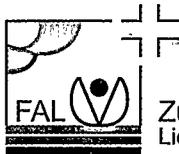




0 0 0



Zürich-Reckenholz  
Liebefeld-Bern

Schriftenreihe der FAL 23  
Les cahiers de la FAL 23

## Flächenbezogene Boden- belastung mit Schwermetallen durch Klärschlamm

### Epandage de boues d'épuration et contamination des sols par les métaux lourds

Thomas Keller und André Desales



Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau, Zürich-Reckenholz  
Institut für Umweltschutz und Landwirtschaft, Liebefeld-Bern

Station fédérale de recherches en agroécologie et agriculture, Zurich-Reckenholz  
Institut de recherches en protection de l'environnement et en agriculture, Liebefeld-Berne



Zürich-Reckenholz  
Liebefeld-Bern

**Schriftenreihe der FAL 23**  
**Les cahiers de la FAL 23**

**Flächenbezogene Boden-  
belastung mit Schwermetallen  
durch Klärschlamm**

**Epandage de boues d'épuration  
et contamination des sols par  
les métaux lourds**

**Thomas Keller und André Desaulès**



**Nationale Bodenbeobachtung**  
**Observation national des sols**

Projektleitung  
Responsable du projet

André Desaulès

Bearbeitung  
Réalisation

Thomas Keller

Begleitung  
Mandataire

Johannes Dettwiler (BUWAL)

Auftraggeber  
Committant

Bundesamt für Umwelt, Wald und  
Landschaft (BUWAL), 3003 Bern

Bezugsquelle  
A commander auprès  
de

Institut für Umweltschutz und  
Landwirtschaft (IUL), Liebefeld  
3003 Bern

**Eidgenössische Forschungsanstalt  
für Agrarökologie und Landbau, Zürich-Reckenholz**  
Institut für Umweltschutz und Landwirtschaft, Liebefeld-Bern

**Station fédérale de recherches en agroécologie et  
agriculture, Zurich-Reckenholz**  
Institut de recherches en protection de l'environnement  
et en agriculture, Liebefeld-Berne

**Impressum:**

ISSN 1421-4393 Schriftenreihe der FAL  
ISBN 3-905608-13-8

Herausgeber: Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau  
Zürich-Reckenholz, CH-8046 Zürich  
mit  
Institut für Umweltschutz und Landwirtschaft Liebefeld, CH-3003 Bern.

Redaktion: Albrecht Siegenthaler

Gestaltung: Thomas Keller, Elsbeth Plüss, Katrin Zanger

Preis Fr. 30.-- inkl. Mwst.

© by FAL, 1997

# VORWORT

Die Verwendung von Klärschlamm als Abfalldünger wird in weiten Bevölkerungskreisen subjektiv stark mit der Bodenbelastung durch Schwermetalle verknüpft, obwohl seit Beginn der 80er Jahre Qualitäts- und Ausbringvorschriften bestehen. Über das tatsächliche Belastungsausmass und den Stellenwert der Düngung mit Klärschlamm gegenüber anderen Belastungsquellen wie etwa den Strassenverkehr oder der Anwendung von kupferhaltigen Pflanzenbehandlungsmitteln fehlen landesweit zuverlässige Angaben. Im vorliegenden Bericht wird die verfügbare Datenlage zur Abschätzung der landesweiten Bodenbelastung mit Schwermetallen durch Klärschlammgaben eingehend analysiert und mit gebührender Vorsicht für eine flächenbezogene Abschätzung verwendet.

Die Analyse zeigt, dass die Datenlage stark von den gesetzlichen Grundlagen geprägt ist, die 1981 mit dem Inkrafttreten der Klärschlammverordnung einsetzten. Damals waren allerdings bereits über 750 Abwasserreinigungsanlagen in Betrieb, die Klärschlamm beseitigen mussten. Als ganz entscheidend erweist sich weiter die Koordination und Vollzugsqualität der verschiedenen Behörden des Bundes und der Kantone, die stark von den verfügbaren Mitteln und verfolgten Strategien abhängig sind. Die Situation ist dementsprechend je nach Kanton unterschiedlich. Generell besitzen die Kantone ausführlichere Daten als der Bund. Diese sind aber leider meist erst ab Ende der 80er Jahre zentral verfügbar.

Aufgrund dieser Datenlage ist eine landesweite Abschätzung der Verdachtsflächen, bei denen wegen der Klärschlammdüngung die Schwermetallrichtwerte der Böden überschritten sind, nur sehr grob möglich. Aufgrund einer vorsichtigen Schätzung beträgt die belastete Fläche in Bezug auf die Landwirtschaftsfläche der Schweiz im schlechtesten Fall höchstens 6 % für Cadmium und weniger als 4 % für Blei, Kupfer und Zink. Demgegenüber stehen die strassennahe Belastung mit 3 % für Blei und der Rebbau mit etwa 4 % für Kupfer. Um wieviel geringer die Belastung durch Klärschlammdüngung tatsächlich ist, kann allerdings mit den verfügbaren Daten aus folgenden Gründen nicht eruiert werden: Eine landesweit systematische Klärschlammkontrolle setzte erst ab 1980 das heisst mehr als zehn Jahre nach Beginn einer namhaften Schlammproduktion ein, und der Datenerfassungsgrad ist mit durch-

schnittlich 20 % der landwirtschaftlich verwerteten Klärschlammmenge ungenügend. Weiter verlangen die Vorschriften des Bundes keine parzellenscharfen Angaben über den Klärschlammaustrag. Zudem sind die Gesetzesgrundlagen trotz Auskunftspflicht der systematischen Auffindung möglicher Klärschlammbelastungspartellen nicht förderlich. Eine genauere systematische Abschätzung der flächenbezogenen Schwermetallbelastung durch Klärschlamm ist landesweit mit verhältnismässigem Aufwand nicht möglich und bleibt regionalen und allenfalls kantonalen Untersuchungen vorbehalten.

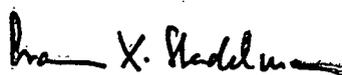
Die tatsächlich durch Klärschlammgaben mit Schwermetallen belasteten Böden sind vorwiegend 'Altlasten' der 70er Jahre. Für die zuständigen Behörden sei aber darauf hingewiesen, dass mit extremen Düngungszenarien, welche die heutigen Schwermetallgrenzwerte von Klärschlamm und höchstzulässigen Frachten ausschöpfen, Richtwerte im Boden in weniger als 100 Jahren überschritten werden können. Wenn solche Entwicklungen vollständig ausgeschlossen werden sollen, hat die Klärschlammkontrolle der Kantone aus fachlicher Sicht weiter zu gehen als dies in den aktuellen Bundesvorschriften verlangt wird. Insbesondere sind in diesem Fall parzellenscharfe Aufzeichnungen notwendig, wie sie für bestimmte Parameter in der Integrierten Produktion (IP) und im Biologischen Landbau vorgeschrieben sind.

Wir geben, mit dieser kritischen Arbeit im Sinne der Früherkennung und Prognose jenen verantwortlichen Instanzen einen wissenschaftlichen Beitrag in die Hand, welche bezüglich Optimierung der beiden ökologischen Leitideen Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit und Rezyklierung von Stoffen zu entscheiden haben.

Eidgenössische Forschungsanstalt für  
Agrarökologie und Landbau (FAL)

Institut für Umweltschutz  
und Landwirtschaft (IUL)

Der Leiter:



F. X. Stadelmann, Vizedirektor FAL

## PREFACE

Il n'est pas rare que l'opinion publique associe la valorisation des boues d'épuration en agriculture à la contamination des sols par les métaux lourds, et ce malgré l'introduction au début des années 80 de consignes de qualité des boues destinées à l'épandage. Il n'existe pas de données fiables permettant de connaître l'étendue réelle de la contamination par les boues d'épuration et son importance par rapport à d'autres sources de pollution, circulation routière ou emploi de produits phytosanitaires sulfatés, par ex. L'objectif du présent rapport est précisément d'analyser la fiabilité des données afin d'évaluer la contamination des sols par les métaux lourds contenus dans les boues d'épuration ainsi que l'étendue, si tant est que cela soit possible, des parcelles contaminées.

Les données actuellement disponibles reflètent dans une large mesure l'état des bases légales en 1981, date d'entrée en vigueur de l'ordonnance sur les boues d'épuration. A cette époque, la Suisse comptait 750 STEP devant se débarrasser de leurs boues d'épuration. Un autre fait particulièrement important est que la coordination et la qualité du contrôle effectué par les autorités fédérales et cantonales dépendent des moyens disponibles et des stratégies mises en oeuvre. La situation varie donc d'un canton à l'autre, mais en règle générale les cantons disposent de données plus détaillées que la Confédération. Malheureusement, ce n'est qu'à la fin des années 80 qu'elles sont disponibles au niveau des cantons.

Toute évaluation des surfaces susceptibles de présenter des dépassements des valeurs indicatives fixées pour les métaux lourds, ne peut donc qu'être approximative. Nous estimons que, dans le pire des cas, 6 % de la superficie agricole suisse est contaminée par le cadmium et moins de 4 % par le plomb, le cuivre et le zinc contenus dans les boues d'épuration. A titre de comparaison, 3 % de cette même superficie est contaminée par le plomb provenant de la circulation routière et 4 % par le cuivre utilisé dans les vignes. Il n'est néanmoins pas possible de savoir dans quelle mesure la contamination par les boues d'épuration est moins élevée, pour les raisons suivantes: 1) ce n'est qu'à partir de 1980 que le contrôle systématique des boues d'épuration a

été instauré au niveau national, alors que la production de boues avait commencé dix années plus tôt. 2) On estime que seules 20 % des données des STEP sont reprises dans les banques de données. 3) Au niveau fédéral, aucune consigne ne prescrit l'enregistrement des apports de boues par surface cultivée. 4) Les bases légales quant à elles ne permettent pas de repérer, systématiquement les surfaces susceptibles d'être contaminées par les boues d'épuration, malgré l'obligation de renseigner. Toute estimation plus précise n'est donc envisageable qu'au niveau régional et relève d'investigations cantonales.

Les sols effectivement contaminés par les métaux lourds issus des boues d'épuration sont le résultat d'apports qui remontent essentiellement aux années 70. Les autorités compétentes doivent néanmoins savoir que les valeurs indicatives fixées par l'Osol pourraient être atteintes en moins d'un siècle, à condition que les quantités de boues d'épuration épandues correspondent aux maxima autorisés. Si l'on veut être sûr de ne pas dépasser ces valeurs indicatives, les autorités cantonales devront exercer un contrôle plus sévère que ne le prescrit la Confédération. Il serait particulièrement important d'établir une comptabilité des apports de boues d'épuration par parcelle, comme cela se fait déjà pour certaines substances en production intégrée (PI) et agriculture biologique.

Le présent rapport se propose donc de fournir aux autorités compétentes une analyse scientifique de l'utilisation des boues d'épuration en agriculture afin de progresser dans la voie des deux principes écologiques que sont la préservation de la fertilité des sols et la valorisation des substances.

Station fédérale de recherches  
en agroécologie et agriculture (FAL)

Institut de recherches en protection  
de l'environnement et en agriculture (IUL)

Le chef:



F. X. Stadelmann, vice-directeur FAL

# DANK

---

Unser Dank für Auskünfte oder Stellungnahmen geht an:

- Michael Benker, Andrea Bertogg, Michel Carrard, Christoph Zäch & Jürg Zihler, Bundesamt für Umwelt Wald und Landschaft (BUWAL)
- René Bonjour, Toni Candinas, Georg Chassot & Heinz Häni, Institut für Umweltschutz und Landwirtschaft (IUL)
- Kantonale Ämter für Umweltschutz der Kantone Basel-Landschaft, Luzern, Nidwalden, Schwyz, Tessin & Uri
- Mario Andrini & Marc Häni, Amt für Gewässerschutz und Abfallwirtschaft des Kantons Bern
- Urs Vökt, Bodenschutzfachstelle des Kantons Bern
- Rolf Gsponer, B. Jost & D. Soder, Amt für Gewässerschutz und Wasserbau des Kantons Zürich
- Werner Kanz, Baudepartement des Kantons Aargau
- Ruedi Bolliger, Finanzdepartement des Kantons Aargau
- Roland Bono, Amt für Umweltschutz und Energie des Kantons Basel-Landschaft
- Hans Ulrich Hofstetter & P. Leuenberger, ARA Region Bern AG
- Beat Durrett, Hanspeter Frautschi, Niklaus Hari, Hans Jenzer, Heinz Künzi, Jakob Kuert, Eric Leuenberger, Jakob Mosimann, Fredy Niedermann, Jörg Schärer & Melchior Schild, Klärschlammberater des Kantons Bern
- Andreas Buser, Landwirtschaftliches Zentrum Ebenrain des Kantons Basel-Landschaft

# INHALTSVERZEICHNIS

---

ZUSAMMENFASSUNG.....	9
RESUME.....	12
ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS .....	15
<b>1 EINLEITUNG .....</b>	<b>17</b>
1.1 PROJEKTBEGRÜNDUNG .....	17
1.2 ZIELSETZUNG UND VORGEHEN .....	17
<b>2 GRUNDLAGEN UND DATENLAGE DER KLÄRSCHLAMMKONTROLLE AUF BUNDESEBENE ....</b>	<b>18</b>
2.1 KLÄRSCHLAMMENGEN .....	18
2.1.1 Gesetzliche Grundlagen und Empfehlungen .....	19
2.1.2 Daten und Datenqualität .....	21
2.2 SCHWERMETALLGEHALTE .....	26
2.2.1 Gesetzliche Grundlagen und Empfehlungen .....	26
2.2.2 Daten und Datenqualität .....	29
2.3 SCHWERMETALLFRACHTEN DER KLÄRSCHLAMMDÜNGUNG .....	32
2.3.1 Gesetzliche Grundlagen und Empfehlungen .....	32
2.3.2 Daten und Datenqualität .....	34
2.3.3 Fehlerbetrachtung .....	37
2.3.4 Beurteilung der Abwasserreinigungsanlagen als sekundäre Schwermetallquellen einer Region .....	39
2.3.5 Düngungsszenarien .....	41
2.4 KLÄRSCHLAMMVERTEILUNG .....	44
2.4.1 Gesetzliche Grundlagen und Empfehlungen .....	44
2.4.2 Auskunftspflicht .....	44
2.4.3 Konsequenzen bei Richtwertüberschreitungen im Boden infolge Klärschlammdüngung .....	44
2.4.4 Verfügbare Daten und Datenqualität .....	46
<b>3 DIE KLÄRSCHLAMMKONTROLLE IN AUSGEWÄHLTEN KANTONEN .....</b>	<b>47</b>
3.1 KANTON BERN .....	47
3.2 KANTON AARGAU .....	48
3.3 KANTON BASEL-LANDSCHAFT .....	49
3.4 KANTON ZÜRICH.....	50
<b>4 REGIONALE FALLSTUDIEN UND BELASTUNGSVERSUCHE .....</b>	<b>51</b>
4.1 STUDIE IM KANTON FREIBURG.....	51
4.2 STUDIE IM KANTON BASEL-LANDSCHAFT .....	51
4.3 STUDIE IN REALTA (GR).....	52
4.4 STUDIE KÜSNACHTER BERG (ZH).....	53
4.5 STUDIE REGION BADEN (AG).....	53
4.6 KLÄRSCHLAMM- BELASTUNGSVERSUCH .....	54
4.7 FAZIT .....	55

<b>5 DISKUSSION .....</b>	<b>56</b>
5.1 ABSCHÄTZUNGSSZENARIEN DER FLÄCHENBEZOGENEN KLÄRSCHLAMMBELASTUNG .....	56
5.2 GEWICHTUNG GEGENÜBER ANDEREN BELASTUNGSURSACHEN .....	58
<b>6 SCHLUSSFOLGERUNGEN UND AUSBLICK .....</b>	<b>60</b>
6.1 SCHLUSSFOLGERUNGEN .....	60
6.2 AUSBLICK .....	61
<b>7 QUELLENVERZEICHNIS .....</b>	<b>62</b>
<b>8 ANHÄNGE .....</b>	<b>67</b>
Anhang A: Daten und Berechnung der Düngungsszenarien .....	67
Anhang B: Gesamtbetriebliche Nährstoffhaushalte .....	69
1 Graswirtschaftsbetrieb (A) .....	70
2 Viehloser Betrieb (E) .....	72
3 Gemischtwirtschaftlicher Betrieb (F) .....	74
4 Schweinemastbetrieb (G) .....	76
Anhang C: Schwermetallgehalte und -frachten .....	78
1 Schwermetallfrachten pro Betrieb und Hektare .....	78
2 Schwermetallgehalte der verwendeten Dünger .....	82

## ZUSAMMENFASSUNG

Die Bodenbelastung von Landwirtschafts-parzellen durch qualitativ schlechten oder übermässigen Einsatz von Klärschlamm ist eine durch mehrere Einzeluntersuchungen belegte Realität. Kenntnisse über das flächenhafte Ausmass dieser Bodenbelastung sind für einen wirkungsvollen und verhältnismässigen Vollzug von Bodenschutzmassnahmen von entscheidender Bedeutung. Dieser Bericht zeigt auf, welche Daten und Grundlagen auf Bundes- und Kantons-ebene zur Abschätzung der flächenbezogenen Bodenbelastung mit Schwermetallen durch Klärschlamm vorhanden sind und inwieweit diese für eine gezielte Ermittlung von Flächen mit „Klärschlamm-Altlasten“ genügen. Dazu wurden die gesetzlichen Grundlagen und Empfehlungen bezüglich Klärschlammmenge, Schwermetallgehalte und Klärschlammverteilung sowie deren Umsetzung analysiert. Gleichzeitig wurden die verfügbaren Daten und deren Qualität eingehend untersucht und auf ihre Brauchbarkeit geprüft. Weiter wurden der Vollzug der Klärschlammkontrolle in ausgewählten Kantonen und bereits bestehende regionale Studien zur Klärschlammverteilung beurteilt.

Im Mai 1981 trat die Klärschlammverordnung in Kraft, welche erstmals die landwirtschaftliche Klärschlammverwertung regelte. So wurden die maximale Klärschlammmenge auf 7,5 t Trockensubstanz (TS)/ha im Verlaufe von drei Jahren beschränkt, Grenzwerte für Schwermetalle eingeführt, und die Betreiber von Abwasserreinigungsanlagen zu Aufzeichnungen über die Abgabe von Schlamm verpflichtet. Die 1992 in Kraft getretene Änderung der Stoffverordnung reduzierte die Ausbringungsmenge auf 5 t TS/ha im Verlaufe von drei Jahren, verschärfte die Schwermetallgrenzwerte für landwirtschaftlich zu verwertenden Schlamm und führte einen obligatorischen Bedarfsnachweis für Schlammbezüger ein. Die ARA-Betreiber wurden verpflichtet, die Abnehmerverzeichnisse mindestens 30 Jahre aufzubewahren. Nach einem harzigen Beginn erfüllen heute schätzungsweise 90 % der Anlagen die gesetzlichen Vorschriften. Die parzellenweise Ein-

schränkung der Schwermetallfracht durch Klärschlamm ist jedoch nicht überprüfbar, da keine parzellenscharfe Aufzeichnungspflicht vorgeschrieben ist.

Seit 1980 führt das Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL) eine Datenbank über den Klärschlammanfall, die Schlamm Entsorgung und Energiebilanzzahlen aller Kläranlagen der Schweiz, seit 1985 auch über die landwirtschaftliche Verwertung des Klärschlammes. Die Datenbank wird selten gebraucht und deshalb mit minimalem Aufwand gewartet. Die Erhebungsbögen werden schlecht ausgefüllt und nur zu einem kleinen Teil an BUWAL weitergeleitet. So sind im Durchschnitt nur von 20 % aller Anlagen Daten über die landwirtschaftliche Verwertung erfasst. Eine befriedigende Ermittlung der landwirtschaftlich verwerteten Klärschlammmenge ist auf dieser Basis kaum möglich, weshalb für die weiteren Abschätzungen auf bestehende zum Teil recht widersprüchliche Schätzungen aus der Literatur zurückgegriffen werden musste.

Eine Teildatenbank über sämtliche Klärschlamm-Schwermetallanalysen, welche mit der BUWAL-Datenbank verknüpft ist, wird am Institut für Umweltschutz und Landwirtschaft (IUL) der Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau - ehemals Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrikulturchemie und Umwelthygiene (FAC) - geführt. Diese Daten sind leider auf einem recht schwerfälligen EDV-System erfasst worden, weshalb die Zuordnung der einzelnen Analysen zu den jeweiligen Kläranlagen teilweise sehr aufwendig war.

Die Gewässerschutz-Datenbank des BUWAL und die Teildatenbank des IUL dienen trotz dieser Mängel als Grundlage zur Berechnung der Schwermetallfrachten infolge Klärschlamm Düngung. Zwar sanken die Schwermetallgehalte der Klärschlämme im Laufe der Jahre, doch war bis Beginn der 80er Jahre ein Anstieg der Frachten zu verzeichnen. Erst als sich die Klärschlammabgabe in die Landwirtschaft mengenmässig stabilisierte oder gar rückläufig wurde,

machten sich die sinkenden Gehalte bei den Schwermetallfrachten bemerkbar. Die Variabilität der im vorliegenden Bericht gemachten Frachtberechnungen liegt nach vorsichtigen Berechnungen zwischen 26 % und 51 %, wobei diese auf einer sehr schmalen Datenbasis beruht und zum Teil unter vordefinierten Bedingungen ermittelt wurde. Genaue Aussagen über die Schwermetallfrachten sind unter diesen Voraussetzungen nicht machbar. Es können höchstens gewisse Tendenzen aufgezeigt werden. Die vorhandenen Daten geben zwar Aufschluss darüber, welche Kläranlage wann mit welchem Schwermetall Probleme hatte. Da jedoch längst nicht für alle Kläranlagen Daten verfügbar sind, ist eine Typisierung der Kläranlagen nicht möglich.

Beim Vollzug der Klärschlammkontrolle spielen die Kantone eine wichtige Rolle, weshalb die Praxis in vier ausgewählten Kantonen eingehender untersucht wurde. Die Kantone verfügen zwar über erheblich ausführlichere und genauere Daten, doch sind diese meist erst ab Ende der 80er Jahre erhältlich. Vorher finden sich die Daten grösstenteils nur auf Lieferscheinen und Abnehmerverzeichnissen bei den einzelnen Kläranlagen. Für ältere Daten ist man auf mündliche Informationen der beteiligten Personen, namentlich der Transporteure und Klärschlammberater, angewiesen. Letztere üben aber eine Doppelfunktion aus: sie fördern zum einen den Klärschlammabsatz in die Landwirtschaft und müssen gleichzeitig die übermässige Düngung mit Klärschlamm verhindern. Daraus ergibt sich ein Interessenkonflikt, der zu einer gewissen Befangenheit führt. Mit der Zunahme der Betriebe, die nach den Regeln der integrierten Produktion arbeiten und den neuen Grundlagen für die Düngung im Acker- und Futterbau könnte sich in manchen Regionen die Absatzproblematik und damit auch dieser Interessenkonflikt verschärfen. Zudem sind die Berater nur selten über frühere Klärschlammlieferungen informiert, da die ersten Berater erst ab Mitte der 80er Jahre eingestellt wurden. Eine parzellenscharfe Erfassung der „Klärschlamm-Altlasten“ ist deshalb nach Meinung der befragten Kantone illusorisch.

Regionale Fallstudien weisen darauf hin, dass durch den Klärschlammaustrag in den 70er und frühen 80er Jahren, als noch keine oder unzulängliche Kontrollen bestanden, wesentliche Bodenbelastungen verursacht wurden. „Klärschlamm-Altlasten“ werden entweder durch Zufall oder mit Hilfe freiwilliger Informationsträger aufgedeckt. Eine systematische Ermittlung von „Klärschlamm-Altlasten“ ist aber nicht möglich, da hierzu die nötigen Daten fehlen.

Ein langjähriger Belastungsversuch der FAC mit Schweinegülle und Klärschlamm erlaubt dank bekannten Schwermetallfrachten, den theoretischen Schwermetallgehalt des Bodens und den effektiv gemessenen Gehalt miteinander zu vergleichen. Auch unter kontrollierten Feldbedingungen gibt es zwischen berechnetem und gemessenem Bodengehalt keine eindeutige Übereinstimmung. Berechnungen von Schwermetallgehalten im Boden sind offenbar auch bei gut bekannten Frachten ungenau und daher mit Vorsicht zu interpretieren.

Die zukünftigen Bodenbelastungen mit Schwermetallen infolge Klärschlammaustrags wurden anhand von Nährstoffbilanzen ausgewählter Betriebe mittels „Worst-case“-Belastungsszenarien abgeschätzt. Eine Auffüllung der Richtwerte der Verordnung über Schadstoffe im Boden (VSBo) ist danach auch unter Einhaltung der Begrenzungen der Stoffverordnung (StoV) zumindest bei den Schwermetallen Blei und Kupfer in weniger als 100 Jahren möglich, sofern die höchstzulässigen Frachten voll ausgeschöpft werden. Mit der heutigen Kontrollpraxis, bei welcher die Klärschlammlieferungen nur auf Betriebsebene überwacht werden können, sind Überdüngungen einzelner Parzellen nicht auszuschliessen. Zudem können aufgrund weiterer Schadstoffeinträge (Luft, Pflanzenbehandlungsmittel etc.) einzelne Bodenrichtwerte früher erreicht werden.

Wir gelangen aufgrund der verfügbaren Daten zu folgenden Schlussfolgerungen:

1. Eine zuverlässige Abschätzung der flächenbezogenen Bodenbelastung mit Schwermetallen durch Klärschlammaustrag ist mit den verfügbaren Daten nicht möglich, weil
  - die parzellenscharfe Verteilung des Klärschlammes nicht dokumentiert ist,
  - gesetzliche Regelungen erst seit 1981 existieren,
  - Qualität und Quantität der vorhandenen Daten ungenügend sind,
  - ein systematisches Aufspüren von „Klärschlamm-Altlasten“ wegen Informationslücken und Interessenkonflikten Beteiligter nicht möglich ist und
  - theoretische Berechnungen von Bodengehalten ungenau sind.

2. Dennoch liegen verschiedene Abschätzungsszenarien über die Ausdehnung der potentiellen gesamtschweizerischen Bodenbelastung mit Schwermetallen durch Klärschlamm Düngung vor. Die erhebliche Spannweite ist ein Hinweis für die Ungenauigkeit der Abschätzungen. Eine erste Näherung wurde 1989 auf 144'000 Hektaren beziffert. Sie erfasst die Flächen im Radius von 3 km um die 51 Abwasserreinigungsanlagen mit den im Zeitraum von 1975 bis 1980 am stärksten belasteten Klärschlämmen.

Im vorliegenden Bericht resultieren bei Blei, Kupfer und Zink weniger als 44'000 Hektaren und bei Cadmium weniger als 65'000 Hektaren. Diese Zahlen basieren auf folgender Berechnungsgrundlage: Benötigte Fläche für die jährliche landwirtschaftliche Klärschlammfracht, damit die entsprechenden VSBo-Richtwerte bei gleichmässiger Schlammverteilung in 100 Jahren erreicht werden.

3. Düngungsszenarien haben gezeigt, dass die VSBo-Richtwerte auch unter Einhaltung der Grenzwerte der StoV in weniger als 100 Jahren erreicht werden können, sofern die höchstzulässigen Frachten voll ausgeschöpft werden. Da meistens nur einige wenige Parzellen mit Klärschlamm gedüngt werden, sind mit der heutigen gesamtbetrieblichen Kontrollpraxis Überbelastungen einzelner Parzellen nicht in jedem Fall zu verhindern.

Um das Bodenbelastungs-Potential der landwirtschaftlichen Hilfsstoffe objektiv beurteilen zu können, müssten künftig Hilfsmengemengen und Gehalte an umweltgefährdenden Inhaltsstoffen parzellenscharf festgehalten werden. Gleichzeitig muss die Haftungs- und Entschädigungsfrage rechtlich klar geregelt werden. Nur unter diesen Bedingungen können in Zukunft Belastungsparzellen systematisch ermittelt werden.

Mit der neuen Landwirtschaftspolitik scheinen diese Forderungen zunehmend erfüllt zu werden. Landwirte, die integriert produzieren, sind verpflichtet, einen Parzellenplan zu erstellen und diesen mit einem Kulturenverzeichnis mit Angaben über die Bodenbearbeitung, die Düngung und den Pflanzenschutz zu ergänzen. Damit sind die Voraussetzungen für die parzellenscharfe Erfassung des Einsatzes landwirtschaftlicher Hilfsstoffe gegeben. Wird dabei noch berücksichtigt, dass bis zur Jahrtausendwende praktisch die gesamte Nutzfläche der Schweiz umweltschonend (integriert oder biologisch) bewirtschaftet wird, so scheint eine parzellenscharfe Erfassung der Aufwandmengen landwirtschaftlicher Hilfsstoffe in naher Zukunft möglich zu sein.

