5).

Die Analyse erfolgt durch die Landw.-chem. Bundesanstalt und umfaßt neben Trockensubstanzgehalt, organische Substanz, pH-Wert, Leitfähigkeit, Pflanzennährstoffe, Spurenelemente und die Schwermetalle (Abb. 6).

Die Eignungsbescheinigung (Abb. 7) wird auf Grund der Analyse in Übereinstimmung mit der Landwirtschaftskammer und der Landw.-chem.

Schlammentnahme-Protokoll

Kläranlage:

Probenummer:

Art der Probe: Entnommen aus:

- | | | | |
|-------------|--------------------------|----------------|--------------------------|
| Einzelprobe | <input type="checkbox"/> | Trockenbeet(e) | <input type="checkbox"/> |
| Mischprobe | <input type="checkbox"/> | Schlammteich | <input type="checkbox"/> |
| Sammelprobe | <input type="checkbox"/> | Silo | <input type="checkbox"/> |
| | | Faulturm | <input type="checkbox"/> |
| | | Emscherbrunnen | <input type="checkbox"/> |
| | | | <input type="checkbox"/> |

Entnommen am: von:

Bundesanstalt vom Amt der oö. Landesregierung ausgestellt. Diese Bescheinigung wird nur dann ausgestellt, wenn der Klärschlamm entweder geeignet oder bedingt geeignet ist. Eine bedingte Eignung wird nur dann ausgesprochen, wenn bei einem Schwermetall eine geringe Überschreitung vorliegt, wobei jedoch die zulässige Ausbringungsmenge reduziert wird. Ist ein Klärschlamm nicht geeignet, wird der Kläranlagenbetreiber hiervon in Kenntnis gesetzt.

Durch gezielte Maßnahmen bei den Verursachern konnte seit 1979 zum Teil eine wesentliche Verbesserung der Qualität erzielt werden, wie eine Übersicht von 1979—1983 zeigt:

Cadmium: Stellt in Oberösterreich praktisch kein Problem dar, denn 98 % der Klärschlammanalyse liegen unter dem Grenzwert von 10 ppm.

Tab. 3:

| Jahr | Cadmium | | | | | |
|------|---------|-----|------------|----------|------|-----|
| | Gesamt | | | < 10 ppm | | |
| | Anzahl | Ø | von—bis | Anzahl | % | Ø |
| 1979 | 34 | 4,5 | 0,3 — 16,3 | 32 | 94,1 | 3,7 |
| 1980 | 59 | 4,3 | 1,1 — 19,0 | 55 | 93,2 | 3,5 |
| 1981 | 71 | 3,7 | 0,9 — 21,6 | 68 | 95,8 | 3,1 |
| 1982 | 98 | 4,3 | 1,0 — 15,0 | 96 | 97,9 | 4,1 |
| 1983 | 133 | 3,5 | 0,30—37,0 | 131 | 98,4 | 3,1 |

Kupfer: Weist mit 97 % einen ähnlich günstigen Wert auf.

Tab. 4:

| Kupfer | | | | | | |
|--------|--------|-----|----------|-----------|------|-----|
| Jahr | Gesamt | | | < 500 ppm | | |
| | Anzahl | Ø | von—bis | Anzahl | % | Ø |
| 1979 | 30 | 327 | 42—4.160 | 28 | 93,3 | 181 |
| 1980 | 60 | 298 | 26—4.310 | 58 | 96,7 | 168 |
| 1981 | 71 | 211 | 20—2.220 | 69 | 97,2 | 166 |
| 1982 | 94 | 217 | 20—2.990 | 91 | 96,8 | 170 |
| 1983 | 131 | 243 | 25—2.720 | 127 | 96,9 | 211 |

Nickel: Bringt in einzelnen Fällen Probleme, da in Oberösterreich eine Reihe von Galvanobetrieben in Kläranlagen einleiten.

Tab. 5:

| Nickel | | | | | | |
|--------|--------|-----|------------|-----------|------|----|
| Jahr | Gesamt | | | < 100 ppm | | |
| | Anzahl | Ø | von—bis | Anzahl | % | Ø |
| 1979 | 29 | 139 | 10 — 1.580 | 25 | 86,2 | 27 |
| 1980 | 60 | 120 | 5,6—1.230 | 53 | 88,3 | 39 |
| 1981 | 71 | 69 | 10 — 890 | 67 | 94,4 | 35 |
| 1982 | 97 | 48 | 8 — 890 | 93 | 95,9 | 32 |
| 1983 | 133 | 64 | 12 — 1.500 | 123 | 92,4 | 39 |

Blei: Auch Blei verursacht in einigen Fällen Probleme, wofür vor allem die Bleikristallwarenerzeugung aber auch die Akkumulatorenindustrie verantwortlich sind.

Tab. 6:

| Blei | | | | | | |
|------|--------|-----|------------|-----------|------|-----|
| Jahr | Gesamt | | | < 500 ppm | | |
| | Anzahl | Ø | von—bis | Anzahl | % | Ø |
| 1979 | 33 | 309 | 14— 1.720 | 27 | 81,8 | 198 |
| 1980 | 60 | 270 | 23— 910 | 52 | 86,7 | 202 |
| 1981 | 70 | 520 | 15— 18.690 | 64 | 91,4 | 176 |
| 1982 | 94 | 387 | 5— 16.980 | 87 | 92,6 | 168 |
| 1983 | 131 | 385 | 11— 10.060 | 119 | 90,8 | 197 |

Zink: Zink weist einen im Vergleich niedrigen Prozentsatz auf, für welchen auch, ähnlich wie bei Nickel, vor allem die Galvanobetriebe und oberflächenbehandelnden Betriebe verantwortlich sind.

Tab. 7:

| Zink | | | | | | |
|------|--------|-------|------------|------------|------|-------|
| Jahr | Gesamt | | | < 2000 ppm | | |
| | Anzahl | Ø | von—bis | Anzahl | % | Ø |
| 1979 | 34 | 2.381 | 40—12.890 | 21 | 61,8 | 1.252 |
| 1980 | 60 | 2.156 | 148—7.860 | 38 | 63,3 | 1.348 |
| 1981 | 71 | 1.733 | 270—10.390 | 58 | 81,7 | 1.350 |
| 1982 | 96 | 1.520 | 160—5.620 | 78 | 81,3 | 1.228 |
| 1983 | 133 | 1.537 | 99—5.430 | 112 | 84,2 | 1.267 |

Chrom: Chrom weist in etwa den gleichen Wert wie Zink auf. Dafür ist vor allem die Lederindustrie mit Chromgerbung, aber auch die Galvanoindustrie verantwortlich.

Tab. 8:

| Chrom | | | | | | |
|-------|--------|-------|-----------|-----------|------|-----|
| Jahr | Gesamt | | | < 500 ppm | | |
| | Anzahl | Ø | von—bis | Anzahl | % | Ø |
| 1979 | 30 | 742 | 16—5.910 | 22 | 73,3 | 65 |
| 1980 | 60 | 2.440 | 8—59.520 | 41 | 68,3 | 100 |
| 1981 | 72 | 975 | 13—24.510 | 60 | 83,3 | 60 |
| 1982 | 92 | 1.568 | 18—54.180 | 82 | 89,1 | 64 |
| 1983 | 135 | 937 | 13—24.380 | 114 | 84,4 | 76 |

Quecksilber: Der Prozentsatz für Quecksilber liegt im Mittel der anderen Schwermetalle und wird, wie wir im letzten Jahr ermitteln konnten, vor allem durch Krankenhausabwässer verursacht.

Tab. 9:

| Quecksilber | | | | | | |
|-------------|--------|---|-------------|----------|------|-----|
| Jahr | Gesamt | | | < 10 ppm | | |
| | Anzahl | Ø | von—bis | Anzahl | % | Ø |
| 1979 | 19 | 3 | 0,19—7,30 | — | — | — |
| 1980 | 49 | 5 | 0,20—30,90 | 42 | 85,7 | 3,0 |
| 1981 | 84 | 3 | 0,04—28,50 | 79 | 94,0 | 2,6 |
| 1982 | 94 | 3 | 0,20—19,00 | 88 | 93,6 | 2,4 |
| 1983 | 131 | 4 | 0,13—126,00 | 121 | 92,3 | 2,4 |

Diese Tabellen täuschen und zeichnen ein wesentlich zu positives Bild. Betrachtet man nämlich die Mengenbilanz, waren von den 195.000 m³ Klärschlamm, welche 1982 angefallen waren, nur rund 36 % geeignet und 15 % bedingt geeignet, zusammen also etwa 51 %. Von den nach Eindickung und Entwässerung verbleibenden 77.500 m³ geeigneten Klärschlammes gingen 70.000 m³ in die Landwirtschaft (Abb. 8 u. Abb. 9).

Wie sieht nun die Situation in Oberösterreich in Bezug auf den Klärschlammfall und die Entsorgung aus?

1982 betrug der Klärschlammfall 195.000 m³. Davon wurden 67.000 m³ (34 %) auf einer kläranlageneigenen Naßschlammdeponie gelagert.

128.000 m³ wurden in Trockenbeeten, Schlammteichen, Silos eingedickt oder maschinell entwässert (Abb. 10).

Somit mußten letztlich 93.000 m³ durch Abfuhr aus der Kläranlage entsorgt werden. 77.500 m³ (83 %) wurden landwirtschaftlich verwertet, 15.500 (17 %) wurden auf Deponien oder nicht landwirtschaftlich genutzte Flächen verbracht (Abb. 11).

Abschließend darf ich feststellen, daß es in Oberösterreich in den letzten Jahren gelungen ist, ein Klima des Vertrauens und der Zusammenarbeit zu schaffen, wofür ich mich bei den Vertretern der Landwirtschaft herzlich bedanken möchte.

Dieses Klima war es vor allem, welches es bis jetzt und ich hoffe auch in Zukunft ermöglicht hat, geeignete Klärschlämme als Dünge- und Bodenverbesserungsmittel an die Landwirtschaft in einer wirtschaftlich vertretbaren Weise abzugeben. Andererseits konnte bis auf ganz wenige Ausnahmen verhindert werden, daß ungeeigneter Klärschlamm landwirtschaftlich verwertet wurde. Es wird für die Zukunft gelten, das bestehende System zu verbessern, ohne durch überzogene Forderungen den technischen, organisatorischen und bürokratischen Aufwand zur Undurchführbarkeit zu treiben.



KLÄRSCHLAMMANALYSE

Fortlaufende Nr.

Entnahmedatum

Analysen-Nr.....

Analysendatum

| | | | | |
|-------------------------------|------------|----|---------|----------------|
| Wassergehalt | % | Mg | mg/kgTS | $g/m^3 S^{++}$ |
| Trockensubstanz | kg/m^3 | Mn | mg/kgTS | $g/m^3 S$ |
| ges.org.Substanz | kg/m^3 | B | mg/kgTS | $g/m^3 S$ |
| pH-Wert | | Co | mg/kgTS | $g/m^3 S$ |
| Leitfähigkeit | mS | Cu | mg/kgTS | $g/m^3 S$ |
| N (Kjeldahl) | mg/kgS^+ | Zn | mg/kgTS | $g/m^3 S$ |
| NH ₄ -N | mg/kgS | Pb | mg/kgTS | $g/m^3 S$ |
| P ₂ O ₅ | mg/kgS | Cr | mg/kgTS | $g/m^3 S$ |
| CaO | mg/kgS | Ni | mg/kgTS | $g/m^3 S$ |
| K ₂ O | mg/kgS | As | mg/kgTS | $g/m^3 S$ |
| | | Hg | mg/kgTS | $g/m^3 S$ |
| | | Cd | mg/kgTS | $g/m^3 S$ |
| | | | | |
| | | | | |

Linz, am

Direktor:
i.A.

+ kgS = kg Schlamm
 ++ $m^3 S$ = m^3 Schlamm

Abb. 6

E I G N U N G S B E S C H E I N I G U N G
=====

Der Klärschlamm der Kläranlage

ist zur landwirtschaftlichen Verwertung geeignet, sofern eine maximale Aus-

bringungsmenge von m³/ha. Jahr auf Acker

..... m³/ha. Jahr auf Wiese

nicht überschritten wird.

In einem Kubikmeter (m³) ist enthalten:

| | |
|---|-------------------------|
| kg Trockensubstanz | g Magnesium (Mg) |
| kg org. Substanz | g Kupfer (Cu) |
| kg Stickstoff (N) | g Zink (Zn) |
| kg Phosphor (P ₂ O ₅) | g Blei (Pb) |
| kg Kalk (CaO) | g Chrom (Cr) |
| kg Kali (K ₂ O) | g Nickel (Ni) |
| | g Quecksilber (Hg) |
| | g Cadmium (Cd) |

Datum der Probenahme:

Analyse durch: BA Linz

Datum der Analyse:

Dieser Eignungsbefund bezieht sich ausschließlich auf die oben angeführte Probe:

Für die o.ö. Landesregierung
im Auftrage

Abb. 7

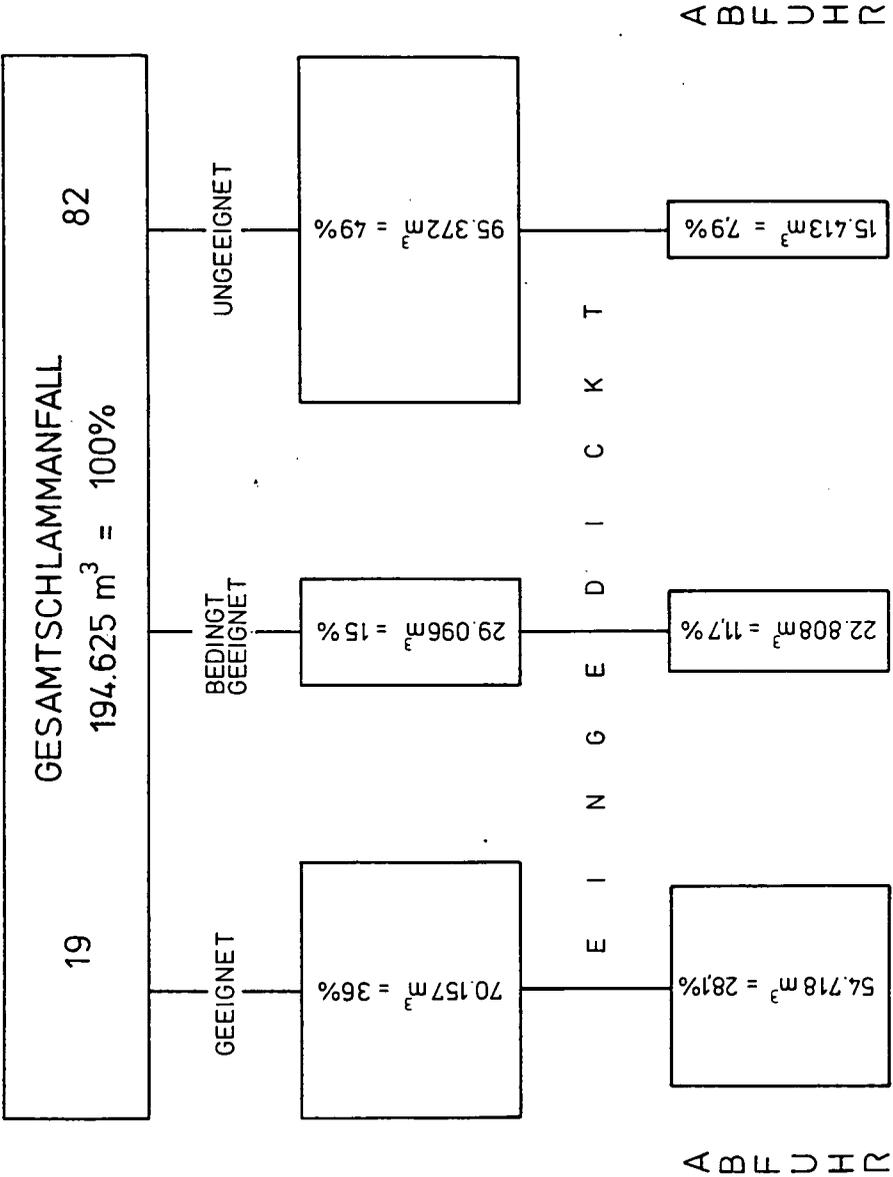
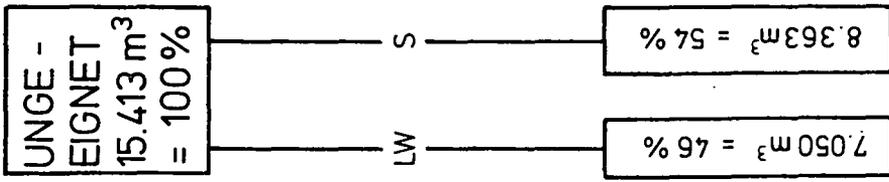


Abb. 8



1 9 8 2

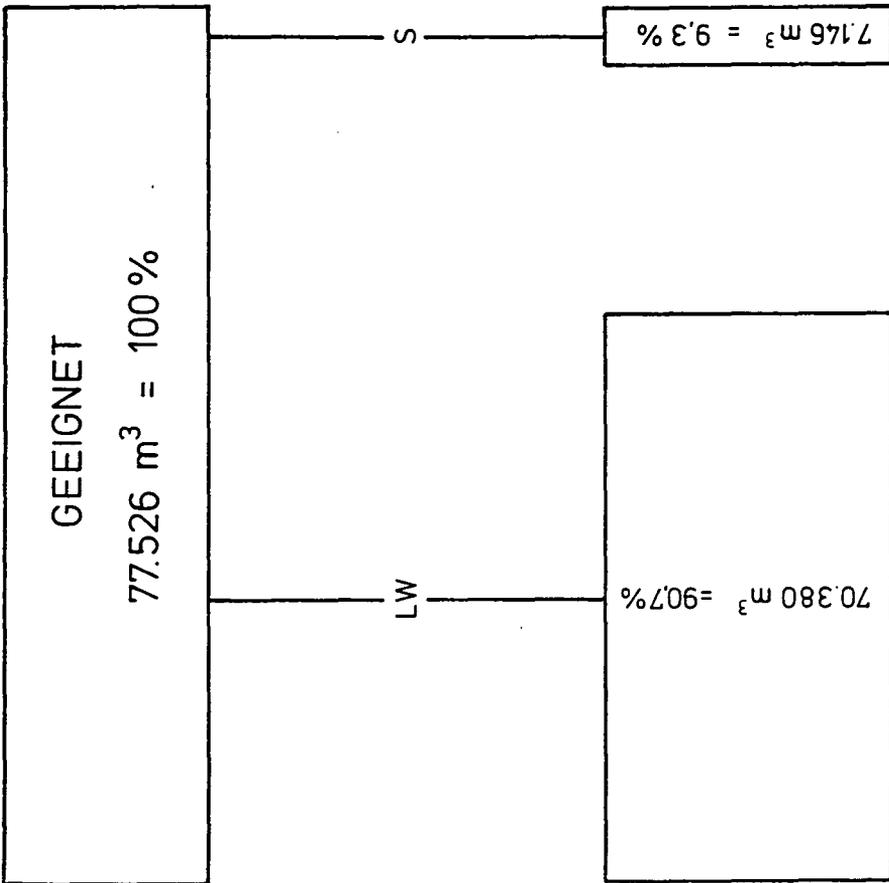


Abb. 9

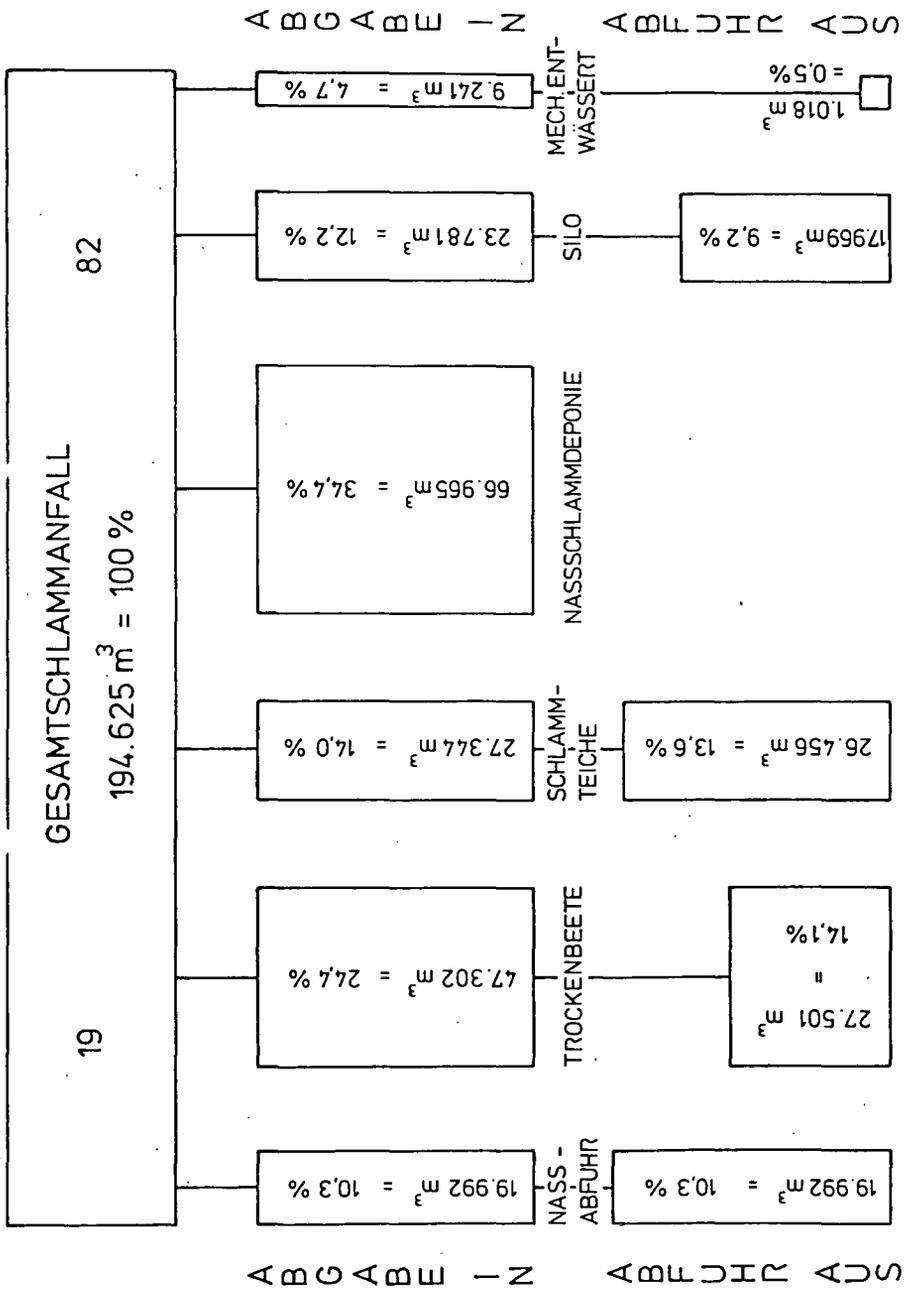


Abb. 10

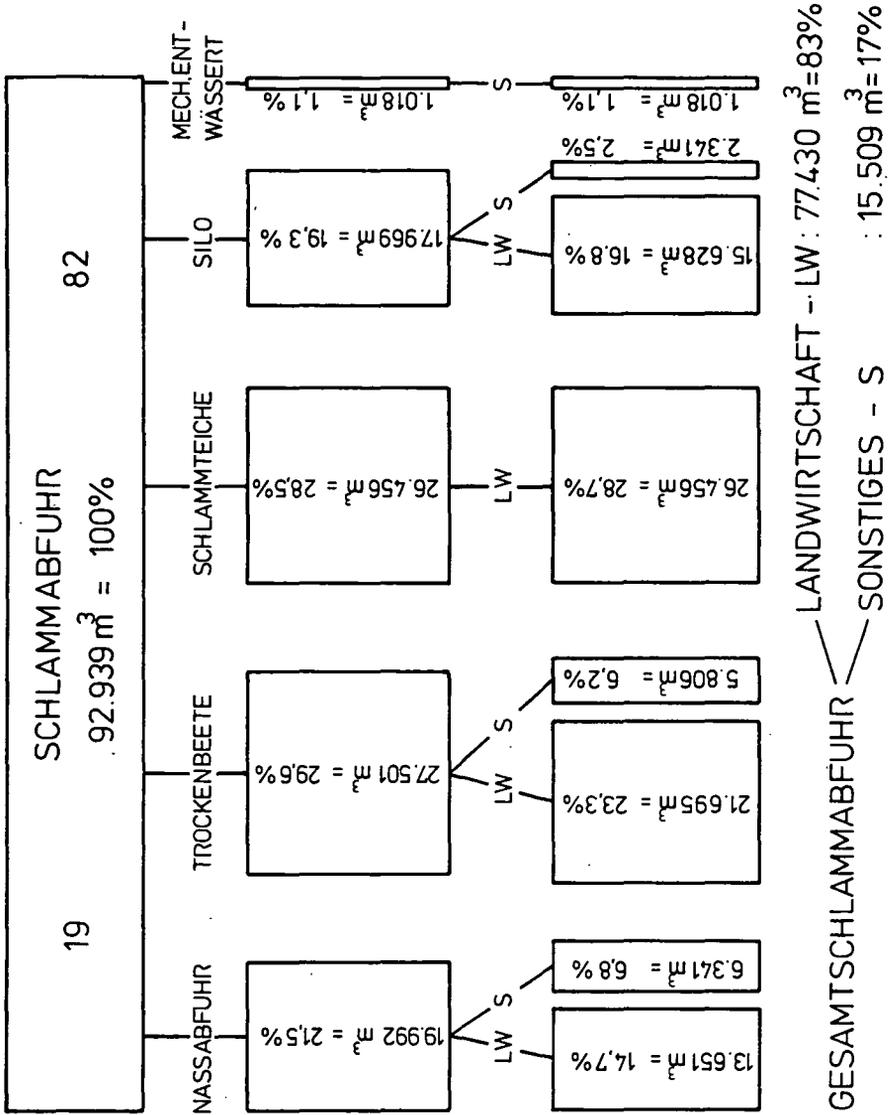


Abb. 11

Erwartungen der Landwirtschaft an die Qualität der Siedlungsabfälle und Forderungen an den Gesetzgeber

E. Maierhofer

Der landwirtschaftliche Betrieb ist seit Bestehen einem internen Zyklus von Produktion aus dem Boden und Rückführung von Abfällen zum Boden unterworfen. Mit zunehmender Marktleistung reicht die Rückführung der biogenen Abfallstoffe des Hofes nicht mehr aus, um den Nährstoffbedarf für die notwendigermaßen steigenden Ernten abzudecken. Es erfordert zunehmend eine Ergänzung des rückliefernden Stromes an biogenen Stoffen durch mineralische Düngemittel.