## RÉSUMÉ

Plusieurs enquêtes le confirment: la valorisation en agriculture de boues d'épuration de mauvaise qualité ou en trop grande quantité est une source de contamination des sols. Pour garantir une mise en application ciblée et efficace des mesures de protection des sols, il est indispensable de connaître l'étendue de cette contamination. Le présent rapport se propose donc de répondre aux questions suivantes: de quelles données et bases de travail disposons-nous aux niveaux fédéral et cantonal pour évaluer l'étendue de la contamination des sols par les métaux lourds contenus dans les boues d'épuration? Ces données nous permettent-elles d'identifier clairement les sites contaminés? Une première analyse a porté sur les directives et les recommandations concernant les apports de boues d'épuration, leur épandage et les teneurs en métaux lourds, ainsi que sur la mise en application desdites directives. Dans un même temps, nous avons évalué la qualité et l'utilité des données à notre disposition. Enfin, nous nous sommes intéressés au contrôle des boues d'épuration dans certains cantons et avons analysé des études régionales sur l'épandage des boues d'épuration.

C'est en mai 1981 qu'est entrée en vigueur l'ordonnance sur les boues d'épuration introduisant une réglementation de leur valorisation en agriculture. Cette ordonnance limite les quantités maximales à 7,5 t de matière sèche (MS) / ha sur trois ans, elle prescrit des valeurs limites de concentration en métaux lourds et exige des exploitants des stations d'épuration (STEP) de tenir un registre des livraisons de boues. Suite à la révision de l'ordonnance sur les substances (Osubst) en 1992, les quantités maximales ont été ramenées à 5 t MS/ha sur trois ans; les valeurs limites de concentration en métaux lourds ont été encore abaissées; quant aux utilisateurs, ils sont désormais tenus de justifier leurs besoins. Enfin, les exploitants des STEP se sont engagés à conserver pendant trente ans au moins les registres des destinataires. Après des débuts difficiles, aujourd'hui 90% environ des STEP répondent

aux prescriptions légales. Il n'est en revanche pas possible de vérifier la charge en métaux lourds par surface amendée dans la mesure où il n'existe aucune obligation d'enregistrement des quantités épandues sur une parcelle.

Depuis 1980, l'Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage (OFEFP) gère une banque de données sur les quantités de boues d'épuration produites, leur valorisation et les bilans énergétiques de toutes les STEP de Suisse, données auxquelles s'est ajoutée, à compter de 1985, la valorisation des boues d'épuration en agriculture. Peu exploitées, ces informations ne font l'objet que d'une mise à jour minimale. Les registres des STEP sont souvent remplis avec peu de soin et ne sont que partiellement transmis à l'OFEFP. Ainsi, 20% seulement des données des STEP sont reprises dans les banques de données, un résultat qui ne permet pas d'évaluer correctement les apports de boues d'épuration dans l'agriculture. C'est pourquoi nous avons eu recours à des évaluations parfois très contradictoires, tirées d'ouvrages sur les boues d'épuration.

L'Institut de recherches en protection de l'environnement et en agriculture (IUL) - anciennement Station fédérale de recherches en chimie agricole et sur l'hygiène de l'environnement (FAC) - gère également une banque de données de toutes les analyses effectuées sur les métaux lourds dans les boues d'épuration, banque de données connectée à celle de l'OFEFP. Malheureusement, les informations ont été saisies sur un système informatique si peu pratique qu'il était souvent difficile d'établir un lien entre les analyses et la STEP concernée.

Malgré leurs lacunes, ces banques de données ont permis de calculer les charges en métaux lourds provenant de l'emploi des boues d'épuration comme fertilisants. Certes, les teneurs en métaux lourds ont diminué au fil des années, mais on a observé une augmentation des charges jusqu'au début des années 80. Ce n'est qu'avec la sta-

bilisation, voire le recul des apports de boues d'épuration que l'on observe l'effet de la baisse des teneurs en métaux lourds sur les charges. La variabilité des charges établies dans le présent rapport est comprise entre 26 et 51%; il convient cependant de noter que nos calculs reposent sur une base de données très limitée, ce qui exclut la possibilité d'en tirer des conclusions précises et permet tout au plus de dégager certaines tendances. Il est certes possible d'identifier les stations d'épuration qui ont eu des problèmes avec tel ou tel métal et à quel moment. Mais en l'absence de données plus exhaustives, une classification des stations est exclue.

Les cantons jouent un rôle déterminant dans le contrôle des boues d'épuration; c'est pourquoi nous avons décidé d'étudier de plus près la situation dans quatre d'entre eux. Au niveau cantonal, les données sont certes plus détaillées et plus précises, mais seulement à partir de la fin des années 80. Auparavant, les informations sont pour la plupart consignées uniquement sur les bons de livraison et les registres des destinataires, dans les différentes stations d'épuration. Quiconque souhaite des renseignements antérieurs, doit se contenter d'informations orales des personnes concernées, transporteurs et conseillers en boues d'épuration notamment. Or, ces derniers occupent une double fonction: ils doivent d'une part encourager l'écoulement des boues d'épuration en agriculture et de l'autre, éviter un suramendement dû à un excès de boues d'épuration. Le conflit d'intérêt est inévitable. Compte tenu du nombre croissant des exploitations agricoles qui se tournent vers la production intégrée et des nouvelles consignes applicables à l'amendement des surfaces fourragères et des cultures, certaines régions pourraient être confrontées à un véritable problème d'écoulement des boues et à une aggravation de ce conflit d'intérêt. Il est par ailleurs rare que les conseillers connaissent les quantités de boues d'épuration livrées auparavant, les premiers conseillers ayant été recrutés à compter du milieu des années 80. Si l'on en croit les représentants des cantons consultés, déterminer la superficie

exacte des sites contaminés par les boues d'épuration est illusoire.

Plusieurs études régionales montrent que la contamination des sols provient largement de l'épandage de boues d'épuration dans les années 70 et au début des années 80 (époque à laquelle les contrôles n'existaient pas encore ou étaient insuffisants). Déceler les anciens sites contaminés relève donc souvent du hasard ou dépend du bon vouloir des personnes informées.

Plusieurs années durant, la FAC a effectué une étude de la contamination des sols par les boues d'épuration et le lisier de porcs: dès lors que l'on connaît les charges en métaux lourds, il est possible de comparer la teneur théorique des sols en métaux lourds à leur teneur effective (mesurée). Mais même dans des conditions d'analyses en champ rigoureusement contrôlées, il n'existe pas de corrélation significative entre les teneurs calculées et les teneurs mesurées. Et même si l'on connaît les charges, les teneurs en métaux lourds obtenues par le calcul sont peu précises et doivent donc être interprétées avec toute la prudence requise.

Partant des bilans de substances nutritives d'exploitations sélectionnées pour les besoins de l'étude et de scénarios de contamination maximale (« worst-case »), nous avons évalué les concentrations futures en métaux lourds de sols ayant servi à l'épandage de boues d'épuration. A supposer que les quantités épandues correspondent aux maximums autorisés par l'ordonnance sur les substances (Osubst), il faudrait moins d'un siècle - en ce qui concerne le plomb et le cuivre - pour atteindre les valeurs indicatives spécifiées par l'ordonnance sur les polluants du sol (Osol). Dans les conditions actuelles du contrôle, limité aux livraisons de boues d'épuration au niveau de l'exploitation, il n'est pas exclu que certaines parcelles soient l'objet d'un suramendement. D'autres sources de pollution (atmosphérique, produits phytosanitaires) peuvent par ailleurs conduire à un dépassement encore plus rapide des valeurs indicatives.

Ces observations appellent les conclusions suivantes:

1. L'état actuel des données ne permet pas d'évaluer la superficie exacte des sols contaminés par les métaux lourds provenant des boues d'épuration, pour les raisons suivantes:

- la superficie des sols fertilisés avec des boues d'épuration n'est pas connue,
- les dispositions légales n'existent que depuis 1981,
- la qualité et la quantité des données sont insuffisantes,
- il est impossible de déceler les sites contaminés compte tenu du manque d'informations et des conflits d'intérêt entre les parties prenantes,
- les calculs des teneurs théoriques en métaux lourds dans les sols sont imprécis:

2. Il existe cependant différents schémas d'évaluation de l'étendue de la contamination potentielle des sols par les métaux lourds provenant des boues d'épuration. Mais ces calculs fournissent des résultats tellement éloignés les uns des autres que l'on peut douter de la fiabilité des évaluations. Une première estimation, effectuée en 1989, avance le chiffre de 144'000 hectares dans un rayon de 3 km autour des 51 STEP qui ont produit, de 1975 à 1980, les boues d'épuration les plus fortement contaminées.

La superficie contaminée par le plomb, le cuivre et le zinc est estimée dans le présent rapport à moins de 44'000 hectares, et celle contaminée par le cadmium à moins de 65'000 hectares. Ces chiffres ont été obtenus sur la base de calcul suivante: superficie correspondant à la quantité annuelle de boues d'épuration utilisées dans l'agriculture de sorte à atteindre, en un siècle, les valeurs indicatives fixées par l'Osol.

3. Selon différents scénarios d'amendement, les valeurs indicatives fixées par l'Osol peuvent être atteintes en moins d'un siècle, même dans le respect des valeurs limites fixées par l'Osubst, à condition que les quantités de boues d'épuration épandues correspondent aux maxima autorisés. En général, les boues d'épuration sont épandues sur certaines parcelles uniquement. Or étant donné que le contrôle porte actuellement sur l'exploitation dans son ensemble, il est impossible d'exclure dans tous les cas de figure l'existence de parcelles suramendées.

Afin d'évaluer objectivement le potentiel de contamination des matières auxiliaires utilisées dans l'agriculture, il faudrait à l'avenir établir une comptabilité précise desdites matières et de leurs teneurs en polluants, et ce pour chaque parcelle. Il conviendrait dans un même temps de définir les responsabilités juridiques et les modalités du dédommagement.

La nouvelle politique agricole semble aller dans ce sens. La production intégrée exige par exemple des exploitants qu'ils établissent un plan des parcelles en y indiquant les cultures pratiquées, le mode d'exploitation, l'amendement et les produits phytosanitaires employés. Si l'on tient compte du fait que d'ici l'an 2000, la presque totalité des surfaces agricoles suisses fera l'objet d'une production intégrée ou biologique, on peut alors espérer connaître un jour exactement les quantités de matières auxiliaires utilisées sur chaque parcelle agricole.

# ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

---

AFU	Amt für Umweltschutz
AGSchV	Allgemeine Gewässerschutzverordnung
AIB	Amt für Industrielle Betriebe
ARA	Abwasserreinigungsanlage
AUE	Amt für Umweltschutz und Energie
BLW	Bundesamt für Landwirtschaft
BUS	Bundesamt für Umweltschutz (seit 1989: BUWAL)
BUWAL	Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (vor 1989: BUS)
Cd	Cadmium
Co	Kobalt
Cr	Chrom
Cu	Kupfer
EAWAG	Eidgenössische Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz
EDV	Elektronische Datenverarbeitung
FAC	Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrikulturchemie und Umwelthygiene (seit 1996: IUL)
FAL	Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau (vor 1996: FAP)
FAP	Eidgenössische Forschungsanstalt für landwirtschaftlichen Pflanzenbau (seit 1996: FAL)
GSA	Amt für Gewässerschutz und Abfallwirtschaft
GschG	Gewässerschutzgesetz
Hg	Quecksilber
IP	Integrierte Produktion
IUL	Institut für Umweltschutz und Landwirtschaft (vor 1996: FAC)
K	Kalium
KS	Klärschlamm
KSV	Klärschlammverordnung
LMG	Lebensmittelgesetz
LWG	Landwirtschaftsgesetz
MARSEP	International Manure and Refuse Sample Exchange Programme
Mo	Molybdän
N	Stickstoff
NABO	Nationales Bodenbeobachtungsnetz
Ni	Nickel
OR	Obligationenrecht
P	Phosphor
Pb	Blei
RAC	Station fédérale de recherches en production végétale de Changins
RW	Richtwert (der VSBo)
StoV	Stoffverordnung
TS	Trockensubstanz
USG	Umweltschutzgesetz
VSBo	Verordnung über Schadstoffe im Boden
VVS	Verordnung über den Verkehr mit Sonderabfällen
Zn	Zink



# 1 EINLEITUNG

## 1.1 PROJEKTBEGRÜNDUNG

In den Erläuterungen zur Verordnung über Schadstoffe im Boden (BUS 1987) wird gefordert, dass Untersuchungen über die Menge eines bestimmten Schadstoffs, der über Kehrriekompost oder Klärschlamm in den Boden gelangt, durchgeführt werden müssen. Die Verordnung über Schadstoffe im Boden (VSBö 1986) verpflichtet die Forschungsanstalt für Agrikulturchemie und Umwelthygiene (FAC) in Liebefeld, ein Nationales Bodenbeobachtungsnetz (NABO) zu betreiben und die Belastung des Bodens mit Schadstoffen gesamtschweizerisch zu beobachten. Das NABO erlaubt eine punktuelle Beobachtung relevanter Schadstoffbelastungen, jedoch keine Abschätzung der flächenbezogenen Bodenbelastung. Dazu sind gezielte Ergänzungsuntersuchungen notwendig. Solche erfolgten bereits über das landesweite Ausmass verkehrsnaher Schwermetallbelastungen der Böden durch den Strassen- und Schienenverkehr (BUWAL 1992) und die Kupferbelastung in Rebbergböden (STUDER et al. 1995).

Gemäss einer ersten groben Schätzung von VOGEL et al. (1989) wird die potentiell mit Schwermetallen aus Klärschlämmen belastete Fläche in der Schweiz auf rund 144'000 ha geschätzt. Dies würde rund 9% der landwirtschaftlichen Nutzfläche entsprechen. Die Studie wählte die am stärksten mit Schwermetallen belasteten Klärschlämme im Zeitraum von 1975 bis 1980 aus und nahm ein Einzugsgebiet von 3 km Radius um jede entsprechende ARA an.

Klärschlamm wird in breiten Bevölkerungskreisen als bedeutende Bodenbelastungsquelle betrachtet, obwohl seit anfangs der 80er Jahre Qualitäts- und Ausbringvorschriften bestehen. Die Verunreinigung von Landwirtschaftspartellen mit qualitativ schlechtem Klärschlamm oder übermässigen Einsatz ist eine durch zahlreiche Einzeluntersuchungen belegte Tatsache (z.B. AUE BL 1990 und TAVERNA et al. 1994). Es handelt sich dabei aber weitgehend um historische Entsorgungsfälle („Altlasten“). Das gesamtschweizerische, flächenbezogene

Ausmass der Bodenbelastung durch Klärschlammaustrag ist noch ungenügend bekannt und kann somit nicht gegen andere Belastungsursachen (Strassenverkehr, Pflanzenbehandlungsmittel u.a.) verglichen werden.

## 1.2 ZIELSETZUNG UND VORGEHEN

Ziel dieser Studie ist die Evaluation der Datenlage zur Abschätzung der flächenbezogenen Bodenbelastung mit Schwermetallen durch Klärschlammaustrag in der Schweiz und deren Gewichtung im Vergleich zum Ausmass anderer Belastungsursachen.

Die vorliegende Arbeit soll aufzeigen, welche Grundlagen und Daten auf Bundes- und Kantonebene zur Abschätzung der flächenbezogenen Bodenbelastung mit Schwermetallen durch Klärschlammaustrag vorhanden sind und inwieweit damit das Belastungsausmass abgeschätzt werden kann. Sie soll aber auch zeigen, ob mit den vorhandenen gesetzlichen Grundlagen gezielt Flächen mit „Klärschlamm-Altlasten“ ermittelt und neue Schwermetallbelastungen durch Klärschlammdüngung verhindert werden können.

In einem ersten Teil werden die gesetzlichen Grundlagen und Empfehlungen bezüglich Klärschlammmenge, -qualität und -verteilung sowie deren Umsetzung analysiert. Gleichzeitig werden die dazu verfügbaren Daten und deren Qualität eingehender beleuchtet und auf ihre Brauchbarkeit hin geprüft. Dann werden der Vollzug der Klärschlammkontrolle in ausgewählten Kantonen und bereits bestehende regionale Studien zur Klärschlammverteilung untersucht und beurteilt. Daraus wird soweit möglich das gesamtschweizerische Ausmass der Bodenbelastung mit Schwermetallen infolge unsachgemässer Klärschlammdüngung abgeschätzt, mit bereits vorliegenden Abschätzungsszenarien verglichen und schliesslich anderen Belastungsursachen (u.a. Strassenverkehr) gegenübergestellt und gewichtet.

## 2 GRUNDLAGEN UND DATENLAGE DER KLÄRSCHLAMMKONTROLLE AUF BUNDESEBENE

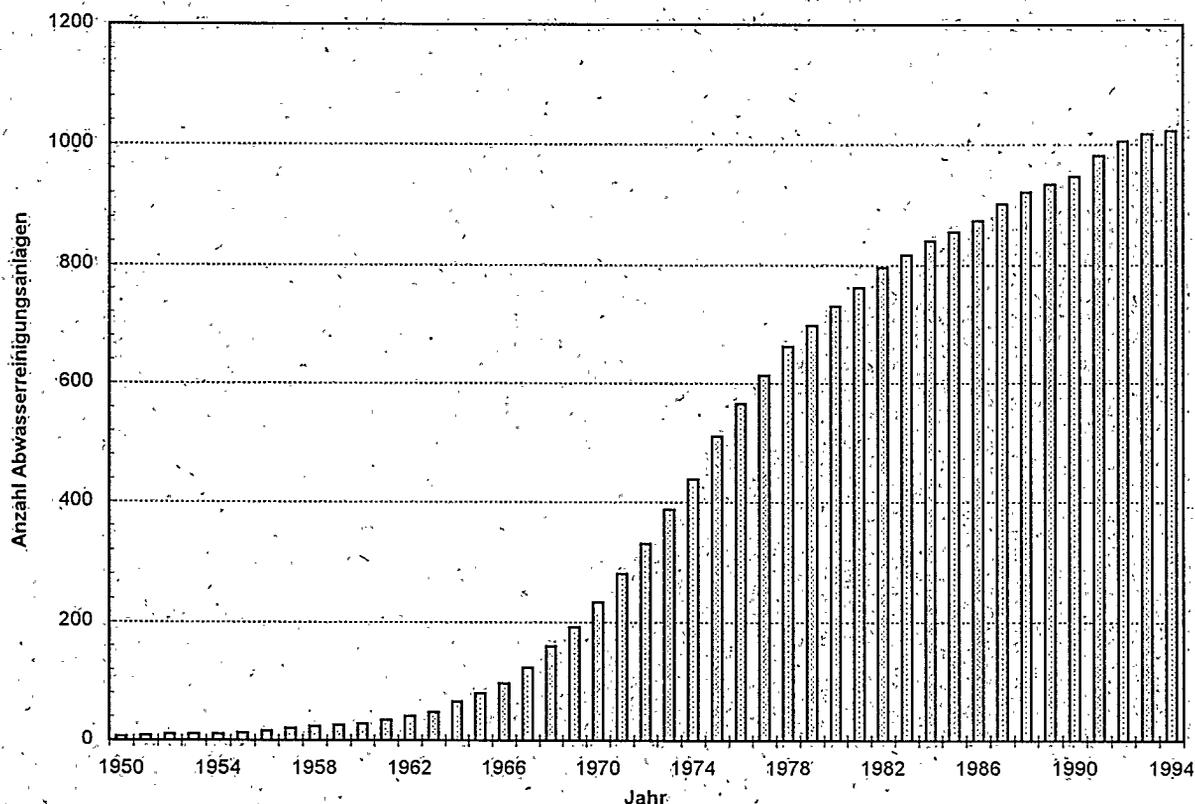
Um die flächenbezogene Bodenbelastung mit Schwermetallen in der Schweiz durch Klärschlamm abzuschätzen, sind vier Parameter von entscheidender Bedeutung:

1. Mengen: Klärschlammengen, die in die Landwirtschaft ausgebracht wurden.
2. Konzentrationen: Schwermetallgehalte des landwirtschaftlich verwerteten Klärschlammes.
3. Frachten: Schwermetallfrachten, die in die Landwirtschaft ausgebracht wurden.
4. Verteilung: Lokalisierung der mit Klärschlamm behandelten landwirtschaftlichen Nutzfläche.

Nachfolgend werden diese vier Parameter unter Berücksichtigung der gesetzlichen und behördlichen Klärschlammkontrolle untersucht und analysiert.

### 2.1 KLÄRSCHLAMMGENGEN

Die erste Abwasserreinigungsanlage der Schweiz wurde 1917 in Wittenbach Kanton St. Gallen, die zweite 1926 in Zürich in Betrieb genommen. Der weitere Ausbau des Gewässerschutzes schritt nur zögernd voran (Figur 1). 1957 trat das erste Gewässerschutzgesetz in Kraft (GSchG 1955). Trotzdem kam der Bau von weiteren Abwasserreinigungsanlagen erst so richtig ab 1971, nach der Revision des Gewässerschutzgesetzes (GSchG 1971) und mit der Einführung einer grosszügigen Subventionspolitik des Bundes, in Schwung (CANDINAS 1993).



QUELLE: GEWÄSSERSCHUTZ-DATENBANK BUWAL

Figur 1: Entwicklung der Anzahl Abwasserreinigungsanlagen in der Schweiz

Seit Beginn der technischen Abwasserreinigung bis Ende der siebziger Jahre wurde in der Schweiz Klärschlamm zu 70 und mehr Prozent landwirtschaftlich verwertet (CANDINAS et al. 1989). Der Rest wurde entwässert und deponiert oder seltener verbrannt. Seither hat der Anteil verwerteter Klärschlämme zu Düngerzwecken relativ gesehen stetig abgenommen.

Die empfohlenen Klärschlammengen lagen anfänglich für Wiesen zwischen 30 bis 60 m<sup>3</sup>/ha und Jahr (NIKLAUS 1979 und GEISER 1972). Im Ackerbau reichte das Spektrum von 40 m<sup>3</sup>/ha und Jahr für Getreide (GEISER 1972) und 100 bis 200 m<sup>3</sup>/ha in zwei bis drei Jahren für Hackfrüchte (EAWAG 1974). Es sind aber noch höhere Empfehlungen zu finden, wie beispielsweise von GEERING (1968): „Klärschlamm, insbesondere in ausgefauter Form, eignet sich als P-Ergänzungsdünger in mässigen Gaben von jährlich 50 m<sup>3</sup>/ha, insbesondere für einen teilweisen Gülleersatz auf Wiesland. Im Ackerbau können periodisch grössere Mengen von 500 bis 1'000 m<sup>3</sup>/ha mit angemessener K-Ergänzungsdüngung zur N- und P-Versorgung vor allem von Hackfrüchten und Ackerfutter in Frage kommen.“ Diese Mengenangaben sind aber nur als Empfehlungen zu betrachten; in der Praxis wurden teilweise wesentlich höhere Gaben ausgebracht. Jedoch lassen sich über diese extremen Mengen nur punktuelle Daten und Erhebungen finden. Einige Fälle von übermässiger Klärschlammausbringung sind trotzdem bekannt geworden. Stellvertretend seien zwei aktienkundige Fälle übertriebener Klärschlammwendung erwähnt:

- In den Wintermonaten 1980/81 wurde eine 10 bis 20 cm dicke Klärschlamm-schicht (4'000 m<sup>3</sup>) auf einer etwa 3 Hektar grossen Parzelle ausgebracht. Der eingedickte Klärschlamm wurde mit einem Trax auf dem Acker verteilt. Der Schlamm wurde eingepflügt. 4'000 m<sup>3</sup> eingedickter Klärschlamm entsprechen etwa 250 Tonnen Trockensubstanz pro Hektare (AUE BL 1990).
- Im Zusammenhang mit einer kantonalen Studie über die Schwermetallbelastung

des Bodens in einem bestimmten Gebiet wurde auf einer Parzelle eine Cadmiumbelastung im Boden von 32,5 ppm entdeckt; dies entspricht dem 40-fachen VSBQ-Richtwert. Unter der Annahme einer extrem hohen Belastung von 1'000 ppm Cadmium während 15 Jahren ergäbe dies eine Klärschlammmenge von 84 m<sup>3</sup>/ha pro Jahr. Wie die Abklärung dieser Studie gezeigt hat, sind derartige Ausbringmengen im untersuchten Gebiet realistisch (TAVERNA et al. 1994).

Diese Beispiele von massiv überhöhter Klärschlammdüngung sind mehr oder weniger zufällig aufgedeckt worden. Ob sie die Spitze eines Eisberges darstellen oder aber die Ausnahmen, welche die Regel bestätigen, soll mit der vorliegenden Studie soweit möglich abgeklärt werden.

### 2.1.1 GESETZLICHE GRUNDLAGEN UND EMPFEHLUNGEN

Die Klärschlammverordnung vom 8. April 1981, die am 1. Mai 1981 in Kraft trat, brachte erstmals eine Regelung in die Klärschlammverwertung (KSV 1981). Art. 11 der KSV beschränkte namentlich die auszubringende Menge auf 7,5 t Klärschlamm-Trockensubstanz pro Hektare im Verlauf von drei Jahren. Auch wurden die ARA-Betreiber verpflichtet, Aufzeichnungen über die ausgebrachten Mengen zu führen und den Abnehmern Lieferscheine mit den Mengenangaben auszuhändigen. In Art. 6 wurden die Kantone befugt, von den Abnehmern einen Bedürfnisnachweis zu verlangen und auf diesem Wege die Klärschlammmenge weiter zu beschränken.

In den Aenderungen der Stoffverordnung vom 16. September 1992 wurden diese Punkte übernommen und teilweise noch verschärft (StoV 1986). So müssen die Betreiber das Verzeichnis der Abnehmer mindestens 30 Jahre aufbewahren und auf Verlangen der Forschungsanstalt für Agrikulturchemie und Umwelthygiene, den kantonalen Behörden oder den von diesen bezeichneten Dritten zur Verfügung stellen. Der Bedarfsnachweis wird obligatorisch erklärt und die Höchstmenge pro Hektare im Verlaufe

von drei Jahren auf 5 t Trockensubstanz reduziert.

Die KSV (1981) brachte erstmals eine Regelung in die landwirtschaftliche Klärschlammverwertung, jedoch liess deren Umsetzung lange Zeit zu wünschen übrig. So haben vor allem kleine Anlagen bis Ende der 80er Jahre ihre Pflichten gemäss KSV vernachlässigt. Im strengen Winter 1984/85 mussten Klärschlamm und Gülle kubikmeterweise auf Schnee und gefrorenen Boden „entsorgt“ werden, weil die Lagerkapazitäten erschöpft waren. Die landwirtschaftliche Klärschlammverwertung wurde dadurch mehr und mehr in Frage gestellt. Zusätzlich setzten im Frühjahr 1986 die Atomkatastrophe von Tschernobyl und im Herbst des gleichen Jahres die Verwerfung des Zuckerrübenbeschlusses der landwirtschaftlichen Klärschlammverwertung weiter stark zu. Mit Boykottaufrufen gegen die landwirtschaftliche Klärschlammverwertung wehrten sich die Landwirte gegen die Verwerfung des Zuckerrübenbeschlusses. Der Zusammenbruch der landwirtschaftlichen Klärschlammverwertung rüttelte in den Jahren 1985 bis 1988 Behörden, Politiker aber auch die Öffentlichkeit auf (BUS 1985a). Vieles kam dadurch in Bewegung (HOFSTETTER 1989). Dies alles hatte einen grossen Einfluss auf die Umsetzung und Qualität der Klärschlammkontrolle (EIDG. GEWÄSSERSCHUTZKOMMISSION 1989).

Der Bedarfsnachweis, der nach der KSV (1981) durch die Kantone verlangt werden konnte, war bis zu diesem Zeitpunkt auf ein geringes Echo gestossen. Wieso sollte für Klärschlamm ein solcher Nachweis verlangt werden, wenn doch andere Dünger (Mineral- und Hofdünger) ohne diesen verwendet werden durften? Nach dem Einbruch der landwirtschaftlichen Klärschlammverwertung versuchten nun aber einige Berater diesen Bedarfsnachweis einzuführen, um damit das Image der landwirtschaftlichen Klärschlammverwertung zu verbessern. Die Erkenntnis wuchs, dass nur mit einer seriösen Klärschlammpolitik eine landwirtschaftliche Klärschlammverwertung aufrecht erhalten werden kann. Es wurden vermehrt Kredite gesprochen und Klärschlammberater eingestellt und zum Teil die kantonalen Gesetzgebungen verschärft. So wurde beispielsweise

im Kanton Bern ab 1991 der Bedarfsnachweis in Form einer Phosphorbilanz und Bodenproben für Klärschlammbezüger als obligatorisch erklärt, sowie die landwirtschaftliche Klärschlammverwertung einer obligatorischen Fachberatung unterstellt (ANDRINI 1991).

Mit der Einführung der Änderungen der StoV 1992 (StoV 1986) verbesserte sich die Umsetzung mit gewissen Vorbehalten weiter. Heute erfüllen schätzungsweise 90 % der Abwasserreinigungsanlagen die gesetzlichen Vorschriften; bei den restlichen 10 % handelt es sich vorwiegend um kleine Anlagen, die nur noch einen Bruchteil der gesamten Schlammmenge erzeugen (CANDINAS 1995). In einigen Kantonen scheint diese Einschätzung allerdings zu optimistisch zu sein, wie folgendes Zitat verdeutlicht: „Die landwirtschaftliche Verwertung des KS entspricht in einigen Gegenden heute eher einer gesetzwidrigen landwirtschaftlichen Beseitigung als einer pflanzengerechten Düngung. Auch führen fehlende Entsorgungsanlagen dazu, dass viele ARA-Betreiber gezwungen sind, Nass-KS zu Unzeiten, z.B. im Winter abzugeben. Die umweltgerechte Beseitigung des KS ist im Kanton St.Gallen heute noch nicht flächendeckend sichergestellt“ (AFU SG 1995).

Das BUWAL klammert in den „Mitteilungen zum Gewässerschutz“ auch gewisse Kleinstanlagen aus: „Wenn eine Rückführung des Klärschlammes in den natürlichen Stoffkreislauf nicht jederzeit sichergestellt ist, muss er in seiner Gesamtheit beseitigt werden können. Davon ausgenommen sind alle kleinen, bis kleinsten Abwasserreinigungsanlagen“ (BUWAL 1994a). Es handelt sich dabei hauptsächlich um private Anlagen, an die meist deutlich weniger als 100 Einwohner angeschlossen sind. Viele dieser Anlagen sind auch nicht in der Gewässerschutz-Datenbank des BUWAL aufgeführt, da sie keine Beitragsberechtigung nach Art. 34 der allgemeinen Gewässerschutzverordnung (AGSchV 1971) geltend machen können. Es bleibt den Kantonen überlassen, diese Anlagen zu kontrollieren oder nicht.

Die parzellenweise Einschränkung von Klärschlammengen, wie sie die KSV (1981) als auch die StoV (1986) verordnen, sind nicht

überprüfbar. Dazu wären parzellenscharfe Aufzeichnungen nötig, welche aber nicht vorgeschrieben sind. Auch der obligatorische Bedarfsnachweis kann diesen Missstand nicht beheben, weil der Nachweis auf den ganzen Betrieb bezogen ist. Die Einhaltung der Mengenbeschränkung liegt in den Händen der Transporteure und der Abnehmer und hängt stark von deren Seriosität und Kontrolle ab.

### 2.1.2 DATEN UND DATENQUALITÄT

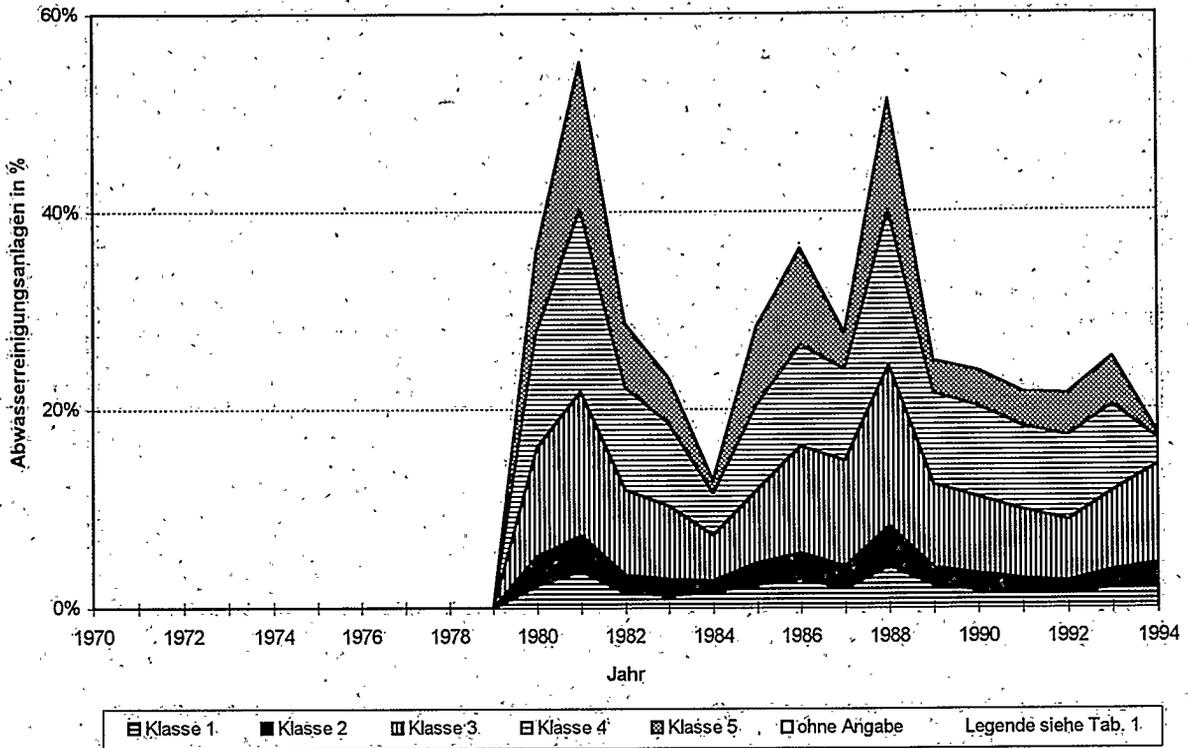
Das BUWAL führt seit 1980 eine Gewässer-schutz-Datenbank mit den wichtigsten Angaben über alle Kläranlagen der Schweiz. Diese Datenbank dient unter anderem auch als Grundlage für die Berechnung der Klärschlammflüsse in die Landwirtschaft. Sie enthält Angaben über Klärschlamm-anfall, Schlammensorgung, Energiebilanzzahlen und das Jahr der Inbetriebnahme der Anlage. Die Daten werden jährlich mit Fragebögen, welche die Klärwärter auszufüllen haben, erhoben. Sie gelangen über die kantonalen Behörden zurück zum BUWAL, wo sie elektronisch erfasst werden. Die Anlagen sind in der BUWAL-Datenbank in fünf Klassen (Tabelle 1) unterteilt. Diese Unterteilung wird in allen folgenden Grafiken und Tabellen übernommen.

Tabelle 1: ARA-Grössenklassen nach EG-Norm (BUWAL 1995)

ARA-Grössenklasse nach EG-Norm	Ausbaustufe nach hydraulischen Einwohnerequivalenten
1	Mehr als 100'000
2	50'001 bis 100'000
3	10'001 bis 50'000
4	2'001 bis 10'000
5	bis 2'000

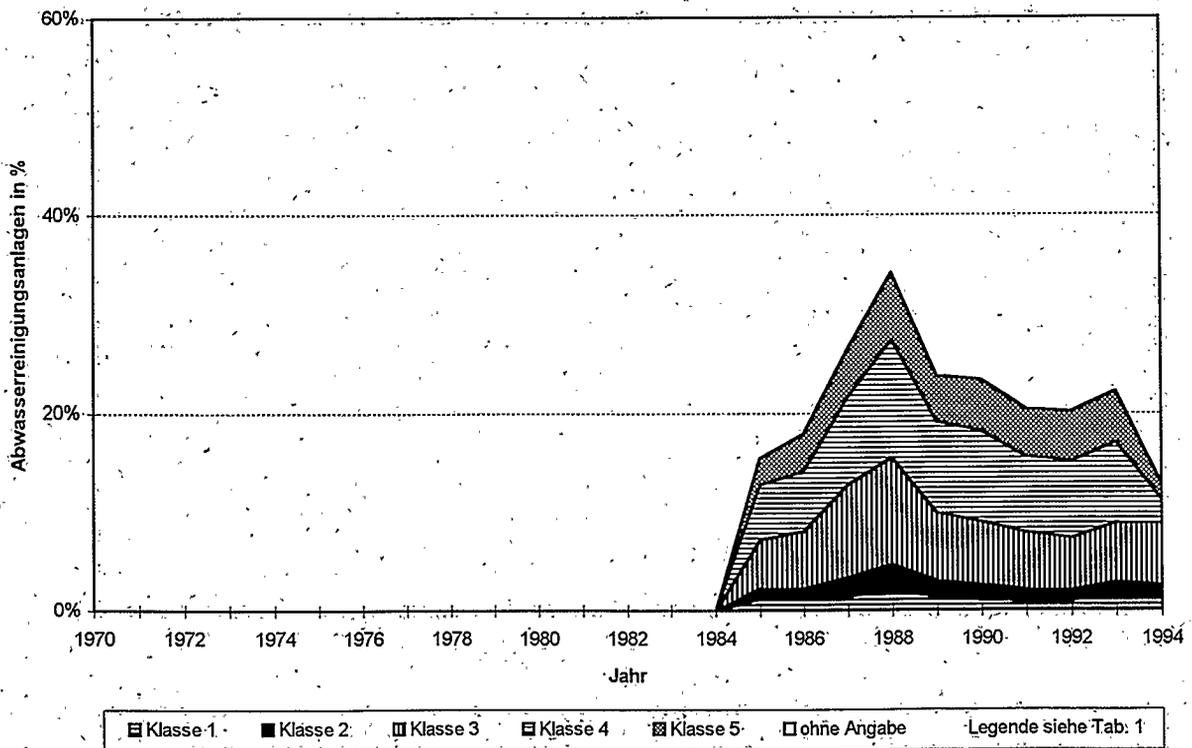
Figur 2 zeigt, von wievielen Anlagen Daten über die totale Abwassermenge in der Datenbank vorhanden sind. Nur gerade 1981 und 1988 sind von über 50 % der Anlagen Werte erfasst worden. In den restlichen Jahren sind es deutlich weniger, im Durchschnitt knapp 30 %. Noch weniger Angaben liegen bezüglich landwirtschaftlicher Verwertung des Klärschlammes vor (Figur 3). Die Erfassung dieser Daten begann 1985. 1988 wur-

den mit knapp 34 % aller Anlagen die meisten Daten erhoben, im Durchschnitt waren es jedoch nur gut 20 %. Dabei muss klargestellt werden, dass nicht alle Kläranlagen Klärschlamm in die Landwirtschaft abgeben; so liefert beispielsweise der Kanton Genf keinen Schlamm in die Landwirtschaft (BONJOUR 1995). Aus der BUWAL-Datenbank ist ersichtlich, welche Anlagen sicher Klärschlamm in die Landwirtschaft geliefert haben. Inwieweit aber die nicht erfassten und nur zum Teil erfassten Anlagen auch Klärschlamm in die Landwirtschaft abgegeben haben, geht aus diesen Daten nicht hervor.



QUELLE: GEWÄSSERSCHUTZ-DATENBANK BUWAL

Figur 2: Anteil der Abwasserreinigungsanlagen über welche Daten zur totalen Abwassermenge in der Gewässerschutz-Datenbank des BUWAL vorhanden sind.



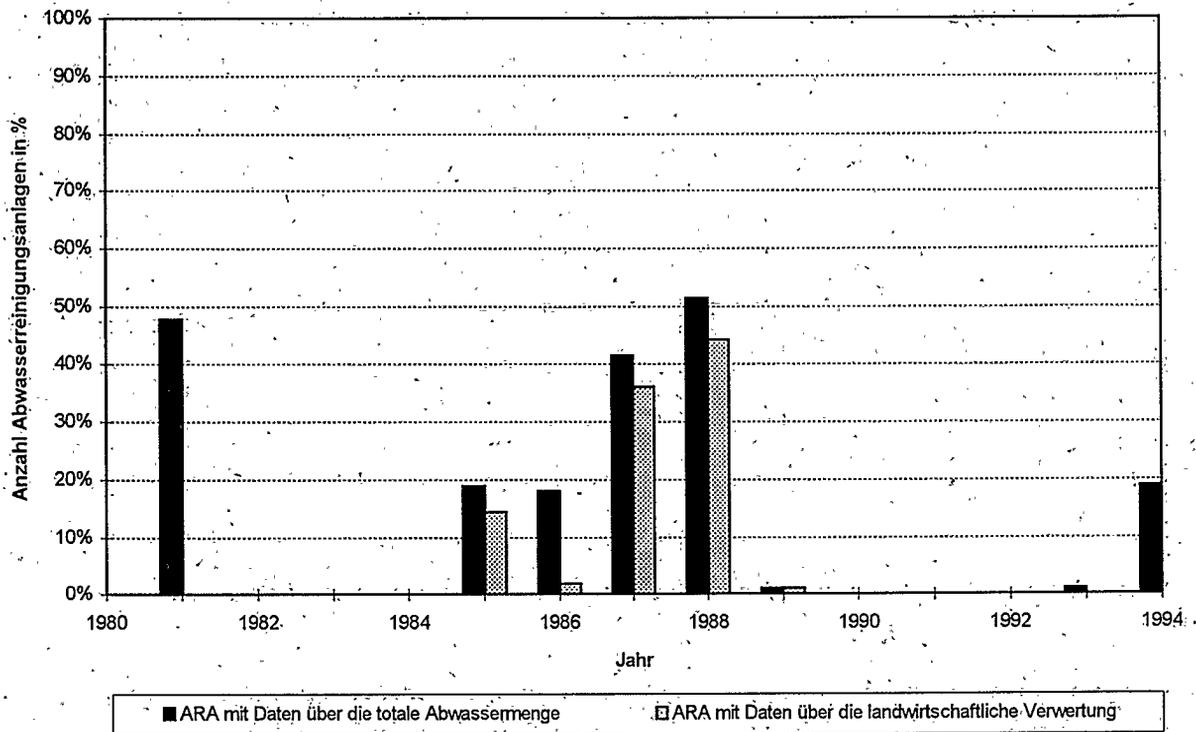
QUELLE: GEWÄSSERSCHUTZ-DATENBANK BUWAL

Figur 3: Anteil der Abwasserreinigungsanlagen über welche Daten zur landwirtschaftlichen Klärschlammverwertung in der Gewässerschutz-Datenbank des BUWAL vorhanden sind.

Gemäss CARRARD (1995) belaufen sich die Rückmeldungen der Fragebögen auf 20 bis 30 %. Diese tiefe Rückmeldequote hängt damit zusammen, dass der Bund keine Möglichkeit hat, Druck auf die Anlagebetreiber auszuüben, damit diese die Fragebogen vollständig und korrekt ausgefüllt einreichen. Zwar werden die Abwasserreinigungsanlagen vom Bund subventioniert, doch sind dies nur Subventionen für den Bau und nicht für den Betrieb der Anlage. Der weitere Vollzug liegt bei den Kantonen, die diesen sehr verschieden handhaben (CANDINAS 1995).

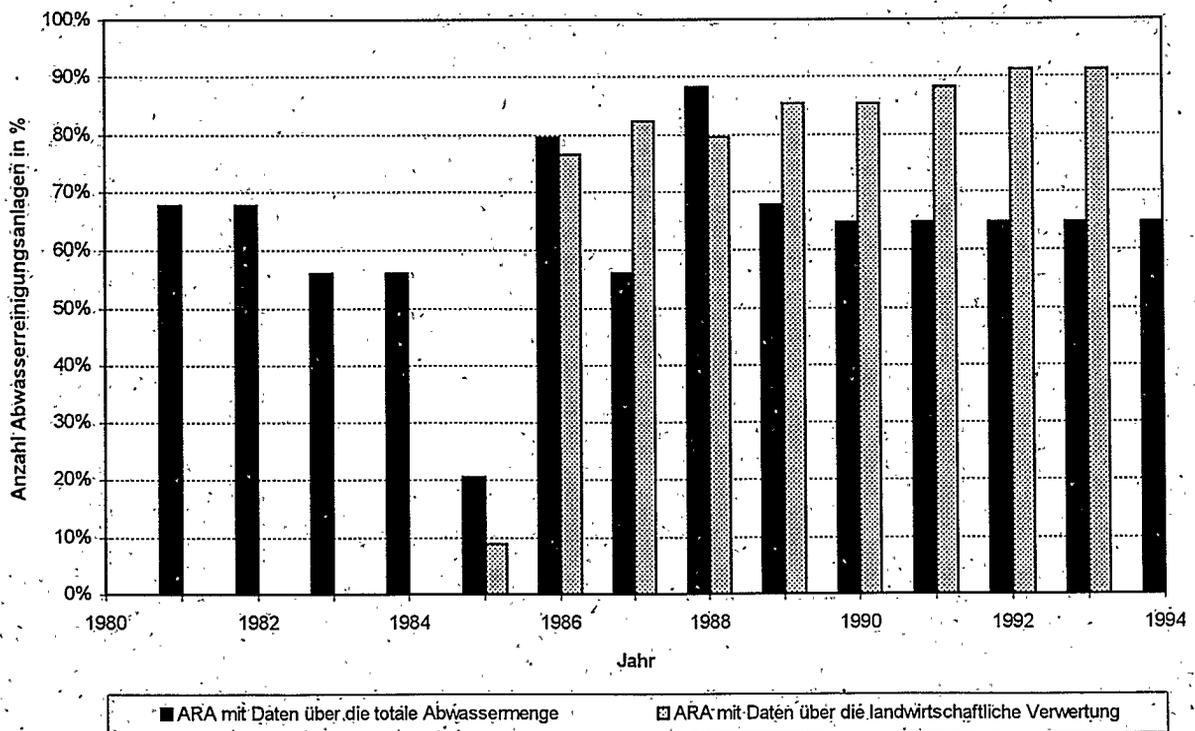
Die Datenlage ist von Kanton zu Kanton sehr unterschiedlich. So sind beispielsweise von den 111 Kläranlagen des Kantons Bern (Klasse 1: 5; Klasse 2: 6; Klasse 3: 30; Klasse 4: 16; Klasse 5: 51; ohne Angabe: 3) nur sehr wenig Daten erfasst (Figur 4). Von anderen Kantonen dagegen liegen recht vollständige Datensätze vor. Figur 5 zeigt die erfassten Daten der 34 Kläranlagen des Kantons Solothurn (Klasse 1: 4; Klasse 2: 1; Klasse 3: 4; Klasse 4: 9; Klasse 5: 16). Die in der Gewässerschutz-Datenbank des BUWAL erfassten Daten (Figur 4 und Figur 5) sagen nichts über die Datenmenge und -qualität der kantonalen Daten aus. Die Kantone liefern teilweise Berichte ab, die sie aus eigenen Erhebungen erstellt haben. Die Qualität solcher Daten ist meist besser als diejenige der BUWAL-Daten. Jedoch werden

diese Daten nicht in der Gewässerschutz-Datenbank des BUWAL erfasst, weil sie zum Teil nicht nach den gleichen Kriterien erhoben wurden oder der Aufwand zur Erfassung als zu gross eingestuft wird. Seine Daten verwendet das BUWAL alle fünf Jahre zur Hochrechnung der gesamten Klärschlamm-Produktion. Für andere Zwecke wurden die Daten bisher kaum gebraucht. Dies scheint auch ein Grund dafür zu sein, dass die Betreuung der Datenbank auf ein Minimum reduziert wurde. Die wenigen Fragebogen, die zurückkommen, sind oft unvollständig und schlecht ausgefüllt, so dass sie einer eingehenden Plausibilitätsprüfung unterworfen werden müssten. Dies kann aber aus Zeit- und Personalgründen nicht regelmässig gemacht werden. Die Daten werden in der Regel nur dann geprüft, wenn sie verwendet werden. Bei den Daten über die landwirtschaftliche Verwertung geschah dies erst in den letzten Jahren. Es ist anzunehmen, dass fehlerhafte Daten nach so langer Zeit nur noch ungenügend korrigiert werden können. Bis heute wurden um die 100 Kläranlagen stillgelegt, doch über den Zeitpunkt der Stilllegung enthält die Datenbank keine Angaben. Obwohl diese Stilllegungen meist nur kleine und Kleinstanlagen betreffen, wäre es wichtig zu wissen, wann diese stillgelegt oder mit anderen Anlagen zusammengelegt wurden.



QUELLE: GEWÄSSERSCHUTZ-DATENBANK BUWAL

Figur 4: Daten über die in der Gewässerschutz-Datenbank des BUWAL erfassten und in Betrieb stehenden Abwasserreinigungsanlagen des Kantons Bern



QUELLE: GEWÄSSERSCHUTZ-DATENBANK BUWAL

Figur 5: Daten über die in der Gewässerschutz-Datenbank des BUWAL erfassten und in Betrieb stehenden Abwasserreinigungsanlagen des Kantons Solothurn.

Mit den vorhandenen Daten ist eine Abschätzung der gesamtschweizerischen Klärschlammproduktion demnach kaum möglich; zu viele Unbekannte sind vorhanden. Erst recht kann die Menge, die in die Landwirtschaft gelangt ist, nur sehr vage abgeschätzt werden. Aus diesem Grund musste auf eine Berechnung der Klärschlamm-Produktion sowie der Klärschlamm-Flüsse in die Landwirtschaft verzichtet werden. Für Berechnungen, welche sich auf diese Parameter abstützen, wurde deshalb auf publizierte Schätzungen der Jahre 1975 bis 1989 zurückgegriffen (Tabelle 2). Leider fehlen für die Jahre 1976, 1977 sowie 1986 bis 1988 entsprechende Angaben, so dass die Tabelle 2 und die Figuren 9, 10 und 14 Lücken aufweisen.

Die verschiedenen Abschätzungen zeigen deutliche Widersprüche. So geht aus den Zahlen von CANDINAS et al. (1991), welchen die genaueste Erhebung zu Grunde liegt, hervor, dass bedeutend weniger Schlamm anfiel als vom BUS - vor allem für das Jahr 1985 - angenommen (BUS 1985b).

Auch ermittelte das BUS (1985b) einen landwirtschaftlich verwerteten Anteil von 59 %; das BUWAL (1994b) aber einen solchen von 65 %, was eine Differenz von rund 10'000 t TS ergibt. Ähnliches gilt für die Jahre 1983 und 1984. Im Jahre 1983 beträgt der landwirtschaftlich verwertete Anteil gemäss BUS (1985b) noch 130'000 t TS und nur ein Jahr später gemäss CANDINAS et al. (1991) bloss noch 88'000 t TS. Demzufolge müsste die in der Landwirtschaft verwertete Menge Klärschlamm in einem Jahr um 42'000 t TS zurückgegangen sein. Diese Diskrepanzen sind aufgrund der zur Verfügung stehenden Daten nicht weiter erstaunlich, auch wenn ein Teil des Rückganges mit der Sanierung der Klärschlamm-Entsorgung erklärt werden kann (BUS 1985a). Es zeigt sich deutlich, dass mit den vorhandenen Daten nur grobe Abschätzungen möglich sind, die wohl die Tendenzen des Klärschlammfalls und der landwirtschaftlichen Verwertung aufzeigen können, aber keine verlässlichen Aussagen über die effektiven Ausbringungsmengen ermöglichen.

Tabelle 2: Jährlicher Klärschlammfall und landwirtschaftlich verwerteter Anteil in t TS

Klärschlammfall	1975	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1989
	1)			1)	1)			3)	1)	3)
Gesamtproduktion	90'000			170'000	186'000			176'000	230'000	213'000
landwirtschaftlich verwertet	1, 2)	1)	1)	1)	1)	1)	1)	3)	2)	3)
	63'000	85'000	93'000	100'000	105'000	110'000	130'000	88'000	115'000	106'500

1) Daten aus der Gewässerschutzstatistik 1985 (BUS 1985b). Die Gesamtproduktion wurde mit den zur Verfügung stehenden Daten aus der Gewässerschutz-Datenbank des BUWAL (Figur 2 und Figur 3) hochgerechnet. Welche Berechnung dieser Abschätzung zu Grunde liegt, geht aus der erwähnten Publikation nicht hervor.

2) Aus Daten zum Gewässerschutz in der Schweiz (BUWAL 1994b). In dieser Publikation wird der Anteil landwirtschaftlich verwerteten Klärschlammes alle fünf Jahre abgeschätzt (1975: 70 %; 1980: 65 %; 1985: 50 % und 1990: 42 %). Da für die Jahre 1975 und 1985 keine anderen Daten zur Verfügung standen, wurde für diese zwei Jahre die Schätzung dieser Publikation beigezogen.

3) Daten aus CANDINAS et al. (1991). Die Produktionsberechnung dieser Studie stützt sich auf eine Umfrage bei allen Abwasserreinigungsanlagen der Schweiz, die von CHASSOT (1991) durchgeführt wurde. Bei dieser Umfrage wurde die Klärschlammproduktion der Jahre 1984 und 1989 erhoben. Rund 65 % aller Anlagen haben für diese zwei Erhebungsjahre die Werte angegeben. Beschränkt man sich auf die ARA-Grössenklassen 1 bis 4 (Tabelle 1, Seite 21), ergibt dies eine Erfolgsquote von rund 90 %. Diese Daten scheinen aufgrund der relativ hohen Rückmeldequote die zuverlässigsten zu sein.

## 2.2 SCHWERMETALLGEHALTE

Ursprünglich wurde der Klärschlamm in erster Linie als wertvoller Dünger angesehen und auch als solcher verwendet. Die Schwermetalle waren zu Beginn der landwirtschaftlichen Verwertung noch kein Thema. Erst ab 1972 wurden sie im Schlamm als Problemstoffe erkannt. Daraufhin erschien erstmals die Forderung nach einer Kontrolle der Schlammqualität. Die ersten Schwermetallanalysen wurden 1970 an der FAC durchgeführt. Zwischen Frühjahr 1975 und Sommer 1976 erfolgte eine systematische Untersuchung von 68 Kläranlagen auf Nährstoffe und Schwermetalle mit dem Ziel, einen breiten Überblick über die chemische Zusammensetzung des Klärschlammes zu gewinnen (KELLER 1977). Diese Erhebung diente als Grundlage zur Beratung und Kontrolle bei der landwirtschaftlichen Klärschlammverwertung. Die Schwermetallgehalte lagen grösstenteils wesentlich unter den provisorischen Richtwerten, welche mit den Grenzwerten der KSV (1981) übereinstimmten (Tabelle 4). Andererseits gab es bedenkliche Extremwerte; beispielsweise für Cadmium 1'100 ppm und für Zink 11'000 ppm.

### 2.2.1 GESETZLICHE GRUNDLAGEN UND EMPFEHLUNGEN

Gemäss Art. 70 des Landwirtschaftsgesetzes vom 3. Oktober 1951 (LWG 1951) sind landwirtschaftliche Hilfsstoffe, zu denen auch der in der Landwirtschaft verwertete Klärschlamm gehört, kontrollpflichtig. Die Klärschlammkontrolle soll die Einhaltung der Bestimmungen von Art. 3 des Düngemittelbuches vom 26. Mai 1972 (DÜNGEMITTELBUCH 1972) gewährleisten, wonach bei sachgemäsem Gebrauch eines Düngers keine Schäden auftreten dürfen. Seit dem 1. September 1977 sind in der Schweiz alle Abwasserreinigungsanlagen mit mehr als 10'000 angeschlossenen Einwohnern einer obligatorischen Klärschlammkontrolle unterstellt (BUS 1981). An der Kontrolle teilgenommen haben aber nur Anlagen, welche auch Schlamm in die Landwirtschaft lieferten (Tabelle 3). Die Kontrollen bezogen sich auf die Analyse des Nährstoff- und Schwermetallgehalts des Klärschlammes. 25 % der untersuchten Klärschlämme lagen in bezug auf ein oder mehrere Metalle im Bereich „erhöht“ (75 % bis 150 % des prov. Richtwerts) und weitere 25 % im Bereich „stark erhöht“ (über 150 % des prov. Richtwerts). Bei 46 dieser Anlagen wurde eine Umfrage durchgeführt, um den Nutzeffekt der Beratung durch die FAC zu ermitteln und zudem festzustellen, inwieweit das eingeführte Beratungssystem in der Praxis angewendet wurde. Zwei Drittel der Klärwärter hatten danach regelmässig Lieferscheine abgegeben, in den restlichen 15 Abwasserreinigungsanlagen waren weder die Düngempfehlungen befolgt, noch Lieferscheine ausgestellt worden (FAC 1979).

Tabelle 3: Prozentanteil der Abwasserreinigungsanlagen mit mehr als 10'000 angeschlossenen Einwohnern, die an der obligatorischen Klärschlammkontrolle teilgenommen haben.

	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994
teilgenommen in %	18	78	80	82	44	87	82	94	77	88	94	92	89	92	89	92	90	89
Anzahl Anlagen = 100 %	112	116	119	120	120	123	125	128	128	128	129	132	132	132	132	132	132	132

QUELLE: GEWÄSSERSCHUTZ-DATENBANK BUWAL

In der KSV (1981) und in der diese später ablösenden StoV (1986) sind Grenzwerte für Schwermetalle im Klärschlamm festgelegt worden (Tabelle 4). Die KSV (1981) verpflichtet die FAC zudem, den Klärschlamm, der zur Verwertung abgegeben wird, in den fachlich gebotenen Zeitabständen auf den Gehalt an Schadstoffen - namentlich auf Schwermetalle - zu kontrollieren und die Ergebnisse dem ARA-Inhaber, den kantonalen

Behörden und dem Bundesamt für Umweltschutz mitzuteilen. Die Grenzwerte für Schwermetalle im Klärschlamm wurden damals so festgesetzt, dass bei jährlicher Anwendung von maximal 2,5 Tonnen Klärschlamm-trockensubstanz je Hektare in 50 bis 100 Jahren auch bei wenig belastbaren Böden keine nachhaltige Wirkung für Böden und Kulturen zu erwarten sind (BUS 1981).