Heute werden so viele biogene Stoffe aus dem landwirtschaftlichen Betrieb an den urbanen und übrigen Warenbereich abgegeben, daß die Ergänzung des Rückflusses aus dem eigenen Hof durch mineralische Dünger nicht mehr ausreicht, die Bodenfruchtbarkeit ganz zu erhalten. Es müssen mit pflanzenbaulichen Sondermaßnahmen (Strohverwertung, Zwischenfruchtbau, Leguminosenbau etc.) auch zusätzlich biogene Stoffe in den Kreislauf eingebracht werden.

Andererseits fallen in den Urbanbereichen so viele Abfallstoffe an, deren Beseitigung ungemene Kosten und Schwierigkeiten verursacht. Eine Rückführung dieser Abfallstoffe in den biogenen Kreislauf der landwirtschaftlichen Betriebe erscheint daher naheliegend. Die Landwirtschaft bzw. die von einem Manko an biogenen Stoffen betroffenen Betriebe wären an einer Verwertung geeigneter Abfälle der Urbanbereiche zweifellos interessiert. Dem stellt sich jedoch die Tatsache entgegen, daß die Abfallstoffe der Siedlungs- und Industriebereiche nur zu einem geringen Teil aus der Bodenproduktion stammen. Sie sind vermengt mit Abfallprodukten aus vielen anderen Bereichen, wie Industrie, Gewerbe, Verkehr, Haushalt etc., Abfallprodukte, welche Stoffe enthalten, die — in den Boden zurückgebracht — direkte oder indirekte Schädigungen von Boden — Pflanzen — Tier und Mensch verursachen können.

Eine Verwertung der Abfallstoffe durch deren Ausbringung auf landwirtschaftliche Kulturflächen hat demnach bei allem Interesse und allem Verständnis der Landwirtschaft nachstehende, unabdingbare Voraussetzungen:

1. Bestmögliche, womöglich vollkommene Abtrennung nicht biogener Stoffe noch vor der Aufbereitung des Klärschlammes bzw. des Müllrottekompostes.

Eine unvollständige Trennung muß die Schadstoffbelastung so in Grenzen halten, daß ein Einsatz des Klärschlammes oder Müllrottekompostes in Mengen erfolgen kann, die der praxisüblichen Ausbringungstechnik entsprechen und die auch eine positive Wirkung in Bezug auf Nährstoff- und Humusanreicherung erwarten lassen.

2. Eine lückenlose Kontrolle der zur Anwendung in der Landwirtschaft vorgesehenen Abfallprodukte, von der Aufbereitungsstelle angefangen bis zur Anwendung.

Der Kontrollmechanismus muß so organisiert sein, daß er administrierbar ist und eine lückenlose Verfolgung des Klärschlammes bzw. Müllrottekompostes von der durch das Untersuchungsmuster repräsentierten Menge bis zu den damit beschickten Grundstücken ermöglicht.

Die Interessensvertretung der Landwirtschaft ist trotz gelegentlich widersprüchlicher Auffassung der den Klärschlamm bzw. Müllrottekompost beziehenden Landwirte an einer derartigen lückenlosen Kontrollreihe interessiert.

3. Gesetzliche Regelungen, welche neben dem fachlich grundsätzlichen Bereich und dem Kontrollsystem auch die Frage der Schadenshaftung beinhalten.

Vor allem gibt es hier klarzustellen, daß der Bauer von Haftungen nach dem Verursacherprinzip dann befreit wird, wenn er den Klärschlamm bzw. Müllrottekompost den jeweiligen Vorschriften gemäß angewendet hat und sich langfristig nichtvorhersehbare Kontaminationsschäden zeigen. In diesem Fall müßte sogar der Landwirt Recht auf Schadenersatzforderung haben.

Zu diesen Voraussetzungen muß noch die Forderung nach einer verstärkten Anwendungsforschung gestellt werden. Interdisziplinäre, koordinierte Langzeitversuche, welche die gesamte Wirkungskette Boden — Pflanze — Tier — Lebensmittel miteinfassen, müssen — unter Kostendeckung seitens der an der Abfallbeseitigung interessierten Stellen — die fachlichen Voraussetzungen für eine ökonomisch und ökologisch einwandfreie Verwertung erarbeiten.

Selbstverständlich bietet die Landwirtschaft auch diesbezüglich ihre Mitarbeit auf der Ebene bäuerlicher Versuchsansteller und des einschlägigen Fachpersonals an.

Einsatzmöglichkeiten von Bodenkarten bei der Ausbringung von Siedlungsabfällen (besonders von Klärschlamm).

P. Nelhiebel

Die Verwendung von Klärschlamm in der Landwirtschaft wird aufgrund einiger seiner ungünstigen Eigenschaften (Schwermetallbelastung, pathogene Stoffe u. ä. m.) stets ein gewisses Risiko darstellen. Beim Seminar „Verwertung von Siedlungsabfällen aus der Sicht der Landwirtschaft unter besonderer Berücksichtigung der Eignung landwirtschaftlicher Böden“ Anfang Juni 1984 in Linz wurde von der Bundesanstalt für Bodenwirtschaft der Entwurf einer **Klärschlamm-Eignungskarte** vorgestellt, die dazu beitragen könnte, dieses Risiko zukünftig in Grenzen zu halten.

Zunächst ist es wichtig festzuhalten, daß nicht jeder Standort (Boden) gleichermaßen für die Aufbringung von Klärschlamm geeignet sein kann. Die Klärschlamm-Eignung eines Standortes (Bodens) ist von verschiedenen Kriterien abhängig, von denen die wichtigsten der **Österreichischen Bodenkarte 1 : 25.000** entnommen werden können. Ein Boden (Standort) erscheint denn für die Klärschlamm-Aufbringung geeignet, wenn hier Klärschlamm ohne größere Gefährdung der Umwelt aufgebracht werden kann.

Wie bereits erwähnt, vermittelt die Österreichische Bodenkarte 1 : 25.000 eine ganze Reihe wichtiger Informationen, und unsere Aufgabe war es, diese Karte zu einer angewandten Karte umzugestalten. Auf der im Vortrag in Linz präsentierten **Klärschlamm-Eignungskarte der Umgebung von Wallern an der Trattnach** sind die Böden (Standorte) durch verschiedene Farbgebung als **geeignet** — weiß, **bedingt geeignet** — gelb und **nicht geeignet** — rot dargestellt. Aus technischen Gründen wurde der Ausschnitt aus derselben angewandten Karte (Abb. 1) für den vorliegenden Beitrag schwarz-weiß gestaltet und die Eignung der Böden durch unterschiedliche Schraffierungen zum Ausdruck gebracht. Um die Einstufung der Böden vornehmen zu können, mußten die aus der Bodenkarte erfaßbaren und für die Klärschlamm-Eignung relevanten Standorteigenschaften ihrer Gewichtung nach beurteilt, in Relation zueinander gebracht und schließlich zu einer Aussage zusammengefaßt werden.

Aus der Bodenkarte eines Gebietes können folgende für die Eignung eines Bodens als Klärschlamm-Aufbringungsstandort relevante Parameter

erfaßt werden (Siehe auch Legende-Tab. 1 bzw. Erläuterungen zur Legende-Tab. 2):

1. Durchlässigkeit des Bodens
2. Grundwassertiefe
3. Reaktion, pH-Wert des Bodens
4. Hängigkeit des Standortes
5. Erosionsgefährdung des Standortes
6. Belastung des Bodens mit Schwermetallen
7. Wasserverhältnisse des Bodens
8. Meliorationen

Ad 1. Durchlässigkeit des Bodens

Eine **hohe Durchlässigkeit** (bedingt durch eine leichte Bodenart, lockere Lagerung — meist in Verbindung mit einem hohen Grobanteil) läßt eine **Belastung des Grundwassers** befürchten. Selbst wenn sich das Grundwasser in größerer Tiefe befindet und somit eine Beeinträchtigung desselben kaum anzunehmen ist (besonders in Gebieten mit geringen Niederschlägen), ist eine hohe Durchlässigkeit des Bodens als ungünstig zu beurteilen, da die leichte Bodenart eine höhere Pflanzenverfügbarkeit der Elemente und somit der Schwermetalle mit sich bringt, letzteres besonders dann, wenn der Boden einen niedrigen pH-Wert aufweist.

Ad. 2. Grundwassertiefe

Wenn sich das **Grundwasser in geringer Tiefe** befindet, ist bei Aufbringung von Klärschlamm eine **Gefährdung desselben** möglich, vor allem dann, wenn der darüberliegende Boden eine hohe Durchlässigkeit zeigt. Außerdem ist ein hochstehendes Grundwasser zumeist mit dem Auftreten hydromorpher Böden gekoppelt, deren Wasserverhältnisse sich für eine Klärschlamm-Aufbringung als ungünstig erweisen.

Ad. 3. Reaktion, pH-Wert des Bodens

Die Bodenreaktion „**stark sauer**“ bis „**schwach sauer**“ (pH von unter 4.6 bis 6.5) führt zu einer **erhöhten Aufnehmbarkeit** der eventuell in höherem Maße vorhandenen **Schwermetalle**. Ferner beeinflußt die mit einem niedrigen pH-Wert zusammenhängende Kalkfreiheit des Bodens seine Strukturstabilität in negativer Weise.

Ad. 4. Hängigkeit des Standortes

Die Neigungsverhältnisse „**leicht hängig**“ bis „**steilhängig**“ (über 5° und über 20°) wurden als ungünstig beurteilt, da ein **oberflächliches Ab-**

fließen des Klärschlamms und in weiterer Folge eine Beeinträchtigung des Umlandes sowie eventuell des Grundwassers oder der Oberflächenwässer zu befürchten ist.

Ad. 5. Erosionsgefährdung des Standortes

Abschwemmungs- und rutschgefährdete Hänge sowie **überschwemmungs- und überstauungsgefährdete Standorte** wurden als nachteilig eingestuft, da eine Gefährdung des Umlandes, des Grundwassers und eventuell der Oberflächenwässer möglich sein könnte. Es handelt sich vornehmlich um Standorte, die sich in Rutschgebieten und in Gerinnenähe befinden.

Ad. 6. Belastung des Bodens mit Schwermetallen

Da es keine systematischen Untersuchungen auf Schwermetallgehalte in Böden gibt, mußte man in diesem Punkt von Annahmen ausgehen. Als **grundbelastet** wurden z. B. **überschwemmungsgefährdete Standorte** betrachtet, da hier die Böden eventuell erhöhte Schwermetallwerte haben, wie aus fallweise durchgeführten Bodenuntersuchungen hervorgeht. Außerdem zeigen gewisse bodenbildende Substrate (z. B. Flyschgesteine) gleichfalls höhere Schwermetallgehalte. Auch die **Böden** in bekannten **Immissionsgebieten** oder in der Nähe von bestehenden bzw. aufgelassenen Bergbaubetrieben könnten als grundbelastet angesehen werden.

Ad. 7. Wasserverhältnisse des Bodens

Hier wurden jene **Wasserstufen des Bodens**, die vom **nahen Grundwasser** geprägt sind, wie „**gut versorgt**“, „**mäßig feucht**“, „**feucht**“ und „**naß**“, negativ bewertet, da in allen Fällen eine Belastung desselben eintreten könnte. Darüber hinaus ist hier eine weitere Verschlechterung der in den meisten Fällen ohnehin gestörten Strukturverhältnisse der Böden durch flüssigen Klärschlamm anzunehmen. **Tagwasserstau** bei verdichteten, wechselfeuchten Bodenbildungen in Gebieten mit hohen Niederschlägen ist ebenfalls als ungünstig für die Klärschlamm-Eignung zu beurteilen. Es kann dabei zu einer Beeinflussung des seitlich oder hangabwärts ziehenden Stauwassers kommen („**wechselfeucht**“, „**wechselfeucht mit Überwiegen der Feuchtphase**“). Als nachteilig wurden schließlich auch die Wasserverhältnisse „**trocken**“ und „**sehr trocken**“, in Verbindung mit einer hohen Durchlässigkeit des Bodens, eingestuft.

Ad. 8. Meliorationen

Bei Standorten, die durch Meliorationsmaßnahmen, d. h. durch Drainagen bzw. offene Gräben entwässert worden sind, ist eine Gefährdung des Grundwassers und in der Folge auch der Oberflächenwässer zu befürchten, wenn hier Klärschlamm zur Aufbringung gelangt.

Die Beurteilung bzw. Einstufung der Böden (BODENFORMEN-Kartierungseinheiten der Bodenkarte) bezüglich ihrer Eignung für die Klärschlamm-Aufbringung ist am besten aus der Legende zur angewandten Karte (Tab. 1) zu entnehmen. Die Häufung ungünstiger Kriterien war entscheidend für die Einordnung: Dort, wo das Auftreten der negativen Merkmale die Zahl 4 erreicht oder übersteigt (von 8 Parametern), wurde die Bodenform als **nicht geeignet** für die Aufbringung von Klärschlamm klassifiziert. **Bedingt geeignet** sind die Böden mit weniger als 4 und mehr als 2 ungünstigen Eigenschaften (negative Punkte in Klammer wurden als $\frac{1}{2}$ Punkt gezählt, da die betreffende nachteilige Eigenschaft nur für einen Teil der Flächen zutrifft). Die **geeigneten** Bodenformen weisen 2 oder weniger abträgliche Kriterien auf. Grundsätzlich sollte bemerkt werden, daß bei der Beurteilung und Gewichtung der einzelnen Kriterien der Begriff „Vorsicht“ im Vordergrund gestanden ist. In Zweifelsfällen wurde daher jeweils die ungünstigere Einstufung eines Bodens (Standortes) vorgenommen.

Abschließend sollen noch einige Gedanken formuliert werden, die sich mit der praktischen Verwertung von Klärschlamm-Eignungskarten befassen: Die Kläranlagenhalter und die Klärschlammabnehmer sollten dazu verpflichtet werden, im Interesse des Umweltschutzes die Karten zu verwenden. Unter Einhaltung der Vorschriften für seine Verwertung in der Landwirtschaft dürfte Klärschlamm nur auf geeignete sowie bedingt geeignete Flächen aufgebracht werden. Im Falle der bedingt geeigneten Flächen müßten die Vorschriften noch strenger sein, was z. B. durch häufigere Bodenuntersuchungen, geringere Aufbringungsmengen und größere Zeitabstände zwischen den einzelnen Klärschlammgaben verwirklicht werden könnte.

Literatur:

- Bundesanstalt für Bodenkunde, 1974: V. Janik, Bodenkarte, 1 : 25.000, Kartierungsbereich 21 — Eferding.
- Bundesanstalt für Bodenkunde, 1980: J. Bäck, Bodenkarte, 1 : 25.000, Kartierungsbereich 68 — Wels.
- Bundesanstalt für Bodenkunde, 1984: J. Bäck, Bodenkarte, 1 : 25.000, Kartierungsbereich 96 — Grieskirchen.

Angewandte Bodenkarte 1 : 25.000
(Ausschnitt)

Klärschlamm-Eignungskarte der Umgebung von Wallern/Trattnach



Für die Klärschlamm-Aufbringung:

- geeignet
- bedingt geeignet
- nicht geeignet
- Wald

Abb. 1

Tab. 1 Legende zur Klärschlamm-Eignungskarte (Ausschnitt) 1 : 25.000 der Umgebung von Wallern

| Nummer + Symbol | Bodenform | | Parameter | | | | | | | | Eignung | | Anm. |
|-----------------|--|---|-----------|---|-----|----------|----------|----------|---------|-----|-----------------------------|------------------|------|
| | Bodentyp | | D | G | R | H | E | B | W | M | für Klärschlamm-aufbringung | | |
| 1 gGA | vergleyter Grauer Auboden | | — | X | X | — | (X) ü | (X) ü | X mf | — | — | nicht geeignet | — |
| 3 gkBA | vergleyter, kalkhaltiger Brauner Auboden | | — | X | X | — | (X) ü | (X) ü | X mf | — | — | nicht geeignet | — |
| 4 BA | Brauner Auboden | X | X | X | — | (X) ü | (X) ü | — | — | — | — | nicht geeignet | — |
| 11 sTG | kalkfreier Typischer Gley | — | X | X | — | — | — | — | X mf | (X) | — | nicht geeignet | — |
| 13 eLB | entkalkte Lockersediment-Braunerde | — | — | X | X | X | X a | — | — | — | — | bedingt geeignet | 1 |
| 14 sLB | kalkfreie Lockersediment-Braunerde | — | — | X | X | X | X a | — | — | — | — | bedingt geeignet | 1 |
| 15 sLB | kalkfreie Lockersediment-Braunerde | — | — | X | X | X | X a | — | — | — | — | bedingt geeignet | 1 |
| 16 sLB | kalkfreie Lockersediment-Braunerde | X | — | X | (X) | X | X a | — | — | — | — | bedingt geeignet | 2 |
| 20 gsLB | vergleyter, kalkfreie Lockersediment-Braunerde | — | X | X | X | — | — | — | X mf | — | — | bedingt geeignet | — |

Tab. 1 Legende zur Kiärschlamm-Eignungskarte (Ausschnitt) 1:25.000 der Umgebung von Wallern

| Nummer + Symbol | Bodenform | Parameter | | | | | | | | | | Eignung | | Anm. | |
|-----------------|---|-----------|---|---|-----|---|---|---|---|-----------------------------|-----|---------|---|------------------|---|
| | | D | G | R | H | E | B | W | M | für Kiärschlamm-aufbringung | | | | | |
| 21 psLB | pseudovergleyte, kalkfreie Lockersediment-Braunerde | - | - | X | (X) | - | - | - | - | - | - | - | - | geeignet | 2 |
| 22 psLB | pseudovergleyte, kalkfreie Lockersediment-Braunerde | - | - | X | X | a | - | - | - | - | - | - | - | bedingt geeignet | 1 |
| 23 psLB | pseudovergleyte, kalkfreie Lockersediment-Braunerde | - | - | - | X | X | a | - | - | - | - | - | - | geeignet | 1 |
| 24 TP | Typischer Pseudogley | - | - | - | - | - | - | - | - | - | X | w | - | geeignet | 3 |
| 25 TP | Typischer Pseudogley | - | - | X | (X) | - | - | - | - | - | X | w | - | bedingt geeignet | 2 |
| 26 TP | Typischer Pseudogley | - | - | X | - | - | - | - | - | - | X | w | - | bedingt geeignet | - |
| 27 EP | Extremer Pseudogley | - | - | X | - | - | - | - | - | - | X | wf | - | bedingt geeignet | - |
| 28 HP | Hangpseudogley | - | - | X | X | r | - | - | - | - | X | w | - | nicht geeignet | - |
| 29 kKU | kalkhaltiger Kulturrohoden | - | - | - | (X) | X | a | - | - | - | - | - | - | geeignet | 2 |
| 30 sKU | kalkfreier Kulturrohoden | - | - | X | (X) | X | a | - | - | - | (X) | w | - | bedingt geeignet | - |
| 31 sKU | kalkfreier Kulturrohoden | - | - | X | (X) | X | a | - | - | - | - | - | - | bedingt geeignet | 2 |

Tab. 2

Erläuterungen zur Legende

| | |
|--|---|
| Parameter: X = ungünstig für die Aufbringung von Klärschlamm (X) = zum Teil ungünstig für die Aufbringung von Klärschlamm — = nicht ungünstig für die Aufbringung von Klärschlamm | |
| D | Durchlässigkeit des Bodens X = hoch, sehr hoch — = mäßig, gering, sehr gering |
| G | Grundwasser X = Grundwasser in geringer Tiefe — = Grundwasser in größerer Tiefe |
| R | Reaktion, pH-Wert des Bodens X = stark sauer bis schwach sauer (< 4,6 bis 6,5) — = neutral, alkalisch, stark alkalisch (6,6 bis > 8,0) |
| H | Hängigkeit, Relief des Standortes X = leichhängig (6–10°) bis steilhängig (> 20°) — = eben bis schwach geneigt (2–5°) |
| E | Erosionsgefährdung des Bodens X = abschwemmungs-, überschwemmungs-, überstauungs-, wind- und rutschungsgefährdet — = nicht gefährdet |
| B | Belastung mit Schwermetallen (Grundbelastung z. B. durch Überschwemmungen bzw. durch Ausgangsmaterial) X = erhöhte Belastung zu erwarten — = keine Belastung |
| W | Wasserverhältnisse des Bodens X = gut versorgt durch Grundwasser , mäßig feucht, feucht, naß, wechselfeucht, wechselfeucht mit Überwiegen der Feuchtphase, sehr trocken und trocken in Verbindung mit hoher Durchlässigkeit — = gut versorgt, mäßig trocken, trocken, wechselfeucht mit Überwiegen der Trockenphase |
| M | Mellorationen, Dränung X = zumeist gedränt — = nicht gedränt |

Anmerkungen:

- 1 = nur entwässerter Klärschlamm
- 2 = bei Hängigkeit nur entwässerter Klärschlamm
- 3 = Klärschlamm-Aufbringung nur in der Trockenphase

Ergänzende Indizes:

Wasserverhältnisse

mf = mäßig feucht

f = feucht

w = wechselfeucht

wf = wechselfeucht mit Überwiegen der Feuchtphase

Erosionsgefährdung, Belastung

ü = überschwemmungs-, überstauungs-,

a = abschwemmungs-,

r = rutschungsgefährdet

Aufbau und bisherige Ergebnisse des Klärschlamm- und Müllkompostversuches St. Florian

J. Wimmer

Für die schadlose Anwendung von Klärschlamm und Müllkompost in der Landwirtschaft stellt vor allem deren Schwermetallgehalt den entscheidenden begrenzenden Faktor dar. Eine landbauliche Verwertung von Siedlungsabfällen setzt voraus, daß nicht Stoffe in einer Konzentration enthalten sind, die zu einer bedrohlichen Veränderung der natürlichen Gehaltsverhältnisse des Bodens und der Pflanzen führen. Um entsprechende Versuchsergebnisse aus Oberösterreich als Entscheidungshilfe zur Verfügung stellen zu können, wurde 1980 von der Landw.-chem. Bundesanstalt Linz in Zusammenarbeit mit der öö. Landesregierung ein praxisgerechter Feldversuch mit verschiedenen Klärschlamm- und Müllkompostvarianten in St. Florian bei Linz angelegt.

Die Versuchsfrage ist so gestellt, daß vor allem die Anreicherung von Schwermetallen im Boden und in Pflanzen bei Anwendung von verschiedenen belasteten Klärschlämmen und Müllkomposten geprüft wird. Wie der Versuchsaufbau (Tab. 1) zeigt, wird je ein Klärschlamm geprüft, der einseitig über die vorgeschlagenen Grenzwerte hinaus mit den Elementen Chrom, Blei und Zink belastet ist. Als Extrem wird in Variante 3 ein entwässertes Klärschlamm angewendet, der mehrfach mit den Elementen Kupfer, Nickel, Zink und zum Teil auch Blei angereichert ist. Die Aufwandmenge beträgt jährlich 100 m³ Klärschlamm pro Hektar bei einem durchschnittlichen TS-Gehalt von 5 %. Beim entwässerten Klärschlamm in Variante 3 betrug dagegen der durchschnittliche TS-Gehalt 22 %, wodurch in 5 Jahren Trockenmassenmengen ausgebracht wurden, die etwa 22 Beschlämmungsjahren entsprechen würden. Müllkompost wurde in den Varianten 6 und 7 in einer Aufwandmenge von 50 t/ha/Jahr angewendet. Die Schwermetallgehalte im Müllkompost sind zwar geringer als in der Klärschlamm-trockenmasse, da aber der Trockensubstanzgehalt von Müllkompost etwa 70 % beträgt, werden dadurch beträchtliche Schwermetallfrachten auf das Feld gebracht (siehe Tabelle 3). Neben der Klärschlamm- bzw. Müllkompostzufuhr erfolgt eine mittelhohe mineralische Düngung mit Stickstoff und Kali über alle Varianten. Als Versuchsfrüchte wurden bisher in einer Fruchtfolge Winterweizen, Wintergerste, Körnermais und Hafer geprüft.