Tabelle 4: Schwermetallgrenzwerte für Klärschlamm der Klärschlammverordnung (KSV 1981) und der Stoffverordnung (StoV 1986)

Schwermetall	KSV-Grenzwert [ppm]	StoV-Grenzwert [ppm]
Blei (Pb)	1'000	500
Cadmium (Cd)	30	5
Chrom (Cr)	1'000	500
Kobalt (Co)	100	60
Kupfer (Cu)	1'000	600
Molybdän (Mo)	20	20
Nickel (Ni)	200	80
Quecksilber (Hg)	10	5
Zink (Zn)	3'000	2'000

1992 wurden die Grenzwerte für Schwermetalle in der StoV (1986) verschärft (Tabelle 4) und der FAC weitere Befugnisse erteilt. So kann diese seither für befristete Zeit die Abgabe von Klärschlamm, der stärker belastet ist, als nach den Grenzwerten zulässig,

- a) bewilligen, wenn der Schadstoffgehalt den Grenzwert ausnahmsweise oder während höchstens sechs Monaten um höchstens 100 % überschreitet (StoV 1986, Ziff. 25, Abs. 2, Bst. a);
- b) auf Antrag der kantonalen Behörden bewilligen, wenn der Schadstoffgehalt die Grenzwerte um höchstens 100 % überschreitet und die kantonalen Behörden im Einzugsgebiet der betreffenden Anlage die erforderlichen Sanierungsmassnahmen angeordnet hat (StoV 1986, Ziff. 25, Abs. 2, Bst. b).

Bis Mitte 1995 hatte die FAC Anzahl und Zeitpunkt der Analysen jährlich für alle beteiligten Anlagen festgelegt. Dabei hing die Zahl der Analysen sowohl von der Grösse der ARA als auch von den Analysenwerten

früherer Proben ab. Lagen die Schwermetallgehalte über längere Zeit deutlich unter dem verordneten Grenzwert, so wurde die Zahl der Proben reduziert. Sie lag zwischen „Kontrolle nach Bedarf“ bei kleinen Anlagen mit tiefen Gehalten und „4 Proben pro Jahr“ bei Grossanlagen. In Zweifelsfällen oder bei Überschreitungen wurden zusätzliche Proben angeordnet. Seit Mitte 1995 ist die Häufigkeit der Klärschlammuntersuchungen im Ordner „Kompost und Klärschlamm“ (FAC 1995a) festgelegt (Tabelle 5) und die Festlegung der Art der Probenahme den kantonalen Behörden überlassen. Die Häufigkeit der Klärschlammuntersuchungen kann in Absprache mit der FAC reduziert werden; wenn die Schadstoffe im Klärschlamm längere Zeit weniger als 50 % der Grenzwerte erreichen.

Tabelle 5: Häufigkeit der jährlichen Klärschlammuntersuchungen in Abhängigkeit von der jährlich produzierten Trockensubstanz (FAC 1995a)

Grössenklasse der ARA	Jährlich produzierte Trockensubstanz	Anzahl Proben pro Jahr
G1	mehr als 1'000 t	4
G2	200 bis 1'000 t	2
G3	50 bis 200 t	1
G4	weniger als 50 t	nach Bedarf <sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> Nach Absprache mit der kantonalen Behörde bzw. mit den ARA.

Sowohl Sperrungen der Klärschlammabgabe als auch Sonderbewilligungen nach Ziffer 25, Abs. 2, Bst. a und b der StoV (1986) wurden lange Zeit von der FAC ausgesprochen. Da diese aber keine Möglichkeit hatte die Einhaltung ihrer Anordnungen auch zu kontrollieren, wurden Sperrungen wie auch Sonderbewilligungen den kantonalen Gewässerschutzämtern und den Landwirtschaftsämtern der betreffenden Kantone mitgeteilt, auf dass diese die Einhaltung kontrollieren sollten. Heute können Sperrungen und Sonderbewilligungen nach StoV (1986, Ziff. 25, Abs. 2, Bst. a) von den kantonalen Behörden verfügt werden; die Bewilligungen nach Bst. b hingegen werden nach wie vor nur von der FAC erteilt (BONJOUR 1995).

Das BUWAL (1994a) empfiehlt auch Klärschlamm zu untersuchen, der nicht landwirtschaftlich verwertet wird: „Nicht angemeldeter Klärschlamm untersteht nicht der Klärschlammkontrolle durch die FAC. Die Inhaber der Abwasserreinigungsanlagen haben dennoch dafür zu sorgen, dass jeder Klärschlamm, unabhängig vom Entsorgungsweg auf seine Beschaffenheit untersucht wird. Die Analyse von Klärschlamm, der nicht zu Düngezwecken verwendet wird, ist aus folgenden Gründen nötig:

- Kontrolle, dass die Grenzwerte für Sonderabfall nicht überschritten werden, da der Klärschlamm andernfalls unter die Bestimmungen des Verkehrs mit Sonderabfällen fällt.
- Klärschlamm widerspiegelt die qualitativen und quantitativen Umweltverhältnisse im Einzugsgebiet der Abwasserreini-

gungsanlagen und dient als Auslöser für Anordnungen von Massnahmen bei den industriellen und gewerblichen Einleitern in die Kanalisation.

- Der Einbezug aller Abwasserreinigungsanlagen in die Klärschlamm-Analytik ermöglicht einen Überblick über die Schadstofffrachten und die Fortschritte der emissionsbegrenzenden Massnahmen bei der Herstellung und beim Verbrauch von Produkten im Einzugsgebiet einer Abwasserreinigungsanlage.

Die Betreiber der Abwasserreinigungsanlagen melden die Untersuchungsergebnisse nur der kantonalen Behörde. Diese stellt dem BUWAL jährlich eine Zusammenstellung der Ergebnisse zur Verfügung. Auch die FAC (1995a) schliesst sich dieser Empfehlung an. Die Praxis sieht aber anders aus. Obwohl gemäss Art. 3 der Verordnung über den Verkehr mit Sonderabfällen (VVS 1986) alle ARA-Betreiber verpflichtet sind, ihren Klärschlamm auf die Grenzwerte gemäss VVS hin zu untersuchen, scheint dies nur in den wenigsten Fällen zu geschehen. In einigen Kantonen, wie beispielsweise Zürich und Neuenburg (BONJOUR 1995), aber auch im Kanton Basel-Landschaft, werden periodisch alle Schlämme untersucht. Andere Kantone wiederum untersuchen nur landwirtschaftlich zu verwertenden Klärschlamm. Leider werden die Werte zusätzlich analysierter Schlämme nur selten der FAC mitgeteilt, obschon dadurch der Überblick über die Klärschlammqualität in der Schweiz verbessert werden könnte. Der Grund liegt darin, dass je nach Verwertungsart unter Umständen andere Amtsstel-

len zuständig sein können. Klärschlamm der zur landwirtschaftlichen Verwertung abgegeben wird, muss an der FAC angemeldet sein, das heisst, die Kontrolle dieses Schlamms geschieht unter der Aufsicht des Bundes. Hingegen obliegt die Kontrolle von nicht landwirtschaftlich verwertetem Klärschlamm den Kantonen. Auf der einen Seite wird ein Dünger untersucht, auf der anderen Seite ein potentieller Sonderabfall kontrolliert. Oft wird auch davon ausgegangen, dass der nicht landwirtschaftlich verwertete Klärschlamm aufgrund der angeschlossenen Einleiter die Grenzwerte für Sonderabfälle nicht erreicht, und dieser somit auch nicht untersucht werden muss. Dass aber eine Kontrolle von nicht landwirtschaftlich verwertetem Klärschlamm durchaus sinnvoll ist, zeigt die Tatsache, dass seit der Inkraftsetzung der Verordnung über den Verkehr mit Sonderabfällen am 1. April 1987 (VVS 1986) 1,6 % aller in der Klärschlamm-Datenbank der FAC erfassten Klärschlammproben die Grenzwerte der genannten Verordnung überschritten haben.

## 2.2.2 DATEN UND DATENQUALITÄT

Die FAC hat alle Klärschlammproben seit Beginn der Klärschlammkontrolle in einer Teildatenbank, welche mit der Gewässerschutz-Datenbank des BUWAL verknüpft ist, erfasst. Diese dient zusammen mit der Hauptdatenbank des BUWAL als Grundlage für die Berechnung der Schwermetallfrachten, die via Klärschlamm in die Landwirtschaft gelangt sind. Diese Teildatenbank enthält Angaben über TS-, Nährstoff- und Schwermetallgehalte, Glühverluste, Gehalte an Enterobakterien, Art des Schlamms, Name des Untersuchungslabors und einige Spurenelementgehalte. Die Daten mussten aus folgenden Gründen mit grossem Aufwand aufgearbeitet werden:

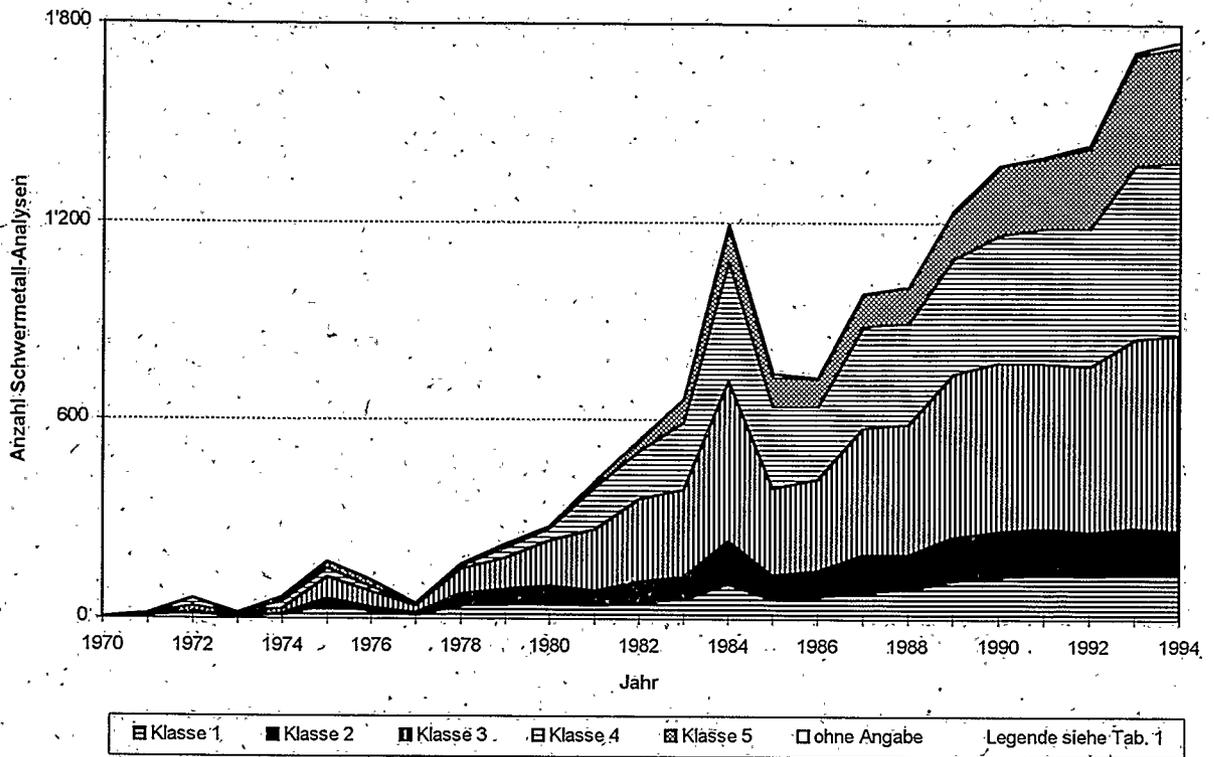
- Im Laufe der Jahre wurden die maximal 6-stelligen ARA-Nummern, welche zur eindeutigen Identifikation der einzelnen ARA dienen, zum Teil geändert. Dies führte dazu, dass gewisse Analysen unter einer ARA-Nummer gespeichert waren, die kei-

ner ARA mehr zugewiesen war und damit viele Analysen nicht mehr der entsprechenden Anlage zugeordnet waren. Die Zuordnungen mussten rekonstruiert werden.

- Die Erfassung von Kommastellen war im alten System nur mit einschlägigen Programmierungskennntnissen möglich, welche den Datenbank-Betreuern der FAC aber fehlten. Folglich wurde auf ganzzahlige Werte gerundet. Dies hatte besonders bei den Elementen Cadmium und Quecksilber einen relativ starken Einfluss. Beim Element Hg beugte man diesem Umstand vor, indem man die Werte um eine 10er Potenz erhöhte und so erfasste. In der Umstellungszeit wurde aber dies öfter unterlassen, so dass die Werte falsch erfasst wurden. Ab August 1995 wurden auch die Cadmiumwerte auf diese Art erfasst, um auch dort eine höhere Genauigkeit zu erreichen (BONJOUR 1995). Die nötigen Korrekturen werden erst ausgeführt, wenn die Datenbank auf ein zeitgemässeres System übertragen wird. Alle Auswertungen und Berechnungen, die dieser Datenbank zugrunde liegen, wie beispielsweise „15 Jahre Schwermetalle im Klärschlamm“ (CANDINAS et al. 1989) und „Daten zum Gewässerschutz in der Schweiz“ (BUWAL 1994b), beruhen auf den unkorrigierten Werten.
- Das System ist relativ schwerfällig. Plausibilitäts- und Kontrollabfragen sind sehr arbeitsintensiv und kompliziert. Deshalb enthält die Datenbank in einem geringen Masse noch falsch erfasste Werte, die unter Umständen Berechnungen, vor allem wenn diese mit kleinen Datenmengen erfolgen, verfälschen können.
- Die Nickelwerte der Jahre 1984 und 1985 der FAC sind wegen analytischer Probleme unbrauchbar und sollten nicht verwendet werden (siehe nächster Abschnitt).

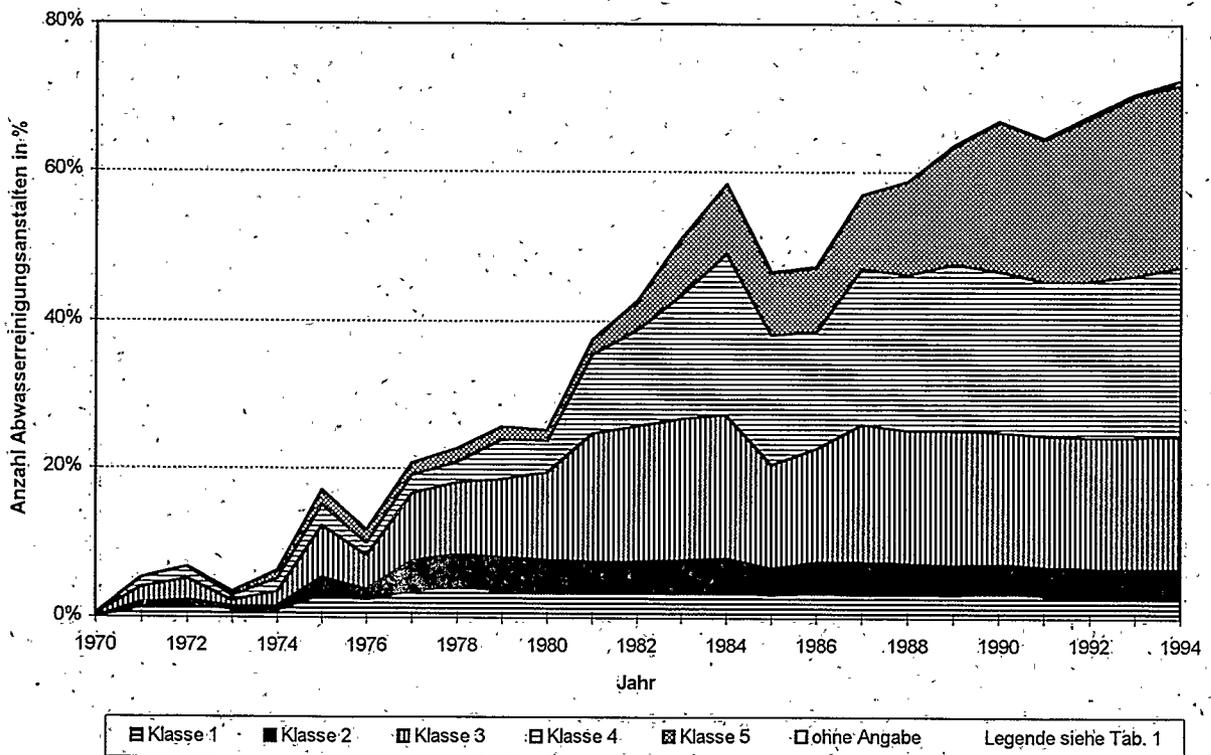
Figur 6 und 7 zeigen den Verlauf der Anzahl Schwermetallanalysen und den prozentualen Anteil der Abwasserreinigungsanlagen, die Schwermetallanalysen durchführten. 1975 ist in beiden Grafiken ein erster Anstieg feststellbar. Dieser Anstieg ist auf die in den Jahren 1975 und 1976 bei 68 Anlagen durchgeführte Klärschlammumfrage der FAC (1977) zurückzuführen. Sowohl die 1977 für alle grossen Anlagen obligatorisch erklärte Klärschlammkontrolle als auch die Einführung der KSV (1981) widerspiegeln sich deutlich in Form markanter Anstiege der Analysenzahlen. Der extreme Anstieg im Jahr 1984 ist auf die Einführung der Röntgenfluoreszenz-Analytik an der FAC zurückzuführen, mit welcher man plötzlich in der Lage war, sehr viele Proben innert kurzer

Zeit zu analysieren. Der deutliche Einbruch in den Jahren 1985 und 1986 ist auf analytische Probleme an der FAC zurückzuführen: Die Korrosion eines Probeaufbereitungsgerätes verfälschte die Nickelwerte. Die Geräte mussten darauf hin neu geeicht werden, so dass während dieser Zeit keine Analysen durchgeführt werden konnten. Da aber damals noch rund die Hälfte aller Proben an der FAC analysiert wurden, bewirkte dies den deutlichen Einbruch. Ab 1987 steigen sowohl die Zahl der Analysen als auch die teilnehmenden Anlagen wieder an. Die StöV (1986) bewirkte eine noch stärkere Zunahme der Analysenzahl. 1994 beteiligten sich knapp drei Viertel aller erfassten Abwasserreinigungsanlagen an der Klärschlammkontrolle.



QUELLE: KLÄRSCHLAMM-DATENBANK FAC

Figur 6: Anzahl Schwermetallanalysen pro Jahr, die in der Klärschlamm-Datenbank der FAC erfasst sind, aufgeteilt nach ARA-Größenklasse.



QUELLE: KLÄRSCHLAMM-DATENBANK FAC

Figur 7: Prozentualer Anteil Abwasserreinigungsanlagen die Schwermetallanalysen gemacht haben, aufgeteilt nach ARA-Größenklasse.

## 2.3 SCHWERMETALLFRACHTEN DER KLÄRSCHLAMMDÜNGUNG

Die Schwermetallfrachten der Klärschlammdüngung lassen sich aus den Klärschlamm-mengen und den entsprechenden Gehalten berechnen (Menge x Gehalt). Voraussetzung sind präzise und vollständige Daten über Klärschlamm-mengen und die entsprechenden Schwermetallgehalte. Für die Zeit vor dem Inkrafttreten der KSV (1981) bestanden keine gesetzlichen Vorschriften über die Schwermetallgehalte und TS-Mengen; auch existierten nur sehr wenige Angaben über die Gehalte an Schwermetallen. Es lassen sich deshalb für diesen Zeitraum keine Schwermetallfrachten berechnen.

### 2.3.1 GESETZLICHE GRUNDLAGEN UND EMPFEHLUNGEN

Mit dem Inkrafttreten der KSV (1981) wurden zulässige Schwermetallgrenzwerte und -frachten festgelegt (Tabelle 6). SCHNEIDER et al. (1984) haben daraus die theoretische Höchstbelastung berechnet und diese mit verschiedenen Frachtszenarien verglichen (Tabelle 6). Sowohl die Verwertung gemäss Beratung der FAC, als auch die damals höchstzulässigen Klärschlamm-mengen gaben zu keiner Besorgnis Anlass, sofern der Klärschlamm mit durchschnittlichen Schwermetallgehalten belastet war. Mit der Aenderung der StoV 1992 (StoV 1986) wurden die maximal zulässigen Klärschlamm-mengen pro ha und Jahr 1992 nochmals drastisch gesenkt (Tabelle 6).

Tabelle 6: Höchstzulässige Schwermetallfrachten durch Klärschlamm-düngung gemäss KSV (1981) bzw. StoV (1986) und zwei Szenarien über jährliche Schwermetallfrachten in Landwirtschafts-böden der Schweiz aus SCHNEIDER et al. (1984) in g/ha und Jahr

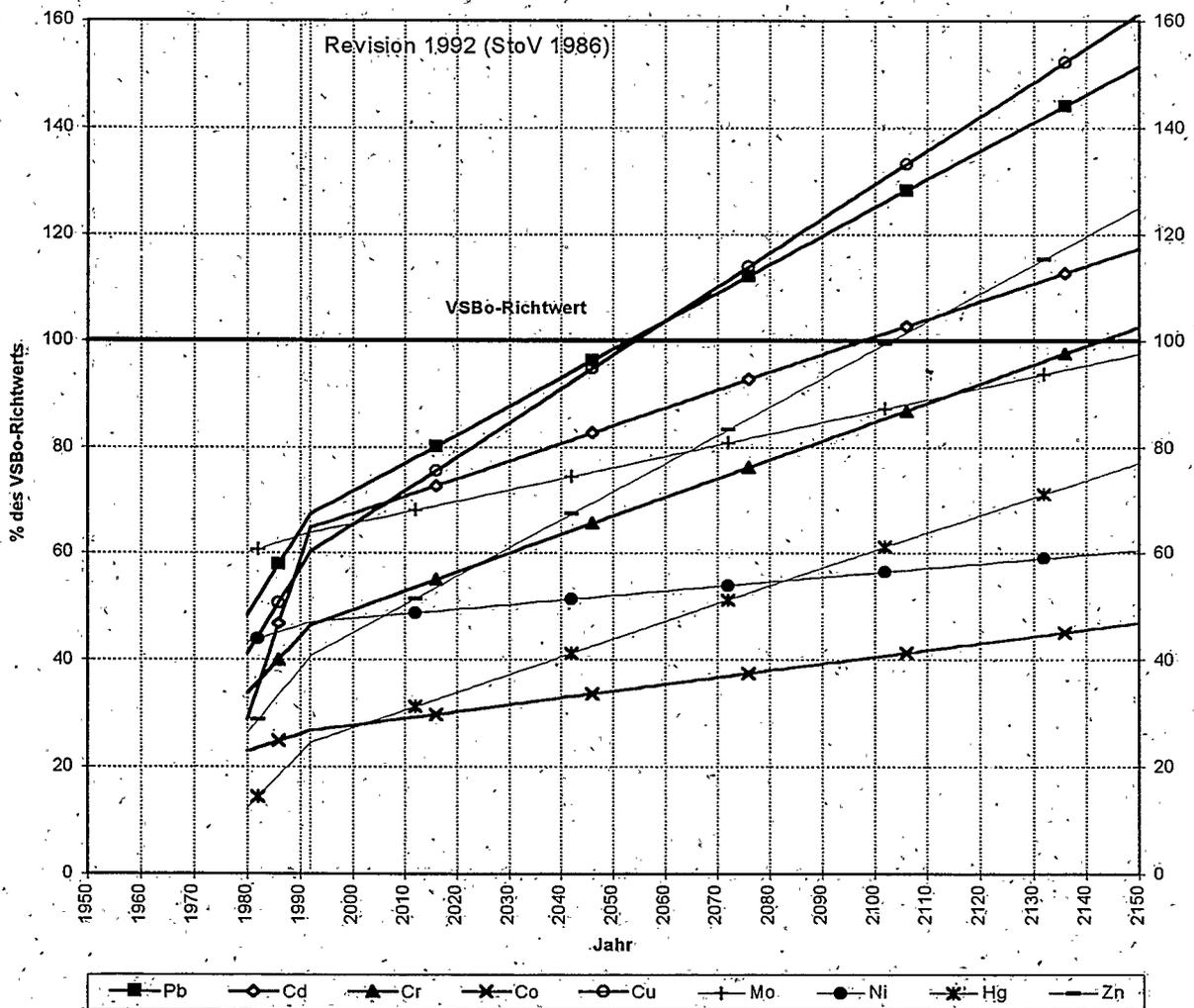
Schwermetall	KSV	StoV	Szenario 1	Szenario 2
Blei (Pb)	2'500	833	1'240	194
Cadmium (Cd)	75	8,3	38	5
Chrom (Cr)	2'500	833	690	104
Kobalt (Co)	250	100	43	14
Kupfer (Cu)	2'500	1'000	1'200	217
Molybdän (Mo)	50	33	30	5
Nickel (Ni)	500	133	220	34
Quecksilber (Hg)	25	8,3	Datenmenge zu klein	
Zink (Zn)	7'500	3'333	5'090	840

Szenario 1 Durchschnittliche Fracht bei Ausschöpfung der max. TS-Menge gemäss KSV (1981) mit gewichteten durchschnittlichen Schwermetallgehalten gemäss FURRER und CANDINAS (1982).

Szenario 2 Mittlere Fracht bei angestrebter Verwertung gemäss Beratung der FAC (Düngung gemäss P-Restbedarf der Abnehmerbetriebe) mit gewichteten durchschnittlichen Schwermetallgehalten.

In Figur 8 sind die gesetzlich maximal erlaubten Schwermetallfrachten, die in Form von Klärschlamm in den Boden gelangen dürfen, in Prozent des VSBo-Richtwerts dargestellt. Da in jedem Boden eine gewisse Vorbelastung vorhanden ist, musste auch für diese Berechnung eine solche angenommen werden. In diesem Fall wurde auf die Medianwerte des Nationalen Bodenbeobachtungsnetzes (NABO) zurückgegriffen (BUWAL 1993). Je nach Vorbelastung verschieben sich die Kurven nach oben oder nach unten. Es zeigt sich, dass sich die Kur-

ven der einzelnen Elemente deutlich in ihrer Steilheit unterscheiden; so würden Blei und Kupfer unter den gegebenen Annahmen bereits um 2050 eine 100 % Auffüllung des VSBo-Richtwerts (VSBo 1986) erreichen, Kobalt hingegen erst Mitte des 26. Jahrhunderts. Gemäss Art. 14 der KSV (1981) könnte Klärschlamm mit unzulässigen Schwermetallgehalten während der Dauer der Sanierungsmassnahmen allenfalls unter einschränkenden Auflagen weiterhin zur Verwertung abgegeben werden.



Figur 8: Theoretischer Anstieg des Schwermetallgehalts des Oberbodens in % des VSBo-Richtwerts (VSBo 1986) bei maximal tolerierter Klärschlammmenge und Schwermetallgehalten entsprechend der KSV (1981) respektive StoV (1986). Basierend auf folgenden Annahmen nach GSPONER (1995).

- Oberboden: Oberste 20 cm mächtige Schicht des Bodens

- Dichte im Oberboden:  $1,25 \text{ g/cm}^3$

- Speicherung von 80 % des Schwermetalleintrags im Oberboden

(Diese Ausbringmengen würden bei einem mittleren  $\text{P}_2\text{O}_5$ -Gehalt von  $60 \text{ kg/t TS}$  einer jährlichen P-Düngung von rund  $150 \text{ kg P}_2\text{O}_5/\text{ha}$  und Jahr, respektive  $100 \text{ kg P}_2\text{O}_5/\text{ha}$  und Jahr entsprechen.)

Auch die StoV (1986, Ziff. 25, Abs. 2) erlaubt eine zeitweilige Verwertung von Klärschlamm mit erhöhten Gehalten. Der Gehalt darf aber die Grenzwerte um höchstens 100 % überschreiten. Erteilt die FAC eine Bewilligung zur Verwendung von Klärschlamm mit erhöhten Gehalten, so schränkt sie die Abgabemenge so ein, dass die Schadstofffracht nicht grösser ist als bei Einhaltung der Grenzwerte (StoV 1986). Die Kurvenanstiege der Figur 8 werden demzufolge durch diese Sonderbewilligungen nicht tangiert. Jedoch waren in der Zeit der KSV (1981) steilere Kurven möglich, da in dieser Verordnung nicht explizit die Einhaltung einer maximalen Schwermetallfracht verlangt wurde.

### 2.3.2 DATEN UND DATENQUALITÄT

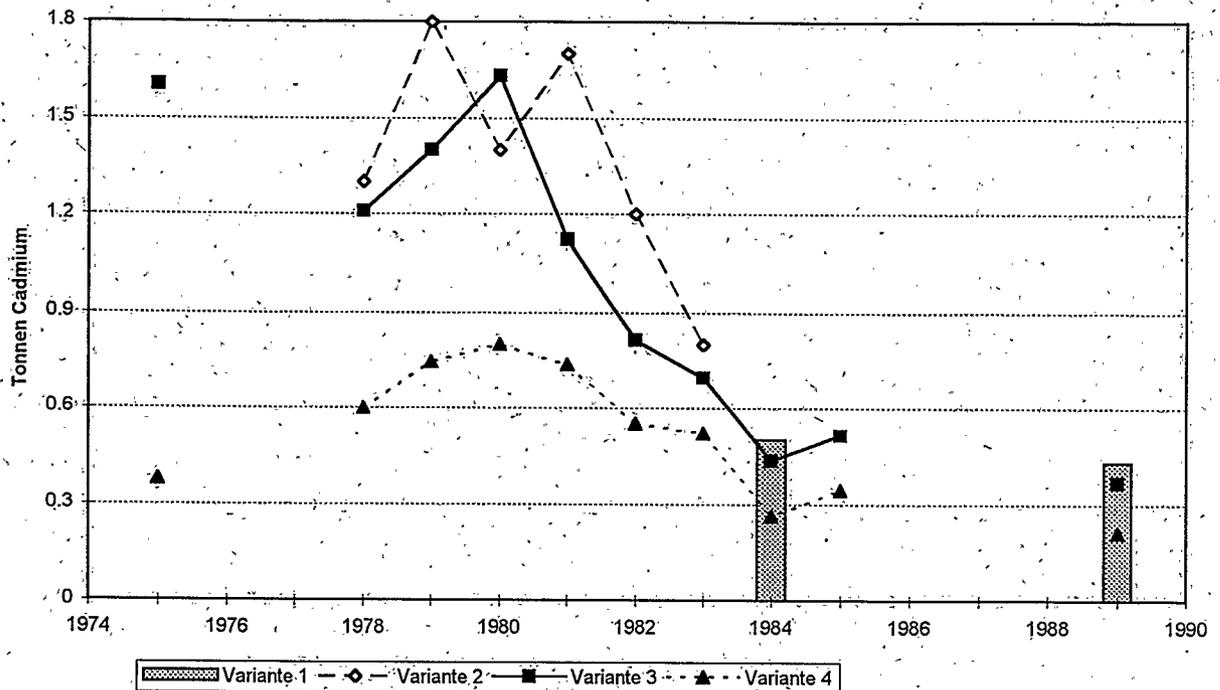
Mit den verfügbaren Daten lassen sich nur bedingt Hochrechnungen über die Schwermetallfrachten anstellen, da die Datenlage mangelhaft ist, wie in den Kapiteln 2.1 und 2.2 dargelegt wurde. In einer Studie von GROLIMUND (1992) wurden die gesamtschweizerischen Schwermetallfrachten berechnet. In dieser Studie werden aber die gesamten Schwermetallfrachten im Klärschlamm und nicht nur jener Anteil, der in die Landwirtschaft gelangt ist, untersucht. Zudem werden nur die Frachten der Jahre 1984 und 1989 berechnet. Dieselben Daten liegen auch der Publikation von CANDINAS et al. (1991) zugrunde. 1984 und 1989 sind also die zwei Jahre, für welche bezüglich Klärschlammengen die besten Daten vorhanden sind. Trotz der mangelhaften Datenlage wurde versucht, die Schwermetallfrachten in die Landwirtschaft grob abzuschätzen. Dazu wurden sowohl Daten und Berechnungen aus der Literatur wie auch eigene Berechnungen verwendet. In Figur 9 sind vier Berechnungsvarianten für das Element Cadmium abgebildet (1976 und 1977 sowie 1986 bis 1988 sind keine entsprechenden Daten vorhanden, Kapitel 2.1.2).

Da Variante 1 die Hälfte der gesamten Schwermetallfracht widerspiegelt, kann davon ausgegangen werden, dass dies eine maximale Fracht in die Landwirtschaft darstellt, was von den anderen Varianten auch

bestätigt wird. Variante 2 und 3 gehen beide vom nicht gewichteten Mittelwert der Klärschlamm-Datenbank der FAC aus und auch die Mengenangaben sind dieselben. Einzig ab 1981 werden in Variante 3 die Werte, die den KSV-Richtwert um das Doppelte überschreiten, nicht mehr berücksichtigt. Trotzdem zeigen sich aus unerklärlichen Gründen vor allem in den Jahren 1979 und 1980 grosse Abweichungen nicht nur bei Cadmium, sondern auch bei Chrom, Nickel und Blei.

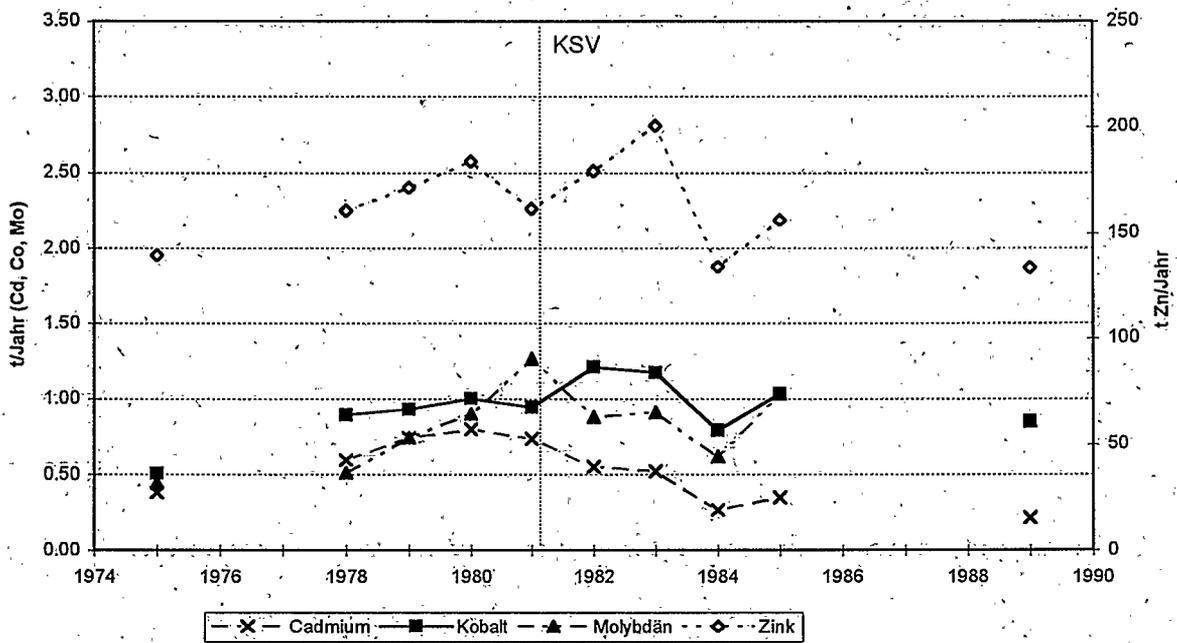
Variante 4 unterscheidet sich von Variante 3, indem zur Frachtberechnung anstelle des nicht gewichteten Mittelwerts der Median beigezogen wurde. Die Variante 4 scheint trotz allen Unsicherheiten, die allen Varianten anlasten, die zuverlässigste zu sein, da der Einfluss von Extremwerten sehr gering ist und in einem gewissen Masse auch die Sperrung von Schlämmen mit zu hohen Gehalten berücksichtigt werden konnte. Figur 10 zeigt deshalb für die Frachten der restlichen Schwermetalle nur noch diese Variante auf.

Obwohl die Schwermetallgehalte sinken, ist in Figur 10 zu Beginn ein Anstieg der Frachten erkennbar, der je nach Element zwischen 1978 und 1983 ein Maximum erreicht. Der Anstieg ist die Folge des Mehrabsatzes in die Landwirtschaft. Ab dem Zeitpunkt, da sich die Klärschlammmenge in die Landwirtschaft stabilisierte oder gar leicht rückläufig wurde, machen sich die sinkenden Gehalte an Schwermetallen bei den Frachten bemerkbar. Die deutlichsten Frachtreduktionen sind bei den Elementen Blei, Zink und Cadmium zu verzeichnen, denen auch Gehaltsreduktionen zwischen 40 % bis 60 % zugrunde liegen. Der 1984 bei allen Elementen vorkommende Einbruch ist auf die unterschiedlichen Quellen der Klärschlamm-Trockensubstanz-Angaben zurückzuführen (Kapitel 2.1.2).

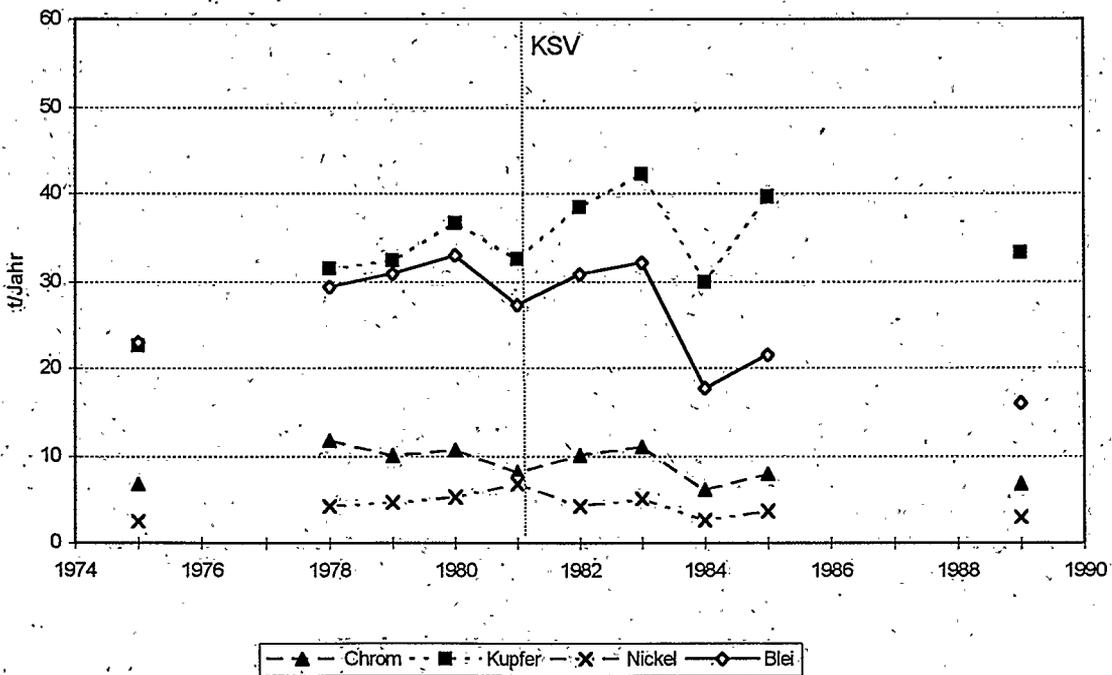


Figur 9: Abschätzungsszenarien von Cadmiumfrachten aus dem Klärschlamm in die Landwirtschaft [t/Jahr] für die Jahre 1975, 1978 bis 1985 und 1989 in der Schweiz.

- Variante 1: Hier würde von der in CANDINAS et al. (1991) berechneten gesamten im Klärschlamm enthaltenen Metallfracht ausgegangen. Da rund 50 % der Gesamtmenge landwirtschaftlich verwertet wurden und vorzugsweise bessere Qualität für die Verwertung ausgelesen wurde, wird davon ausgegangen, dass maximal die Hälfte dieser Fracht auf die landwirtschaftlich genutzten Böden der Schweiz gelangten. Die Säulen stellen maximal 50 % der gesamten Metallfracht dar.
- Variante 2: Hier wurden die Werte der Gewässerschutzstatistik 1985 (BUS 1985b) übernommen. Dabei wurden die nicht gewichteten Mittelwerte der durch die FAC im Schlamm gemessenen Schwermetallgehalte mit den landwirtschaftlichen Klärschlammengen aus Tabelle 2 verrechnet.
- Variante 3: Landwirtschaftliche Klärschlammengen aus Tabelle 2 wurden mit den nicht gewichteten Mittelwerten der Klärschlamm-Datenbank der FAC verrechnet. Dabei wurden ab der Inkraftsetzung der KSV am 1. Mai 1981 die Analysenwerte, die den KSV-Richtwert um mehr als 100 % überschritten, nicht berücksichtigt, da die Schlämme mit so hohen Gehalten gemäss KSV (1981) nicht in die Landwirtschaft gelangen durften.
- Variante 4: Gleiche Berechnung wie Variante 3; anstelle des Mittelwerts wurde mit dem Median gerechnet.



Figur 10: Schwermetallfrachten im Klärschlamm, welcher in die schweizerische Landwirtschaft gelangte, für die Jahre 1975, 1978 bis 1985 und 1989.



Figur 10: Fortsetzung

### 2.3.3 FEHLERBETRACHTUNG

Die jährliche Trockensubstanz-Produktion an Klärschlamm pro Abwasserreinigungsanlage dürfte eine relativ gut bekannte Grösse sein. CHASSOT (1995) schätzt die Variabilität dieser Grösse auf 10 %. Da für landwirtschaftlich verwerteten Klärschlamm dem Abnehmer sowohl die Menge als auch der TS-Gehalt bekannt gegeben werden müssen, kann davon ausgegangen werden, dass die Variabilität dieser Grösse mit hoher Wahrscheinlichkeit nicht grösser ist. Die bedeutenden Unsicherheiten der TS-Produktion entstehen bei der Schätzung der gesamten TS-Produktion der Schweiz, weil auf Bundesebene nur ungenügend und zum Teil ungenaue Daten zur Verfügung stehen. Betrachtet man die Produktionszahlen aus Tabelle 2, wird klar, dass je nach Datenherkunft und -qualität sowie Berechnungsart zum Teil gravierende Differenzen bestehen. Es muss davon ausgegangen werden, dass mit den verfügbaren Daten die Variabilität solcher Berechnungen sehr gross ist. Werden die Zahlen aus Kapitel 2.1.2 miteinander verglichen, ergeben sich Abweichungen von 10 % bis über 30 %, weshalb für die nachfolgenden Berechnungen diese Spannweite für die Variabilität der TS-Produktionsschätzungen eingesetzt wird.

Nach BADERTSCHER (1993) lassen sich die relativen Varianzen jedes Faktors (Erhebung der TS-Produktion und TS-Hochrechnung) wie folgt addieren:

$$\Delta F_{\min,KS} = \sqrt{0,1^2 + 0,1^2} = \pm 0,14$$

$$\Delta F_{\max,KS} = \sqrt{0,1^2 + 0,3^2} = \pm 0,32$$

Die Variabilität der TS-Berechnung liegt folgedessen zwischen 14 und 32 %. Allein mit den TS-Produktionszahlen lassen sich aber keine Schwermetallfrachten berechnen. Dazu werden Analysenwerte benötigt. Auch diese sind gewissen Fehlern unterworfen. Sowohl die Probenahmetechnik als auch die Analytik sind nicht fehlerfrei, Fehler müssen daher mitberücksichtigt werden.

Probenahmetechnik: Die Probenahme wird meist von Angestellten der Kläranlagen durchgeführt und nur selten von Spezialisten (wie beispielsweise im Kanton Waadt). Somit

werden auf verschiedenen Kläranlagen die Klärschlammproben auf unterschiedliche Weise gezogen, wobei sich die Frage stellt, ob die Vergleichbarkeit der Analyseergebnisse gewährleistet ist. Auch gab es bis im Herbst 1995 keine präzisen Anleitungen zur Probenahme von Klärschlamm. Gemäss einer Studie von KUPPER (1995) beträgt die Variabilität der Probenahmetechnik für fünf vordefinierte Methoden zwischen 0,5 % bis 6 % für Zink. Die restlichen Schwermetalle wurden nicht analysiert. Die Resultate dürfen nur eins zu eins übertragen werden, wenn die Probenahme in Zukunft nach den im Ordner „Kompost und Klärschlamm“ (FAC 1995a) vordefinierten Methoden ausgeführt werden, ansonsten muss für die Variabilität der Probenahmetechnik eine deutlich höhere Variabilität eingesetzt werden. Um alle Schwermetalle zu berücksichtigen, müssten auch alle Schwermetalle analysiert werden.

Anzahl Proben pro Jahr: Ein möglichst repräsentativer Überblick über den Gehalt an Schwermetallen der jährlichen Klärschlammproduktion hängt unter anderem auch von der Anzahl Proben ab, die im Laufe eines Jahres gezogen werden. Je mehr Proben, desto präziser kann die Schwermetallfracht berechnet werden. Andererseits bedeuten mehr Proben sowohl einen finanziellen als auch einen arbeitsmässigen Mehraufwand. Es muss daher ein Kompromiss gefunden werden, der beiden Punkten Rechnung trägt.

Weiter muss folgendes berücksichtigt werden:

- Kläranlagen, welchen nur Privathaushalte angeschlossen sind, weisen zumeist relativ konstante Gehalte auf.
- Mehr Industrie bedeutet mehr punktuelle Quellen; die Gehaltsschwankungen nehmen zu.
- Die Pufferwirkung nimmt mit der Grösse der Kläranlage zu. Je grösser die Anlage, desto geringer der Einfluss der punktuellen Quellen, da diese durch die grosse Menge an anfallendem Schlamm abgepuffert werden.

CHASSOT (1995) hat aufgrund zweier Studien aus Deutschland festgestellt, dass die Variabilität bei vier Proben pro Jahr für die Elemente Zink und Kupfer bei 20 % und für das Element Blei bei 30 % liegt. Eine dieser Studien untersuchte 9 Kläranlagen in Deutschland, die andere Studie nur eine Anlage. Die Datenlage ist also schmal, so dass die Resultate nur mit entsprechender Vorsicht interpretiert werden dürfen. Auch hat CHASSOT (1995) für seine Studie nur Blei, Zink und Kupfer berücksichtigt. Wie die Variabilitäten der anderen Schwermetalle sind, geht aus seiner Untersuchung nicht hervor.

Analytik: Der MARSEP-Ringversuch (HALDEMANN et al. 1995) zeigt, dass die Variabilität der Wiederholbarkeit im selben Labor für die Schwermetalle im Bereich zwischen < 1 % bis 10 % liegt. Einer grösseren Variabilität unterliegt die Vergleichbarkeit der Analysen zwischen verschiedenen Labors; diese liegt im Bereich zwischen 9 % und 23 %. Die Berechnung der gesamten Variabilität der Analysen sieht wie folgt aus:

$$\Delta F_{\min, \text{Analysen}} = \sqrt{0,005^2 + 0,2^2 + 0,01^2 + 0,09^2} = \pm 0,22$$

$$\Delta F_{\max, \text{Analysen}} = \sqrt{0,06^2 + 0,3^2 + 0,1^2 + 0,23^2} = \pm 0,40$$

Die Variabilität der Schwermetallfrachten setzt sich aus der Variabilität der TS-Produktions-Erhebung respektive Schätzung und

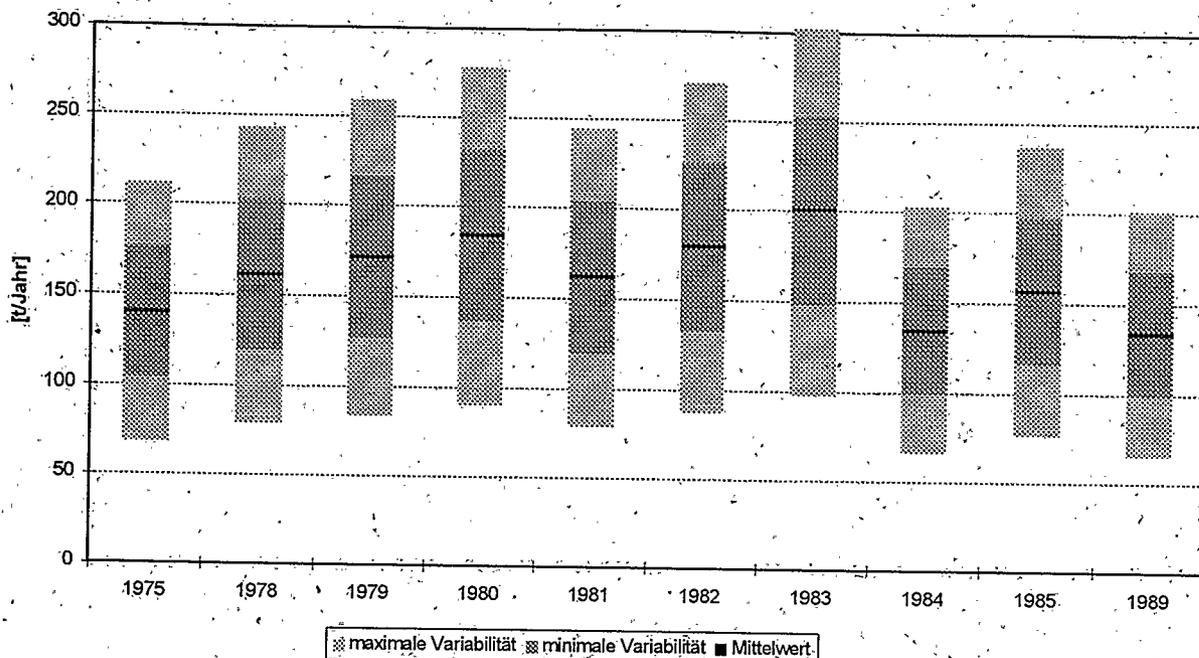
der Variabilität der Schwermetallanalysen zusammen und liegt gemäss folgender Berechnung

$$\Delta F_{\min, \text{Fracht}} = \sqrt{0,14^2 + 0,22^2} = \pm 0,26$$

$$\Delta F_{\max, \text{Fracht}} = \sqrt{0,32^2 + 0,40^2} = \pm 0,51$$

zwischen 26 % und 51 %. Dieser Bereich gilt aber nur unter den hier angenommenen Voraussetzungen. Figur 11 zeigt die Entwicklung der mittleren Zinkfrachten mit den entsprechenden minimalen und maximalen Standardabweichungen.

Die hier berechneten und zum Teil geschätzten Variabilitäten beruhen auf einer sehr schmalen Datenbasis und sind zum Teil, wie bei der Probenahmetechnik, unter vordefinierten Bedingungen ermittelt worden. Zudem sind nur Angaben über gewisse Elemente vorhanden. Ob aber die anderen Elemente die gleichen Variabilitäten aufweisen, ist zu bezweifeln. Die effektive Variabilität dürfte deshalb noch um einiges höher liegen. Es wird also deutlich, dass für genaue gesamtschweizerische Frachtabschätzungen mehr und zuverlässigere Daten vorhanden sein müssten als bis heute zur Verfügung stehen. Mit Frachtberechnungen, die um mehr als 50 % schwanken können, sind keine präzisen Aussagen zu machen; sie können höchstens dazu dienen, gewisse Tendenzen aufzuzeigen.



Figur 11: Minimale und maximale Variabilität der Schwermetallfrachten am Beispiel von Zink, basierend auf den Daten aus Kapitel 2.3.2

### 2.3.4 BEURTEILUNG DER ABWASSERREINIGUNGSANLAGEN ALS SEKUNDÄRE SCHWERMETALLQUELLEN EINER REGION

Um das potentielle Ausmass der Verschmutzung der verschiedenen Kläranlagen durch Schwermetalle abschätzen zu können, wurde versucht, die Kläranlagen zu typisieren. Dazu sind folgende Grundlagen notwendig, die nachfolgend diskutiert werden: Betriebszeit, Mengenangaben und Schwermetallanalysezahlen. Die Zeitachse wurde in drei Abschnitte unterteilt.

- Erster Abschnitt: Beginn der technischen Abwasserreinigung bis zur Inkraftsetzung der Klärschlammverordnung im Mai 1981.
- Zweiter Abschnitt: Zeit der KSV (1981) von Mai 1981 bis September 1992.
- Dritter Abschnitt: Zeit der Stoffverordnung (StoV 1986) von September 1992 bis heute.

Im ersten Abschnitt bestanden noch keine gesetzlichen Regelungen und Vorschriften, und somit war in dieser Ära das Verschmutzungsrisiko sehr hoch. In der Zeit der KSV sind zwar Vorschriften vorhanden gewesen,

die Umsetzung war jedoch noch nicht befriedigend; das Verschmutzungsrisiko war mittel. Ab dem Zeitpunkt der Stoffverordnung kann das Verschmutzungsrisiko als gering eingestuft werden, da einerseits klare und verschärfte Vorschriften bestehen und andererseits deren Umsetzung in einem akzeptablen Rahmen gewährleistet ist. Eine Typisierung der Kläranlagen im Hinblick auf eine Untersuchung der flächenbezogenen Bodenbelastung mit Schwermetallen ist folgedessen hauptsächlich für die ersten zwei Zeitabschnitte von Interesse.

#### 1. Betriebszeit:

Die Inbetriebnahme aller Anlagen ist mit Ausnahme kleiner hauptsächlich privater Anlagen, an die meist deutlich weniger als 100 Einwohner angeschlossen sind, in der BUWAL-Datenbank (BUWAL 1995) erfasst. Einzig die Stilllegungen und Zusammenschlüsse einzelner ARA sind nicht erfasst. Dies betrifft aber vorwiegend kleinere Anlagen.

#### 2. Mengenangaben:

Die einzige Grösse, die einen Vergleich der Klärschlammproduktion erlauben würde, ist die jährliche Trockensubstanz-Produktion. Diese Daten sind aber, wie in

Kapitel 2.1 erwähnt, nur unvollständig vorhanden. Anhand der ARA-Grössenklasse oder der Anzahl angeschlossener Einwohner könnte die jährliche TS-Produktion abgeschätzt werden. Jedoch geben diese Parameter, wie aus den vorhandenen Daten ersichtlich ist, keine brauchbaren Anhaltspunkte über die jährliche TS-Produktion an Klärschlamm. Tabelle 7 zeigt deutlich, dass anhand der ARA-Grössenklasse nur sehr schlecht auf die jährliche TS-Produktion geschlossen werden kann. Dasselbe gilt auch für die Anzahl angeschlossener Einwohner. Die Schlammproduktion pro Einwohner und Tag variiert in den erfassten Daten von 4 g/Einwohner und Tag bis zu 1'092 g/Einwohner und Tag.

### 3. Schwermetallanalysezahlen:

Einer der wichtigsten Parameter für die Typisierung sind die Schwermetallanalysen. Anhand der Analysen wurden die Grenzwert-Überschreitungen der Kläran-

lagen gezählt. Dabei wurde nach einfacher und doppelter Überschreitung unterschieden. Im ersten Zeitabschnitt wurde aufgrund der fehlenden Grenzwerte auf die Grenzwerte der KSV (1981) zurückgegriffen. Leider weisen viele Anlagen hauptsächlich in den ersten Zeitabschnitten keine Analysen auf. Eine Gehaltsbeurteilung dieser Anlagen ist dementsprechend nicht möglich. Die Kläranlagen, welche Analysenwerte aufweisen, haben eine unterschiedliche Anzahl Analyseergebnisse. Ein Vergleich ist deshalb sehr schwierig.

Aus den vorhandenen Daten ist zwar ersichtlich, welche Kläranlage in welchen Zeitabschnitten mit welchen Schwermetallen Probleme hatte. Dies gilt aber nur für jene Kläranlagen, für welche Daten zur Verfügung stehen. Für eine Typisierung der Anlagen sind die Daten ungenügend.

Tabelle 7: Jährlicher Klärschlammfall pro Abwasserreinigungsanlage, aufgeteilt nach ARA-Grössenklassen gemäss Tabelle 1

ARA-Grössenklasse nach EG-Norm (Tabelle 1)	Mittelwert		Minimum	
	KS-Frischschlamm [t TS]	Maximum KS-Frischschlamm [t TS]	KS-Frischschlamm [t TS]	KS-Frischschlamm [t TS]
1	3'112	14'515	714	
2	1'397	6'250	256	
3	478	2'406	6	
4	125	540	1,5	
5	16	733	1	

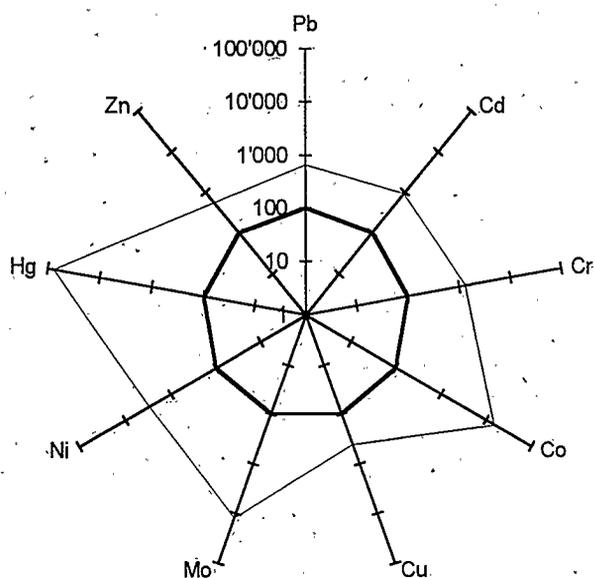
QUELLE: GEWÄSSERSCHUTZ-DATENBANK BUWAL

### 2.3.5 DÜNGUNGSSZENARIOEN

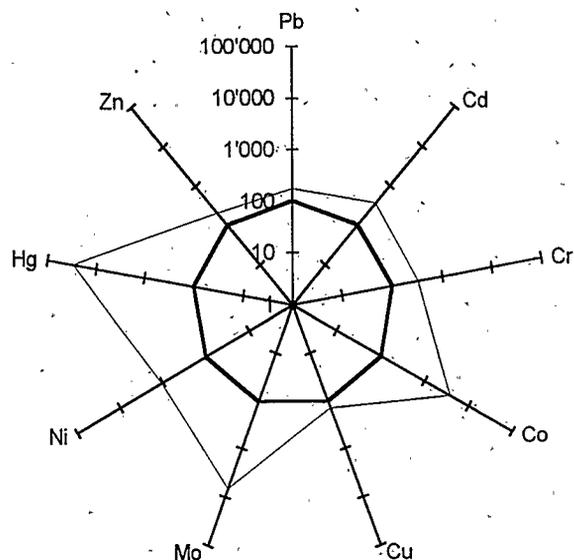
Zur Abschätzung der zukünftigen Bodenbelastung mit Schwermetallen infolge Klärschlammdüngung wurden anhand von Nährstoffbilanzen ausgewählter Betriebe mögliche „Worst case“-Belastungsszenarien berechnet. Die Daten sowie die genauen Berechnungen dieser Szenarien sind im Anhang A bis C nachzulesen. Bei allen Betrieben würde die gemäss Nährstoffbilanzen maximal erlaubte Klärschlammmenge eingesetzt, wobei die Höchstmenge gemäss StoV (1986) eingehalten wurde. Da diese Menge vom P-Gehalt des Schlammes abhängt, wurde auf den medianen  $P_2O_5$ -Gehalt sämtlicher schweizerischer Klärschlämme des Jahres 1994 zurückgegriffen, der bei 54 kg  $P_2O_5$ /t TS liegt.