Tab. 1: Klärschlamm- und Müllkompostversuch St. Florian, Versuchsaufbau

- Prüfglieder
- 1 unbehandelt
 - 2 Klärschlamm — chrombelastet
(Ø Cr.-Gehalt = 11.600 ppm i. TS)
 - 3 Klärschlamm — kupfer-, nickel-, zinkbelastet
(Ø Cu = 3430, Ø Ni = 730, Ø Zn = 2800 ppm i. TS)
 - 4 Klärschlamm — bleibelastet
(Ø Pb = 2200 ppm i. TS)
 - 5 Klärschlamm — zinkbelastet
(Ø Zn = 3440 ppm i. TS)
 - 6 Müllkompost K
(Ø Cu = 440, Ø Zn = 1330, Ø Pb = 750 ppm i. TS)
 - 7 Müllkompost A
(Ø Cu = 350, Ø Zn = 1250, Ø Pb = 820 ppm i. TS)
- Aufwandmenge: 100 m³ Klärschlamm/ha/Jahr
50 t Müllkompost/ha/Jahr

Die organische Substanz, die bei Klärschlamm etwa 50 % und bei Müllkompost etwa 20 % des Feststoffanteils ausmacht, sowie die Pflanzennährstoffe Stickstoff und Phosphor sind im wesentlichen jene Bestandteile, deretwegen ein Landwirt eventuell bereit ist, Siedlungsabfälle auf seinem Acker anzuwenden (KÖCHL, 1980). Laut Tabelle 2 erfolgte bei den Klärschlammvarianten eine beträchtliche Nährstoffzufuhr mit Stickstoff und Phosphor, zum Teil auch mit Calcium, während die Kalimengen eher gering sind. Bei den Müllkompostvarianten wurden auch hohe Kali- und Kalkmengen ausgebracht. Durch die hohe organische Bindungsrate ist zwar die Verfügbarkeit der Nährstoffe eingeschränkt, der Pflanzenbedarf kann jedoch bei Phosphor meist zur Gänze und bei Stickstoff zum Teil abgedeckt werden.

Tab. 2: Bisherige Nährstoffzufuhr durch Klärschlamm- bzw. Müllkompostdüngung (5 Jahre) in kg/ha

| Var. | TS (t/ha) | N | P ₂ O ₅ | K ₂ O | CaO |
|------|--------------|------|-------------------------------|------------------|--------|
| KS 2 | 28 | 987 | 761 | 101 | 1.878 |
| KS 3 | 109 | 2098 | 6217 | 162 | 16.950 |
| KS 4 | 30 | 910 | 893 | 96 | 3.526 |
| KS 5 | 27 | 1395 | 2327 | 133 | 4.266 |
| MK 6 | 182 | 1047 | 1437 | 2077 | 17.218 |
| MK 7 | 167 | 1118 | 1192 | 1715 | 22.779 |

Je nach der spezifischen Belastung des angewendeten Klärschlammes bzw. Müllkompostes wurden dem Boden in 5 Jahren auch beträchtliche Mengen an Schwermetallen zugeführt. So betrug laut Tabelle 3 in 5 Jahren die Zufuhr pro ha in Variante 2 268 kg Cr/ha, in Variante 3 397 kg Cu, 80 kg

Ni, 318 kg Zn und 59 kg Pb, in Variante 4 68 kg Zn und 72 kg Pb, in Variante 5 92 kg Zn. Wie schon erwähnt, erreicht die Schwermetallzufuhr bei den Müllkompostvarianten vor allem wegen der hohen Trockensubstanzmengen ein beträchtliches Ausmaß (> 200 kg Zn/ha, 140 kg Pb/ha). Diese in der Tabelle 3 angegebenen Mengen gehen auch bei den Elementen Cu und Zn weit über die üblichen Richtwerte für eine eventuell notwendige Spurenelementdüngung hinaus.

Tab. 3: Bisherige Schwermetallzufuhr durch Klärschlamm- bzw. Müllkompostdüngung (5 Jahre) in kg/ha

| Var. | Cu | Ni | Zn | Cr | Pb |
|------|-----|----|-----|-----|-----|
| KS 2 | 6 | 1 | 58 | 268 | 6 |
| KS 3 | 397 | 80 | 318 | 30 | 59 |
| KS 4 | 11 | 4 | 68 | 7 | 72 |
| KS 5 | 6 | 1 | 92 | 2 | 5 |
| MK 6 | 82 | 12 | 242 | 19 | 136 |
| MK 7 | 58 | 12 | 212 | 23 | 144 |

Es ergibt sich nun die Frage, inwieweit dieser Nährstoff- bzw. Schwermetalleintrag in der Bodenuntersuchung nachweisbar ist. Nach dem 1. und 2. Versuchsjahr zeigten sich mit Ausnahme des Nitratstickstoffes noch keine Unterschiede in den Bodenanalysendaten. Ab dem 3. Anwendungsjahr konnten jedoch bereits deutliche Veränderungen festgestellt werden. Die Tabellen 4 und 5 zeigen die Bodenanalysen nach 5jähriger Klärschlamm- bzw. Müllkompostanwendung. Die Daten korrespondieren sehr gut mit den zugeführten Nährstoff- bzw. Schwermetallmengen. Nachdem in den Varianten 3, 6 und 7 durchschnittliche CaO-Mengen von jährlich 3000 bis 4000 kg/ha zugeführt wurden, stieg der pH-Wert bis 7,1 an. In Variante 3 stieg der pflanzenverfügbare P_2O_5 -Gehalt (nach CAL-Auszug) bis 50 mg % an, nachdem durch die Klärschlammdüngung eine jährliche P_2O_5 -Zufuhr von durchschnittlich 1200 kg pro ha erfolgte. Der K_2O -Gehalt im Boden wurde nur durch die Müllkompostdüngung angehoben. Durch die hohe Zufuhr an organischer Substanz und Gesamtstickstoff wurde bei allen Varianten der Humusgehalt, sowie der pflanzenverfügbare Stickstoffgehalt (N_{min}) deutlich angehoben. Die im Frühjahr bis 90 cm Bodentiefe bestimmten Nitratwerte lagen bei den Düngungsvarianten um 26 bis 56 kg/ha höher als bei der Kontrollparzelle und bewirkten im wesentlichen die bei den einzelnen Versuchsfrüchten festgestellten Ertragserhöhungen.

Die Schwermetallgehaltswerte im Boden (Tab. 5) wurden je nach der Ausgangsbelastung des verwendeten Klärschlammes bzw. Müllkompostes nach 5 Anwendungsjahren um das 1,5 bis 3fache der natürlichen Kon-

trollwerte angehoben. Besonders sticht hierbei die Extremvariante 3 mit stark erhöhten Cu-, Zn-, Ni- und Pb-Werten hervor. Auch bei den Müllkompostvarianten ergaben sich starke Anhebungen der Cu-, Zn- und Pb-Gehaltswerte im Boden. Die Schwermetall-Grenzwerte im Boden nach KLOKE (1980) (Zn = 300, Cu = 100, Cr = 100, Ni = 50, Pb = 100 ppm), nach denen beispielsweise nach der deutschen Klärschlammverordnung keine Klärschlammdüngung mehr erlaubt ist, wurden mit Ausnahme bei Nickel in Variante 3 bei den übrigen Varianten noch nicht erreicht. Da jedoch dem Schwermetalleintrag in den Folgejahren keine nennenswerte Reduktion über Entzug oder Auswaschung gegenübersteht, sind diese Anreicherungen im Boden bis zum Dreifachen des natürlichen Gehaltes als nahezu irreversibel und daher als kaum verantwortbar einzustufen.

Wie diese Ergebnisse außerdem zeigen, wäre die Bodenuntersuchung durchaus in der Lage, eine mehrjährig durchgeführte, mißbräuchliche Anwendung von belasteten Klärschlämmen nachzuweisen, vorausgesetzt, daß die natürlichen Schwermetallgehaltswerte im betreffenden Gebiet bekannt sind. Für Oberösterreich wurden diesbezügliche Untersuchungen über die natürlichen Schwermetallgehaltswerte in Böden verschiedener Landschaftsräume von AICHBERGER u. Mitarb. (1982) durchgeführt. Dabei zeigte sich, daß sich mit Ausnahme von Nickel 95 % der Proben unterhalb der halben tolerierbaren Schwermetallkonzentration nach KLOKE befanden.

In der Pflanzenanalyse konnten ebenfalls erst im 3. Versuchsjahr wesentliche Erhöhungen im Schwermetallgehalt festgestellt werden. Laut Tabelle 6 stieg bei grünen Maispflanzen der Zinkgehalt bei allen Klärschlamm- und Müllkompostvarianten um 58 bis 187 % des Grundgehaltes der Kontrollparzelle an. Auch der Nickel- und Chromgehalt wurde bei den entsprechend belasteten Varianten deutlich angehoben, während der Kupfer- und Bleigehalt im wesentlichen unbeeinflußt blieb. Ähnliche Verhältnisse zeigten sich auch beim Maisstroh zum Zeitpunkt der Ernte, wobei vor allem der Zn-Gehalt etwa zweifach im Vergleich zur Kontrolle erhöht war. In den Maiskörnern war dagegen der Zn-Gehalt nur mehr geringfügig um 7 bis 30 % zum Grundgehalt angehoben (Tabelle 7). Im 4. Versuchsjahr wurde entsprechend Tabelle 8 bei Hafergrünpflanzen in Variante 3 ein etwa doppelter Nickelgehalt festgestellt. Der Gehalt an Kupfer, Zink und Blei war bei einzelnen Varianten leicht angehoben. Der erhöhte Nickelgehalt war zur Zeit der Ernte auch in den Hafer-Kornproben deutlich nachweisbar (Tabelle 9).

Insgesamt gesehen erwiesen sich besonders die Elemente Zink und Nickel in diesem Versuch als leicht pflanzenaufnehmbar und führten zur

Tab. 4: Bodenuntersuchung nach 5jähriger Klärschlamm- bzw. Müllkompostanwendung

| Var. | pH | mg % CAL | | Humus % | Nmin kg/ha |
|--------|-----|-------------------------------|------------------|------------|---------------|
| | | P ₂ O ₅ | K ₂ O | | |
| Kontr. | 6,3 | 9 | 7 | 1,6 | 21 |
| KS 2 | 6,4 | 7 | 7 | 1,6 | 49 |
| KS 3 | 7,0 | 50 | 7 | 2,1 | 63 |
| KS 4 | 6,5 | 10 | 6 | 1,9 | 77 |
| KS 5 | 6,4 | 13 | 7 | 1,8 | 72 |
| MK 6 | 7,0 | 12 | 10 | 1,5 | 62 |
| MK 7 | 7,1 | 9 | 11 | 1,8 | 47 |

Tab. 5: Bodenuntersuchung nach 5jähriger Klärschlamm- bzw. Müllkompostanwendung (Schwermetalle)

| Var. | ppm | | | | | | | |
|--------|-----|----|----|-----|----|----|----|----|
| | Cu | | Zn | | Ni | Cr | Pb | |
| | L | A | L | A | | | | |
| Kontr. | 10 | 31 | 7 | 72 | 41 | 32 | | 30 |
| KS 2 | 11 | 31 | 14 | 82 | 39 | 70 | | 31 |
| KS 3 | 48 | 84 | 49 | 123 | 54 | 39 | | 40 |
| KS 4 | 11 | 33 | 14 | 83 | 40 | 33 | | 45 |
| KS 5 | 9 | 34 | 19 | 91 | 42 | 33 | | 34 |
| MK 6 | 17 | 44 | 30 | 111 | 43 | 35 | | 48 |
| MK 7 | 13 | 41 | 22 | 108 | 42 | 38 | | 53 |

L = EDTA löslich

A = Aufschluß

Tab. 6: Veränderungen des Schwermetallgehaltes in grünen Maispflanzen nach 3jähriger Klärschlamm- bzw. Müllkompostdüngung (Angaben in % des Kontrollgehaltes)

| Variante | Cu | Zn | Ni | Cr | Pb |
|-------------------------------|------|------|-----|-----|-----|
| Kontrolle (in ppm = 100 %) | 10,1 | 28,8 | 2,3 | 1,5 | 5,1 |
| KS 2 | 100 | 219 | 117 | 140 | 102 |
| KS 3 | 113 | 287 | 178 | 107 | 106 |
| KS 4 | 101 | 271 | 109 | 107 | 106 |
| KS 5 | 100 | 228 | 117 | 120 | 108 |
| MK 6 | 86 | 177 | 91 | 107 | 98 |
| MK 7 | 80 | 158 | 91 | 100 | 96 |

Tab. 7: Veränderungen des Schwermetallgehaltes in Maiskörnern nach 3jähriger Klärschlamm- bzw. Müllkompostdüngung (Angaben in % des Kontrollgehaltes)

| Variante | Cu | Zn | Ni | Cr | Pb |
|-------------------------------|-----|------|------|------|------|
| Kontrolle (in ppm = 100 %) | 2,4 | 21,7 | <0,5 | <0,2 | 0,31 |
| KS 2 | 92 | 117 | 100 | 100 | 84 |
| KS 3 | 100 | 115 | 100 | 100 | 116 |
| KS 4 | 96 | 130 | 100 | 100 | 116 |
| KS 5 | 88 | 115 | 100 | 100 | 100 |
| MK 6 | 92 | 111 | 100 | 100 | 94 |
| MK 7 | 92 | 107 | 100 | 100 | 100 |

Tab. 8: Veränderungen des Schwermetallgehaltes in grünen Haferpflanzen nach 4jähriger Klärschlamm- bzw. Müllkompostdüngung (Angaben in % des Kontrollgehaltes)

| Variante | Cu | Zn | Ni | Cr | Pb |
|-------------------------------|------------|------------|------------|-----|------------|
| Kontrolle (in ppm = 100 %) | 5,1 | 19,6 | 1,5 | 0,1 | 0,8 |
| KS 2 | 123 | 104 | 100 | 100 | 98 |
| KS 3 | 133 | 117 | 207 | 100 | 146 |
| KS 4 | 94 | 118 | 73 | 100 | 91 |
| KS 5 | 106 | 98 | 80 | 100 | 94 |
| MK 6 | 100 | 92 | 113 | 100 | 107 |
| MK 7 | 100 | 94 | 120 | 100 | 99 |

Tab. 9: Veränderungen des Schwermetallgehaltes in Haferkörnern nach 4jähriger Klärschlamm- bzw. Müllkompostdüngung (Angaben in % des Kontrollgehaltes)

| Variante | Cu | Zn | Ni | Cr | Pb |
|-------------------------------|-----|------------|------------|------|------|
| Kontrolle (in ppm = 100 %) | 4,4 | 24,0 | 0,8 | <0,5 | 0,09 |
| KS 2 | 91 | 106 | 63 | 100 | 55 |
| KS 3 | 118 | 114 | 400 | 100 | 100 |
| KS 4 | 107 | 103 | 75 | 100 | 122 |
| KS 5 | 107 | 112 | 63 | 100 | 55 |
| MK 6 | 105 | 152 | 125 | 100 | 122 |
| MK 7 | 105 | 115 | 75 | 100 | 67 |

Anreicherung vor allem in vegetativen Pflanzenorganen. Gemessen an der Schwankungsbreite der Gehaltswerte unter verschiedenen Kulturarten und Bodenbedingungen sind diese Erhöhungen zwar als noch nicht bedenklich einzustufen, doch geben sie einen Hinweis darauf, daß es bei langjähriger Anwendung belasteter Klärschlämme und zunehmender Mineralisierung im Boden auch zu eklatanten Gehaltszunahmen kommen könnte. Zink ist beispielsweise sehr stark an die organische Substanz gebunden und wird bei deren Abbau zusehends pflanzenverfügbar. Zink wird außerdem auf Böden mit niedrigem pH-Wert in erhöhtem Maße von Pflanzen aufgenommen.

Der vorliegende Versuch war nicht dazu angelegt, die Einzelnährstoffwirkung von Klärschlamm und Müllkompost im Vergleich zu Mineraldüngern abzutesten. Die in der Tabelle 10 ausgewiesenen Ertragssteigerungen können daher nur als Nährstoffsummenwirkung der Klärschlamm- bzw. Müllkompostdüngung interpretiert werden. Wie schon erwähnt, dürften die trotz einer mittelhohen, mineralischen Zusatzdüngung erzielten Mehrerträge großteils auf die durch die Klärschlamm- bzw. Müllkompostdüngung erfolgte Zufuhr an organischer Substanz und langsam nachlieferbaren, pflanzenverfügbarem Stickstoff zurückzuführen sein. Durch Klär-

Tab. 10: Klärschlamm- und Müllkompostversuch St. Florian, Kornerträge in rel. % zur Kontrolle

| Variante | 1980 Winterweizen | 1981 Wintergerste | 1982 Körnermais | 1983 Hafer |
|-------------------------------|----------------------|----------------------|--------------------|---------------|
| Kontrolle in dt/ha = 100 % | 81,9 | 51,6 | 103,3 | 66,2 |
| KS 2 | 105 | 118 | 112 | 110 |
| KS 3 | 102 | 122 | 112 | 100 |
| KS 4 | 103 | 117 | 109 | 110 |
| KS 5 | 103 | 125 | 112 | 118 |
| MK 6 | 102 | 108 | 105 | 111 |
| MK 7 | 102 | 109 | 104 | 107 |

schlammdüngung wurden die Winterweizenenerträge um durchschnittlich 3 %, die Wintergerstenerträge um 21 %, die Körnermaiserträge um 11 % und die Hafererträge um 10 % angehoben. Bei Müllkompostdüngung waren die Ertragszuwächse um etwa die Hälfte niedriger. Dies ist ein Hinweis darauf, daß hier Stickstoff in geringerem Maße pflanzenverfügbar wird, wie auch durch N_{\min} -Untersuchungen nachgewiesen werden konnte.

Zusammenfassend gesehen zeigte sich in diesem Versuch zwar eine gute Düngerwirkung von Klärschlamm und Müllkompost vor allem auf Grund der Zufuhr von organischer Substanz, Stickstoff und Phosphor. Daneben kam es jedoch trotz der kurzen Versuchsdauer von 5 Jahren zu beträchtlichen, irreversiblen Anhebungen der Schwermetallgehaltswerte von Cu, Zn, Pb, Ni und Cr im Boden, wobei sich Zink und Nickel auf diesem mittelschweren Boden als leicht pflanzenaufnehmbar erwiesen. Eine, auch kurzfristige Anwendung von Klärschlämmen in der Landwirtschaft, die mit Schwermetallen über die vorgeschlagenen Grenzwerte nach DE HAAN (1975) hinaus belastet sind, ist daher abzulehnen.

Literatur:

- Aichberger, K., Bachler, W. und Pichler, H.: Schwermetalle in Böden Oberösterreichs und deren Verteilung im Bodenprofil. Landw. Forschung, SH 38, 350—362, 1982.
- de Haan, S.: Land application of liquid municipal waste-water sludges. J. Water Pollution Control Fed. 47, 2707—2710, 1975.
- Kloke, A.: Orientierungsdaten für tolerierbare Gesamtgehalte einiger Elemente in Kulturböden. Mitt. VDLUFA, Heft 1—3, 1980.
- Köchli, A.: Anwendung und Auswirkung der Klärschlammdüngung. Vortrag Wintertagung 1980, Österr. Gesellschaft für Land- und Forstwirtschaftspolitik, 179—206, 1980.

Bodenenzymatische Untersuchungen beim Versuch St. Florian

R. Öhlinger

1. Einleitung und Zielsetzung:

Neben der Bestimmung gängiger chemischer u. physikalischer Bodenparameter wird es heute immer mehr zur Gepflogenheit, bei verschiedenen Versuchsfragen mit bestimmten Methoden auch das Bodenleben zu untersuchen. Der Boden beherbergt eine Vielzahl verschiedenster Organismen, die für wichtige Stoffumsetzungen verantwortlich sind. Für einen fruchtbaren Boden ist der Abbau von organischer Substanz und die damit gewährleistete Humusversorgung ein wesentliches Merkmal. Für diese Abbauvorgänge sind in erster Linie Bakterien und Pilze verantwortlich. In Ermangelung guter mikrobiologischer bzw. enzymatischer Methoden hat man früher ein großes Schwergewicht auf die Auszählung von verschiedenen Bakterien- und Pilzgruppen gelegt. Solche Keimzahlbestimmungen dürften heute als überwunden gelten. Durch den rapiden Fortschritt in der Mikrobiologie und Biochemie in den letzten 30 Jahren sind uns auch bessere Möglichkeiten in die Hand gegeben worden, die sogenannte biologische Aktivität eines Bodens zu erfassen. Heute wird nicht mehr danach gefragt, wieviele Organismen im Boden sind, sondern, was sie unter bestimmten Bedingungen (noch) leisten können. Es ist eine Bestimmung der gesamten stoffwechselaktiven mikrobiellen Biomasse mit Hilfe indirekter physiologischer Methoden möglich geworden. Ebenso geben bodenenzymatische Aktivitätsmessungen einen guten Einblick in das damit erfaßte Bodenleben.

Bei diesem Versuch wird untersucht, ob Schwermetall-belastete Siedlungsabfälle auf wichtige physiologische Umsetzungen der Bodenmikroflora Einfluß haben.

2. Material und Methoden:

Die Probenahme erfolgte von 0—15 cm Bodentiefe. Die Proben wurden zum Teil im naturfeuchten Zustand (Dehydrogenase, Protease, CO₂-Freisetzung und Biomasse-C) bzw. im lufttrockenen Zustand (Katalase, Urea-

se und β -Glucosidase) analysiert. Folgende biologische Parameter wurden getestet:

- Dehydrogenase (THALMANN, 1967) Substrat: Triphenyltetrazoliumchlorid
- CO_2 -Freisetzung (ISERMAYER, 1952)
- Protease (LADD und BUTLER, 1972) Substrat: Natriumcaseinat
- Biomasse-C (ANDERSON und DOMSCH, 1977) Substrat: Glucose
- Katalase (BECK, 1971) Substrat: Wasserstoffperoxid
- Urease (TABATABAI und BREMNER, 1972) Substrat: Harnstoff
- β -Glucosidase (HOFFMANN und DEDEKEN, 1965) Substrat: Salicin

3. Ergebnisse und Diskussion:

In den folgenden Abbildungen sind für die einzelnen Klärschlamm (KS)- und Müllkompost (MK)-Varianten die prozentuellen Unterschiede ($\Delta\%$) in den Enzymaktivitäten zwischen Kontrolle und Variante aufgezeigt.

Nach fast 3jähriger Beobachtung besitzen die aufgebrachten belasteten Siedlungsabfälle keine abgesichert negative Wirkung auf das Bodenleben. Bei den Untersuchungen wurde überwiegend eine Förderung der Aktivitäten festgestellt. Die Depressionen in der Dehydrogenasenaktivität und zum Teil auch jene bei der Urease können Indikatoren für eine verspätete hemmende und toxische Wirkung der Schwermetalle auf wichtige physiologische Vorgänge sein. Diese Beobachtungen bedürfen aber wegen ihrer Singularität noch näherer Untersuchungen.

Es ist jedoch aus folgenden Gründen die grundsätzliche Schlußfolgerung unzulässig, daß Schwermetall-belastete Siedlungsabfälle keinen negativen Einfluß auf Bodenenzymaktivitäten ausüben würden:

- Schwermetalle können Enzyme aktivieren und hemmen, vorausgesetzt sie liegen in Lösung vor. Im Klärschlamm liegen die Metalle meist in ungelöster Form vor bzw. in organometallischen Verbindungen.
- Die Schwermetalle werden wegen chemischer Bindung an Bodenmaterialien biologisch rasch wirkungslos. Sie werden aber auch kaum bei mittel bis schweren Böden in die Tiefe verlagert.
- Bei der Klärschlammausbringung fallen auch größere Mengen an organischen und mineralischen Nährstoffen an, die die reine Schwermetallwirkung, wie sie in Gefäßversuchen deutlich zu beobachten ist, überlagern und maskieren. Die Wirkung wird durch Zufuhr von organischer Substanz entweder vermindert, aufgehoben oder übertroffen.
- Durch die Zufuhr von belastetem Schlamm und Müllkompost auf landwirtschaftlich genutzte Böden ist derzeit noch keine wesentliche Ein-

schränkung der Enzymaktivitäten zu beobachten gewesen (BECK, 1981, BECK und SÜSS, 1979). Werden auch die gefährlichen Schwermetalle durch die Absorptionskraft dieses Bodens abgefangen, so steckt dennoch ein toxisches Potential im Boden, das durch Standortveränderungen verschiedenster Art unkontrollierbare negative Folgeaktionen bewirken kann.

Literatur:

- Anderson, J. P. E. und Domsch, K. H.: *Soil. Biol. Biochem.* **10**, 215—221 (1978)
- Beck, Th.: *Z. Pflanzenernähr. Bodenkunde* **130**, 68—81 (1971)
- Beck, Th.: *Z. Pflanzenernähr. Bodenkunde* **144**, 613—627 (1981)
- Beck, Th. und Süß, A.: *Z. Pflanzenernähr. Bodenkunde* **142**, 299—309 (1979)
- Hoffmann, G. und Dedeken, M.: *Z. Pflanzenernähr. Düng. Bodenk.* **108**, 193—198 (1965)
- Isermayer, H.: *Z. Pflanzenernähr. Düng. Bodenk.* **56**, 26—28 (1952)
- Ladd, J. N. und Butler, J. H. A.: *Soil Biol. Biochem.* **4**, 19—30 (1972)
- Tabatabai, M. A. und Bremner, J. N.: *Soil. Biol. Biochem.* **4**, 479—487 (1972)
- Thalman, A.: *Diss. Univ. Gießen*, (1967)

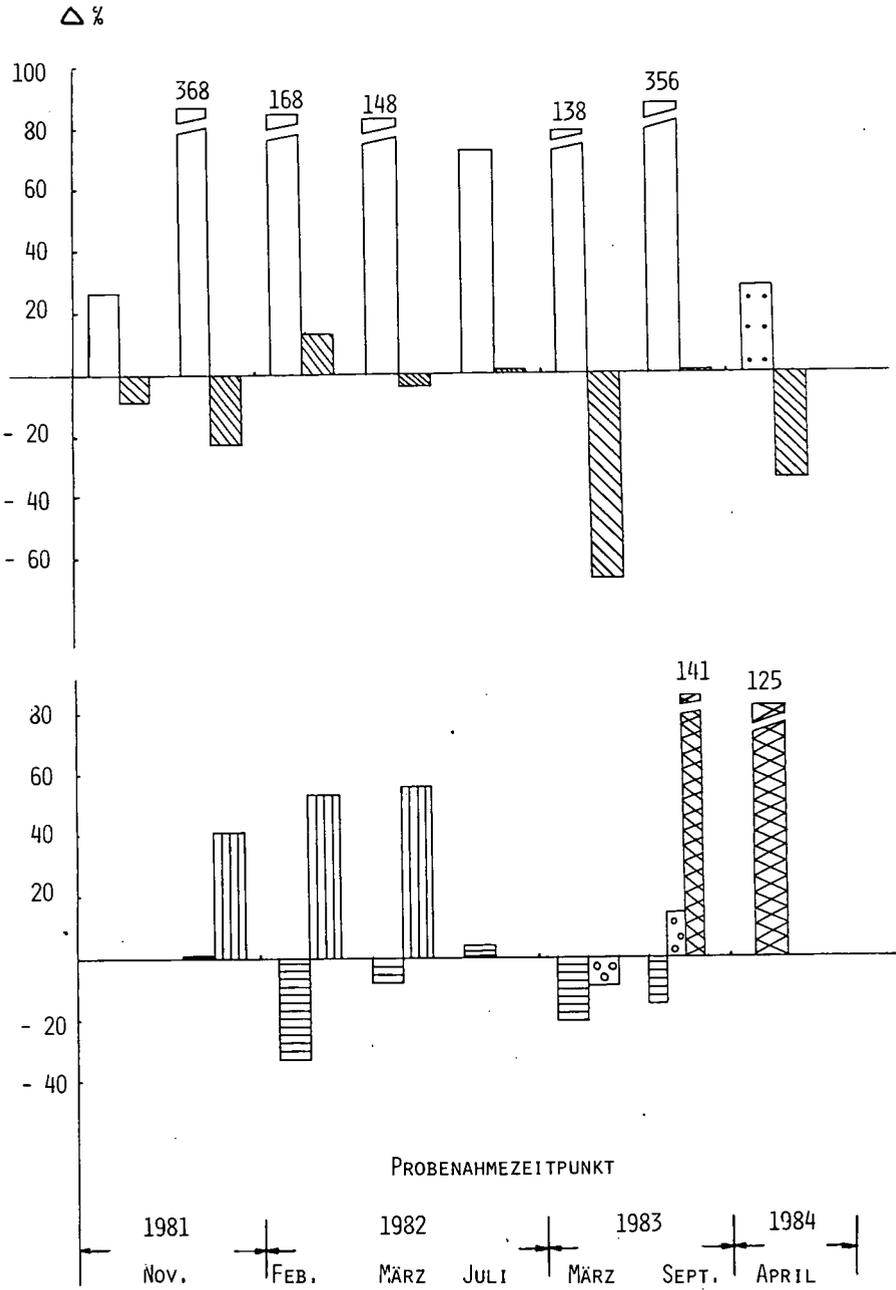


Abb. 1: Δ % in den Enzymaktivitäten zwischen Kontrolle und KS 2 (Cr-belastet)

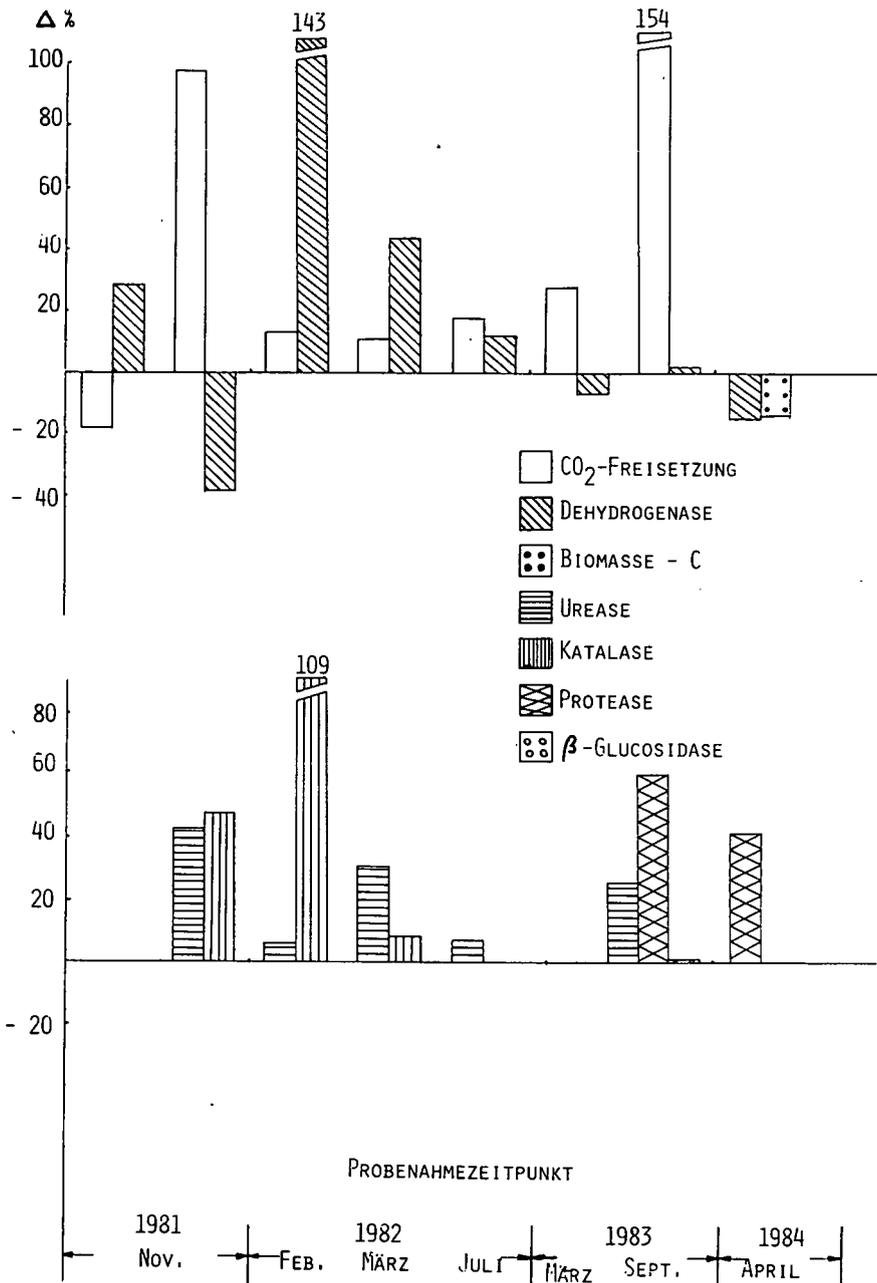


Abb. 2: $\Delta\%$ in den Enzymaktivitäten zwischen Kontrolle und KS 3 (Zn-, Ni- und Cu-belastet)

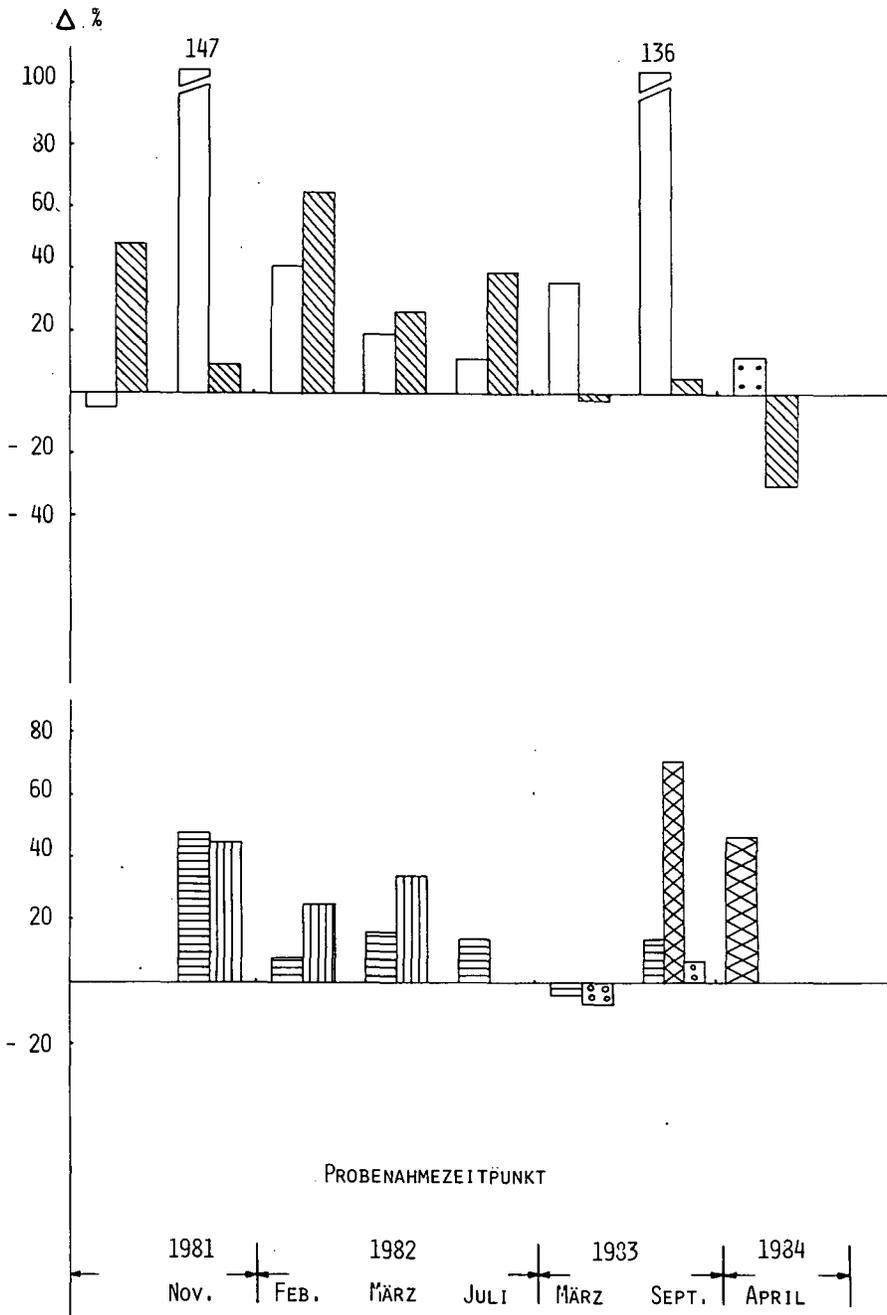


Abb. 3: Δ % in den Enzymaktivitäten zwischen Kontrolle und KS 4 (Pb-belastet)

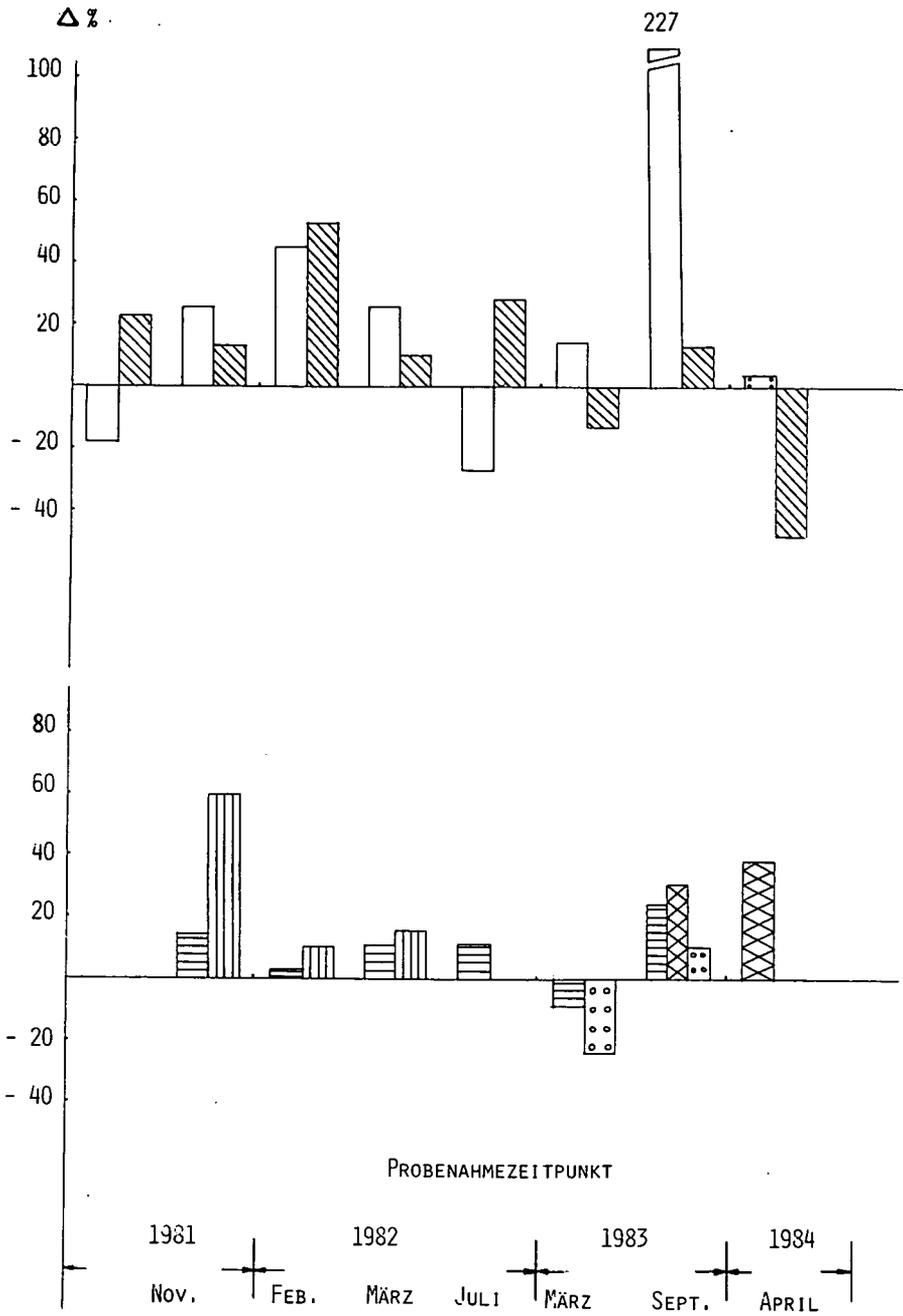


Abb. 4: $\Delta\%$ in den Enzymaktivitäten zwischen Kontrolle und KS 5 (Zn-belastet)

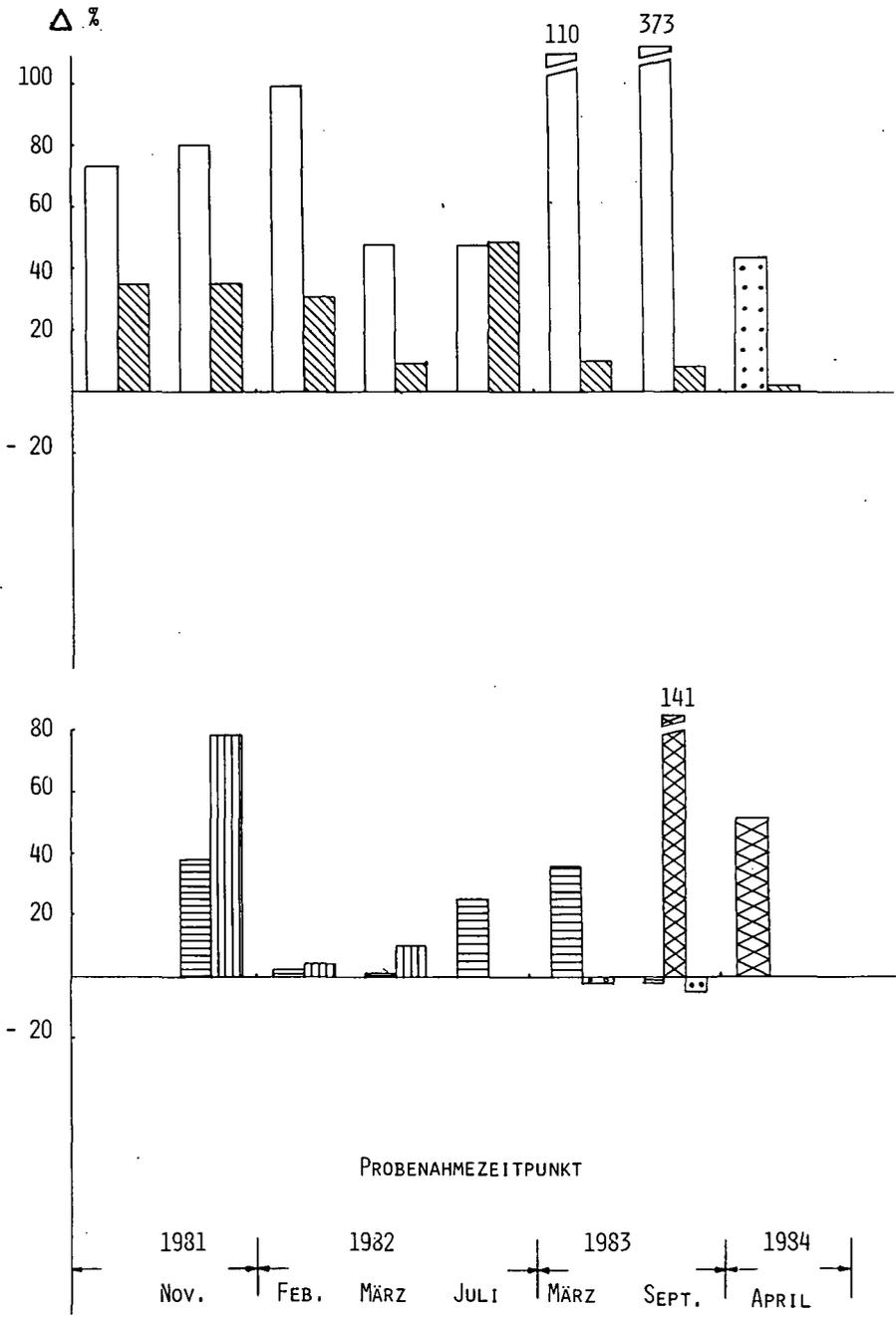


Abb. 5: $\Delta \%$ in den Enzymaktivitäten zwischen Kontrolle und MK-K

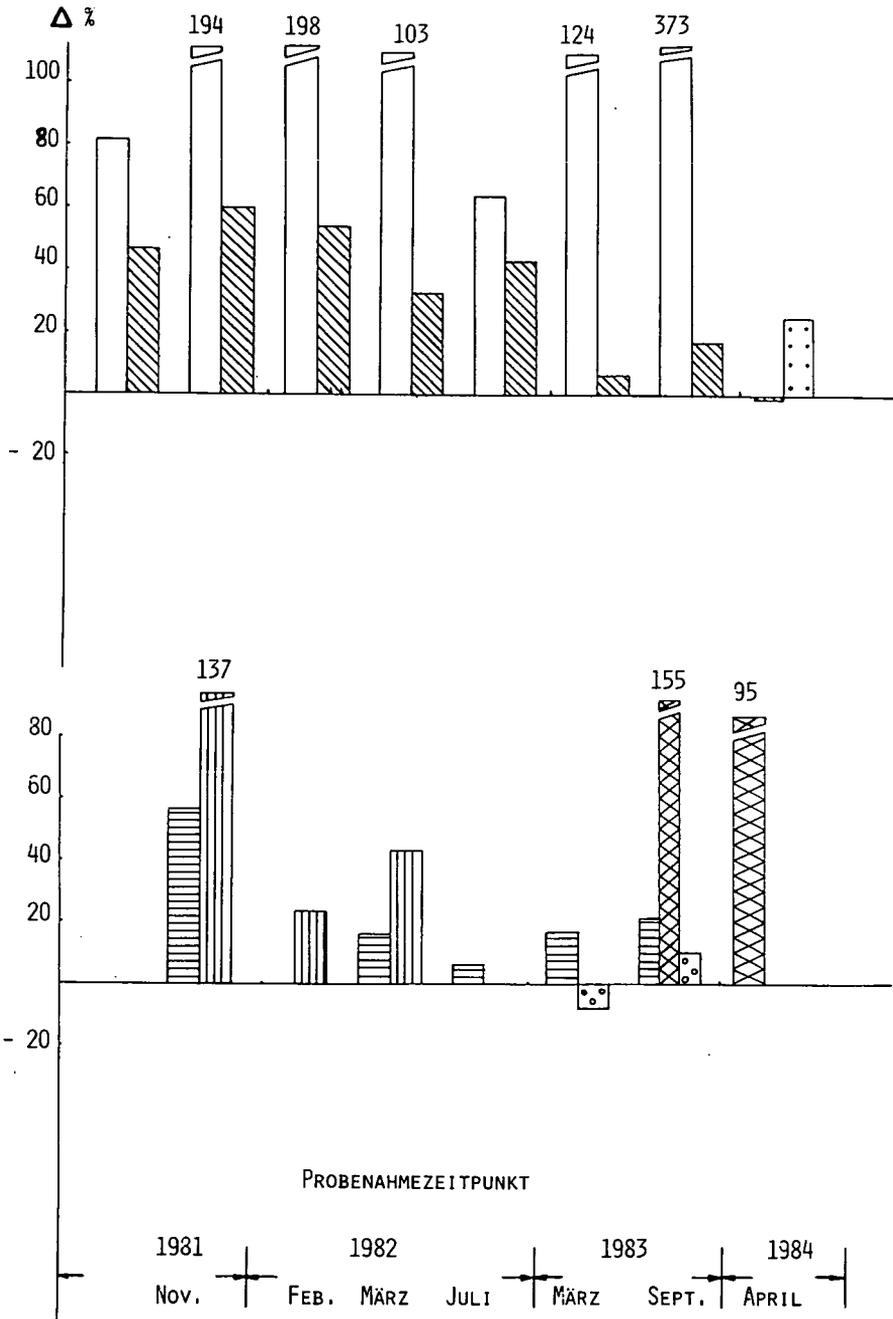


Abb. 6: $\Delta\%$ in den Enzymaktivitäten zwischen Kontrolle und MK-A

Diskussion

Beck: Meine Damen und Herren, nachdem uns heute in einer Reihe von Referaten die verschiedenen Aspekte beim Einsatz von Siedlungsabfällen in der Landwirtschaft dargelegt wurden, angefangen von deren Nutz- und Schadwirkung auf Boden und Pflanzen, Probleme der Hygiene, der amtlichen Kontrolle und der chemischen Untersuchung im Modell Oberösterreich sowie der Forderungen von seiten der Landwirtschaft, möchte ich die Diskussion eröffnen und um zahlreiche Wortmeldungen bitten.

Messiner: Ich möchte zu einem Problem, das Prof. Hoffmann genannt hat, und zwar zum Transportproblem, als erstes etwas sagen. Kläranlagen sind große Lieferanten von Klärschlamm und obwohl die Transportstrecke für Klärschlamm sehr kurz sein soll, hat sich bei uns in Österreich der Trend herausgebildet, ganze Täler zu Kläranlagengemeinschaften zusammenzuschließen, wobei das Problem besteht, daß an einer Stelle Klärschlamm anfällt, der dann über relativ weite Transportwege zu verbringen ist.

Ein zweites Problem ist der hohe Viehbesatz, den wir besonders in den westlichen Bundesländern haben, sodaß wir über den wirtschaftseigenen Dünger genügend Nährstoffe, besonders Stickstoff ausbringen und damit kein oder nur ein geringer Bedarf an an sich landwirtschaftlich geeignetem Klärschlamm besteht. Das heißt, daß es unbedingt erforderlich ist, vor der Klärschlammausbringung Untersuchungen zu machen, um den jeweiligen Gehalt an Nährstoffen zu bestimmen. Ein drittes Problem ist der Salzgehalt der Siedlungsabfälle, auf das ich jetzt aber nicht näher eingehen möchte.

Weiters möchte ich erwähnen, je mehr die Landwirtschaft fordert, keine Schwermetalle in den Klärschlämmen zu haben, desto mehr wird der Anlagenbetreiber dahinter sein, daß die Schwermetalle bei den angeschlossenen Gewerbebetrieben recyclet werden und damit der Gesamtanfall wesentlich verringert wird. Außerdem sollen wir bei den Schwermetallen nicht nur über die Anreiche-

rung, sondern auch über die Auswaschung sprechen, von der heute noch nicht viel die Rede war. Gerade Kupfer und Zink werden doch beträchtlich ausgewaschen, sodaß hier ganz andere Anreicherungsfaktoren als z. B. bei Blei oder Chrom in den Böden gegeben sein müßten. Ich möchte meine Bemerkungen mit der Frage nach näheren Erläuterungen der Formel von Furrer abschließen. Diese Formel mit 90 % Ammoniumstickstoff und 25 % organischem Stickstoff, die heute genannt wurde, ist mir nicht bekannt.

Hoffmann: Bezugnehmend auf Ihre letzte Frage: Furrer und Mitarbeiter haben eine ganze Reihe von Feld- und parallel dazu Gefäßversuchen angelegt und haben die Aufnahme an Stickstoff in die Pflanze ganz simpel mit einer multiplen Korrelation, mit den angebotenen Stickstoffformen korreliert und haben dann aus dieser Berechnung diese Formel herausbekommen, wobei der Faktor 90 und 25 um $\pm 25\%$ schwanken kann. Diese mittleren Größen gelten recht gut für flüssige Klärschlämme. Unsere Versuchsanlage war zu gering, daß wir für die festen und halbfesten Klärschlämme eine ähnliche Formel hätten ableiten können. Auf die Korrelationsberechnung möchte ich nicht weiter eingehen. Im übrigen, Ihre Beobachtungen, daß Klärschlamm nicht mehr abgesetzt werden kann, in Gebieten, wo viele tierische Abfälle anfallen, das trifft auch für uns, für das Bayerische und Schwäbische Allgäu zu. Das sind Gegenden mit hoher Tierhaltung und hier gibt es tatsächlich Probleme, aber das ist eine bekannte Tatsache.