Unter der Annahme, dass alle Dünger, inklusive Klärschlamm, über die gesamte düngbare Fläche verteilt werden, konnten die jeweiligen Schwermetallfrachten pro ha berechnet werden. Beim viehlosen Betrieb (E) wurde zusätzlich die maximale P-Ergänzungsdüngung in Form dreier stark schwermetallhaltiger Phosphordünger verabreicht, um damit den Unterschied stark belasteter mineralischer Dünger zu stark belastetem Klärschlamm aufzuzeigen. In Figur 12 sind die verschiedenen Szenarien dargestellt. Auf den Achsen sind jeweils die Anzahl Jahre aufgetragen, bis bei der vorgegebenen Düngung die VSBo-Richtwerte des jeweiligen Elementes überschritten werden. Da gemäss

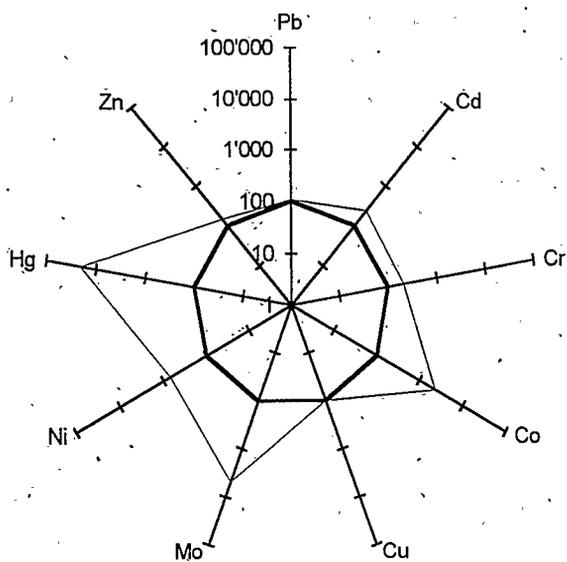
BUS (1981) die Grenzwerte im Klärschlamm so festgesetzt sein sollten, dass in 50 bis 100 Jahren keine nachhaltige Wirkung zu erwarten ist, wurden in dieser Figur 100 Jahre als Grenze gesetzt. Zum Vergleich wurden die bereits in Figur 8 berechneten höchstzulässigen Frachten gemäss KSV (1981) und StoV (1986) abgebildet (Szenario H). In diesem Szenario überschreiten Kupfer und Blei die gesetzte Grenze massiv. Aber auch in anderen Szenarien kommen besonders die Elemente Blei, Cadmium und Zink dieser Grenze bedrohlich nahe und überschreiten sie zum Teil sogar. Der viehlose Betrieb (E) weist dabei die meisten kritischen Werte auf, da dieser pro Flächeneinheit am meisten Klärschlamm einsetzen kann. Aber auch der gemischte Betrieb (F) erreicht bei den Elementen Blei, Kupfer und Zink annähernd die 100-Jahr-Grenze. Wird beim viehlosen Betrieb (E) die Phosphordüngung mit stark schwermetallhaltigen Phosphordüngern getätigt, so wird bei Verwendung von Thomasphosphat der Chromgehalt, bei Verwendung von Triple Superphosphat und Superphosphat der Cadmiumgehalt stark erhöht. Die restlichen Elemente werden dagegen nicht nennenswert aufgefüllt. Der Grund liegt darin, dass die Mineraldünger meist nur bei einem einzelnen Element starke Belastungen aufweisen, der Klärschlamm hingegen bei mehreren Elementen. Der Schweinemastbetrieb (G), welcher eine 45 %ige P-Überdüngung aufweist, erreicht bei Kupfer und Zink kritische Werte.



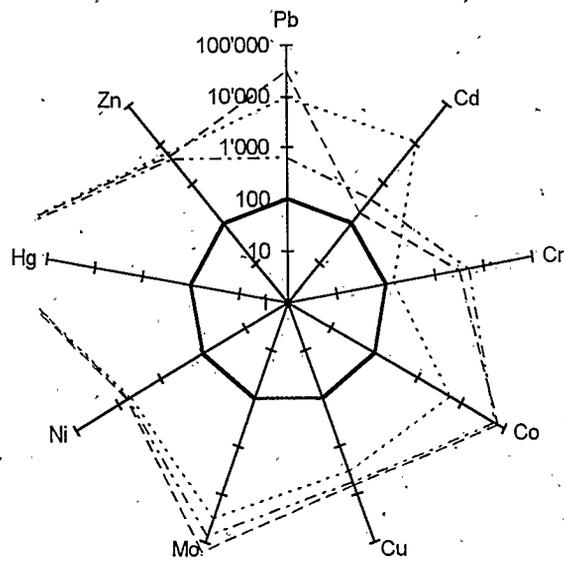
Graswirtschaftsbetrieb (A)



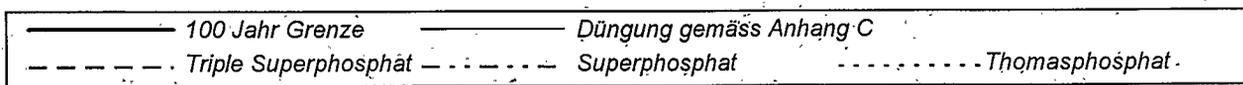
Gemischtwirtschaftlicher Betrieb (F)



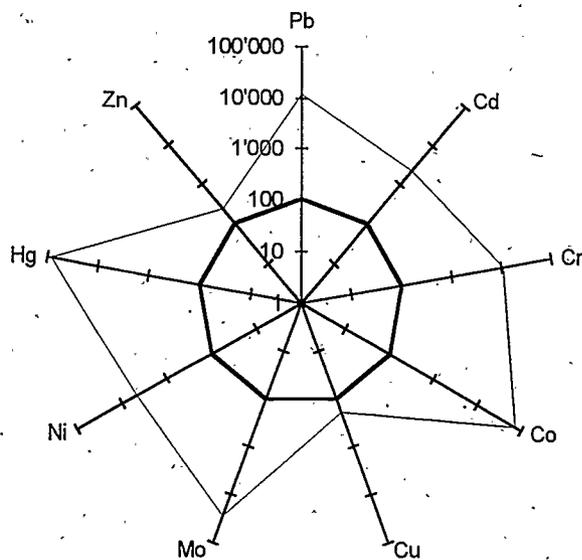
Viehloser Betrieb (E)



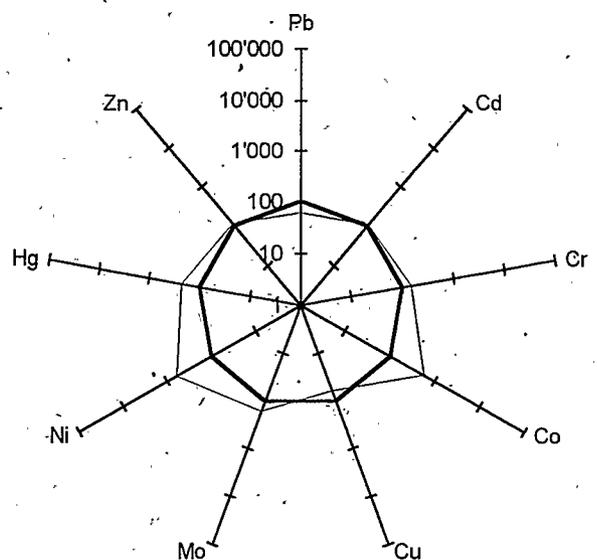
Viehloser Betrieb (E)  
mit mineralischer P-Ergänzungsdüngung



Figur 12: Erreichen der VSBo-Richtwerte nach x Jahren Düngung gemäss Düngungsszenarien aus Anhang C. X-Achse: Anzahl Jahre bis zum Erreichen der VSBo-Richtwerte (Achsenkalierung logarithmisch).



Schweinemastbetrieb (G)



Höchstzulässige Fracht nach KSV (1981)  
bzw. StoV (1986) gemäss Figur 8 (H)

———— 100 Jahr Grenze      ———— Düngung gemäss Anhang C bzw. Höchstzulässige Fracht

Figur 12: Fortsetzung

Eine Auffüllung der VSBo-Richtwerte ist selbst unter Einhaltung der Stoffverordnung zumindest bei den Schwermetallen Blei und Kupfer auch heute in weniger als 100 Jahren möglich, sofern die höchstzulässigen Frachten der StoV (1986) voll ausgeschöpft werden. Dies geschieht jedoch in der Praxis kaum, da in den wenigsten Fällen die höchstzulässigen Frachten ausgenützt werden. Auf der anderen Seite muss aber auch berücksichtigt werden, dass Klärschlamm kaum auf der ganzen düngbaren Betriebsfläche gleichmässig ausgebracht wird. Meist werden nur einige wenige Parzellen mit Klärschlamm gedüngt. Mit der heutigen Kontrollpraxis, bei welcher die Klärschlamm

lieferungen nur auf Betriebsebene kontrolliert werden können, sind deshalb Überdüngungen einzelner Parzellen nicht in jedem Fall zu verhindern. Anreicherungen, wie sie in den vorliegenden Szenarien berechnet wurden, sind deshalb nicht auszuschliessen. Im weiteren muss berücksichtigt werden, dass aufgrund weiterer Schadstoffeinträge (aus der Luft, Pflanzenbehandlungsmittel etc.) die einzelnen Bodenrichtwerte früher erreicht werden können (BUWAL 1993). Insbesondere beim landwirtschaftlichen Kupfereinsatz kann eine Anreicherung im Boden mit Berücksichtigung anderer Einträge innerhalb weniger Jahrzehnte geschehen.

## 2.4 KLÄRSCHLAMMVERTEILUNG

Über die Verteilung von Klärschlamm in früheren Zeiten lässt sich wenig in Erfahrung bringen. So geben höchstens einige Zitate aus älteren Publikationen Anhaltspunkte über die Klärschlammverteilung. So stellt GISIGER (1958) fest: „Bei Gratisabgabe und direkter Verwendung (...) auf Wiesen lässt sich dessen Zufuhr bei 8 % Wassergehalt auf gut 5 km und bei 90 % Wassergehalt auf 3 bis 3,5 km verantworten.“ Auch GEERING (1968) betrachtete die Verteilung in erster Linie aus wirtschaftlicher Sicht: „Bis heute hat sich eine Abfuhr für landwirtschaftliche Zwecke selbst auf Entfernungen von 10 bis 20 km als billigstes Verfahren (...) erwiesen.“ Das Bundesamt für Umweltschutz schätzte, dass in den 70er Jahren rund 52 % des Klärschlammes auf Futterflächen und 48 % auf Ackerflächen ausgebracht wurden (BUS 1977). Diese Aussagen geben höchstens an, in welchem Rahmen der Klärschlamm ausgebracht wurde. Konkrete Hinweise über die Verteilung sind jedoch nicht vorhanden.

### 2.4.1 GESETZLICHE GRUNDLAGEN UND EMPFEHLUNGEN

Gemäss KSV (1981) waren die Betreiber von zentralen Abwasserreinigungsanlagen verpflichtet, ein Verzeichnis zu führen, welches mindestens den Namen des Abnehmers, die abgegebene Menge und das Datum der Abgabe enthält. Die StoV (1986) verpflichtet die Betreiber seit 1992 zusätzlich, das Verzeichnis mindestens 30 Jahre aufzubewahren und dieses der FAC, den kantonalen Behörden oder den von diesen bezeichneten Dritten zur Verfügung zu stellen. Anhand dieser Verzeichnisse könnte die Verteilung der landwirtschaftlich verwerteten Klärschlämme mindestens bis auf Stufe Landwirtschaftsbetrieb rekonstruiert werden. Eine parzellenscharfe Angabepflicht besteht jedoch bis heute nicht.

### 2.4.2 AUSKUNFTSPFLICHT

Archivierte Daten über die landwirtschaftliche Verwertung von Klärschlamm müssen gemäss StoV (1986) also erst ab 1992 vorhanden sein. Die für flächenbezogene Un-

tersuchungen relevanten Daten und Angaben fallen aber in den Zeitraum vor der Inkraftsetzung der Stoffverordnung. Ab 1983 konnte man sich notfalls auf die Auskunftspflicht des USG (1983, Art. 46, Abs. 1) berufen. Dieses verpflichtet jede Person, den Behörden die für den Vollzug erforderlichen Auskünfte zu erteilen, nötigenfalls selbst Abklärungen durchzuführen oder solche zu dulden. Klärschlammberater, ARA-Betreiber, Transporteure und Landwirte sind demnach zwar dazu verpflichtet, die nötigen Daten und Angaben zur Untersuchung der flächenbezogenen Bodenbelastung mit Schwermetallen infolge Klärschlammdüngung den mit dieser Untersuchung beauftragten Personen zur Verfügung zu stellen. Letztlich ist man aber auf den guten Willen der auskunftspflichtigen Personen angewiesen. Dies nicht zuletzt, weil eine parzellenscharfe Aufzeichnung nicht vorgeschrieben ist oder von behördlicher Seite empfohlen wird.

Gemäss der VSBo (1986; Art. 3, Abs. 3 und Art. 4, Abs. 2) sind die Behörden von Bund und Kantonen verpflichtet, die Ergebnisse von Untersuchungen über Bodenbelastungen zu veröffentlichen. Diese können u.a. durch die Klärschlammdüngung bedingt sein. Allerdings ist diese Mitteilungspflicht nicht auf parzellenscharfe Auskünfte festgelegt (BUS/FAC 1988).

### 2.4.3 KONSEQUENZEN BEI RICHTWERT-ÜBERSCHREITUNGEN IM BODEN INFOLGE KLÄRSCHLAMMDÜNGUNG

Der gute Wille der auskunftspflichtigen Personen ist von den Konsequenzen ihrer Auskünfte abhängig. Deshalb sind die Konsequenzen einer allfälligen Richtwertüberschreitung wegen Klärschlammdüngung von entscheidender Bedeutung. Gemäss den bestehenden Gesetzen und Verordnungen (USG 1983, VSBo 1986 und LMG 1992) ist folgendes Vorgehen vorgesehen:

#### 1. Bodenuntersuchungen:

Steht fest oder besteht Grund zur Annahme, dass der Schadstoffgehalt des Bodens über dem natürlichen Gehalt liegt, haben die Kantone die betreffenden Böden zu untersuchen (VSBo 1986, Art. 4). Aber auch nach Art. 24 des LMG (1992)

kann die kantonale Behörde stichprobenweise die für die Lebensmittelproduktion genutzten landwirtschaftlichen Böden untersuchen, wenn es darum geht, die Ursache für erhöhte Schadstoffgehalte von Lebensmitteln ausfindig zu machen.

2. Bewirtschaftungseinschränkungen als Folge von Richtwertüberschreitungen:

Nach Art. 6 der VSBo (1986) und Art. 35 USG (1983) sind die Kantone ermächtigt, verschärfte Emissionsbegrenzungen festzulegen oder die Verwendung von Stoffen im erforderlichen Mass einzuschränken. Bei einer nachweislichen Richtwertüberschreitung durch Klärschlammdüngung würde zumindest die weitere Verwendung von Abfalldüngern verboten. Nach Art. 29 des LMG (1992) kann auf den betroffenen Parzellen die Produktion von Lebensmitteln, die in den Verkauf gelangen, dauernd oder für bestimmte Zeit verboten werden, wenn erhöhte Schadstoffgehalte in Lebensmitteln nachweislich auf die Bodenbelastung zurückzuführen sind.

3. Vorgesehene Nutzungseinschränkungen:

In der Botschaft zur Änderung des Umweltschutzgesetzes (USG<sub>rev</sub> 1993) werden die Kantone ermächtigt, die Nutzung des Bodens in einem erforderlichen Mass (mindestens so weit, dass eine ungefährliche Bewirtschaftung möglich ist) einzuschränken, wenn die Bodenbelastung Menschen, Tiere und Pflanzen gefährdet.

Es ist deshalb von Belang, ob im Falle von einschränkenden Massnahmen dem Bewirtschafter entsprechende Entschädigungen ausbezahlt werden oder solche Massnahmen unter Umständen sogar die Existenz eines Betriebes gefährden können. Zur Beantwortung dieser Frage verweist der Rechtsdienst des BUWAL auf das Obligationen- (OR 1911) und Verwaltungsrecht. Bei Lieferung von mangelhaftem Klärschlamm muss der Abwasserverband gemäss Obligationenrecht den Schaden beheben, der dem Landwirt durch die Lieferung unmittelbar verursacht worden ist (OR 1911, Art. 208, Abs. 2). Eine spätere Nutzungsbeschränkung gilt als unmittelbarer Schaden. Allerdings gilt hier eine maximal zehnjährige Verjährungsfrist (OR 1911, Art. 127). Wurde

der Klärschlamm gar gekauft, beträgt die Verjährungsfrist nur ein Jahr (OR 1911, Art. 210, Abs. 1). Dies bedeutet, dass vor 1985 mit Blick auf die maximale Verjährungsfrist von zehn Jahren für den Landwirt keine Möglichkeit auf Schadenersatzforderungen besteht. Da eventuelle Bodenbelastungen mit grosser Wahrscheinlichkeit vor 1985 geschehen sind und zudem bei allfälligen Verschmutzungen nach 1985 der Beweis erbracht werden müsste, dass diese Verschmutzung in den Zeitraum nach 1985 fällt, ist eine Schadenersatzforderung seitens der betroffenen Landwirte illusorisch.

Wenn die Gefahr besteht, dass die Umwelt (Wasser, Luft) durch die aktuelle Bodenbelastung in Mitleidenschaft gezogen werden könnte, wird die Sanierung angeordnet. Diese fällt unter das Verwaltungsrecht und kann nicht verjähren. Die Bezahlung der Sanierungskosten muss der Verhaltensstörer übernehmen. Im Falle der Verschmutzung des Bodens mit Schwermetallen durch Klärschlamm ist dies mit Ausnahme der Fälle, in denen den Kläranlagenbetreibern, Transporteuren oder Dritten Arglist nachgewiesen werden kann, der Bewirtschafter, respektive Grundstückbesitzer, da dieser zu der Verwertung des Schlammes sein Einverständnis gegeben hat. Dass bei den geplanten Untersuchungen solch extreme Schwermetallbelastungen gefunden werden, kann mit grösster Wahrscheinlichkeit ausgeschlossen werden. Deshalb ist das Verwaltungsrecht für diese Untersuchungen von geringer Bedeutung.

Dies bedeutet, dass im Falle von Richtwertüberschreitungen infolge Klärschlammdüngung

- als einzige konkrete Massnahme die Verwertung von Abfalldüngern eingestellt wird - alle anderen Massnahmen respektive Nutzungsaufgaben würden erst am konkreten Fall entschieden;
- von offizieller Seite keine Entschädigungen für die betroffenen Landwirte zu erwarten sind.

Bei diesen möglichen Konsequenzen ist trotz der Auskunftspflicht gemäss USG (1983, Art. 46) kaum mit einer guten Kooperationsbereitschaft der auskunftspflichtigen Personen zu rechnen, namentlich der ARA-Betreiber, der Transporteure, der Klärschlammberater und der letztlich betroffenen Landwirte. Das Interesse der absatzorientierten Kreise, unter diesen Umständen auf übermässige Klärschlammabnehmer hinzuweisen, ist erfahrungsgemäss gering. Namentlich die Klärschlammberater befürchten einen Image- und Vertrauensverlust bei den Abnehmern. Und welches Interesse sollte ein Landwirt haben, seine potentiell belasteten Parzellen bekannt zu geben, wenn allfällige Konsequenzen in jedem Fall zu seinen Lasten gingen? Es ist davon auszugehen, dass Parzellen, deren Schwermetallbelastung auf übermässige Düngung mit Klärschlamm zurückzuführen ist, unter diesen Bedingungen nicht gefunden werden können.

#### 2.4.4 VERFÜGBARE DATEN UND DATENQUALITÄT

Zentral erfasste Daten, wie sie über Klärschlammmenge und Klärschlammanalysen in Datenbanken vorhanden sind, existieren beim Bund über die Verteilung der Klärschlämme nicht. Eine Untersuchung aus den Jahren 1977/78 zeigt, dass zum damaligen Zeitpunkt gut zwei Drittel der Klärwärter regelmässig Lieferscheine an die Klärschlammabnehmer abgaben (FAC 1979). Die Verteilung der Schlämme könnte anhand dieser Lieferscheine, die zumindest in grösseren Anlagen vorhanden sind, bis auf Stufe Landwirtschaftsbetrieb rekonstruiert werden.

### 3 DIE KLÄRSCHLAMMKONTROLLE IN AUSGEWÄHLTEN KANTONEN

---

Beim Vollzug der Klärschlammkontrolle spielen die Kantone eine wichtige Rolle, weshalb die Kontrolle in vier ausgewählten Kantonen eingehender untersucht wurde. Nach Absprache mit dem BUWAL wurden dazu die Kantone Aargau, Basel-Landschaft, Bern und Zürich aufgrund folgender Kriterien ausgewählt: die Kantone Bern und Aargau geben seit länger Zeit grosse Mengen Klärschlamm in die Landwirtschaft ab. Sie eignen sich deshalb gut für diese Untersuchung; zudem ist der Kanton Bern in vielen Belangen der Klärschlammverwertung wegweisend, und der Kanton Aargau verkörpert in vielen Punkten den schweizerischen Durchschnitt. Der Kanton Basel-Landschaft wurde ausgewählt, weil sämtliche Kläranlagen mit Ausnahme derjenigen im Laufental vom Kanton betrieben werden. Zusätzlich wurde ein Kanton ausgewählt, über den in der BUWAL-Datenbank gute und genaue Daten vorhanden sind; dabei fiel die Wahl auf den Kanton Zürich.

Die Kantone besitzen erheblich ausführlichere und genauere Daten als der Bund, jedoch sind diese Daten meist erst ab Ende der 80er Jahre zentral verfügbar. Vorher sind die Daten grösstenteils nur auf Lieferscheinen und Abnehmerverzeichnissen bei den einzelnen Kläranlagen vorhanden. Sie erlauben die Klärschlammlieferungen räumlich bis auf Betriebsebene zu verfolgen. Auf Parzelebene ist man nach wie vor auf mündliche Informationen der beteiligten Personen, insbesondere Transporteure und Klärschlammberater angewiesen. Letztere üben aber eine Doppelfunktion aus: sie fördern den Klärschlammabsatz in die Landwirtschaft, und gleichzeitig müssen sie die übermässige Klärschlammmanwendung verhindern; dadurch ist ein Interessenkonflikt vorprogrammiert, der zu einer gewissen Befangenheit führt. Mit der Zunahme der IP-Betriebe - Reduktion der düngbaren Fläche, Spielraum für hoffremde Dünger wird kleiner - und den neuen Düngungsgrundlagen könnte sich in gewissen Regionen die Absatzproblematik und damit auch der Interes-

senkonflikt verschärfen. Zudem sind die Berater über frühere Klärschlammlieferungen nur selten informiert, da die ersten Berater erst ab Mitte der 80er Jahre eingestellt wurden. Eine parzellenscharfe Erfassung der „Klärschlamm-Altlasten“ ist deshalb laut den untersuchten Kantonen illusorisch.

#### 3.1 KANTON BERN

Der Kanton Bern leitete verschiedene Massnahmen im Bereich der landwirtschaftlichen Klärschlammverwertung ein, die Pilotcharakter hatten. So wurde ab 1991 der Bedarfsnachweis in Form einer P-Bilanz und Bodenproben für Schlammbezüger als obligatorisch erklärt sowie die landwirtschaftliche Klärschlammverwertung einer obligatorischen Fachberatung unterstellt (KGV 1991, Art. 88 & Art. 89). Im weiteren war der Kanton Bern massgeblich an der Ausarbeitung der SchlammBuchhaltung beteiligt, führte den SMP-Index (Schwermetall-Phosphat-Wert) ein und veröffentlicht seit einigen Jahren sowohl eine Liste der SMP-Indizes als auch eine der Schwermetall-Langzeit-Mittelwerte aller Anlagen des Kantons und schuf damit eine transparente Beurteilungsmöglichkeit der Schlammqualität der einzelnen ARA bezüglich den neun Schwermetallen, für die Grenzwerte in der Stoffverordnung (StoV 1986) existieren.

Die ersten Aufzeichnungen in Form von Lieferscheinen stammen aus den Jahren 1975/76. Ab diesem Zeitpunkt wurden die Klärschlammtransporte (teilweise noch recht lückenhaft) mit Lieferscheinen erfasst. Mitte der 80er Jahre wurde erstmals ein Klärschlammberater angestellt. Heute sind im Kanton 11 Klärschlammberater, zumeist in Teilzeitarbeit tätig, die für zehn Beratungsregionen zuständig sind. Diese 11 Berater sind von den jeweiligen Zweckverbänden angestellt. Die Gesamtkoordination der Klärschlammkontrolle und -verwertung obliegt dem kantonalen Amt für Gewässerschutz und Abfallwirtschaft. Die zentrale Erfassung

der Klärschlammlieferungen begann im Kanton 1990/91 mit der Einführung der Klärschlamm-Buchhaltung. In dieser Buchhaltung sind sowohl die Klärschlammlieferungen als auch die Schlammanalysen erfasst. Die ersten Schwermetallanalysen stammen aus dem Jahre 1971. Nach anfänglichen Startschwierigkeiten sind mit Ausnahme einiger Kleinanlagen ab 1994 alle Klärschlammlieferungen und Schwermetallanalysen erfasst worden (HÄNI 1995). Dies bedeutet, dass über 95 % der in der Landwirtschaft verwerteten Klärschlamm-Trocken-substanz zentral erfasst sind. Mit diesen Daten lassen sich zumindest ab 1994 sowohl Nährstofffrachten als auch Schwermetallfrachten in die Landwirtschaft berechnen und die Klärschlammlieferungen bis auf Stufe Betrieb nachvollziehen.

### 3.2 KANTON AARGAU

Die Abteilung Umweltschutz des Kantons Aargau hat seit mehreren Jahren Daten über Klärschlammfall und -verwertung ihrer Abwasserreinigungsanlagen aufgezeichnet und wertet diese Daten jährlich aus (BOLLIGER 1996). Die Schlammmenge aus Aargauer Kläranlagen, die in der Landwirtschaft verwertet wurde, kann anhand dieser Daten über fünf bis zehn Jahre zurückverfolgt werden. Es handelt sich um rund drei Viertel der anfallenden Klärschlammmenge. Es zeigt sich auch in diesem Kanton, dass die kantonalen Daten auf Bundesebene nur rudimentär erfasst sind.

Einzelne Schwermetallanalysen wurden 1971 durchgeführt und ab 1975 erfolgten bei grösseren Anlagen regelmässige Kontrollen der Schwermetallgehalte. 1988 wurde erstmals ein kantonaler Klärschlammberater angestellt. Um die Klärschlammverwertung in den Griff zu bekommen, wurde daraufhin ein provisorischer Bedarfsnachweis eingeführt. Dieser Nachweis beruhte auf den Erhebungsdaten für die landwirtschaftlichen Beitragszahlungen. Mit diesen Daten konnten ohne zusätzliche Erhebungen provisorische Nährstoffbilanzen erstellt werden, anhand derer die maximale Klärschlammbezugsmenge pro Betrieb festgelegt werden konnte. 1990 begann man mit der zentralen Erfassung der landwirtschaftlichen Klär-

schlammlieferungen mit Hilfe einer EDV unterstützten Klärschlamm-Buchhaltung. Die provisorische Nährstoffbilanz musste im Herbst 1992 mit dem Inkrafttreten der geänderten StoV (1986) durch die offizielle Bilanz ersetzt werden, was einen erheblichen Mehraufwand zur Folge hatte.