Beck: Daß die Frage des Bodenschutzgesetzes an uns herankommen wird, sehen wir jetzt in Deutschland, und daß dann gerade in Gebieten mit intensiver Viehhaltung (z. B. Gebirgstäler) Klärschlamm nicht mehr ausgebracht werden kann, ist verständlich.

Kriechbaum: Ja, die Größe der Kläranlagen beschäftigt uns sehr stark; die ersten Kläranlagen, die im Lande gebaut wurden, waren ja relativ klein, mit allen Mißständen, vor allem der Wartung, und auch das Ergebnis der Klärung war entsprechend schlecht. Das hat dazu geführt, Großkläranlagen und Verbandsanlagen zu bauen, natürlich auch auf Grund der Förderungsbestimmungen nach dem Wasserbau- und Förderungsgesetz, weil Gruppenanlagen eine um 10 % bessere Förderung erhalten. Ich glaube, jetzt ist

etwa die Grenze der Großraumzusammenschlüsse erreicht, weil die Schwierigkeit auftaucht, daß mit steigender Größe der Anlagen vermehrt irgendwelche industriellen Abwässer mit höheren Schwermetallgehalten hineingelangen. Die Forderung, innerbetrieblich Recycling zu betreiben, ist natürlich auch umso schwieriger, je diffuser die Einleitungen sind, das heißt aber umgekehrt, daß die Kontrolle stärker werden muß. Es gibt in Oberösterreich ja schon seit einiger Zeit einen Kläranlagenüberwachungs- und Betreuungsdienst, der diesen Fragen nachgeht — Kollege Mayr wird wahrscheinlich darauf eingehen —, leider wird es dazu kommen, daß die staatliche Kontrolle noch stärker werden muß, was wir uns ja nicht unbedingt wünschen. Das Problem liegt somit auch in der Größenordnung der Kläranlagen.

Köchl: Die Problematik der Beeinträchtigung des Grundwassers durch Klärschlamm sehe ich vorwiegend darin, daß Klärschlamm hauptsächlich in der vegetationslosen Zeit ausgebracht wird, wir aber von Versuchen her wissen, daß die Nährstoffauswaschung insbesondere in der vegetationslosen Zeit stattfindet.

Mayr: Zum Problem der Nitratauswaschung möchte ich schon sagen, daß es nicht nur den Klärschlamm betrifft, da ja auch Jauche und Gülle vielfach in der vegetationslosen Zeit ausgebracht werden, was der Vollständigkeit halber gesagt werden muß. Nun ein paar Worte zu den Verbandsanlagen: Es ist schon richtig, daß wir zusammengezogen haben, großräumige Lösungen versuchten, aber diese großen Verbandsanlagen stehen doch in erster Linie in Industrieablungsgebieten, und ich glaube es ist eine Illusion, wenn man meint, Klärschlamm aus Industriegebieten jemals in der Landwirtschaft verwenden zu können. Aus diesen Gründen sehe ich großräumige Lösungen nicht ganz so schlecht wie sie machmal dargestellt werden. Man muß natürlich darauf achten, daß man nicht in ländlichen Gebieten auch Abwasserschienen über 10/20 km zieht und sich dann Probleme mit dem Klärschlamm einhandelt, der an sich landwirtschaftlich verwertbar wäre, aber auf Grund der konzentrierten Schwermetallbelastung an einem Ort dann nicht mehr geeignet ist. Im großen und ganzen glaube ich aber doch, daß es vernünftig war, in Oberösterreich, speziell in den Industrieablungsgebieten, die Abwässer zusammenzuziehen.

Schwarz : Herr Professor, eines ist mir aufgefallen und stimmt mich sehr bedenklich, nämlich die Löslichkeit der Schwermetalle im sauren Bereich. Es ist dies ein Problem, das im Zusammenhang mit dem sauren Regen immer kritischer wird, und wie wir von Gewässern in den nordischen Staaten wissen, sollen dort bereits pH-Werte von 3 und darunter vorliegen. Wie sind hier die Zusammenhänge, wie wird sich das später auswirken? Ich glaube, das ist alles eine Frage, die noch zu wenig beantwortet ist. Weiters möchte ich feststellen, daß wir gerade jetzt mit Müllkompost bittere Erfahrungen gemacht haben, da ist nämlich das eingetreten, was Professor Beck gesagt hat, daß die Lagerkapazität bereits nach der halben vorausberechneten Zeit erreicht wurde und wir jetzt nicht wissen, was mit dem Müllkompost geschehen soll, da er weder landwirtschaftlich verwertbar ist, noch von der Forstwirtschaft angenommen wird. Müllkompost wird heute in erster Linie zur Begrünung von Schipisten, für Böschungsverbauten und andere bauliche Maßnahmen verwendet.

Hoffmann : Zur Frage des sauren Regens kann ich Ihnen schon etwas sagen: Man errechnet die tatsächliche Säurefracht, die zusätzlich zur natürlichen Säure — es gibt keinen natürlichen Regen, der nicht sauer wäre, der pH-Wert lag immer schon um 5 — dazukommt. Die zusätzliche Säurefracht wird bei uns in der BRD auf ca. $\frac{1}{2}$ bis $\frac{3}{4}$ kmol je ha und Jahr geschätzt und das wäre mit 28 bis 56 kg CaO/ha abdeckbar. Das ist auf regelmäßig gekalkten landwirtschaftlichen Böden, die nicht zu Versauerung neigen, kein Problem. Wir haben über 4000 Standorte untersucht, inwieweit tatsächlich durch eine solche Fracht eine Versauerung eingetreten sein kann, und haben festgestellt, daß man bei normaler Feldbewirtschaftung mit üblicher Kalkung und allen übrigen Maßnahmen diese Gefahren weitgehend ausschließen kann.

Beck : Vielleicht kann man das aus unserer Sicht ergänzen. Kollege Öhlinger hat eine Arbeit über die Verhältnisse in Oberösterreich gemacht, und wir haben bei einem theoretischen Säureeintrag von 0,5 kmol pro Jahr und bei einer durchschnittlichen Kalkung von ca. 188 kg CaO pro ha kalkungswürdiger Fläche und Jahr eine 4—5fache Abpufferung der angenommenen sauren Deposition.

Blum: Herr Kollege Hoffmann, welche Erfahrungen haben Sie mit der zeitlichen Zusammensetzung der Klärschlämme im Jahresverlauf, treten hier Variationen auf, denn das ist auch ein Problem das die Analytik betrifft.

Hoffmann: Wir haben eine Reihe von Klärwerken, die regelmäßig untersuchen lassen, und da haben wir festgestellt, daß die Schwankungen innerhalb eines Werkes wesentlich geringer sind als die Schwankungen zwischen verschiedenen Anlagen. Eindeutige Jahrestendenzen konnten wir nicht herausfinden, aber das liegt teilweise daran, daß man in Baden Württemberg viele Werke zu Verbandsanlagen zusammengefaßt hat und da pendelt sich das etwas aus.

Vogl: Ich hätte eine Frage im Zusammenhang mit dem Wasserschutzgesetz. Mich stimmt bedenklich, daß Sie die Aufbringung von Klärschlamm als eine potentielle Gefahr für das Grundwasser darstellen. In diesem Zusammenhang komme ich auf unsere Bestimmungen des § 32 des Wasserrechtsgesetzes zurück, wo von der üblichen landwirtschaftlichen Bodennutzung die Rede ist. Würden Sie nun die Klärschlamm-Aufbringung noch unter die übliche landwirtschaftliche Bodennutzung einstufen können, ja oder nein?

Hoffmann: Diese Gefahr, die erkenntlich war, stammt aus Versuchen mit stark überhöhten Mengen, simuliert mit Gefäßen in 70 cm Tiefe. Man kann so etwas im Freiland schlecht messen, wir haben mit Saugkerzen gearbeitet und Sie wissen, daß das nur mehr oder minder ein Trendnachweis ist. Diese Aufwendungen in den Versuchen von de Haan lagen weit über der normalen Menge, aber man wollte finden was passiert, wenn man es zu weit treibt. Man kann ja berechnen, und es hängt sehr von der Bodenart ab, wieviel Nitrat wegläuft, aber das gleiche kann auch bei einem Wiesenumbruch durch die Umsetzung der organischen Substanz passieren und das ist durchaus eine landwirtschaftliche Nutzung. Es ist hier also von Fall zu Fall zu prüfen.

Blum: Noch eine kurze Ergänzung zu Ihrer spezifischen Frage. Bei der Anwendung von Siedlungsabfällen ganz allgemein kann man sagen, daß es sich um ein qualitatives und quantitatives Problem

handelt, da beim bisherigen Recycling von Wirtschaftsdüngern Schwermetalle oder organische, biozide Stoffverbindungen nicht beachtet werden mußten, da die chemische Industrie in den Kreislauf nicht hineinkam. Nun kommt diese Problematik neu hinzu und wir müssen sie spezifisch untersuchen. Allerdings, Fragen wie Bodennutzung zu definieren, ist uns auch annähernd nicht möglich, auch nicht in der Bundesrepublik, das ist viel zu komplex. Definieren können wir allerdings einzelne Maßnahmen auf dem Boden.

Beck: Morgen wird der Kollege Nelhiebel von der Bodenkunde darüber sprechen, ob nicht unsere Bodenkarten zur Einstufung der Böden in „geeignet“, „bedingt geeignet“, oder „ungeeignet“ verwendbar sind, und dann glaube ich, wäre das auch eine juristische Hilfe für den Bürgermeister und Kläranlagenbetreiber, allein vom Gewässerschutz her.

Szuetics: Ich hätte eine Frage an Köchl. Sie sprachen im Prinzip vom Faulschlamm, hatten aber in der ersten Tabelle, wo Sie die Nährstoffmengen errechnet haben, darauf hingewiesen, daß Sie bei 5 t TS über 50 % organischen Anteil, also ca. 2600 kg organische Substanz hätten. Ist es Faulschlamm gewesen, war es eine Hochrechnung von Frischschlamm, oder war es in irgendeiner Form stabilisierter Schlamm, denn sonst müßte die organische Substanz wesentlich geringer sein.

Köchl: Nein, es handelte sich nicht um Frischschlamm, sondern es waren in allen Fällen aerob oder anaerob stabilisierte Schlämme.

Szuetics: Dann verstehe ich aber die Mengen an organischer Substanz nicht ganz, denn bei der Stabilisierung, egal nach welcher Art, gehen mind. 50 % organische Substanz in Form von Mineralisierung oder Faulgasbildung verloren.

Köchl: Ich kann nur sagen, die mir bisher bekannten Klärschlammanalysen oder die in unseren Versuchen eingesetzten Klärschlämme haben alle 40, 50, ja bis 60 % organische Substanz, das heißt wir haben die Hälfte der Feststoffe in Form von organischer Substanz vorliegen.

Messiner : Es kommt sehr darauf an, um welche Kanalisation es sich handelt, ob es eine Trenn- oder Mischkanalisation ist. Weiters kommt es darauf an, wieviel Erdreich mitgeschlämmt wird. Bei Regen kann sehr viel Bodenmineralsubstanz dabeisein und dann haben wir bei Rohschlämmen nicht einmal 50 % organische Substanz. Bei einer Trennkanalisation hat Frischschlamm zwischen 70 und 80 % organische Substanz und nach der Ausfäulung um 50 %; bei einer Mischkanalisation kann dagegen der Gehalt an organischer Substanz auf 40 oder 35 % zurückgehen.

Beck : Sie wissen, daß man Abfall nicht beseitigen kann, sondern bewirtschaften muß, und ich glaube, Hofrat Kriechbaum möchte noch zum auffälligen Phänomen, daß wir aus Müll 25 % Kompost, in der BRD aber nur 1 % machen, etwas sagen.

Kriechbaum : Warum bei uns der Kompostierungsanteil hoch ist und der Anteil an Verbrennungsanlagen gering, hat seinen wesentlichen Grund darin, daß nach unseren Ländergesetzen Gemeinden als kleinste Einheiten zur Abfallbeseitigung verpflichtet sind, zum Unterschied von der BRD, wo Landkreise mit 100.000 Einwohnern und mehr dafür verantwortlich sind. Bei unseren kleinen Entsorgungseinheiten scheiden damit hochtechnisierte Anlagen von vornherein aus. Für solche Verbrennungsanlagen wären Durchsatzmengen von 80.000—100.000 t Müll pro Jahr erforderlich, das entspricht einer Größenordnung von 400.000—500.000 Einwohnern. Das geht für eine Großstadt wie Wien — da ist es der Fall —, ginge auch für den Linzer Zentralraum, aber Deponien stoßen wiederum auf den Widerstand der Bevölkerung und außerdem haben wir den gesetzlichen Auftrag zum Recycling der Abfallstoffe. Wir haben daher bei uns relativ einfache Kompostierungsanlagen, mit einer Anschlußgröße von 50.000—100.000 Einwohnern und keine aufwendigen Müllverbrennungsanlagen. Das ist eigentlich der Hauptgrund, warum wir uns von der BRD in den Prozentsätzen der Müllkompostierung so unterscheiden.

Fritz : Wie löst Oberösterreich das Problem mit den nichtverwertbaren Abfallstoffen wie Glas, Eisenteile, Kunststoffe usw., für uns in Liezen sind diese Stoffe ein Haupthindernis, den Müllkompost absetzen zu können.

Müller: Ich kann es Ihnen nicht sagen, wir haben es auch noch nicht gelöst, aber ich kann Ihnen sagen, wie wir es lösen wollen. Sie wissen, daß in Deutschland bereits in 20 Städten eine Vortrennung des Hausmülls in nasse, verschmutzte Abfälle und trockene, saubere Abfälle gemacht wird. Aus den trockenen Abfällen können dann wesentlich mehr Wertstoffe herausgeholt werden. In Österreich fallen z. B. 47 kg Papier pro Jahr und Einwohner an und davon werden 7 kg gesammelt und 40 kg gehen in den Müll und machen uns dort Probleme; andererseits importieren wir aus dem Ausland 400.000 t Papier. Es wäre also sinnvoll, hier mehr zu sammeln. Mit dieser Sammlung gehen auch Glas, Kunststoffe, Textilien mit, und es ist relativ einfach, diese Stoffe mittels Sortieranlage vom sauberen, trockenen Müll herauszuholen, die dann am Markt gut absetzbar bzw. wiederum verwertbar sind. Wir haben in Oberösterreich zur Zeit in 4 Gemeinden (2 ländliche, 2 städtische Gemeinden) eine Testsammlung über 6 Monate laufen, und wir werden sehen, wie die Bevölkerung das aufnimmt. Es werden natürlich Schwierigkeiten auftreten, man wird viel Geduld brauchen, aber ich glaube, es wird in diese Richtungen gehen müssen, wenn wir akzeptable Kompostqualitäten erzielen wollen.

Hoffmann: Bei uns verbreitet sich immer mehr die gesonderte Glasammlung und entlastet in gewissen Bereichen den Müll ganz deutlich. Das ist aber nur deshalb möglich, weil die Glasindustrie Interesse zeigte und die Sammlung organisiert.

Beck: Das wird bei uns auch gemacht, nur Glas ist, nachdem es gesammelt wurde, so billig geworden, daß sich der Transport kaum rentiert.

Müller: Die Glassammlung ist in Oberösterreich, ich möchte sagen, von ganz Europa am dichtesten, wir haben in den kleinsten Gemeinden Container stehen, während beispielsweise in Deutschland ein striktes Gewinndenken damit verbunden ist und Container nur aufgestellt werden, wenn sie eine entsprechende Menge Glas in der Zeiteinheit bringen. Wir haben ein äußerst dichtes Sammelnetz, aber trotzdem stellen wir fest, daß von ca. 20 kg Glas pro Einwohner und Jahr im Müll nur 6 kg gesammelt werden und diese Sammlungsquoten — auch bei Papier — betrüblicherweise rückläufig sind.

Patter: Ich stimme den Ausführungen von Herrn Dir. Maierhofer vollinhaltlich zu. An Herrn Dipl.-Ing. Mayr hätte ich gerne folgende Frage gerichtet: Welche Gründe hindern die Landesregierung, die eindeutig bekannten Schwermetallemissionen härter anzugreifen bzw. sie aus dem Gesetzesbereich der Lebensmittelkontrolle bzw. des Wasserrechts zu belangen. Ich sehe nicht ein, daß wir uns in der Landwirtschaft mit Problemen befassen müssen, die es überhaupt nicht geben müßte, wenn die kleine Zahl der bekannten Emittenten von vornherein mit aller Konsequenz verantwortlich gemacht werden würde.

Mayr: Danke für Ihre Frage. Ich kann sie, Gott sei Dank, weitergeben. Es gibt Richtlinien des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, die Einleitungsmengen für Betriebe festlegen (Ni 1 mg, Cr 2 mg). Diese Richtlinien gelten aber nur für die Bereiche, wo keine ÖNORMEN existieren. Jene ÖNORMEN weisen aber das Doppelte oder Dreifache an Grenzwerten aus. Man müßte also die ÖNORMEN-Klausel herausnehmen und die Grenzwerte für alle Industriebetriebe generell herabsetzen. Es werden uns immer die ÖNORMEN vorgehalten und damit wird es schon schwieriger. Wenn die zulässigen Maximalkonzentrationen einmal hoch sind, ist es sehr schwer, die Schwermetallfrachten zu beschränken. Aus dieser Sicht müßte etwas geschehen, denn sonst wissen wir eines Tages nicht mehr, wohin mit dem Klärschlamm.

Es ist natürlich für die Betriebe ein wirtschaftliches Problem. Wenn sie 1 bis 2 Millionen Schilling in die Abwasserreinigung investieren müßten, so müssen sie das zuerst einmal erwirtschaften. Jeder Unternehmer wird versuchen, Kosten zu sparen, wodurch sich gewisse Widerstände ergeben. Es beginnt bei der Auffindung der Emittenten, beim Nachweis von Mißständen, und dann können wir die Gesetzesmühlen in Gang bringen. Von der Rechtsbehörde wird der Betrieb aufgefordert, ein Projekt vorzulegen. Das wird geprüft, und so vergeht ein Jahr um das andere, bis sich endlich die Erfolge, sprich geringere Einleitungsfrachten bzw. niedrigere Schwermetallgehalte im Klärschlamm, einstellen. Natürlich gilt das nicht für alle Kläranlagen, und wir werden den Klärschlamm nie zu 100 Prozent in der Landwirtschaft unterbringen, aber für Anlagen der Größenordnung zwischen 100 und 200.000 EGW hoffen wir, die Probleme lösen zu können. Bei größeren Anlagen hängt zuviel Industrie dran und da dürfen wir uns keine gro-

Ben Hoffnungen machen, daß dieser Klärschlamm einmal landwirtschaftlich verwertbar wäre.

Patter: Ich kritisiere nicht den Beamten der einzelnen Landesregierungen, sondern meine, daß hier die politische Verantwortung vollkommen fehlgeschlagen hat. Wir kennen doch zu 95 % die Emittenten, von wo die Schwermetalle herkommen, und genau dort müßten wir sie greifbar machen und entsorgen. Es ist meiner Meinung nach widersinnig, der Landwirtschaft das Schwermetallproblem aufzuhalsen, über Grenzwerte und Schwermetallfrachten zu debattieren oder Versuche über die Schwermetallaufnahme in Pflanzen anzulegen, wenn wir sie gleich an der Quelle (beim Emittenten) erfassen würden. Ich glaube, das käme im Endeffekt billiger, als wir derzeit verfahren.

Mayr: Ich glaube, daß es sich hier um kein politisches, sondern primär um ein Zeitproblem handelt. Es kommen laufend neue Anlagen dazu, wir müssen die Gewerbebetriebe herausfinden und dann kann man Investitionsvorschreibungen machen, wobei wiederum nicht alles von heute auf morgen im Betrieb saniert werden kann, weil er dies wirtschaftlich nicht verkraften würde. Das heißt, meiner Erfahrung nach ist es daher kein politisches, sondern ein Zeitproblem.

Vogl: Ich kann Ihnen zur Unterstützung noch einiges vom Wasserrecht dazu sagen. Vielfach haben die Emittenten (in Oberösterreich gibt es z. B. eine Reihe entlang der Traun) wasserrechtliche Bewilligungen, die schon sehr lange zurückreichen, wobei dieser Konsens in Rechtskraft erwachsen ist. Wenn nun die zur Reinhaltung getroffenen Vorkehrungen unzulänglich sind oder im Hinblick auf die technische Entwicklung nicht mehr ausreichen, kann die Rechtskraft in einer Bestimmung nach 33.2 des Wasserrechtsgesetzes unterbrochen werden und dann kann man diesen Betrieben neue Auflagen erteilen; das jedoch nur schrittweise, den Erfordernissen angepaßt und in zumutbarem Umfang. Das ist die erste Schwierigkeit und dann kommt noch die Liquidität der Betriebe dazu. Das heißt, es kommen nur bestimmte Betriebe in Frage, zusätzlich sind Mittel vom Bautenministerium erforderlich, um diese Anpassungsmaßnahmen durchzuführen.

Messiner: Wir machen jedes Jahr 40 bis 50 Überprüfungen von Industrieanlagen auf ihre Schadstoffemission und sehen, daß hier vielfach auch von bestimmten Betrieben mehrere Millionen Schilling an Schwermetallen in die Gewässer eingeleitet werden. Gegenüber der Behörde habe ich aber in diesem Fall Verschwiegenheitspflicht, und der Betrieb wird Befunde aber nur vorlegen, wenn er von der Behörde aufgefordert wird. Es kann also eine ziemliche Zeit dauern, bis er die Richtlinien für die Einleitung in den öffentlichen Kanal erfüllt. Für den Kanal sind die Richtwerte doppelt bis dreimal so hoch als für ein Gewässer und was nun im Kanal ist, wird aber in der Kläranlage kummuliert.

Weiters machen wir auch viele Klärschlammuntersuchungen, auch von ländlichen Gemeinden, und da wundert man sich, von wo dieses oder jenes Schwermetall herkommt. Da kann Chrom von Färbereien bzw. Lodenwalkereien oder Nickel von Lebensmittelbetrieben, beispielsweise von einer Fetthärterei, kommen. Diese Emittenten muß man erst einmal finden, weil die Betriebe oft selbst nicht genau wissen, welche Schwermetalle sie emittieren.

Mayr: Ein weiteres Problem ist die Entsorgung des Sondermülls. Wir haben keine Deponien, und dann frage ich Sie, wohin kommen die Schwermetalle als letzten Endes wiederum in die Kläranlagen. Aber ich glaube, seit Anfang 1984 dürften hier doch von der Gesetzeslage her wesentliche Verbesserungen im Kommen sein.

Blum: Meine Damen und Herren, darf ich noch ein paar grundsätzliche Bemerkungen machen. Das Recycling von Stoffen in biologischen Kreisläufen ist ja eine uralte Sache. Ich erinnere Sie nur: Wie haben wir das früher gemacht, wie wurden noch bis vor kurzem die menschlichen Abfälle, beispielsweise in Asien, gesammelt und in der Landwirtschaft verbraucht? Unsere heutige Problematik ist: Wie können wir bei diesem Kreislauf nichtbiogene Stoffe abtrennen? Wir haben heute in den Referaten gehört, wieviel Arbeit hier geleistet werden muß, bis man zu einer halbwegs lückenlosen Kontrolle kommt, und dann kommt als nächstes Problem hinzu, daß wir noch viel zuwenig wissen, wie sich diese Stoffe im Boden akkumulieren und langfristig in der Nahrungskette auswirken. In den letzten Jahren wurde zwar auf diesem Gebiet sehr viel geforscht und untersucht, es wurden Bodeneigenschaften definiert, Grenzwerte festgelegt, die Abgabemengen geregelt usw. Im

Grunde genommen laufen aber alle diese Maßnahmen darauf hinaus — das kann jetzt 50, 100 oder mehr Jahre dauern, je nachdem, was im Boden bereits drinnen ist und was letztlich über die Luft dazukommt —, daß wir mit der Siedlungsabfallbeseitigung die Böden rund um die Kläranlagen zu Deponien machen. Diese Schwermetalle waren nie im Biokreislauf, sie werden in Zink-, Kupfer-, Bleibergwerken usw. aus 1000 m Tiefe herausgeholt und nun bringen wir sie, weil wir sie nicht vorher abtrennen können, mit den biologisch wertvollen Stoffen auf die Böden aus. Ich möchte nicht schwarzmalen, aber ich glaube, das ist derzeit unser größtes Problem. Gott sei Dank sind die Flächen, die es betrifft, sehr gering und wir werden auch morgen noch über Maßnahmen hören, die zu treffen sind, um diese Gefahren zu minimieren. Ich wollte die heutige Problemsituation einmal sehr kritisch darstellen, weil ich auch nicht weiß, in welcher Richtung es weitergehen wird, ob wir die Nahrungsmittelproduktion steigern können und ob wir diese Flächen später noch brauchen werden. Aber das langfristige Problem ist sicherlich die Schwermetallakkumulation, wobei wir über die organischen Schadstoffe, die auch in den Boden mit hineinkommen, noch sehr wenig wissen.

Weisheit: Wir haben heute von vielen Werten und schönen Ergebnissen gehört, wie Klärschlamm und Müllkompost in der Landwirtschaft verwertet werden kann. Ich möchte sagen, du glückliches Oberösterreich und du glücklicher Amtskollege Beck, ich gratuliere zu dieser wunderbaren Zusammenarbeit Landesregierung, Bundesanstalt und Landwirtschaftskammer, aber man darf nicht vergessen, daß diese Zusammenarbeit in den anderen Bundesländern nicht in dem Maße gegeben ist, und vielleicht sollte man das auch in einer zukünftigen Verordnung berücksichtigen. Ich möchte wiederholen, was heute schon gesagt wurde, sollte es zur Siedlungsabfallverwertung in der Landwirtschaft kommen, so darf das landwirtschaftliche Grün- oder Ackerland nicht zum Mistkübel der Allgemeinheit werden, und es müssen daher in einer Verordnung entsprechende Normen vorgegeben werden bzw. muß der Kontaminationsverursacher zur Verantwortung gezogen werden können. Wie wir das Abfallproblem überhaupt in den Griff bekommen könnten, zeigt uns die Schweiz. Dort gibt es, angefangen von den Schulen über Amtsräume bis zu den einzelnen Haushalten, eine getrennte Sammlung von Metall, Glas, Papier und sonstigen Ab-

fällen, wobei dann eine Wiederverwertung dieser Rohstoffe viel einfacher ist und die Landwirtschaft damit von einem großen Problem entbunden wird. Ich glaube, daß man das Problem wirklich an der Wurzel anpacken müßte, nämlich eine strikte Trennung der Abfälle bereits in den Haushalten; sollte das nicht klappen, müßten die Verursacher wiederholt zur Kasse gebeten werden, denn Strafe zahlen hat noch immer die beste Wirkung. Von dieser Warte aus betrachtet, ist Oberösterreich insofern ein schlechtes Beispiel, weil die Zusammenarbeit zwischen Landwirtschaft und Abfallwirtschaft zu gut funktioniert und in den anderen Bundesländern argumentiert wird, daß Siedlungsabfälle generell landwirtschaftlich verwertet werden können, wie das das Beispiel Oberösterreich ja zeige.

Candinas: Was ich heute gehört habe, hat mir bisher sehr gut gefallen, aber mir ist auch ein Widerspruch aufgefallen zwischen der Verwertung der flüssigen und festen Siedlungsabfallstoffe. Wenn man die Klärschlammverwertung ansieht, so finde ich die niedrigen Grenzwerte für Schwermetalle phantastisch, ja für uns in der Schweiz beinahe unvorstellbar. Für Cadmium würde sich beispielsweise bei einem Grenzwert von 10 ppm eine jährliche Fracht von 25 g/ha ergeben. Macht man die gleiche Rechnung für die festen Abfallstoffe, so kommt man zu ganz anderen Ergebnissen und das ist es dann, was mich stört. Nimmt man wiederum Cadmium als Beispiel, kalkuliert mit einer Aufwandmenge von 20 t und 6 g als obersten Grenzwert, dann ergibt sich eine Fracht von 120 g Cadmium/ha. Diese Berechnungen kann man für alle übrigen Schwermetalle machen, und Sie werden sehen, daß die Frachten bei der Feststoffverwertung 15—20mal höher liegen als bei der flüssigen Kette. Ich glaube, das ist schon von großer Bedeutung, weil Sie ja heute mit Stolz festgestellt haben, daß 50 % der festen Siedlungsabfälle gesammelt und kompostiert werden. Zweitens wurden heute mehrmals die Schwermetallgrenzwerte der Schweiz angesprochen. Ich weiß nicht, ob wir zu hoch liegen, man kann darüber diskutieren, aber die Grenzwerte alleine sagen nicht alles aus. Wir haben uns nicht auf eine bestimmte Klärschlammasbringmenge pro ha und Jahr festgelegt, sondern Klärschlamm soll nur dann bezogen werden, wenn Bedarf an Phosphor besteht. Die einzelnen Kantone haben Sanierungspläne erarbeiten müssen, wobei unter Berücksichtigung der wirt-

schaftseigenen Dünger der zusätzliche Phosphorbedarf kalkuliert wurde. Das hat eine Menge Geld gekostet, aber weil wir in der Schweiz durchschnittlich über 65 kg Phosphat pro t Klärschlamm-Trockensubstanz haben, errechnete sich in den meisten Fällen eine wirkliche Ausbringmenge an Klärschlamm von 0,5 t Trockensubstanz. Wenn Sie nun diese Mengen mit den Grenzwerten multiplizieren, verringern sich die Frachten natürlich wesentlich. Als letztes würde mich noch interessieren, wie es möglich ist, daß in Österreich die Cadmiumwerte der Klärschlämme im Vergleich zur Schweiz so niedrig liegen. Sie haben heute Werte zwischen 3,4 bis 6 ppm gezeigt, während wir im gewichteten Mittel 15 mg/kg haben. Meines Wissens sind die gesetzlichen Vorschriften für den Eintrag bzw. für die Verarbeitung von Cadmium in Österreich nicht strenger als in der Schweiz und daher überrascht mich dieses Ergebnis.

Mayr: Zu Ihrer Frage betreffend das Cadmium darf ich sagen, daß wir in Oberösterreich eine andere Industriestruktur als in der Schweiz haben. Unsere Oberflächenveredelungsbetriebe verwenden kein Cadmium und soviel ich von der Steiermark und den anderen Bundesländern weiß, haben sie die gleichen Werte wie wir; es ist kein Trick dahinter, keine gezielte Probenahme oder Analysenmanipulation.

Zu Ihrer Bemerkung bezüglich der Schwermetallfrachten noch ein Wort. Wir haben uns die Grenzwerte und Frachten durchgerechnet, haben vielleicht eine etwas andere Ausbringungspraxis, aber kommen letztlich zu ähnlichen Werten wie Sie. Und wir sind durchaus der Meinung — nicht wie Herr Prof. Blum —, daß diese Mengen zuträglich sind.

(Alles andere scheint mir hier Philosophie oder Glaubensfrage zu sein, ist aber keine naturwissenschaftliche Frage mehr.)

Beck: Der Vortrag von Dipl.-Ing. Nelhiesel hat ganz deutlich gezeigt, daß die Auswertung der Bodenkarten den Mut des Gutachters braucht. In den Bundesanstalten werden in vielfacher Weise Gutachten erstellt, z. B. bei Wein oder bei Futtermittel. Hier muß der Gutachter auf Grund der bestimmten Parameter seine Entscheidung treffen. Es können natürlich neue Erkenntnisse solche Gutachten in Frage stellen, aber zu diesem Zeitpunkt ist eben die Sachlage wie beschrieben. Es ist außerordentlich dankenswert,

daß Kollege Nelhiebel ein solches Gutachten erstellt hat. Wir glauben auch die Schwierigkeiten der Kartierung zu kennen. Den Einsatz mehrerer Kartierer, die Schwierigkeiten bei der Auswertung, die man am grünen Tisch machen muß, und den Einsatz von Karten mit zu großem Maßstab, das sind sicher noch Probleme, die zu lösen sein werden. Ich glaube aber, daß solches Material eine große Hilfe für eine sachgemäße Klärschlammausbringung ist.

Puchwein: Wie stelle ich in der Praxis, wenn ich in der Untersuchungsanstalt Klärschlamm untersuche, die Verbindung zwischen dem Grundstück, das mir der Bauer anbietet, und der Karte her?

Nelhiebel: Das ist natürlich vom Maßstab abhängig und eine gewisse Schwierigkeit. Man kann sich ja an der Karte relativ gut orientieren, weil ja alle Feldwege und Straßen darin eingezeichnet sind. Natürlich, genau die Parzelle zu finden, ist, gebe ich zu, in manchen Fällen etwas schwierig.

Beck: Nach deutscher und Schweizer Verordnung ist es so, daß Kläranlagenbetreiber nur für eine ganz bestimmte Parzelle den Klärschlamm abgeben dürfen. Der Mann, der ausbringt, ist für den ordnungsgemäßen Ablauf verantwortlich. So weit müssen wir einmal kommen.

Mayr: Dies ist zwar eine wunderbare Idee, und wir werden sicher versuchen, sie auch zu realisieren. Ich möchte aber davor warnen, jedem Kubikmeter Klärschlamm nachzulaufen. Dieses Problem ist ja auch schon von den Schweizer und deutschen Fachleuten erwähnt worden. Man muß sich dazu ein praktikables System beim Verwaltungsaufwand einfallen lassen. Dieses werden wir sicher gemeinsam finden. Weiters möchte ich zur Vermeidung oder zum Verbot der Klärschlammausbringung auf Hanglagen feststellen, daß der Landwirt die Gülle ja auch dort flüssig ausbringt. Es müßten hier die gleichen Bedingungen gelten. Es kann ja nur der Aggregatzustand des betreffenden Stoffes und nicht seine Zusammensetzung Ursache von Bodenabtrag sein.

Beck: Ich glaube, wir müssen trotzdem den Mut haben, irgendwo anzufangen. Sie haben gehört, daß der Bund für die Ausbringung von Klärschlamm, Müllkompost oder Düngemittel nicht zuständig ist,

sondern nur Grenzwerte allgemeiner Art festsetzen kann. Es liegt schließlich die Verantwortung bei den Ländern und nicht zuletzt bei uns.

Patter: Die Bodenkarten sind sicherlich ein ideales Instrument, vor allem wenn man überlegt, daß man in Zukunft die EDV bei der Düngberatung einsetzen wird. Es wird hier aber die 1:25.000er Karte sicherlich zu ungenau sein, wenn man auch schon bei der Erhebung der Bodenaktion selbst vom Landwirt gewisse Informationen mitverlangt. Eine Karte, im Maßstab 1:5000 wäre viel zweckmäßiger, vor allem für Gebiete wie z. B. für die Steiermark mit ihren sehr großen Bodenunterschieden.

Wenn man weiters Klärschlamm-flüssig mit Gülle vergleicht in bezug auf eine Ausbringung auf Hanglagen, dann muß man hier sehr wohl von der Menge ausgehen. Wenn wir heute zwischen 20 und 30 m³ Gülle auf einen Hang ausbringen und im Vergleich dazu in etwa 100 bis 200 m³ Klärschlamm einsetzen, dann sind hier in der Abtrift große Unterschiede zu erwarten.

Mayr: Ich glaube, man sollte jetzt nicht in ein Streitgespräch über Aufwandmengen von Klärschlamm und Gülle verfallen. Wir wissen von der Praxis her, daß vom Landwirt die Gülle häufig, entschuldigend Sie wenn ich das so sage, mengenmäßig unvorsichtig ausgebracht wird. Es hat in letzter Zeit genügend Gewässerverunreinigungen und auch Anzeigen gegeben. Wir sollten also in dieser Hinsicht die Sache praxisorientiert betrachten.

Schmoigl: Ich sehe aus der Praxis, daß man auf jeden Fall dafür sein muß, daß man in Zukunft die Verbringung konsequent aufzeichnungspflichtig durchführen muß. Gerade in Anbetracht der Luftverschmutzung und den schädigenden Immissionen ist eine Aufzeichnung der Klärschlammausbringung, ausgefolgt in differenzierter Boden- und Klärschlammanalyse, notwendig, damit den Bauern in ferner Zukunft keine Nachteile erwachsen. Man muß jetzt schon einen gangbaren Weg suchen. Ich merke, daß die Landwirte etwas sauer reagieren, wenn man ihren Namen niederschreibt bzw. sie unter die Klärschlammausbringer einreicht. Auch wenn der Klärschlamm in Ordnung ist, sind hier noch einige Vorurteile aus dem Weg zu räumen. Das wird uns sicher durch die nötige Aufklärungsarbeit gelingen. Eine Zusammenarbeit der Be-

troffenen zur Bewältigung der Probleme ist hier besonders notwendig. Wir erleben ja oft, daß Unregelmäßigkeit von der Presse breitgetreten werden und das so wichtige Teamwork damit sehr verzögert werden kann. Das ist für alle Beteiligten dann ein großer Schaden. Nach meiner Meinung sind diese Bodenkarten und die Aufzeichnungspflicht ein großer Vorteil, derartigem entgegenzuwirken. Es schadet auch dem Klärwärter nicht, wenn er nicht nur von seiner Kläranlage etwas versteht, sondern auch ein wenig als Düngeberater fungieren kann. Größtenteils kommen sie ja aus der Landwirtschaft, sodaß es ihnen sicher nicht schwer fallen wird, ihren Kunden auch beratend zur Seite zu stehen. Abgesehen von dem doch etwas ungenauen Kartenmaßstab, wäre dieses System eine ideale Hilfe für die Praxis.

Mayr: Wir haben über dieses Thema schon seit Jahren diskutiert, doch unsere Standpunkte haben sich noch nicht sehr angenähert. Man kann dem Kläranlagenbetreiber sicher auferlegen, daß er Aufzeichnungen führt, wem er den Klärschlamm gegeben hat. Es geht aber meiner Meinung nach zu weit, wenn er auch die Parzellenummer, die genaue Gemeinde und die genaue Feldbezeichnung, z. B. Hausfeld, aufschreiben soll und damit auch dafür verantwortlich sein soll. Was der Landwirt mit dem Klärschlamm macht, geht über die Kompetenz des Kläranlagenbetreibers hinaus. Er müßte sonst für jeden Kubikmeter Klärschlamm gerade stehen, d. h. er müßte jedem Kubikmeter nachlaufen.

Beck: Der Landwirt muß letzten Endes aber auch eine Verantwortung tragen, das ist klar. Er muß aber auch wissen, wohin er ihn bringen darf, und darüber muß er informiert werden. Hier muß man einen Weg finden, der beiden gerecht wird. Es gibt aber auch gewerbliche Aufbringer, die ebenfalls sehr wohl verantwortlich sind.

Mayr: Wir haben in Oberösterreich einen einzigen gewerblichen Ausbringer, und von diesem verlangen wir jedes Jahr die Aufzeichnungen.

Candinas: Ich möchte feststellen, daß offenbar die schweizerische Klärschlammverordnung falsch interpretiert wird. Es ist also absolut nicht richtig, daß festgehalten werden muß, auf welche Parzelle der Klärschlamm ausgebracht werden muß. Was vorgeschrieben

wird, ist unter Abnehmerverzeichnis a) der Name des Abnehmers, b) die abgegebene Menge, c) das Datum der Abgabe. Es kann also von einem „jeden Kubikmeter-Nachlaufen“ keine Rede sein. Man versucht aber P-Bilanzen aufzustellen, allerdings auf freiwilliger Basis. Das ist praktisch jetzt in allen Kantonen angelaufen. Bezüglich Bodenkarten hätte ich noch eine kleine Bemerkung. Ich glaube, daß es äußerst interessant ist, eine Bodenkarte zu haben. In der Schweiz ist sie auch manchmal zur Diskussion gestanden. Ich sehe aber einen kleinen Nachteil dort, wo sehr vorsichtig interpretiert werden muß, ob Klärschlamm angewendet werden kann oder nicht. Das führt nämlich dazu, daß wir dann auf einer großen Karte nur sehr wenige Flächen haben, die für Klärschlammaufbringung geeignet sind. Und das heißt weiters, daß sich die Schwermetallkonzentrationen und die ganzen Belastungsfragen auf diese wenigen übrigbleibenden Flächen konzentrieren. Ich würde daher hier für eine großzügigere Interpretation plädieren.

Feichtinger: Ist mein Eindruck zu den relevanten Parametern, die zur Beurteilung „geeignet oder ungeeignet“ hier dargestellt wurden, richtig, daß manche Beurteilungen in Konkurrenz zueinander stehen. Einerseits ist bei leichten Böden das Grundwasser gefährdet, auf der anderen Seite ist bei Böden mit hoher Mächtigkeit und hoher Absorptionskraft die Gefahr einer Pflanzenkontamination mit Schwermetallen gegeben. Will man zuerst das Grundwasser schadlos halten, oder will man über die Aufbringungsmenge die Schädigung an Pflanzen reduzieren? Was hat hier Vorrang?

Eisenhut: Man muß natürlich festhalten, daß die Bodenkarten 1 : 25.000 ursprünglich ja nicht zu dem Zweck erstellt wurden, um Klärschlammeignungskarten zu haben. Der Maßstab ist sicher zu klein, und nachdem die Anzahl der Klärschlammabgeber ja nicht so groß ist, wäre es gut, wenn für den kleinen Einzugsbereich Karten im Maßstab 1 : 5000 gezeichnet werden würden. Hier könnte man dann auch einige Parameter sicherlich etwas genauer erfassen, z. B. den pF-Wert oder das Porenvolumen. Solche parzellenscharfe Angaben kann man aus dieser Karte sicher nicht machen. Das ist besonders für Gebiete der Fall, wo es starken Bodenformenwechsel gibt. Dies kommt in Österreich jedoch am häufigsten vor.

Beck : Sie haben völlig recht, ich glaube aber, daß der Entwurf von Kollegen Nelhiebel ein erster großer Schritt ist.

Messiner : Mir geht bei diesen Bodenkarten die Ausscheidung der Wasserschon- und Schutzgebiete ab. Diese sind in Bodenkarten ja nicht ausgeschlossen. Aus meiner praktischen Erfahrung müßten auch alle jene Gebiete ausscheiden, die in der Nähe von Fremdenverkehrseinrichtungen sind. Belästigungen verschiedenster Art, wie Professor Furrer aus der Schweiz auch berichtet, können dabei erhebliche Schwierigkeiten hervorrufen. Ich möchte weiters davor warnen, die Landwirtschaft vom grünen Tisch mittels einer Karte aus zu betreiben. Es ist wesentlich wichtiger, bei Aufbringung von Klärschlamm den aktuellen Zustand des Bodens zu kennen, vornehmlich den seiner Feuchtigkeit. Es können nämlich Flächen, die hier als negativ beurteilt werden, bestens beschlammbar sein, weil sie eben in einem guten Zustand der Bearbeitbarkeit sind. Der umgekehrte Fall kann natürlich ebenso eintreten. Ich würde nicht ins Detail analysieren, denn sonst könnten wir bei Festlegung einer 800-mm-Niederschlagsgrenze im Westen überhaupt keinen Klärschlamm mehr ausbringen. Wesentlicher ist der momentane Zustand des Bodens bei der Klärschlammaufbringung.

Nelhiebel : Sie sprechen das wichtige Thema der Evidenzhaltung der Bodenkarte an. Die Bodenkarten sind vielfach vor 15 Jahren kartiert worden und werden jetzt für die Klärschlammausbringung herangezogen. Man müßte in speziellen Fällen nochmals kartieren, um eventuelle Korrekturen vornehmen zu können.

Beck : Die Karte sagt nicht, daß der Boden ungeeignet ist, sondern sie gibt an, daß hier einige Parameter für eine Klärschlammausbringung ungünstig sind. Es kann daher laut Gutachten der Boden als geeignet angesehen werden, obwohl einige Parameter nicht den Vorstellungen entsprechen. Es gibt ja kaum einen Boden, der nur günstige Eigenschaften aufweist.

Danneberg : Ich möchte noch einmal unterstreichen, daß die heute gezeigten Karten als erster Versuch anzusehen sind. Es ist gar kein Zweifel, daß eine Reihe von Parametern nach dem Grundsatz einer vielleicht überbetonten Vorsicht ausgewählt worden sind. Das

gilt wahrscheinlich für die 800-mm-Grenze, das gilt meiner Meinung nach auch für den pH 6,5 und für den hohen Humusgehalt. Es ist nicht unbedingt einzusehen, warum ein hoher Humusgehalt von einer weiteren Klärschlammausbringung abhalten sollte. Wir werden also solche Einstufungen noch näher zu untersuchen haben. Die Eignungskarte ist aber für die Praxis eine wesentliche Unterlage.

Blum: In Österreich sind 87 % der landwirtschaftlich nutzbaren Flächen inzwischen kartiert. Darin steckt ein großes Kapital, da diese Kartierung ja enorme Kosten und personelle Aufwendungen mit sich gebracht hat. Die Untersuchungen der Kartierer auf dem Feld werden in einer Karte niedergelegt, die man nun auf das Problem der Klärschlammaufbringung zu transponieren versucht. Daß hier noch keine Ausgewogenheit in bezug auf sich widersprechende Parameter ist, kann im Einzelfall natürlich sein. Es ist aber ein sehr wertvoller Ansatz. Ich würde ebenso, wie Kollege Eisenhut verlangt hat, einen anderen Maßstab wählen. Bezüglich des Hinweises auf die Bodenmaterialien ist zu sagen, daß diese natürlich bei hoher Feuchte anders als bei Trockenheit funktionieren. Nur wird man die Materialien nicht ändern können. Ausbringungszeitpunkt, pH-Wert, Ton- und Humusgehalt sind hier sehr wichtige Fragen. Ich bin weiters der Meinung, daß wir uns auf Flächen konzentrieren und sie nicht ausweiten sollen, denn ich bin sicher, daß wir sie in 80 oder auch 150 Jahren sowieso als Deponie deklarieren müssen. Ich glaube auch nicht, daß wir Gülle und Klärschlamm über einen Kamm scheren können. Damit laufen wir Gefahr, die Fragestellung etwas zu verharmlosen.

Beck: Ich möchte kurz zusammenfassen, was wir besprochen haben und worauf wir uns im Laufe der nächsten Jahre konzentrieren sollen. Wir brauchen die Eignung der Böden bezüglich verschiedenster Parameter, den Nachweis der Ausbringung in einer bestimmten Form, die Eignung des Klärschlammes aus, wenn möglich, mehreren Untersuchungen und eine Mengenbegrenzung der Ausbringung aus folgenden Gründen:

1. Eintrag von Phosphor und Kalium
2. Eintrag von organischer Substanz: Hoffmann meint — sie erinnern sich — nur einmal 5 t alle drei Jahre sind genug. Wir stehen noch in der Diskussion, ob jedes zweite Jahr oder, wie die

Abwasserwirtschaft meint, drei Jahre ausbringen und ein Jahr aussetzen, Klärschlamm ausgebracht werden soll.

3. Mengenbegrenzung des Schwermetalleintrages und sonstiger Stoffe, die wir ja in der Kürze der Zeit nicht diskutieren konnten. Eine Bodenuntersuchung, die wir noch nicht angesprochen haben, ist im Abstand von etwa sechs Jahren, also etwa nach drei Beschlämmungen, auf Schwermetalle, Phosphor, Kali und organische Substanz unbedingt notwendig.

Mit diesen Forderungen möchte ich den ersten Teil unseres Seminars beenden und allen Referenten und Diskussionsteilnehmern für ihre Arbeit und wertvollen Anregungen danken. Im Anschluß an die Vorträge erfolgt nun im Rahmen einer Fachexkursion die Besichtigung einer Kläranlage, eines Müllkompostierungswerkes und eines mehrjährigen Feldversuches über die Anwendung von Siedlungsabfällen, wobei sich nochmals Zeit und Gelegenheit für weitere Diskussionen ergeben wird.

ANHANG

Unterlagen zur Exkursion

Biologische Verbandskläranlage des Reinhaltungsverbandes Trattnachtal

Der Reinhaltungsverband Trattnachtal, in dem die Gemeinden Grieskirchen, Pichl bei Wels, Taufkirchen/Tr., Bad Schallerbach, Gallspach, Kematen/Innbach, Schlüßlberg, Wallern/Tr., Krenglbach, St. Georgen bei Grieskirchen und Tollet zusammengeschlossen sind, sorgt für die Reinhaltung der ober- und unterirdischen Gewässer im Verbandsgebiet. In erster Linie dient dazu die vollbiologische Kläranlage in Wallern.

Das im Hauptsammler ankommende Mischwasser aus dem Verbandsgebiet wird in einem Schneckenpumpwerk (3) hochgehoben und im anschließenden Rechenhaus von den Grobstoffen befreit. In einem Rundsandfang (4) werden im Abwasser mitgeführte sandige und kiesige Bestandteile entzogen, in der Absetzanlage (5) wird das Abwasser so beruhigt, daß sich Schwebestoffe und Schwimmstoffe abscheiden. Die Absetzanlage besteht aus zwei Längsbecken mit einem Inhalt von 2000 m³, wobei für das Abwasser bei Trockenwetter rund 2,15 Stunden Absetzzeit zur Verfügung stehen. In Regenzeiten vermindert sich diese Absetzzeit auf rund 25 Minuten. In diesem Fall wird ein Teil des mechanisch gereinigten Abwassers direkt der Trattnach über den Notauslaß (15) zugeleitet. Die doppelte Trockenwettermenge wird in die biologische Anlage weitergeleitet. In den Belebungsbecken (6) mit einem Inhalt von rund 3200 m³ wird das Abwasser belüftet und durch den im Kreislauf geführten biologischen Schlamm gereinigt. Die Belüftung erfolgt durch Druckluft, die in Bodennähe der 4 m tiefen Becken eingeblasen wird.

Das Belebtschlamm-Abwassergemisch gelangt schließlich in die Nachklärbecken (7), wo es sich bei Trockenwetter 6 Stunden und bei Regenwetter 3 Stunden aufhält. Es sind vier Nachklärbecken mit einem Gesamteinhalt von 4800 m³ vorgesehen. Am Beckenende wird das vom Belebtschlamm befreite, biologisch gereinigte Abwasser über ein Rinnensystem abgezogen und über den Ablaufkanal (16) der Trattnach zugeleitet. Abgesetzter Schlamm aus den Nachklärbecken wird in der Trockenwettermenge ununterbrochen wieder den Belebungsbecken zugeleitet, so daß ein

100prozentiger Rücklauf stattfindet. Zu- und ablaufende Wassermengen werden laufend gemessen und registriert.

Der Primärschlamm aus den Vorklärbecken und der Überschussschlamm aus den Nachklärbecken werden durch Pumpen in die Schlamm-eindicker (12) gefördert. In den Schlamm-eindickern wird überschüssiges Wasser entfernt. Der eingedickte Frischschlamm wird durch Schlamm-pumpen über Wärmetauscher den Faulräumen (9) zugeleitet. In den Faul-räumen hält sich der Schlamm rund 3 Wochen auf und wird durch anaer-obe Bakterien biochemisch abgebaut. Dabei entsteht Klärgas, welches zu rund 67 % aus Methangas besteht. Dieses Methangas wird entschwefelt, in einem Gasbehälter (13) zwischengespeichert und im Gebläsehaus (10) zum Antrieb von Gasmotoren verwendet. Die Gasmotoren treiben Geblä-se an, die die Druckluft für die Bakterien und Kleinlebewesen, die den bio-chemischen Abbau unter aeroben Verhältnissen in den Belebungsbecken vollziehen, liefern.