Um einerseits diesem Mehraufwand gerecht zu werden und andererseits den Klärschlammbezüglern eine möglichst breite und gute Beratung zu bieten, wurden sechs Klärschlammberater angestellt, die jeweils einen Beratungskreis zugeteilt erhielten. Im Herbst 1995 wurde die überarbeitete Klärschlamm-Buchhaltung eingeführt. Diese erlaubt exaktere und detailliertere Auswertungen. So können beispielsweise Auswertungen bezogen auf den Abnehmer, den Transporteur, einzelne Kläranlagen oder ganze Beratungskreise gemacht werden. Auch ist die Möglichkeit gegeben, andere Abfalldünger, wie Kompost, aber auch Hofdünger, in dieser Buchhaltung zu erfassen und somit auch in die Bilanzen der Betriebe zu integrieren. Das neue System bietet zudem die Möglichkeit, Klärschlammlieferungen parzellenscharf zu erfassen. Mit dieser Buchhaltung, welche auch in anderen Kantonen, wie beispielsweise Bern und Solothurn, verwendet wird, steht den zuständigen Stellen ein wertvolles Beratungs- und Kontrollinstrument zur Verfügung.

Nach BOLLIGER (1996) ist es auch im Kanton Aargau sehr schwierig, an die nötigen Angaben über Parzellen mit Klärschlamm Düngung in früheren Jahren zu gelangen. Insbesondere die Lokalisierung der stark beschickten Flächen ist schwierig und aufwendig, wie auch ABU AG (1995) feststellt (Kapitel 4.4). NÖLTE & FLETCHER (1995) können ebenfalls keine genaueren Angaben über die räumliche Klärschlammverteilung in früheren Zeiten machen und stellen fest: „In aller Regel wird der anfallende Klärschlamm der kleineren ARA, von den Bauern derselben Gemeinde bezogen. Bei den grösseren ARA (...) wird der Klärschlamm von diversen Transportunternehmen über das Einzugsgebiet der ARA hinaus verteilt. Es besteht somit ein komplexes Verteilungsmuster, das jedoch über die effektiven Mengen und gedüngten Flächen keine Auskunft gibt.“

### 3.3 KANTON BASEL-LANDSCHAFT

Dank der Tatsache, dass der Kanton mit Ausnahme der Laufentaler ARA gleichzeitig Besitzer und Betreiber aller Kläranlagen auf Baselbieter Boden ist, sind relativ gute und vollständige Daten über die in der Landwirtschaft verwerteten Klärschlammengen vorhanden. Im ehemals bernischen Laufental wird vorläufig noch nach dem „Berner Modell“ vorgegangen. So kann der Klärschlammanteil und dessen Entsorgung bis zurück ins Jahr 1968 aufgezeigt werden (AUE BL 1990). Bis 1977 wurde sämtlicher Klärschlamm in der Land- und Forstwirtschaft verwertet. 1969 schloss der Kanton mit einem Transportunternehmen einen Vertrag ab, der die Verwertung von Faulschlamm regelte (AUE BL 1990). Der Kanton übernahm keine Garantie über die Zusammensetzung des Faulschlammes, hingegen schrieb er gewisse Auflagen über die umweltgerechte Abgabe zur Verhinderung von hygienischen und wasserwirtschaftlichen Missständen vor. Das beauftragte Transportunternehmen gab den Landwirten auf Wunsch auch Lieferscheine ab, allerdings ohne Angaben über die Schwermetallgehalte.

Heute sind für die Ausbringung von Klärschlamm zwei Transportunternehmungen zuständig: das eine für Flüssigschlamm, das andere für Trockenschlamm, wobei getrockneter Klärschlamm seit 1978 vielfach direkt an die Landwirte und die Firma LONZA abgegeben wird. Ein weiterer Teil des getrockneten Schlammes wird im benachbarten Kanton Solothurn und im angrenzenden Elsass abgesetzt. 1989 und 1990 erreichte die landwirtschaftliche Verwertung mit knapp 20 % respektive 15 % der anfallenden Menge einen Tiefpunkt; zudem wurden davon nur zwei Dritteln auf Baselbieter Böden ausgebracht.

Gemäss AIB BL (1995) wurden 1994 30 % des anfallenden Klärschlammes landwirtschaftlich verwertet, ebensoviel deponiert und 41 % verbrannt. Vom landwirtschaftlich verwerteten Klärschlamm wurden 7 % flüssig und 93 % als Granulat ausgebracht; ein Viertel des Granulats wurde im benachbarten Ausland verwertet. Längst nicht aller Schlamm, der landwirtschaftlich verwertbar

wäre, wird auch landwirtschaftlich verwertet. Ein weiteres Absinken des Klärschlammabsatzes in die Landwirtschaft muss deshalb trotz vermehrter IP-Beteiligung der Landwirte kaum befürchtet werden.

Ab 1975 wurden die ersten Schwermetallanalysen gemacht; eine regelmässige Beprobung der Klärschlämme auf Schwermetalle fand ab Mitte der 80er Jahre statt. Heute werden in allen Anlagen Analysen gemacht, inklusive Chemieanlagen, welche den gesamten Schlamm verbrennen (BONO 1996). Diese Analysendaten werden jedoch dem IUL nicht in jedem Fall mitgeteilt, da dieser Schlamm nicht landwirtschaftlich verwertet wird.

1990 wurde der erste und bisher einzige Klärschlammberater vom Kanton angestellt. Vorher bestand weder an der Landwirtschaftlichen Schule Ebenrain, Sissach, noch seitens der ARA-Betreiber eine Klärschlammberatung. Seit dem Anschluss des Laufentals an den Kanton Basel-Landschaft wird der kantonale Berater durch den Berater des Zweckverbands Laufental unterstützt. Eine aktive Beratung kann aber aus Kapazitätsgründen nicht angeboten werden. Die Beratung muss sich auf die Kontrolle beschränken und kann nur bei Überbezügen eine aktive Beratung anbieten.

Seit 1991 werden alle Lieferungen systematisch erfasst, seit 1992 mit Hilfe einer Klärschlammbuchhaltung. Dieselbe Buchhaltung verwenden auch die Kantone Aargau, Bern, Freiburg, St. Gallen, Schaffhausen, Solothurn und die KEZO (BUSER 1996). Ausserkantonale Klärschlammlieferungen hat man nur bedingt unter Kontrolle. Mit der neuen Version der Klärschlammbuchhaltung, die ab 1996 zur Anwendung gelangt, kann dies zumindest mit den Kantonen, die mit demselben System arbeiten, behoben werden. Der Bedarfsnachweis, wie er seit 1992 (StoV 1986) vorgeschrieben ist, wurde bereits 1991 eingeführt. Mit der heutigen Klärschlammkontrolle können die Schlammlieferungen nur auf Betriebsebene kontrolliert werden. Aus der Sicht der Bodenschutzfachstelle wäre eine parzellenscharfe Erfassung der Klärschlammlieferungen von grossem Vorteil, jedoch scheint dies zum heutigen Zeitpunkt illusorisch, obwohl die Vor-

aussetzungen vom Erfassungssystem her gegeben wären (BONO 1996). Die Bewirtschaftungspartellen stimmen aber selten mit den Grundbuchpartellen überein und können zudem von Jahr zu Jahr ändern. Es existiert somit keine feste Parzelleneinteilung, wie sie für eine parzellenscharfe Erfassung nötig wäre. Mit der Zunahme des Granulateinsatzes, welches wie Mineraldünger verwendet werden kann, wird die Kontrolle zusätzlich erschwert.

### 3.4 KANTON ZÜRICH

Das Amt für Gewässerschutz und Wasserbau erfasst seit 1985 Daten über die Verwertung von Klärschlamm (SODER 1996). Die BUWAL-Erhebungsbogen werden mit grossem Aufwand kontrolliert und vervollständigt; anschliessend werden die überarbeiteten Erhebungsbogen dem BUWAL weitergeleitet. Somit besteht auch die Gewähr, dass das BUWAL vollständige und korrekte Daten über die Schlammverwertung des Kantons Zürich zur Erfassung erhält. Waren die Daten zu Beginn teilweise noch unvollständig, so kann zumindest für die letzten fünf Jahre davon ausgegangen werden, dass diese Daten den Tatsachen entsprechen. Rund 50 % des anfallenden Schlammes werden in der Landwirtschaft verwertet, der Rest wird verbrannt. Der Trend zeigt hingegen eher Richtung Verbrennung. Insbesondere für Kläranlagen mit Nassschlamm könnte sich die Absatzproblematik in Zukunft verschärfen, da vermehrt auf Trockenschlamm gewechselt wird und mit der Zunahme der IP-Betriebe ein tendenziell tieferer Absatz zu erwarten ist. Die Anstrengungen für die landwirtschaftliche Verwertung des Klärschlammes müssen deshalb gesteigert werden, wenn die heutige Absatzmenge beibehalten werden soll.

Einzelne erste Schwermetallanalysen wurden 1974 durchgeführt, und ab 1978 erfolgten regelmässige Kontrollen der Schwermetallgehalte. Dabei werden alle Schlämme sämtlicher zentraler Kläranlagen untersucht, auch diejenigen, die nicht in der Landwirtschaft verwertet werden. Es werden grundsätzlich mehr Analysen gemacht, als vom

Bund (FAC 1995a) vorgeschrieben werden. Nur bei Anlagen, die nicht in die Landwirtschaft liefern und solchen, die konstant guten Schlamm vorweisen, werden die Analysen reduziert. Alle Analysendaten werden dem IUL mitgeteilt.

1991 begann man mit der Klärschlammberatung. Gleichzeitig wurde auch der Bedarfsnachweis in Form einer einfachen P-Bilanz eingeführt (WIRT 1996). Die Klärschlammberater sind der Düngeberatung angegliedert und werden vom Kanton angestellt. Dabei bildet die KEZO (Kerichtverwertung Zürich-Oberland) einen Spezialfall. Dieser Zweckverband hat von sich aus einen Klärschlammberater angestellt. Mit der Einführung der Klärschlammberatung wollte man den Missständen in der Klärschlammverwertung ein Ende setzen. Für jeden Betrieb wird mit der Düngungsbilanz ermittelt, wieviel Phosphor dieser in Form von Klärschlamm beziehen kann. Die Bezugsmengen werden zu Beginn des Jahres den Kläranlagebetreibern, den Transporteuren, den Landwirten und der Kontrollstelle bekanntgegeben. Ende des Jahres werden die Bezüge zusammengestellt und Mehrbezüge mit dem Guthaben des nächsten Jahres verrechnet. Der zu Beginn verwendete Bedarfsnachweis in Form einer einfachen P-Bilanz wurde mit der Einführung der IP durch die offizielle IP-Nährstoffbilanz ersetzt. Heute erfolgen 95 % der landwirtschaftlichen Klärschlammverwertung gemäss den Auflagen der StoV (1986). Die Qualitätskontrolle, wie auch die restliche Klärschlammkontrolle ist gemäss WIRT (1996) zufriedenstellend. Für die Beurteilung der Schlämme wäre in Zukunft auch der Schwermetall-Index ins Auge zu fassen. Bereits heute werden im Jahresschlussbericht des Amtes für Gewässerschutz und Wasserbau Ranglisten der besten Schlämme erstellt.

## 4 REGIONALE FALLSTUDIEN UND BELASTUNGSVERSUCHE

Aufgrund der offiziell verfügbaren Daten von Bund und Kantonen können die Schwermetallfrachten nicht bis auf die Klärschlammparzellen zurückverfolgt und allfällige Anreicherungen im Boden vor Ort untersucht werden. Hier müssen regionale Fallstudien und Klärschlammbelastungsversuche weiterhelfen.

### 4.1 STUDIE IM KANTON FREIBURG

Im Kanton Freiburg wurden 1986 20 mit Klärschlamm gedüngte Parzellen mit 20 Referenzparzellen ohne Klärschlamminsatz verglichen (JULIEN 1986). Zu diesem Zweck wurden Landwirte gesucht, die während langer Zeit die höchsten Klärschlammengen einsetzten. Die Vergleichsparzellen wurden jeweils bei einem Nachbarn ausgewählt, der keinen Klärschlamm verwendet hatte. Dabei wurde darauf geachtet, dass sich beide Parzellen in Bezug auf Boden und Bewirtschaftung möglichst wenig unterscheiden. Zusätzlich wurden noch acht Parzellenpaare mit sehr hohen Klärschlammgaben ausgewählt, um auch den Einfluss überhöhter Gaben zu untersuchen.

Die mit Klärschlamm gedüngten Parzellen wiesen keine erhöhten Nickel- und Bleigehalte auf. Beim Cadmium wurden nur auf zwei Parzellen erhöhte Gehalte gefunden, was nachweislich auf cadmiumverseuchten Klärschlamm zurückzuführen war. Hingegen führte der kontrollierte Klärschlamminsatz zu einer leichten Erhöhung der Kupfer- und Zinkgehalte, welche aber zu keiner Besorgnis Anlass geben. Auf den mit über 100 t TS/ha beschlammten Flächen wurden sehr hohe Gehalte an Cadmium, Kupfer, Blei und Zink gefunden. Zusätzlich wurden bei dieser Untersuchung noch Pflanzenanalysen durchgeführt, die jedoch keinen direkten Zusammenhang mit den Kupfer- und Zinkgehalten des Bodens und der Pflanze zeigten.

### 4.2 STUDIE IM KANTON BASEL-LANDSCHAFT

Um einen ersten Überblick über die Gröszenordnung der Schadstoffbelastung landwirtschaftlich genutzter Böden zu erhalten, entschloss sich die Bodenschutzfachstelle des Kantons Basel-Landschaft, entsprechende Untersuchungen von mit Klärschlamm gedüngten Böden durchzuführen (AUE BL 1990). Mit Hilfe freiwilliger Landwirte wurden 30 landwirtschaftlich genutzte Parzellen ausgewählt, die bisher unterschiedliche Mengen an Klärschlamm erhalten hatten. Die in den Landwirtschaftsböden bestimmten Schwermetallgehalte müssen für einen Grossteil der Proben als leicht bis mässig erhöht bezeichnet werden. Die Gehalte an Cadmium, Blei, Nickel, Zink und Quecksilber liegen meist in Gröszenordnungen, wie sie für landwirtschaftlich intensiv genutzte Böden erwartet werden können. In der Mehrzahl durchschnittlich belasteter Böden kann kein signifikanter Zusammenhang zwischen der Bodenbelastung und einer ehemaligen Klärschlammabwendung nachgewiesen werden.

Speziell zwei Parzellen sind stark mit Cadmium belastet. Aus der Untersuchung geht nicht hervor, ob es sich bei den jetzt bekannten Parzellen mit starker Cadmiumbelastung um Einzelfälle handelt oder ob mit weiteren, ähnlich kontaminierten Böden gerechnet werden muss. Die aus den 70er Jahren vorliegenden Schwermetallanalysen verschiedener Klärschlämme und die darauf basierenden Berechnungen zeigen, dass nur die landwirtschaftliche Verwertung stark schwermetallhaltiger Klärschlämme während der 60er und 70er Jahre derart hohe Schwermetallbelastungen des Bodens verursachen konnte.

Die Untersuchung zeigt, dass im Kanton Basel-Landschaft landwirtschaftlich genutzte Böden existieren, die als Folge früherer Klärschlammgaben deutlich überhöhte Schwermetallgehalte aufweisen. Wie gross die Zahl der mit Schwermetallen belasteten Parzellen im Kanton ist, kann nicht abge-

schätzt werden. Wieviele dieser „Klärschlamm-Altlasten“ aus einer Zeit stammen, in der weder das Wissen um die Schwermetallproblematik im Klärschlamm, noch die gesetzlichen Vollzugsgrundlagen existierten und wieviele Bodenkontaminationen nach Inkrafttreten der KSV (1981) erfolgten, bleibt offen.

Die an der Untersuchung beteiligten Landwirte haben freiwillig und aus persönlichem Interesse teilgenommen. Nur wenige von ihnen dürften deshalb zu jener Gruppe von Landwirten gehören, die während Jahrzehnten überhöhte Mengen an Klärschlamm bezogen haben.

Aufgrund der erwähnten Studie erarbeitete das Amt für Umweltschutz eine weitere Studie (AUE BL 1992). Diese sollte abklären, inwieweit und in welchem Ausmass sich in den Landwirtschafts- und Forstböden mit Klärschlamm Düngung in den 60er und 70er Jahren erhöhte Schwermetallgehalte feststellen lassen. Dazu wurden 39 Standorte, welche im besagten Zeitraum der Klärschlammverwertung dienten, beprobt. Aufzeichnungen des kantonalen Kläranlagenbetreibers (Amt für Industrielle Betriebe) über Klärschlammverwertungs-Flächen in den 70er Jahren bildeten die Grundlage bei der Auswahl der Standorte.

Als eigentliches Problemelement auf Parzellen mit Klärschlammverwertung erwies sich Cadmium. Die Cadmium-Totalgehalte sind gegenüber den Referenzwerten schweizerischer Ackerböden deutlich erhöht. Auf 25 % der untersuchten Parzellen wird der VSBo-Richtwert überschritten. Die beiden Untersuchungen lassen den Schluss zu, dass der Richtwert nach VSBo (1986) für den Cadmium-Totalgehalt auf 15 bis 25 % der Parzellen mit Klärschlammverwertung in den 60er und 70er Jahren überschritten wird.

Die angestrebte Erarbeitung einer vollständigen Übersicht belasteter Parzellen infolge Klärschlammverwertung in den 60er und 70er Jahren wird durch folgende Rahmenbedingungen erschwert:

- Es muss davon ausgegangen werden, dass bis 1978/79 sämtliche Schlämme aus Baselbieter Kläranlagen in die Land- und Forstwirtschaft gelangt sind. Es exi-

stieren aber für die Zeit vor 1981 keine schriftlichen Unterlagen über Ausbringungsort und -menge sowie Herkunft der einzelnen Schlämme.

- Erste Analysen auf Schwermetalle wurden zwar ab 1975 durchgeführt. Aber erst die 1981 in Kraft getretene Klärschlammverordnung (KSV 1981) beinhaltet Grenzwerte für Schwermetalle im Klärschlamm und regelte die maximal zulässige Ausbringmenge.
- Flüssiger Klärschlamm wurde oft nicht direkt auf Felder ausgebracht, sondern über die Güllengruben den Betrieben zugeführt.
- Massgebend für die Schwermetallanreicherung im Boden durch Klärschlammverwertung ist die Schadstofffracht. Die zu deren Berechnung notwendigen Parameter lassen sich jedoch heute nicht mehr zuverlässig rekonstruieren.

Mit den vorliegenden Untersuchungen wird die Altlastenproblematik des Klärschlammes im Kanton ad acta gelegt werden. Sollten neue Fälle von Richtwertüberschreitungen bekannt werden, müssen diese im Einzelfall genauer untersucht werden. Hingegen werden zur Zeit keine weiteren Untersuchungen über die Schwermetallbelastung von Böden durch Klärschlamm aus früheren Jahren in Betracht gezogen. Das Hauptaugenmerk muss auf Verbesserungen des Klärschlammmanagements und der Qualität der Schlämme gerichtet werden (BONO 1996). Dabei stellt sich im Rahmen einer fundierten Ökobilanz (Ökotoxbilanz) die Grundsatzfrage über den Sinn und Unsinn von Klärschlamm, Kompost und anderen Abfallprodukten wie Holzasche im Hinblick auf Missbrauch von landwirtschaftlichen Böden zu Entsorgungszwecken.

### 4.3 STUDIE IN REALTA (GR)

In Realta wurden acht mit Klärschlamm gedüngte Parzellen und vier Referenzparzellen untersucht (AFU GR 1991). Zu diesem Zweck wurden verschiedene Standorte der kantonalen Landwirtschaftlichen Schule Realta/Beverin ausgewählt, da dieser Betrieb seit mehr als zehn Jahren Klärschlamm

der Kläranlage Cazis/Waldau bezieht und zusätzlich über parzellenscharfe Düngungsangaben während dieser Periode verfügt. Dank diesen Aufzeichnungen waren alle nötigen Angaben vorhanden, um die Schwermetallfrachten, die in Form von Klärschlamm auf die Parzellen gelangt sind, zu berechnen. Die Klärschlammengen betragen zwischen 40 und 150 m<sup>3</sup>/ha innerhalb der untersuchten zehn Jahre, was TS-Mengen von ca. 2 bis 7,5 t entspricht. Dies sind Aufwandmengen, die weit unter den gesetzlich tolerierten Maximalfrachten liegen. Trotzdem befinden sich die Werte von Kupfer, Nickel und Fluor grösstenteils über dem Richtwert der VSBo (1986), während Blei, Cadmium, Kobalt und Zink erhöhte Werte aufweisen. Diese hohen Bodengehalte stammen nur zu sehr geringen Teilen aus dem Klärschlamm. Dies geht aus den Resultaten der Referenzparzellen hervor, welche nur unwesentlich tiefere Gehalte aufweisen. Sogar bei einer maximalen Auslastung der alten KSV-Grenzwerte (2,5 t TS/ha und Jahr, 1'000 ppm Cu) würde sich der Kupfergehalt im untersuchten Zeitraum um maximal 10 ppm erhöhen. Die hohen Schwermetallgehalte haben demnach grossteils andere Belastungsursachen.

#### 4.4 STUDIE KÜSNACHTER BERG (ZH)

Nachdem private Untersuchungen auf Boden der Gemeinde Küsnacht eine hohe Cadmiumbelastung festgestellt hatte, klärte die Fachstelle Bodenschutz des Kantons Zürich diesen Sachverhalt genauer ab und entnahm an 119 Standorten Bodenproben (TAVERNA et al. 1994). Die Untersuchung der Proben bestätigt die hohen Cd-Werte und zeigt zum Teil noch bedeutend höhere Cd-Gehalte an. Der höchste gemessene Cd-Gehalt betrug 32,4 ppm, was dem 40 fachen VSBo-Richtwert entspricht. Mittels Frachtberechnungsszenarien konnte aufgezeigt werden, dass diese hohen Cd-Belastungen vermutlich die Folge eines jahrelangen Einsatzes von Klärschlamm mit sehr hohen Cd-Gehalten (um 1'000 ppm) sind.

In den 60er bis Mitte der 70er Jahre wurde der Klärschlamm der ARA Küsnacht mehrere Male durch die im Einzugsgebiet der ARA

stationierten Betriebe mit Schwermetallen verschmutzt (unter anderem mit Cadmium). Je häufiger die Landwirte Klärschlamm einsetzten, desto grösser war die Wahrscheinlichkeit, dass sie belasteten Schlamm auf ihre Felder brachten. Andererseits konnte ein Landwirt aber auch zufälligerweise dann Klärschlamm abholen, wenn gerade wieder eine Schwermetallfracht in die Kläranlage gelangt war. Das würde erklären, weshalb auch Standorte von Landwirten, die wenig Klärschlamm einsetzten, zum Teil stark belastet sind. Da in den als Einleiter in Frage kommenden Betrieben nur bis Mitte der 70er Jahre produziert wurde und Schwermetallanalysenwerte der ARA Küsnacht erst seit 1977 verfügbar sind, wurde die Belastung des Klärschlammes damals nicht erkannt.

#### 4.5 STUDIE REGION BADEN (AG)

In der Region Baden wurden neben der Schadstoffbelastung von 18 Landwirtschaftsböden, die in den 70er und 80er Jahren zum Teil intensiv mit qualitativ schlechtem Klärschlamm der ARA Baden-Turgi gedüngt wurden zusätzlich 11 Referenzparzellen untersucht (ABU AG 1995). Die Region Baden wurde ausgewählt, weil die ARA Baden-Turgi ein dicht besiedeltes, stark industriell geprägtes Einzugsgebiet aufweist und der Klärschlamm früher zu den am stärksten belasteten des Kantons Aargau gehörte. Besonders Cadmium, aber auch die Elemente Kupfer, Zink und Blei, wiesen zum Teil massiv erhöhte Werte auf (Cd: > 100 ppm, Cu: bis zu 1'500 ppm, Pb: bis zu 3'000 ppm, Zn: > 7'000 ppm (FAC 1995b)). Es wurden Parzellen von Betrieben ausgewählt, die von 1982 bis 1987 (ältere Aufzeichnungen existieren nicht) mehr als 800 m<sup>3</sup> Schlamm bezogen hatten und in den letzten 25 Jahren keinen Wechsel des Bewirtschafters (ausser Übergabe von Vater an Sohn) aufwiesen. Die ausgewählten Parzellen waren innerhalb von 10 bis 20 Jahren mit 180 bis 2'500 m<sup>3</sup>/ha Klärschlamm gedüngt worden, was etwa 9 bis 125 t TS/ha entspricht.

Die mittleren Gehalte an Cadmium, Zink und Kupfer sind in den mit Klärschlamm gedüngten Böden signifikant höher als in den Referenz-

renzparzellen ohne Klärschlamm. Auf den 18 beprobten Verdachtsflächen treten bei Cadmium sieben, bei Blei zwei, bei Zink und Kupfer jeweils eine Richtwertüberschreitung auf. Hingegen weisen die Referenzparzellen keine Richtwertüberschreitungen auf. Modellrechnungen zur Abschätzung der Schwermetalleinträge ergaben, dass die stark erhöhten Schwermetallgehalte (vor allem bei Cd, Zn und Cu) auf den kontaminierten Flächen nur mit dem Austrag von stark belastetem Klärschlamm in den 70er und 80er Jahren erklärt werden können.

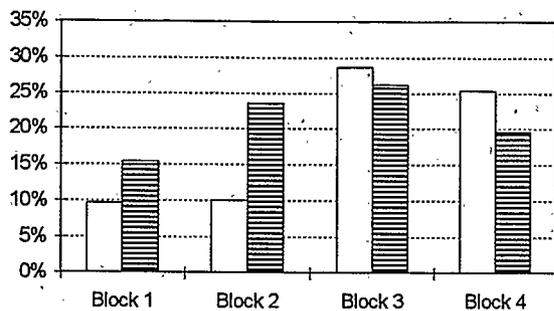
#### 4.6 KLÄRSCHLAMM-BELASTUNGSVERSUCH

Eine Beziehung zwischen Klärschlamm Einsatz und Schwermetallanreicherungen im Boden ist aus regionalen Fallstudien oft nicht eindeutig zu belegen. Genauere Informationen erhofft man sich deshalb aus Belastungsversuchen unter kontrollierten Bedingungen. 1976 legte die FAC auf drei Standorten (Büren Gampelen und Liebefeld) Langzeitversuche zur Abklärung der Folgen nachhaltig hoher Aufwandmengen an Schweinegülle und Klärschlamm auf Bodeneigenschaften, Pflanzengehalte und die Nährstoffauswaschung an (SIEGENTHALER et al. 1985). Dabei wurden sechs Düngungsverfahren angewendet, unter anderem 2 t/ha und 5 t/ha organische Substanz jährlich als Klärschlamm.

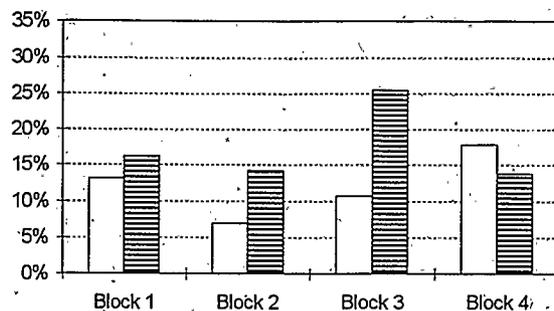
Bei diesem Versuch sind für Kupfer, Zink und Cadmium sowohl die Bodengehalte als auch die Schwermetallfrachten bekannt. Daraus lassen sich theoretischer (Figur 8) und effektiv gemessener Gehalt miteinander vergleichen. Da im Laufe der Zeit auf einigen Schlägen die Versuchsanordnungen geringfügig geändert wurden, soll hier der Schlag B des Versuchsfelds Liebefeld betrachtet werden. Dieser Schlag erhielt zwischen 1976 und 1990 jedes Jahr dieselben Aufwandmengen an Klärschlamm und eignet sich deshalb gut für einen Vergleich.

Bei den beiden Klärschlammverfahren wurden die Frachten von Cu, Zn und Cd aufgerechnet und gemäss Figur 8 der theoretische Bodengehalt berechnet, wobei als Grundgehalt der effektive Gehalt der Nullparzelle am Ende des Versuchs gewählt wurde, so dass der Einfluss der diffusen Einträge aus der Luft eliminiert werden konnte.