Die Kühlwärme dieser Gasmotoren und ein Teil der Abgaswärme, wel-che durch Abhitzekeessel den Abgasen entzogen wird, dient zur Beheizung der Faulräume bzw. der Betriebsgebäude. Die Temperatur in den Faulräu-men muß tagaus tagein konstant auf 33 Grad C gehalten werden, da diese Temperatur als optimale Temperatur der Methanbakterien erforderlich ist.

Ausgefaulter Schlamm wird aus den Faulräumen entnommen und in den Eindickern von weiterem Wasser befreit. Der Schlamm wird weiterhin ma-schinell unter Zusatz von Flockungsmitteln in Kammerfilterpressen ent-wässert. Die Entwässerungsmaschinen sind im Schlamm-pumpwerk (11) untergebracht. Auf dem Schlammstapelplatz wird schließlich der entwäs-serte Schlamm, der nunmehr eine humusähnliche Struktur aufweist, ge-stapelt und von dort an die Landwirtschaft zur Verwertung abgegeben.

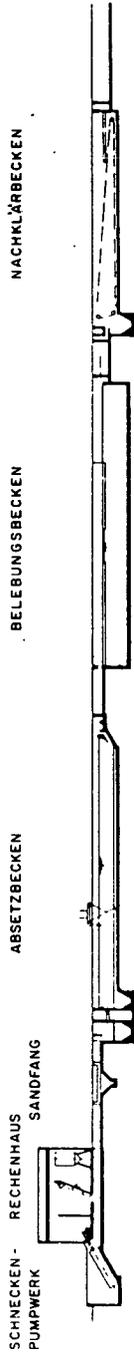
In der vollbiologischen Kläranlage werden die Abwässer von 65.000 Ein-wohnergleichwerten in einer täglichen Menge von 11.000.000 l gereinigt. Täglich werden rund 150 m³ Frischschlamm verarbeitet, welcher nach der Entwässerung noch in einer Menge von 10 m³ als Schlammkuchen mit 30 % Feststoffgehalt anfällt.

Durch die Wärmekraftkupplung der Gasmaschinen werden beträchtli-che Energiemengen aus der organischen Substanz des Abwassers ge-wonnen und so der Energieaufwand für die Reinigung des Abwassers auf ein Drittel herabgesetzt.

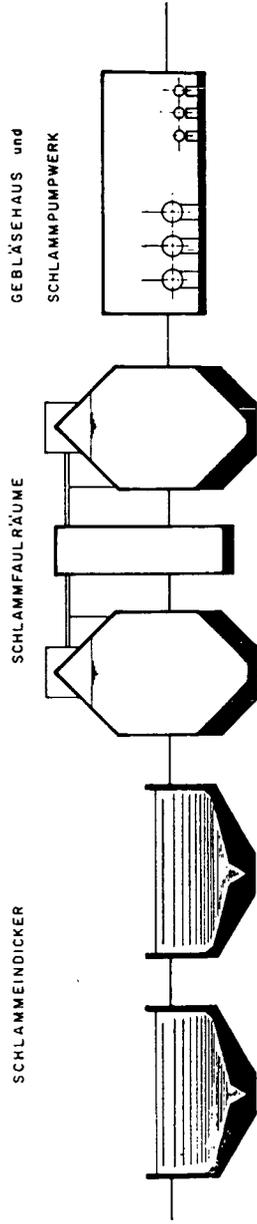
Der Gesamtaufwand für die Errichtung der vollbiologischen Kläranlage wird rund 60 Millionen S erfordern.

VOLLBIOLOGISCHE KLÄRANLAGE

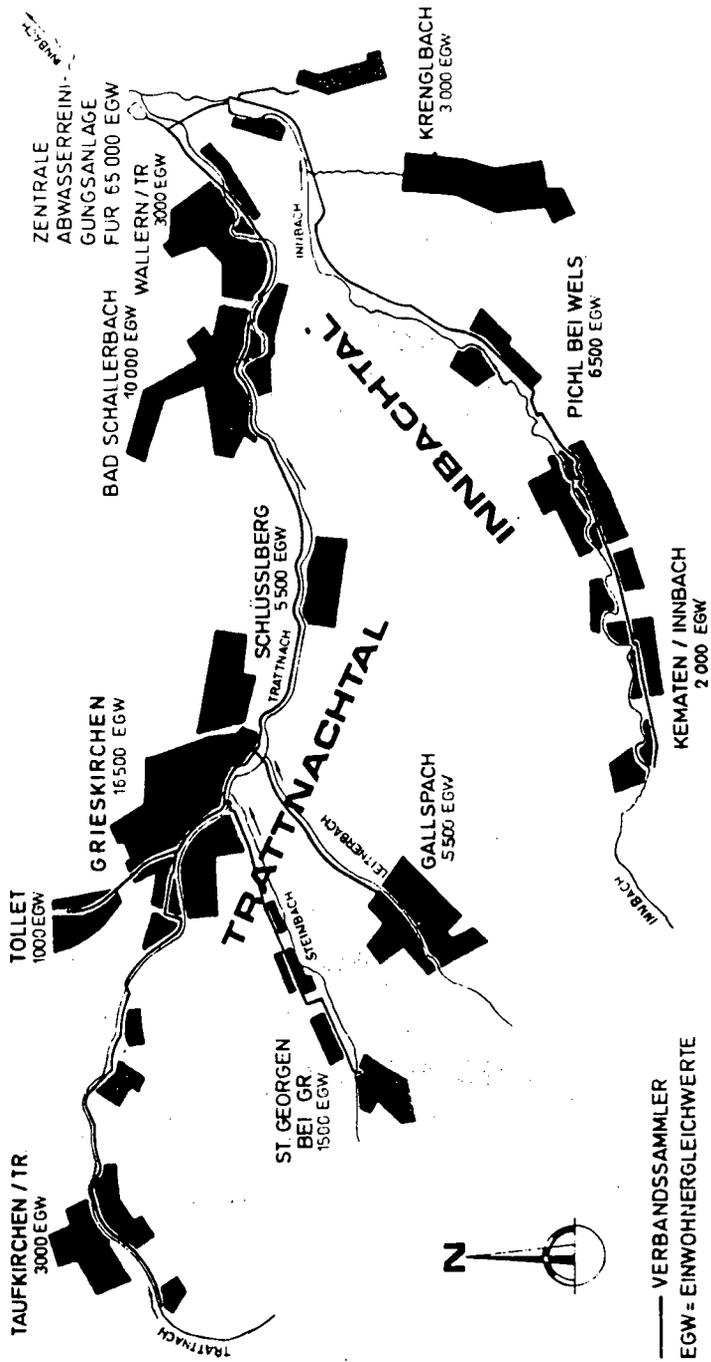
LÄNGENSCHNITT WASSERLINIE :



LÄNGENSCHNITT SCHLAMMLINIE :



REINHALTUNGSVERBAND TRATTNACHTAL



VERBANDSGEBIET

Die Müllverrottungsanlage Taufkirchen/Tr.-Hehenberg

Initiator und Grundeigentümer dieser Müllanlage im Trattnachtal ist der Bezirksmüllverband Grieskirchen, dem alle 34 Gemeinden des pol. Bezirkes Grieskirchen angehören. Die Errichtung der Anlage und deren Betrieb wurden der Firma Burgstaller in Haag a. H. übertragen.

Mülmengen, Verarbeitung:

Seit der Inbetriebnahme im Jahre 1979 werden an der Anlage von 56.000 Einwohnern jährlich ca. 7000 t Hausmüll verarbeitet, ca. 800 t Gewerbemüll werden in der Deponie abgelagert.

Der Hausmüll wird in einer langsamlaufenden Schneidwalzenmühle grob zerkleinert, in einer Mischtrommel befeuchtet und anschließend in ca. 3 m hohen Zeilenmieten verrottet. Nach einer Rottezeit von sechs Monaten kann aus dem Rottegut nach Bedarf Kompost abgesiebt werden. Der Siebüberlauf (Grobanteil) sowie Rottegut, für welches kein Kompostabsatz gegeben ist, werden deponiert.

Kompost, Absatz:

Abgesiebter Kompost wird von Hobbygärtnern für die Anlage und Pflege von Kleingärten verwendet, größere Mengen werden für den Sportanlagenbau benötigt. Insgesamt ist der Kompostabsatz nicht zufriedenstellend, obwohl die Kompostqualität als gut bezeichnet werden kann und durchaus im üblichen Rahmen liegt.

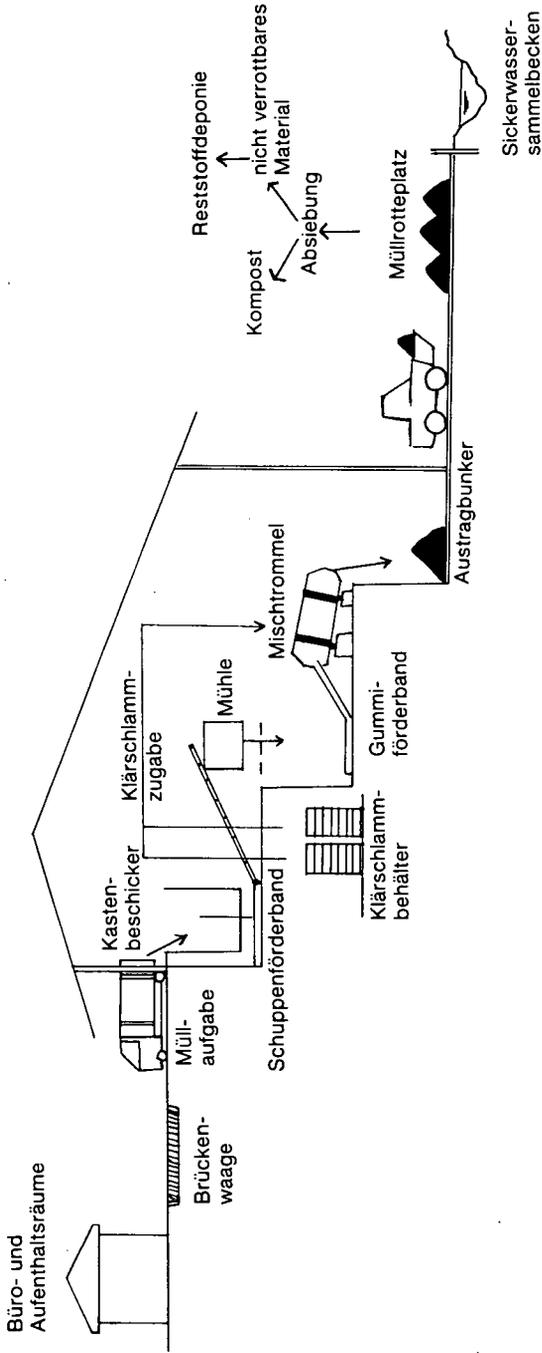
Deponie:

Das ursprünglich vorhandene Deponievolumen ist nach fünf Jahren Betriebszeit erschöpft, nach dreijährigen mühsamen Verhandlungen konnte im April 1984 auf einem angrenzenden Grundstück im Ausmaß von 16.000 m² eine Erweiterung der Deponie in Angriff genommen werden. Im wasserrechtlichen Verfahren wurden für die Deponieerweiterung strenge Auflagen — insbesondere hinsichtlich der Abdichtung der Deponiesohle — erteilt. Das Deponievolumen von ca. 80.000 m³ wird bei der jetzigen Form der Abfallbeseitigung für etwa zwölf Jahre ausreichend sein.

Testsammlung:

Von Mai bis November 1984 wird in zwei Gemeinden des Bezirkes eine Testsammlung durchgeführt, bei welcher bereits im Haushalt der Müll in eine Naß- und eine Trockenmüllfraktion getrennt wird. Der Naßmüll wird an der Müllanlage getrennt vom übrigen Müll kompostiert. Es wird erwartet, daß durch das Fernhalten unerwünschter Inhaltsstoffe eine überdurchschnittlich hohe Kompostqualität erreicht werden kann. Aus dem Trockenmüll werden an der Müllanlage alle verwertbaren Stoffe wie Papier, Glas, Textilien, Metalle, Kunststoffe usw. sortiert und der Wiederverwertung zu-

Schema der Müllverrottungsanlage



geführt. Nach Erfahrungen in der Schweiz und der Bundesrepublik Deutschland können damit 50—70 % der Abfälle einer Wiederverwertung zugeführt werden.

Bei allen Problemen, mit denen die Abfallbeseitigung allgemein heute behaftet ist, kann die Müllanlage Taufkirchen/Tr.-Hehenberg als gelungene Lösung für die Abfallbeseitigung der Gemeinden des pol. Bezirkes Grieskirchen bezeichnet werden.

Feldversuch mit Klärschlamm und Müllkompost in St. Florian

J. Wimmer

Versuchsfrage: In einem in Zusammenarbeit mit der öö. Landesregierung im 5. Jahr laufenden Feldversuch wird bei Anwendung von verschiedenen belasteten Klärschlämmen und Müllkomposten neben der Ertragswirkung vor allem die Anreicherung von Schwermetallen im Boden und in Pflanzen unter Praxisbedingungen überprüft.

Versuchsbeginn: Herbst 1979

Prüfglieder:

- 1 Kontrolle
- 2 Klärschlamm — chrombelastet
- 3 Klärschlamm — zink-, nickel- und kupferbelastet
- 4 Klärschlamm — bleibelastet
- 5 Klärschlamm — zinkbelastet
- 6 Müllkompost K
- 7 Müllkompost A

Parzellengröße: 20 m², 4fache Wiederholung, ungeordneter Block

Klärschlammaufwandmenge: 100 m³/ha jährlich

Müllkompostaufwandmenge: 50 t/ha jährlich

Mittelhohe fruchtspezifische mineralische **Zusatzdüngung** über alle Varianten (außer P)

Fruchtfolge bisher: Winterweizen — Wintergerste — Körnermais — Hafer

Versuchsfrucht 1984: Winterweizen

Über „**Aufbau und bisherige Ergebnisse des Klärschlamm- und Müllkompostversuches St. Florian**“ wird im Vortragsteil berichtet.

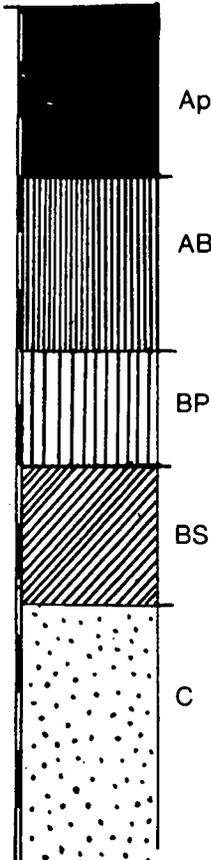


Profilbeschreibung — Versuchsfläche St. Florian

A. Stadler

Aufnahmedatum: 5. 4. 1984

Seehöhe: 285 m



Lage und Vorkommen: Landschaftsraum „Deckenschotterbereich“; Riedfläche — Neigung 3° NW

Bodentyp und Ausgangsmaterial: pseudo-vergleyte, kalkfreie bis schwach kalkhaltige Lokersedimentbraunerde aus lehmig, schluffigen Deckschichten (Decklehm) über umgelagertem Schliermaterial

Wasserverhältnisse: gut versorgt; hohe bis mäßige Speicherkraft, mäßige Durchlässigkeit (leichte Unterzügigkeit)

| | |
|---------------------------|-------------------|
| Bodenart: Ap u. AB | Schluff; |
| BP | lehmiger Schluff; |
| BS | schluffiger Lehm; |
| C | lehmiger Schluff |

Humusverhältnisse:

Ap mittelhumos; Mull
AB schwach humos; Mull

Kalkgehalt: kalkfrei bis schw. kalkhaltig

Bodenreaktion: Ap neutral
AB, BP, BS u. C schw. sauer

Erosionsgefahr: nicht bis mäßig abschwemmungsgefährdet

Bearbeitbarkeit: bei Ackernutzung gut zu bearbeiten — Neigung zu Verschlammung; bei Grünlandnutzung gut zu befahren und zu beweiden

Natürlicher Bodenwert: hochwertiges Ackerland, hochwertiges Grünland

Anmerkung: BP-, BS- u. C-Horizont ist Humus visuell nicht erkennbar; Humuseinschlammung entlang der Regenwurmgänge und Wurzelröhren. Kalkgehalt bei Feldansprache nicht feststellbar.

- Ap 0—30 cm; erdfrisch; Schluff, mittelhumos (Mull), schwach kalkhaltig; deutlich grobkrümelig, mittelporös, leicht zerdrückbar; erdfeucht: plastisch, nicht klebend; n: dunkelgraubraun (10YR 4/2); gut durchwurzelt, mäßige Regenwurmtätigkeit; absetzend
- AB 30—60 cm; erdfrisch; Schluff, schwach humos (Mull), schwach kalkhaltig; deutlich feinkblockig/Kanten gerundet, mittelporös, leicht zerdrückbar; erdfeucht: plastisch, nicht klebend; n: dunkelbraun (10YR 4/3); einzelne Eisenkongregationen (1 mm Ø); gut durchwurzelt, mäßige Regenwurmtätigkeit; übergehend
- BP 60—80 cm; erdfrisch; lehmiger Schluff, schwach kalkhaltig; undeutlich mittelblockig/Kanten scharf, schwach mittelporös, leicht zerdrückbar; erdfeucht: stark plastisch, nicht klebend; n: gelblichbraun (10YR 5/6); mehrere undeutliche mittlere unregelmäßige Rost- und Fahlflecken, mehrere Eisenkongregationen (2—3 mm Ø); wenig durchwurzelt, geringe Regenwurmtätigkeit; allmählich übergehend
- BS 80—110 cm; erdfrisch; schluffiger Lehm, kalkarm; undeutlich mittelblockig/Kanten scharf, schwach mittelporös, leicht zerdrückbar; erdfeucht: stark plastisch, nicht klebend; n: gelblichbraun (10YR 5/4); viele undeutlich mittlere unregelmäßige Rostflecken und mehrere undeutlich unregelmäßige Fahlflecken, einzelne Eisenkongregationen (3 mm Ø); wenig durchwurzelt, geringe Regenwurmtätigkeit; übergehend
- C ab 110 cm; erdfrisch; lehmiger Schluff, kalkarm; undeutlich mittelblockig/Kanten rund, schwach feinporös, leicht zerdrückbar; erdfeucht: stark plastisch, nicht klebend; gelblichbraun (10YR 5/8); undeutlich einzelne kleine unregelmäßige Gleyflecken; nicht durchwurzelt, geringe Regenwurmtätigkeit.

Geomorphologie des unteren Ennstales und seiner Ränder

H. Fischer

I. Einführung

Der vorgeführte Standort südlich St. Florians liegt in einer Unterhangposition des Ipfbachtals im NE-Teil der Traun-Enns-Platte. Das Ipfbachtal stellt eines jener zahlreichen, typischen autochthonen Täler dar, welche innerhalb der Deckenschotterplatte im Oberlauf als Dellen entspringen, sich als „Trockene Kastentälchen“, im Schotterkörper eingeschnitten, fortsetzen und als „Feuchte Sohlentälchen“, durch den Schotterkörper in den Schlieruntergrund eingetieft, die Schotterplatte stark auflösen. Namentlich im unteren Bereich, wie etwa bei St. Florian, sind Zertalungstiefe und -dichte derart fortgeschritten, daß die Schotterplatte schon in ein Tal- und Riedelrelief aufgelöst wird.

II. Bau und Gliederung der Traun-Enns-Platte

Die Traun-Enns-Platte stellt eine weiträumige, quartäre Aufschüttungslandschaft dar. Sie gliedert sich in zwei große, morphogenetische Landschaftseinheiten:

1. Die **Moränengebiete** der eiszeitlichen Traun-Alm- und Kremsgletscher im Süden. Dominierend sind hier die Altmoränengebiete, welche in großen Bögen die Zungenbeckenlandschaften von Kremsmünster, Almtal, Gmunden und Laakirchen umgürten.
2. Die **Terrassenlandschaften**. Sie setzen an den Endmoränen an und münden im Norden in den Terrassenraum der Donau aus.

Die weitgedehnte Fläche der Älteren Deckenschotter (ÄD) bildet den Hauptteil der Schotterplatten. Sie setzt sich im wesentlichen aus großen Schotterfächern zusammen, welche von den gүнzzeitlichen Schmelzwässern von Traun, Alm, Krems, Steyr und Enns vorgebaut worden waren. Östlich der Enns findet die ÄD in der Enns-Ybbs-Platte eine deutliche Fortsetzung.

Vereinzelt überragen höhergelegene Schotterkörper, Reste von ältestpleistozänen Höhenterrassen, die Ältere Decke (Schotter von Eden-Reuharting, Schotter von Forstholz, Schotter von Enzengarn). Die gegenüber der ÄD höherliegenden Schliersockel zeigen ehemalige Talwasserscheiden der gүнzzeitlichen Schotterfächer an.

Rinnenförmig in die Älteren Deckenschotter eingeschachtelt, erstrecken sich die Schotterkörper der Jüngeren Decke (Trauntal, Almtal, Aiterbach-Schotterstrang, Wolfener Schotterstrang, Ennstal), der Hochterrassen (Trauntal, Pettenbach-Schotterstrang, Ennstal usw.) und der Niederterrassen (Traun-, Alm-, Krems- und Ennstal).

All diese Schotterkörper liegen jeweils auf eigenen Terrassensockeln, weisen spezifische Verwitterungstiefen auf, tragen typische Deckschichten, z. T. mit fossilen Böden, und zeigen ein arteigenes Relief.

III. Das untere Ennstal und seine Ränder (Erläuterung der geomorphologischen Karte)

Die beiliegende „Geomorphologische Karte des unteren Ennstales“ zeigt einen charakteristischen Ausschnitt aus der Terrassenlandschaft der Traun-Enns- und Enns-Ybbs-Platte.

Die Enns, welche bei Steyr in das Alpenvorland austritt, wird von den zwei- bis dreigeteilten Schotterflächen der **Niederterrassen** (NT) begleitet.

Die **Hochterrasse**, durch eine markante Schottersteilstufe von der NT getrennt, setzt bei Steyr sehr deutlich an (Tabor, Ennsdorf). Durch die NT-Rinne von Dietachdorf unterbrochen, setzt sie sich vorerst mit einem schmalen Rücken gegen Norden fort und bildet ab Asang-Pühning eine bis 2½ km breite geschlossene Fläche, welche über 12,5 km lang bis zur Stadt Enns reicht. Der Schotterkörper erreicht eine Mächtigkeit bis 20 m. Die Schotter sind frisch, Verwitterungserscheinungen reichen nur 1 bis 2 m in die Tiefe. Der Schotterkörper reicht rund 1 bis 2 m unter die Oberfläche der tieferen NT hinab. Auf den Schottern liegt ein Paläoboden, welcher von einer 1 bis 1,5 m mächtigen Lößdecke verhüllt wird.

Die **Jüngere Decke** (JD) ist im Ennstal nur bei Dürnberg, ca. 6 km nördlich von Steyr, als kleiner Rest vorhanden. Ein großer, geschlossener Schotterkörper der JD ist im Wolfener Schotterstrang erhalten. Er setzt im Steyrtal (westlich der Stadt Steyr) bei Baschallern an und zieht rinnenförmig, ca. 2 km breit, 15 bis 25 m tief, in die ÄD eingeschachtelt über Unterwolfen bis Tillysburg (westl. Enns), wo er in den Donaauraum ausmündet. Der 15 bis 25 m mächtige Schotterkörper, welcher ausschließlich aus flysch- und kalkalpinem Steyrmaterial besteht und sich damit vom Enns-Schotterspektrum deutlich unterscheidet, zeigt bis in 7 m Tiefe Verwitterungserscheinungen (Pechschotter) und liegt auf einem eigenen Schlierensockel. 2 bis 5 m mächtige Deckschichten verhüllen die Schotter.

Die Schotterfluren der **Älteren Decke** bilden den Rahmen des Ennstales. An der östlichen Talseite setzt bei Steyr der Haager Schotterfächer

an, welcher von der günzzeitlichen Enns aufgeschüttet worden ist. Die westliche Talseite wird durch die ÄD des Steyr-Krems-Schotterfächers gebildet. Die Schlierschwelle von Enzengarn (westl. Steyr), auf der Schotterreste der Höhenterrasse I liegen, deutet die damalige Wasserscheide an.

Die Schotterdecken erreichen in Alpennähe eine Mächtigkeit bis 25 m. Im Ennsspektrum — namentlich östlich des heutigen Ennslaufes — erreicht der Quarz-Kristallin-Anteil (bes. talab) einen großen Anteil. Die Schotterkörper sind im allgemeinen 8 bis 10 m tief durchverwittert (Pechschotter) und von mehreren Meter mächtigen, lehmigen Deckschichten verhüllt. Der Schliersockel liegt gegenüber jenem der JD um rund 20 bis 25 m höher.

Reste von ältestpleistozänen **Höhenterrassen** sind bei Enzengarn (westlich von Steyr) und Forstholz (westlich von St. Florian) erhalten. Sie überragen inselhaft, auf höherem Schliersockel liegend, rund 20/25 m die Deckenschotterplatte. Am besten sind die Höhenterrassen im Donauraum an der Nordabdachung des Strengberger Schlierriedellandes (im NE des Kartenausschnittes) erhalten. Sie bilden hier eine dreigeteilte Terrassentreppe (HÖT I, II, III).

IV. Zur Geomorphologie der Quartärterrassen:

Die Terrassenflächen zeigen typische, morphologische Charakterzüge. Während die Niederterrassen noch eine ungegliederte Brettebene darstellen, hat sich auf den Hochterrassenflächen bereits ein flaches Dellennetz entwickelt. Die Dellen sind sehr flach, maximal 1 bis 2 m in den Bereich der Lößdecke und der geringmächtig verwitterten Schotterdecke eingetieft. Nur unmittelbar an der Terrassenstufe treten tiefere kurze Kerb-Anrisse oder „Trockene Kastentälchen“ auf.

Die Deckenschotterfluren weisen dagegen schon ein mehr oder minder stark verzweigtes autochthones Dellen- und Talnetz auf, wobei die Ältere Decke gegenüber der Jüngeren Decke durch ein wesentlich dichteres und tiefer eingeschnittenes Talnetz geprägt wird.

Die Täler beginnen im Oberlauf als **Dellen**. Diese sind in die Deckschichten und im verwitterten Schotterpaket als breite, noch wasserlose Mulden eingesenkt. 2 bis 5° geneigte, sehr verflossene Flachhänge fallen allmählich zur bis 10/15 m eingetieften Dellensohle ab.

Bei fortschreitender Eintiefung gehen die Dellen in scharfkantig eingeschnittene, ebensohlige „**Trockene Kastentälchen**“ über. Diese sind bereits in die tieferen, unverwitterten Schotterpartien, welche z. T. sogar verfestigt sind, eingeschnitten. Im Querprofil zeigen sie einen 2 bis 5° geneig-

ten, von der Schotterplatte allmählich abfallenden Oberhang (Dellentypus). Mit einem meist scharfen Knick geht dieser dann in einen 5 bis 15 m hohen Steilhang des Kastentälchens über. Diese Steilhänge sind sehr trockene Standorte mit seichten schottrigen Rohböden. Häufig beißen sogar Schotter und Konglomeratbänke aus. Mit deutlichen unteren Knicken enden die Schottersteilhänge in einer ebenen, schottrig-trockenen Talsohle. Nähert sich jedoch die Talsohle der Schlierbasis, so wird die Talsohle merkbar feuchter, und austretendes Grundwasser sammelt sich allmählich zu kleinen Gerinnen und Bächen.

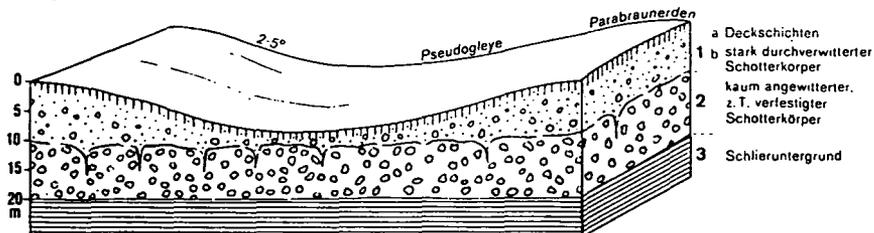
Hier vollzieht sich der Übergang zum dritten Taltypus, den „**Feuchten Sohlentälchen**“. Haben die Bäche bereits die Schotterdecke durchschnitten und sich in den Schlieruntergrund eingetieft, so ändert sich wieder das Talquerprofil. Die Talhänge weisen nun eine Dreigliederung auf. Unter dem flachen, tiefgründigen (Dellen-)Oberhang und der trockenen, seichtgründigen Schottersteilstufe, setzen mit einem weiteren deutlichen Knick durchwegs 9 bis 11° geneigte Schlier-Unterhänge an. Die Schotter-Schliergrenze ist wieder eine bedeutende ökologische Grenze. An ihr verläuft häufig ein Quellhorizont. Reihenweise treten oft Quellen, z. T. in Form von Naßquellen auf.

Die Schlier-Unterhänge sind mehr oder minder stark durch Hangprozesse überprägt. Über dem Schlier liegen häufig Hanglehme verschiedener Mächtigkeit, z. T. werden sie durch Schotterschleier verhüllt. Sie sind durch Solifluktions- oder Abspülungsprozesse aus den oberen Hangpartien hier abgelagert worden. Der vorgeführte Standort liegt in einer derartigen Unterhang-Position, der Schlier-Unterhang wird hier von einer mehrere Meter mächtigen Fließlehmdecke verhüllt, welche das Ausgangsmaterial für den vorgestellten Boden bildet.

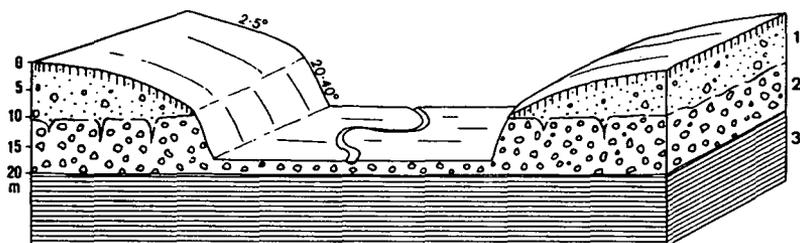
Die Unterhänge der Feuchten Sohlentälchen gehen in eine breite, sehr feuchte Talsohle über. In diesen Talböden haben die Bäche meist eigene geringmächtige Feinsedimentkörper, vermengt mit umgelagerten Deckenschottern abgelagert.

Auflösungsformen in Deckenschottern: Taltypen (schemat. Skizze) H. FISCHER

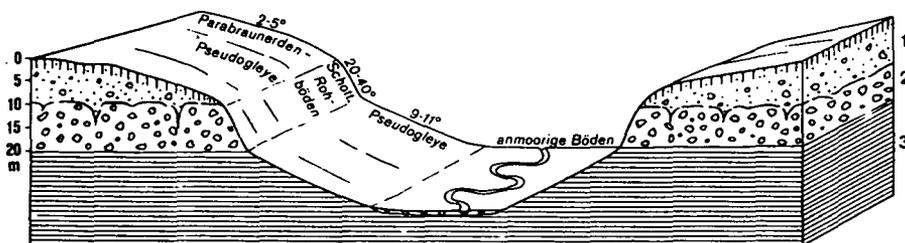
1. Typ: Dellen und Dellentälchen

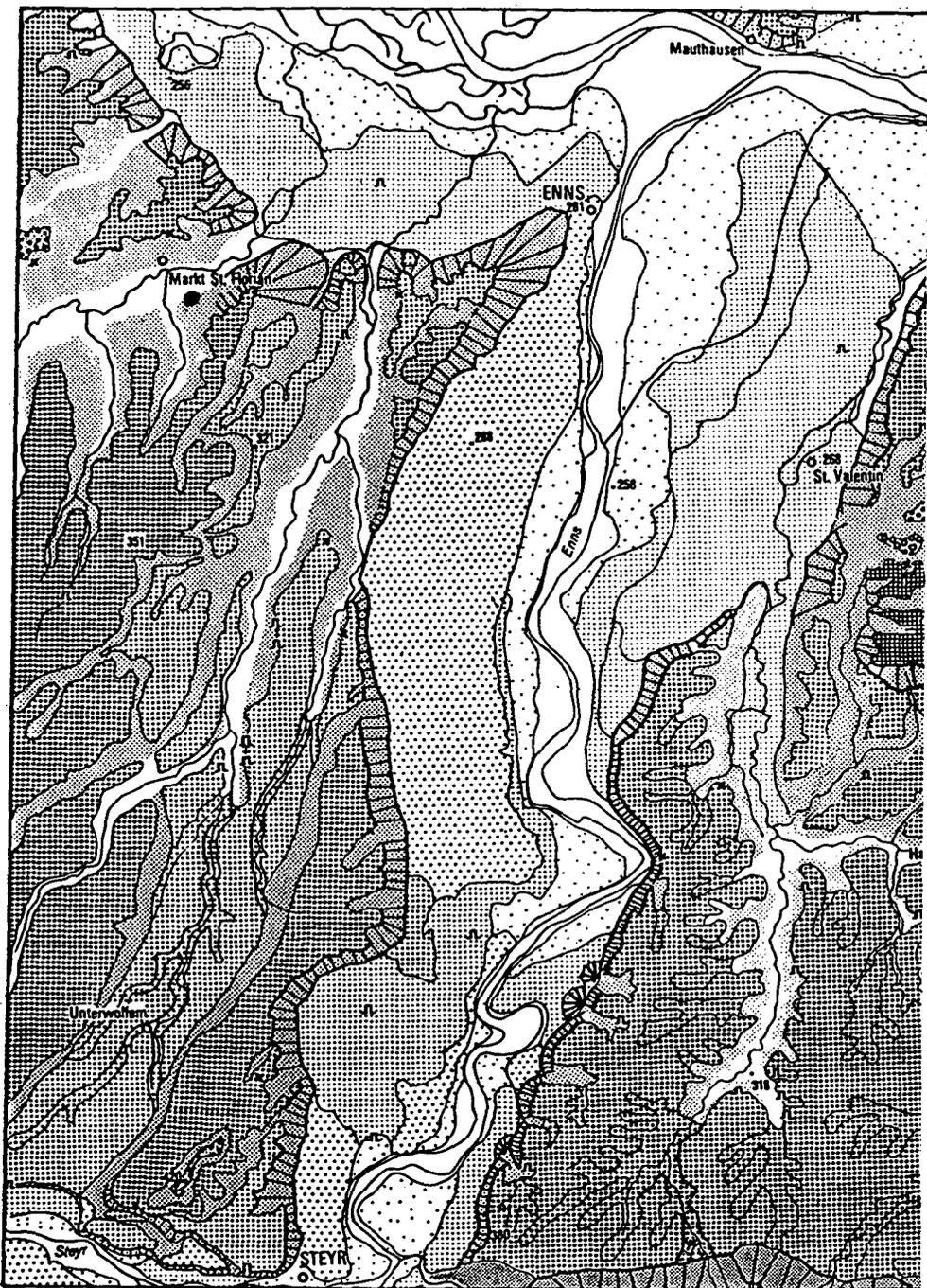


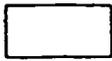
2. Typ: Trockene Kastentälchen



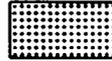
3. Typ: Feuchte Sohlentälchen



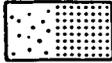




Talaue



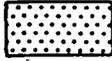
Jüngere Deckenschotter



tiefere/höhere
Niederterrasse



Ältere Deckenschotter



Hochterrasse



Höhenterrasse
I II III



Oeder Hochflur (390/410 m)
(/mit Schotterdecke)



Dellen



Hänge im Schlier



Kastentälchen



Hänge im Flysch



markante Geländestufen



Exkursionsprofil



Teilnehmerverzeichnis

- Aichberger K., Dipl.-Ing. Dr.
Landwirtschaftlich-chemische Bundesanstalt
Wienerstraße 8
4025 Linz
- Althuber W., Dr.
Magistrat Salzburg
Vierthalerstraße 10
5024 Salzburg
- Bäck J., Ing.
Bundesanstalt für Bodenwirtschaft, Außenstelle Linz
Wienerstraße 8
4025 Linz
- Bayer W.
Burgenländischer Müllverband
7350 Oberpullendorf
- Beck H.
Dornacher Straße 12
4040 Linz
- Beck W., HR Prof. Dipl.-Ing. Dr.
Landwirtschaftlich-chemische Bundesanstalt
Wienerstraße 8
4025 Linz
Trunnerstraße 1
1020 Wien
- Blum W. E. H., o. Prof. Dipl.-Ing. Dr.
Universität für Bodenkultur
Gregor-Mendel-Straße 33
1180 Wien
- Böhm W., Dipl.-Ing.
Amt der Salzburger Landesregierung
Postfach 527
5010 Salzburg
- Brenn, Ing.
BBK Steyr
Tomitzstraße 1
4400 Steyr
- Buchner I., Ing.
Österr. Normungsinstitut
Heinestraße 38
1020 Wien
- Candinas, T.
Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrikulturchemie und Umwelthygiene
CH-3097 Liebefeld-Bern
- Cinibulk Fr., Senatsrat Ing. Mag.
Magistrat Linz
Paul-Hahn-Straße 1
4020 Linz

- Danneberg O. H., Univ.-Doz. Dr.
 Bundesanstalt für Bodenwirtschaft
 Denigasse 31
 1200 Wien
- Edelbauer A., Dipl.-Ing. Dr.
 Universität für Bodenkultur
 Gregor-Mendel-Straße 33
 1180 Wien
- Eder G., Dipl.-Ing.
 Bundesanstalt für alpenländische Landwirtschaft Gumpenstein
 8952 Irnding
- Edinger E., Dipl.-Ing.
 NÖ. Landeslandwirtschaftskammer
 Löwelstraße 16
 1040 Wien
- Eichler M., Min.-Rat Dr.
 Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft
 Stubenring 1
 1010 Wien
- Eisenhut M., Dr.
 Bundesanstalt für Bodenwirtschaft
 Außenstelle Steiermark
 Präbächweg 47
 8301 Laßnitzhöhe
- Faltinger, L.
 Statzing 51
 4222 Luftenberg
- Famler P., Dipl.-Ing.
 Höhere Bundeslehranstalt für alpenländische Landwirtschaft
 Ursprung/Elixhausen
 5161 Elixhausen
- Feichtinger F., Dipl.-Ing.
 Bundesanstalt für Kulturtechnik und Bodenwasserhaushalt
 Pollnbergstraße 1
 3252 Petzenkirchen
- Fiedler, F.
 Österr. Düngeberatung
 Glacisstraße 27 P
 8010 Graz
- Fischer H., Dr.
 Bundesanstalt für Bodenwirtschaft
 Denigasse 31
 1200 Wien
- Fritz, G.
 Gesäusestraße 50
 8940 Liezen
- Fuhrmann E., Dipl.-Ing.
 Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft
 Stubenring 1
 1010 Wien

- Gaigg W., Dipl.-Ing.
Vertriebsgesellschaft für Kalidüngemittel
Tuchlauben 7 a
1010 Wien
- Galler J., Ing.
Landwirtschaftskammer Salzburg
Schwarzstraße 19
5020 Salzburg
- Gammer, F.
Zargl 5
4081 Hartkirchen
- Geßl A., Min.-Rat, Dipl.-Ing.
Gärtnergasse 17
2100 Korneuburg
- Grasl F., Dipl.-Ing.
Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft
Stubenring 1
1010 Wien
- Gusenleitner J., HR Dr.
Landwirtschaftlich-chemische Bundesanstalt
Wieningerstraße 8
4025 Linz
- Hacker H., HR Dipl.-Ing.
Bundesanstalt für Bodenwirtschaft
Denisgasse 31
1200 Wien
- Haslauer J., Univ.-Doz. Dr.
Paracelsus-Forschungsinstitut
Schopperstraße 13
5020 Salzburg
- Hausmann R., Dipl.-Ing.
Präsidentenkonferenz d. LWK Österreichs
Löwelstraße 12
1010 Wien
- Hofer G., Ing.
Landwirtschaftlich-chemische Bundesanstalt
Wieningerstraße 8
4025 Linz
- Hoffmann G., Prof. Dr.
Staatl. Landw. Untersuchungs- und Forschungsanstalt Augustenberg
Neßlerstraße 23
D-75 Karlsruhe 41
- Hofmann, G.
Landwirtschaftlich-chemische Bundesanstalt
Wieningerstraße 8
4025 Linz
- Hornich H., Ing.
Wilhelm-Thöny-Weg 9
8052 Graz

- Huber W., Dr.
Landw. Forschungsanstalt Laimburg
I-3940 Auer bei Bozen
- Huss H., Dr.
Versuchsstation d. BA für Pflanzenbau
Gmundnerstraße 9
4651 Stadl-Paura
- Irrasch, G. M.
Ebenstraß Nr. 7
4732 St. Thomas
- Jenisch H. S., Dipl.-Ing.
Porzellangasse 51
1091 Wien
- Kahmann L., Dipl.-Ing.
Landesanstalt für Umweltschutz
Lerchenstraße 6
D-75 Karlsruhe 21
- Kainz U., Dipl.-Ing.
Bundesstaatliche Bakteriologisch-Serologische Untersuchungsanstalt
Derfflingerstraße 2
4020 Linz
- Kandeler E., Dr.
Bundesanstalt für Bodenwirtschaft
Denisgasse 31
1200 Wien
- Kappinger, L.
Landwirtschaftlich-chemische Bundesanstalt
Wieningerstr. 8
4025 Linz
- Kasperowski E., Dipl.-Ing. Dr.
Österr. Bundesinstitut für Gesundheitswesen
Stubenring 6
1010 Wien
- Kastner A., Ing.
Bundesanstalt für Bodenwirtschaft, Außenstelle Linz
Wieningerstraße 8
4025 Linz
- Kern, A.
Österreichische Düngeberatung
Glacisstraße 27 P
8010 Graz
- Kern H., Dipl.-Ing.
Präsidentenkonferenz d. LWK Österreichs
Löwelstraße 12
1010 Wien
- Kilian W., HR Dipl.-Ing. Dr.
Forstliche Bundesversuchsanstalt
Schönbrunn
1131 Wien

- Kinzlbauer, H.
Landwirtschaftlich-chemische Bundesanstalt
Wieningerstraße 8
4025 Linz
- Klaghofer E., Dipl.-Ing. Dr.
Bundesanstalt für Kulturtechnik und Bodenwasserhaushalt
Pollnbergstraße 1
3252 Petzenkirchen
- Köchli A., Dipl.-Ing.
Landwirtschaftlich-chemische Bundesanstalt
Trunnerstraße 1
1020 Wien
- Köhldorfer Ch., Dipl.-Ing.
Landwirtschaftlich-chemische Bundesanstalt
Trunnerstraße 1
1020 Wien
- Koppenberger, I.
Landwirtschaftlich-chemische Bundesanstalt
Wieningerstraße 8
4025 Linz
- Kriechbaum D., HR Dipl.-Ing.
Amt der öö. Landesregierung
Kärntnerstraße 12
4020 Linz
- Langegger, J.
F.-Hochedlinger-G. 30—32/3/15
1020 Wien
- Lechner P., Dipl.-Ing.
Technische Universität Wien
Karlsplatz 13
1040 Wien
- Leder N., Dipl.-Ing.
Bundesanstalt für Kulturtechnik und Bodenwasserhaushalt
Pollnbergstraße 1
3252 Petzenkirchen
- Leeb, H.
Burgenländischer Müllverband
7350 Oberpullendorf
- Leinert E., Ing.
Landwirtschaftlich-chemische Bundesanstalt
Trunnerstraße 1
1020 Wien
- Leisser M., Dipl.-Ing.
Höhere Landwirtschaftliche Bundeslehranstalt
4490 St. Florian
- Lew H., Dr.
Landwirtschaftlich-chemische Bundesanstalt
Wieningerstraße 8
4025 Linz

- Maierhofer E., Dir. Dipl.-Ing. Dr.
Öö. Landwirtschaftskammer
Auf der Gugl 3
4021 Linz
- Matsché N., Univ.-Doz. Dr.
Technische Universität
Karlsplatz 13
1040 Wien
- Mauracher, J.
Abwasserverband Kufstein und Umgebung
Stadtplatz 22
6330 Kufstein
- Maurer L., Dr.
Magistrat Wien
Rinnböckstraße 15
1110 Wien
- Mayr E., Dipl.-Ing.
Amt der öö. Landesregierung
Kärntnerstraße 12
4020 Linz
- Mayr H., Dipl.-Ing.
Landesbaudirektion
Herrengasse 1
6020 Innsbruck
- Mayr J., Dipl.-Ing.
Bezirksbauernkammer
4070 Eferding
- Mayr R., Dipl.-Ing.
Landwirtschaftlich-chemische Bundesanstalt
Wieningerstraße 8
4025 Linz
- Messiner H., Konsulent Dipl.-Ing. Dr.
Unterer Heidenweg 30
9500 Villach
- Müller H., Ing.
Amt der öö. Landesregierung
Kärntnerstraße 12
4020 Linz
- Mutsch F., Dr.
Forstliche Bundesversuchsanstalt
Schönbrunn
1131 Wien
- Nagl, A.
Salzburger Straße 69
4800 Attnang-Puchheim
- Naschberger H., Dr.
Abwasserverband Kufstein und Umgebung
Stadtplatz 22
6330 Kufstein

- Nelhiebel P., Dipl.-Ing.
 Bundesanstalt für Bodenwirtschaft
 Denigasse 31
 1200 Wien
- Nestroy O., Univ.-Doz. Dr.
 Universität Wien
 Schleifmühlgasse 5/17
 1040 Wien
- Neugebauer, I.
 Wambacherstraße 14
 4033 Linz
- Neuhofer H., Univ.-Doz. Dr.
 Öö. Gemeindebund
 Coulinstraße 1
 4020 Linz
- Nowotny R., Dipl.-Ing.
 Voest-Alpine
 Zollamtstraße 1
 4020 Linz
- Öhlinger R., Dipl.-Ing.
 Landwirtschaftlich-chemische Bundesanstalt
 Wieningerstraße 8
 4025 Linz
- Palfrader H., Dipl.-Ing.
 Amt der Tiroler Landesregierung
 6020 Innsbruck
- Panholzer F., Dipl.-Ing.
 Bundesanstalt für Bodenwirtschaft, Außenstelle Linz
 Wieningerstraße 8
 4025 Linz
- Patter D., Ing.
 Landeskammer für Land- und Forstwirtschaft in Steiermark
 Hamerlinggasse 3
 8011 Graz
- Pauli, K.
 Müllhygienisierungsanlage
 8966 Aich-Assach
- Pecina, E.
 Grünbeckgasse 14
 2700 Wr. Neustadt
- Peer T., Univ.-Doz. Dr.
 Universität Salzburg
 Freisaalweg 16
 5020 Salzburg
- Pesta P., Dipl.-Ing.
 Amt der Tiroler Landesregierung
 6020 Innsbruck
- Pichler, H.
 Landwirtschaftlich-chemische Bundesanstalt
 Wieningerstraße 8
 4025 Linz

- Plakolm G., Dipl.-Ing.
Landwirtschaftlich-chemische Bundesanstalt
Wieningerstraße 8
4025 Linz
- Platzer K., Ing.
Stadtbauamt
4810 Gmunden
- Pranger, H.
Abwasserverband Kufstein und Umgebung
Stadtplatz 22
6330 Kufstein
- Puchwein G., Dr.
Landwirtschaftlich-chemische Bundesanstalt
Wieningerstraße 8
4025 Linz
- Puchwein W., Dipl.-Ing.
Landwirtschaftlich-chemische Versuchsanstalt
Burggasse 2
8010 Graz
- Rasinger A., Ing.
Österreichische Düngeberatung
Auenbruggergasse 2
1030 Wien
- Reh G., Ing.
Landwirtschaftlich-chemische Bundesanstalt
Trunnerstraße 1
1020 Wien
- Rieck W., Dr.
Herthergasse 11/16
1120 Wien
- Rotter W., Dipl.-Ing.
Andreas-Hofer-Straße 38
6020 Innsbruck
- Ruth P., Dr.
Präsidentenkonferenz d. LWK Österreichs
Löwelstraße 12
1010 Wien
- Schaaf, H.
Versuchsstation Rauschholzhausen
D-3557 Ebsdorfergrund 4
- Schlager G., Dipl.-Ing. Dr.
Amt der Salzburger Landesregierung
Postfach 527
5010 Salzburg
- Schmoigl K., Ing.
Oö. Landwirtschaftskammer
Auf der Gugl 3
4021 Linz
- Schneider W., Dipl.-Ing.
2264 Jedenspeigen 286

- Schörkmair W., Ing.
Bundesanstalt für alpenländische Landwirtschaft Gumpenstein
8952 Irdning
- Schuchter, M.
6426 Roppen 303
- Schwaiger M., Dipl.-Ing.
Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft
Stubenring 1
1010 Wien
- Schwameis, A.
Nö. Umweltschutzanstalt
Südstadtzentrum 4
2344 Maria Enzersdorf
- Schwarz R., Dipl.-Ing. Dr.
8970 Schladming
- Sembach W., Dipl.-Ing. Dr.
LWK Kärnten
Museumgasse 5
9010 Klagenfurt
- Solar F., Univ.-Doz. Dr.
Universität für Bodenkultur
Gregor-Mendel-Straße 33
1180 Wien
- Sommer, H.
Landwirtschaftlich-chemische Bundesanstalt
Wienerstraße 8
4025 Linz
- Stadler A., Ing.
Bundesanstalt für Bodenwirtschaft
Außenstelle Linz
Wienerstraße 8
4025 Linz
- Stummer J., Ing.
Landwirtschaftliche Fach- und Berufsschule
4040 Kirchsschlag 26
- Szuetits K., Senatsrat Dipl.-Ing.
Magistrat Wien
Haidequerstraße 6
1110 Wien
- Tomek H., Dipl.-Ing.
Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft
Stubenring 1
1010 Wien
- Tragler, A.
Landwirtschaftliche Fach- und Berufsschule
4553 Schlierbach 7
- Tschörner F., Dr.
Landwirtschaftlich-chemische Versuchs- und Untersuchungsstelle
6200 Rotholz

- Unger, G.
Bundesanstalt für Bodenwirtschaft
Denisgasse 31
1200 Wien
- Urbania H., HR Dipl.-Ing.
Landwirtschaftlich-chemische Versuchs- und
Lebensmitteluntersuchungsanstalt
Lastenstraße 40
9020 Klagenfurt
- Vincze H., Dipl.-Ing.
Magistrat Wien
Vord. Zollamtstraße 11
1033 Wien
- Vogel H., Min.-Rat Mag.
Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft
Stubenring 1
1010 Wien
- Weisheit H., HR Dipl.-Ing.
Bundesanstalt für alpenländische Landwirtschaft Gumpenstein
8952 Irnding
- Wahrheim S. E., Dr.
Chemie Linz AG
Welser Straße 42
4020 Linz-Haag
- Wimmer J., Dipl.-Ing. Dr.
Landwirtschaftlich-chemische Bundesanstalt
Wieningerstraße 8
4025 Linz
- Winter J., Dipl.-Ing.
Höhere Landwirtschaftliche Bundeslehranstalt
4490 St. Florian
- Zellinger, P.
Raiffeisenplatz 10
4111 Walding
- Zohner A., Dr.
Chemie Linz AG
Welser Straße 42
4020 Linz-Haag