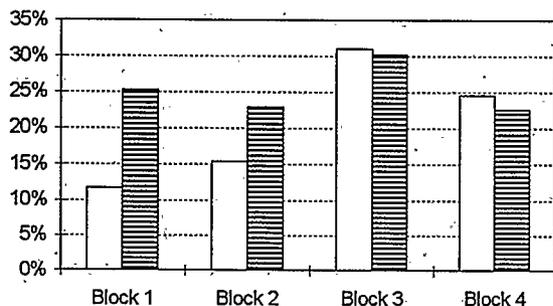
In Figur 13 sind die relativen Differenzen zwischen gemessenem Bodengehalt und berechnetem theoretischem Gehalt dargestellt. Es fällt auf, dass der berechnete Gehalt durchwegs höher ist als der effektive. Die durchschnittlichen Differenzen liegen beim Cadmium bei +20 %, beim Kupfer bei +15 % und beim Zink bei +23 %. Weiter fällt auf, dass die Abweichungen bei erhöhten Gaben zunehmen. So weist bei allen drei Elementen das Verfahren mit der grösseren Klärschlammgabe (KS 2) grössere Differenzen auf. Die theoretische Berechnung der Schwermetallgehalte des Bodens ist trotz der guten Daten der Schwermetallfrachten im Vergleich zu den gemessenen Gehalten im Boden also recht ungenau. Der Grund für die systematisch höheren theoretischen Gehalte wird darin vermutet, dass die im Oberboden (0-20 cm) gemessenen Gehalte durch die Vermischung mit weniger belastetem Unterboden als Folge von Regenwurmtätigkeit und Pflügen verdünnt und gleichzeitig Schwermetalle in den Unterboden verschleppt und dort angereichert werden (BUWAL 1993). Berücksichtigt man zudem noch, dass die VSBo-Richtwerte gewichtsbezogen sind (g/t bzw. mg/kg) und die Raumgewichte mineralischer Böden ( $\leq 15$  % Humus) bis zu einem Faktor von etwa 2,5 streuen können (BUWAL 1993), wird klar, dass theoretische Gehaltsberechnungen, auch wenn die Frachten bekannt sind, ungenau sind.



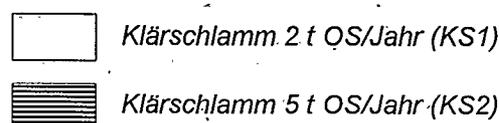
Cadmium



Kupfer



Zink



Figur 13: Relative Differenzen der gemessenen Gehalte im Boden (= 0 %) zu den berechneten theoretischen Gehalten

#### 4.7 FAZIT

Die Fallstudien weisen darauf hin, dass die wesentlichen Bodenbelastungen infolge Klärschlammdüngung in den 60er bis frühen 80er Jahren erfolgten, als noch keine oder unzulängliche Vorschriften und Daten zur Verfügung standen. Spätere Belastungen sind nicht in jedem Fall durch Bodenuntersuchungen zu belegen.

Flächen mit „Klärschlamm-Altlasten“ werden entweder durch Zufall oder mit Hilfe von persönlichen Hinweisen entdeckt. Eine systematische Aufdeckung von „Klärschlamm-Altlasten“ ist aus folgenden Gründen nicht möglich:

- Ungenügende Unterlagen über ausgebrachte Klärschlammmengen und Schadstoffgehalt im Klärschlamm früherer Jahre.
- Landwirtschaftliche Betriebsaufgaben und Bewirtschafterwechsel verunmöglichen eine Rekonstruktion der Klärschlammdüngung.

- Angaben über Bezugsmengen sind teilweise ungenau und können nicht verifiziert werden.
- Wichtige Wissensträger können zum Teil nicht mehr befragt werden, andere sind infolge Interessenkonflikten wenig auskunftsfreudig.
- Der für die Schwermetallanreicherung im Boden infolge Klärschlammdüngung besonders wichtige Zeitraum liegt 15 bis 30 Jahre zurück. Die Angaben sind deshalb oft unvollständig und vage.

Auch in Belastungsversuchen unter kontrollierten Bedingungen gibt es zwischen berechneter Fracht und gemessenem Bodengehalt keine genaue Übereinstimmung. Theoretische Gehaltsberechnungen sind deshalb auch bei bekannten Schwermetallfrachten ungenau und müssen mit Vorsicht interpretiert werden.

## 5 DISKUSSION

### 5.1 ABSCHÄTZUNGSSZENARIEN DER FLÄCHENBEZOGENEN KLÄRSCHLAMMBELASTUNG

Wie in der Einleitung (Kapitel 1) erwähnt wurde, veranschlagten VOGEL et al. (1989) die potentiell belastete Fläche mit 144'000 ha. Als potentiell belastete Fläche gelten dabei landwirtschaftlich genutzte Böden, die in der Umgebung von Kläranlagen liegen, welche in früherer Zeit stark schwermetallhaltige Schlämme abgegeben haben. Es wurden alle Abwasserreinigungsanlagen ausgewählt, die im Zeitraum von 1975 bis 1980 zeitweilig Klärschlamm mit Schwermetallgehalten über dem doppelten Grenzwert der KSV (1981) in die Landwirtschaft abgegeben haben, was auf 51 Kläranlagen zutrifft. Erfahrungsgemäss wurde der grösste Teil des Klärschlammes in einem Umkreis von rund 15 km um die Kläranlagen verteilt, wobei innerhalb eines Bereiches von 3 km ein überdurchschnittlich häufiger Einsatz angenommen wurde. VOGEL et al. (1989) nehmen deshalb als Einzugsgebiet einen Radius von 3 km um jede dieser 51 Anlagen an und erhalten so die oben genannte Verdachtsfläche.

Diese Studie berücksichtigt nur die Kläranlagen, die von 1975 bis 1980 Klärschlammanalysen durchgeführt haben und zu diesem Zeitpunkt auch gravierende Schwermetallgehalte im Klärschlamm aufwiesen. Schlämme aus Anlagen, die damals keine Analysen durchgeführt haben, können aber auch Schwermetallgehalte über dem doppelten Grenzwert der KSV (1981) aufgewiesen haben. Nicht berücksichtigt sind zudem jene Anlagen, welche zwar in der erwähnten Periode guten Schlamm produziert haben, aber Jahre zuvor massiv mit Schwermetallen belasteten Schlamm in die Landwirtschaft abgegeben hatten; dies zeigt das Fallbeispiel Künsbacher Berg (Kapitel 4.4).

Jene Kläranlagen, die zum damaligen Zeitpunkt Analysen vorweisen konnten, hatten meist nur wenige Analysenresultate. Kurzfristige Schadstoffanstiege wegen „Unfällen“ zeigen die Analysenresultate nicht. Im weite-

ren muss berücksichtigt werden, dass es auch im Umkreis von 3 km um diese „verseuchten“ Anlagen Landwirte gab, die nur wenig oder keinen Schlamm bezogen haben. Die Verdachtsflächen befinden sich deshalb kaum nur in einem 3 km Umkreis um diese 51 Kläranlagen. Ihr räumliches Verteilungsmuster ist mit grosser Wahrscheinlichkeit einig komplexer.

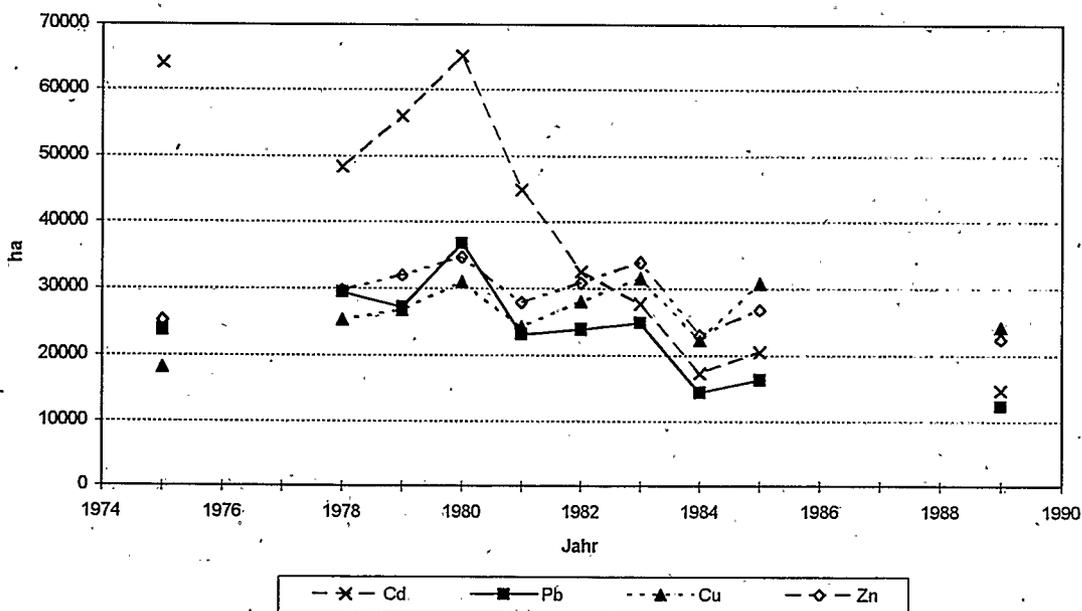
NÖLTE & FLETCHER (1995) beziffern die klärschlammbedingte Verdachtsfläche auf 126'000 bis 157'500 ha und liegen damit in der gleichen Grössenordnung wie VOGEL et al. (1989), obwohl sie einen anderen Ansatz gewählt haben. Sie gehen von einem jährlichen Stoffeintrag von 105'000 t TS Klärschlamm aus, was etwa der heutigen landwirtschaftlichen Klärschlammverwertung entspricht. Diese Klärschlammmenge wird nach Angaben verschiedener Düngeberater im Kanton Aargau in durchschnittlichen Gaben von 2 bis 2,5 t TS/ha alle drei Jahre ausgebracht. Die von NÖLTE & FLETCHER (1995) bezifferte Fläche von weit über 100'000 ha potentiell belasteter Fläche scheint angesichts der gesamten jährlichen landwirtschaftlich verwerteten Klärschlammmenge von rund 100'000 t TS sehr hoch, besonders wenn diese Zahl mit der nach heutiger Gesetzgebung minimal benötigten Fläche von 60'000 ha verglichen wird (landw. verwerteter Klärschlamm ca. 100'000 t TS, bei Maximalmengen von 5 t TS/ha innerhalb dreier Jahre). Dieses Abschätzungsszenario geht von einer heute gängigen Klärschlammverwertung aus, die im Rahmen der gesetzlichen Vorschriften abläuft. Diese als Verdachtsfläche zu bezeichnen, ist angesichts der gesetzeskonformen Verwertung, welche der Berechnung zu Grunde liegt, wohl kaum angemessen.

Den Abschätzungsszenarien von VOGEL et al. (1989) und NÖLTE & FLETCHER (1995) stellen wir einen dritten Ansatz gegenüber. Nämlich die Fläche, die belastet wäre, wenn Klärschlamm im Sinne der KSV (1981) so eingesetzt worden wäre, dass der Richtwert der VSBo (1986) frühestens nach 100 Jahren überschritten würde. Dazu wurden aus

den vorliegenden Daten (Kapitel 2.1 und 2.2) die jährlichen Gesamtfrachten der Problemelemente Cadmium, Blei, Kupfer und Zink berechnet. Diese setzen sich aus dem nicht gewichteten Mittelwert der Klärschlamm-Datenbank des IUL und den landwirtschaftlichen Klärschlammengen aus Tabelle 2 zusammen. Figur 14 zeigt die benötigte Fläche, damit bei gleichmässiger Verteilung der Schwermetallfrachten die VSBo-Richtwerte in 100 Jahren überschritten würden (1976 und 1977 sowie 1986 bis 1988 sind keine entsprechenden Daten vorhanden; Kapitel 2.1.2).

Wird die Schwermetallfracht gleichmässig auf die gesamte Fläche verteilt, so wird der Gehalt des Bodens auf der ganzen Fläche jährlich um 1 % des VSBo-Richtwerts erhöht, das heisst in genau 100 Jahren ist der VSBo-Richtwert erreicht. Bei ungleichmässiger Verteilung wird ein Teil der Fläche übermässig belastet, der restliche Teil um so geringer. Die Verdachtsfläche ist bei Blei,

Kupfer und Zink kleiner als 40'000 ha und bei Cadmium kleiner als 65'000 ha. Wie aus den regionalen Fallstudien hervorgeht (Kapitel 4), sind die dort gemessenen hohen Bodengehalte meist auf extrem hohe Aufwandmengen oder extrem hohe Schwermetallkonzentrationen oder beides zurückzuführen. Je höher die Belastung auf einigen wenigen Parzellen ist, desto geringer ist demzufolge die maximal mögliche belastete Fläche. Folglich ist die gesamte wegen Klärschlammdüngung mit Schwermetallen belastete Fläche kleiner als 40'000, bzw. 65'000 ha bei Cadmium. Auch dieses Szenario gibt keinen Aufschluss über das effektive Ausmass der flächenbezogenen Bodenbelastung mit Schwermetallen infolge Klärschlammdüngung. Erstens ist die Qualität der zugrundeliegenden Daten mangelhaft (Kapitel 2.1 und 2.2) und zweitens gibt dieses Szenario weder über die effektiv belastete Fläche, noch über die geographische Verbreitung Aufschluss.



Figur 14: Klärschlammaufwandflächen, wenn der VSBo-Richtwert in 100 Jahren erreicht werden sollte, basierend auf folgenden Annahmen:

- Schadstoffanreicherung im Boden gemäss Figur 8, Seite 33
- Die jährliche Schwermetallfracht aus Klärschlamm wird unabhängig von der Klärschlammaufwandmenge so verteilt, dass der VSBo-Richtwert um 1 % erhöht wird.

## 5.2 GEWICHTUNG GEGENÜBER ANDEREN BELASTUNGS- URSACHEN

Differenziertere Untersuchungen über das landesweite Ausmass flächenbezogener Bodenbelastungen erfolgten bereits für die Schwermetallbelastung der Böden durch den Strassen- und Schienenverkehr (BUWAL 1992) und die Kupferbelastung in Rebbergböden (STUDER et al. 1995). Aber auch über andere Belastungsquellen sind erste grobe Abschätzungen vorhanden. Tabelle 8 zeigt eine Zusammenstellung ausgewählter Belastungsquellen mit den entsprechenden Verdachtsflächen nach DESAULES et al. (1996). Zum relativen Vergleich wurde die landwirtschaftliche Nutzfläche der Schweiz beigezogen.

Je mehr und je bessere Angaben über eine Belastungsquelle bekannt sind, desto genauer kann das mutmassliche Ausmass der heutigen Belastungssituation beziffert werden. So ist beispielsweise der Rebbau durch

klare Parzellengrenzen und eigene Signatur in Landkarten flächenhaft wie auch bezüglich der Kupfereinträge sehr gut dokumentiert. Trotzdem sind in diesem Bereich flächenhafte Abschätzungen nur grob und regional möglich (STUDER et al. 1995). Die Genauigkeit der hier ausgewiesenen Zahlen hängt deshalb stark von den verfügbaren Angaben ab. Um die Belastungsursachen mit der entsprechenden Verdachtsfläche zu vergleichen und zu gewichten, muss daher zuerst abgeklärt werden, was unter den in Tabelle 8 aufgeführten Verdachtsflächen verstanden wird. Denn diese Flächen drücken nicht in jedem Fall den gleichen potentiellen Belastungsgrad aus und basieren zudem auf sehr unterschiedlich abgestützten Daten. So ist die von STUDER et al. (1995) ausgewiesene Verdachtsfläche im Rebbau von 38'000 bis 44'000 ha eine breit abgestützte Hochrechnung, welche jene Fläche angibt, auf welcher der Kupferrichtwert nach VSBo (1986) überschritten sein dürfte.

Tabelle 8: Abschätzungen von Verdachtsflächen verschiedener Belastungsquellen in der Schweiz; ergänzt nach DESAULES et al. (1996).

Belastungsquellen	Schadstoffe	Verdachtsflächen	
		ha	% <sup>1</sup>
Landwirtschaft			
- Rebbau	Cu	40'000 <sup>2</sup> , 38'000 - 44'000 <sup>4</sup>	3,5 - 4,1
- Intensivobstbau	Cu, (Zn, Organika)	6'490 <sup>2</sup> , 7'050 <sup>3</sup>	0,6 - 0,7
- Freilandgemüsebau	Cu, (Organika)	11'600 <sup>2</sup>	1,1
- Schweinemast	Cu, (Zn)	23'750 <sup>2</sup> , min. 31'100 <sup>3</sup>	2,2 - 2,9
- Klärschlammdüngung	Schwermetalle, Organika	< 40'000 bzw. < 65'000 bei Cd	3,7 bzw. 6,1 bei Cd
Industrie			
- Metallwerke	Schwermetalle, (Organika)	93'305 <sup>2</sup> , 16'960 <sup>3</sup>	1,6 - 8,7
- Chemie	Schwermetalle, (Organika)	127'235 <sup>2</sup>	11,9
- Zementindustrie	Tl, Pb, Cd, (diverse)	79'170 <sup>2</sup>	7,4
Verbrennungsanlagen	Schwermetalle u.a.	113'100 <sup>2</sup> , 11'330 <sup>3</sup>	1,1 - 10,6
Verkehr			
- Strassenverkehr	Pb, (Cd, Organika)	99'000 <sup>2</sup> , 71'000 <sup>5</sup> , 32'000 <sup>5</sup>	3,0 - 9,2
- Schienenverkehr	Cu, (Organika)	12'825 <sup>2</sup> , 3'500 <sup>5</sup> , 2'500 <sup>5</sup>	0,2 - 1,2
Schiessanlagen	Pb, (Cu, diverse)	7'700 <sup>3</sup>	0,7

<sup>1</sup> % der landwirtschaftlichen Nutzfläche der Schweiz von 1'071'346 ha (BFS 1992)

<sup>2</sup> VOGEL et al. 1989

<sup>3</sup> NÖLTE & FLETCHER 1995

<sup>4</sup> STUDER et al. 1995

<sup>5</sup> BUWAL 1992

Die vom Strassenverkehr verursachte Verdachtsfläche von 32'000 ha (BUWAL 1992) gibt jene Fläche an, auf welcher systematische Richtwertüberschreitungen zu erwarten sind. Die vom Strassenverkehr verursachte Verdachtsfläche von 71'000 ha (BUWAL 1992) gibt jene Fläche an, auf der feststellbare Schadstoffanreicherungen zu erwarten sind, die weitgehend unter dem Richtwert liegen. Die Belastungsflächen des Strassen- und des Schienenverkehrs sind durch zahlreiche Transektuntersuchungen belegt.

Wiederum auf einem anderen Ansatz beruht die Berechnung der Verdachtsflächen durch Klärschlamm Düngung von 40'000 ha bzw. 65'000 ha bei Cadmium aus dem vorliegenden Bericht. Diese Zahlen drücken aus, dass die durch Klärschlamm Düngung belastete Fläche aufgrund der Überlegungen in Kapitel 5.1 effektiv kleiner sein muss; um wieviel kleiner bleibt jedoch offen. Auch ist diese Berechnung von den erwähnten am wenigsten breit abgestützt. Wir finden in Tabelle 8 also mindestens vier Arten von Verdachtsflächen, die unterschiedlich gut abgestützt sind und auch entsprechend verschieden definiert sind:

1. Verdachtsflächen, die den VSBo-Richtwert überschritten haben dürften (Rebbau);
2. Verdachtsflächen mit systematischen Richtwertüberschreitungen (Strassen- und Schienenverkehr);
3. Verdachtsflächen mit vereinzelt Richtwertüberschreitungen (Strassen- und Schienenverkehr);
4. Verdachtsflächen mit einer potentiellen Richtwertüberschreitung in 100 Jahren (Klärschlamm).

Eine Gewichtung der verschiedenen Belastungsursachen ist angesichts der unterschiedlich definierten Verdachtsflächen sehr schwierig. Vergleicht man die Belastungsquellen Strassenverkehr, Rebbau und Klärschlamm, so ist auf den ersten Blick die durch den Strassenverkehr belastete Fläche von 71'000 ha mit knapp 7 % der landwirtschaftlichen Nutzfläche der Schweiz am grössten, gefolgt vom Klärschlamm mit ca. 5 % und dem Rebbau mit ca. 4 %.

Werden aber die verschiedenen Definitionen der Verdachtsflächen berücksichtigt, wird klar, dass die potentiell infolge Klärschlamm Düngung belastete Fläche die deutlich geringste effektive Belastungsfläche sein muss. Dies deshalb, weil die „Rebbaufäche“, jene Fläche angibt, auf der bereits heute der VSBo-Richtwert für Kupfer überschritten ist. Hingegen gibt die „Klärschlammfläche“ jene maximale Fläche an, auf welcher seit der Verwendung von Klärschlamm innerhalb von 100 Jahren der VSBo-Richtwert erreicht werden kann. Jene Fläche, auf welcher durch Düngung mit Klärschlamm bereits heute VSBo-Richtwerte überschritten werden, muss daher um einiges kleiner sein. Die Bedeutung der verschiedenen Belastungsquellen lässt sich erst dann eindeutig vergleichen, wenn alle Verdachtsflächen das Gleiche aussagen.

## 6 SCHLUSSFOLGERUNGEN UND AUSBLICK

### 6.1 SCHLUSSFOLGERUNGEN

Die verfügbaren Daten auf der gesetzlichen Grundlage der Klärschlammverordnung (KSV 1981) und der Stoffverordnung (StoV 1986) erlauben keine zuverlässige Abschätzung der flächenbezogenen Bodenbelastung mit Schwermetallen wegen unsachgemässer Klärschlammdüngung in der Schweiz.

Die wichtigsten Gründe dazu sind:

1. Schwermetallgrenzwerte und Frachtbegrenzungen für Klärschlamm existieren erst seit 1981 (KSV 1981). Damals produzierten aber bereits gut 750 Abwasserreinigungsanlagen Klärschlamm. 1970 waren es erst etwas über 200 Anlagen.
2. Die gesetzlichen Grundlagen (StoV 1986) verlangen bis heute Aufzeichnungen nur bis auf Betriebsebene. Die parzellenscharfe Verteilung der Aufwandmengen ist dadurch nicht dokumentiert.
3. Die mangelhaften Erhebungen während der kritischen Perioden und die schlechte Datenlage über Klärschlammengen und Schwermetallgehalte bis in die 90er Jahre erschweren die Auswertung.
4. Systematisches Aufspüren von Flächen mit „Klärschlamm-Altlasten“ ist laut Auskunftspersonen kaum möglich. Trotz der Auskunftspflicht nach USG (1983) ist wegen der möglichen Konsequenzen bei Richtwertüberschreitungen durch Klärschlammdüngung mit ungenügender Auskunftsbereitschaft zu rechnen. Rechtliche und finanzielle Konsequenzen einer allfälligen Richtwertüberschreitung hat nämlich in jedem Fall der Landwirt respektive der Grundstückbesitzer zu tragen. Die Klärschlammtransporteure und Klärschlammberater wiederum erfüllen einen absatzorientierten Auftrag und sind damit befangen.
5. Auch in gut dokumentierten regionalen Fallstudien und Belastungsversuchen ist die Übereinstimmung von berechneten Schwermetallgehalten in Böden mit den gemessenen Gehalten ungenau.

Trotz der ungenügenden Datenlage liegen bis heute drei verschiedene Abschätzungen über die gesamtschweizerische Bodenbelastung infolge Klärschlammdüngung vor, die auf verschiedenen Ansätzen beruhen. Entsprechend breit ist die Spanne der resultierenden Verdachtsflächen, die mit maximal 157'500 ha bis weniger als 40'000 ha und bei Cadmium weniger als 65'000 ha veranschlagt werden. Wird die Definition der Verdachtsflächen an mutmasslich systematische Richtwertüberschreitungen geknüpft, ist die kleinste Flächenschätzung am wahrscheinlichsten. Damit würde die durch unsachgemässe Klärschlammdüngung belastete Fläche der Schweiz (< 40'000 ha bei Pb, Cu und Zn bzw. < 65'000 ha bei Cd) von der Verdachtsfläche durch den Rebbau (ca. 44'000 ha) und wahrscheinlich auch durch die verkehrsverursachte Verdachtsfläche (etwas mehr als 35'500 ha) übertröffen. Um wieviel kleiner als oben angegeben die realistische Verdachtsfläche durch Klärschlammdüngung ist und wo diese Flächen liegen, kann aufgrund der Datenlage nicht eruiert werden.

Auch heute sind noch Bodenbelastungen mit Schwermetallen infolge Klärschlammdüngung möglich. Unter Ausschöpfung der höchstzulässigen Schwermetallfrachten gemäss Stoffverordnung (StoV 1986) sind Richtwertüberschreitungen im Boden zumindest bei Blei und Kupfer in weniger als 100 Jahren möglich. In der Praxis werden jedoch die höchstzulässigen Frachten kaum ausgenützt; andererseits wird der Klärschlamm selten auf der gesamten düngbaren Fläche gleichmässig ausgebracht. Mit der heutigen Kontrollpraxis, welche die Klärschlammlieferungen nur auf Betriebsebene kontrolliert, ist deshalb die unsachgemässe Klärschlammdüngung einzelner Parzellen nicht in jedem Fall zu verhindern.

## 6.2 AUSBLICK

Wie die regionalen Fallstudien gezeigt haben, können stark belastete Parzellen nur mit Hilfe freiwilliger Informationsträger oder durch Zufall aufgedeckt werden. Eine systematische Aufspürung zukünftiger „Klärschlamm-Dumpingparzellen“ kann nur durchgeführt werden, wenn die Klärschlammdüngung parzellenscharf aufgezeichnet wird. Der Stellenwert von landwirtschaftlichen Hilfsstoffen, die zu Bodenbelastungen führen, kann nur dann objektiv beurteilt werden, wenn zukünftig entsprechende Vorschriften geschaffen und deren Umsetzung garantiert werden. Hilfsstoffmengen, Gehalte an umweltgefährdenden Stoffen sowie der parzellenscharfe Ausbringort müssen festgehalten und archiviert werden. Gleichzeitig muss die Haftungs- und Entschädigungsfrage rechtlich klar geregelt werden. Dazu müsste eine parzellenscharfe Stoffbuchhaltung respektive Schadstoffbuchhaltung auf Betriebsebene ins Auge gefasst werden. Diese parzellenscharfe Aufzeichnung wird aber er-

schwert, weil die Bewirtschaftungsparzellen nur selten mit den Grundbuchparzellen übereinstimmen und zudem von Jahr zu Jahr ändern können. Eine feste Parzelleneinteilung ist nicht vorhanden.

Mit der stetigen Zunahme der IP-Betriebe scheinen diese Forderungen jedoch mehr und mehr erfüllbar. Landwirte, die integriert produzieren, sind verpflichtet, einen Parzellenplan zu erstellen und diesen mit einem Kulturenverzeichnis mit Angaben über die Bodenbearbeitung, die Düngung und den Pflanzenschutz zu ergänzen (BLW 1996). Mit diesen Erhebungen sind die Voraussetzungen für parzellenscharfe Aufzeichnungen für den Einsatz von landwirtschaftlichen Hilfsstoffen gegeben. Wird dabei noch berücksichtigt, dass bis zum Jahr 2000 praktisch die gesamte Nutzfläche der Schweiz umweltfreundlich (integriert oder biologisch) bewirtschaftet wird (BLW 1995), so scheint eine parzellenscharfe Erfassung der Aufwandmengen landwirtschaftlicher Hilfsstoffe in näher Zukunft möglich zu sein.

## 7 QUELLENVERZEICHNIS

---

- ABU AG 1995. *Untersuchung der Schwermetallbelastung in Klärschlammgedüngten Böden*. Pilotstudie in der Region Baden. Abteilung Umweltschutz, Baudepartement des Kantons Aargau, Aarau.
- AFU GR 1991. *Klärschlamm als Dünger - Eine Belastung für die Böden?* unveröffentlichter Bericht. Amt für Umweltschutz Graubünden, Chur.
- AFU SG 1995. *Klärschlamm-Konzept 94*. Amt für Umweltschutz, Abteilung Gewässerschutz Kanton St. Gallen, St. Gallen.
- AGSchV 1971. *Allgemeine Gewässerschutzverordnung. Änderung vom 27. Oktober 1993*.
- AIB BL 1995. *Abwasseranlagen Jahresbericht 1994*. Amt für Industrielle Betriebe des Kantons Basel-Landschaft, Liestal.
- Andrini M., 1991. *Landwirtschaftliche Klärschlamm Verwertung im Kanton Bern*. Direkt orientiert 1/91.
- AUE BL 1990. *Schwermetallgehalte und organische Rückstände in Klärschlamm gedüngten, landwirtschaftlich genutzten Böden des Kantons Basel-Landschaft*. 1. Untersuchung. Amt für Umweltschutz und Energie Kanton Basel-Landschaft, Liestal.
- AUE BL 1992. *Schwermetallgehalte in Klärschlammgedüngten Böden des Kantons Basel-Landschaft*. 2. Untersuchung: Böden mit Klärschlammverwertung in den 60er und 70er Jahren. Amt für Umweltschutz und Energie Kanton Basel-Landschaft, Liestal.
- Badertscher M., 1993. *Statistische Auswertung von experimentellen Rohdaten*. Skript zur Vorlesung WS 93/94. Eidg. Technische Hochschule Zürich, Zürich.
- BFS 1992. *Eidgenössische Landwirtschafts- und Gartenbauzählung 1990. Landwirtschaftsbetriebe nach Kantonen*. Band 1. Bundesamt für Statistik, Bern. ISBN 3-303-07028-8.
- BLW 1995. *Schweizer Landwirtschaft heute - morgen. «Agrarpolitik 2002»: Der neue Weg*. Ein Dossier des Bundesamtes für Landwirtschaft. Bundesamt für Landwirtschaft, Bern.
- BLW 1996. *Weisungen über die Mindestanforderungen für die Anerkennung von Regeln der Integrierten Produktion im Feldbau. IP-Weisungen Feldbau 1996*. Bundesamt für Landwirtschaft, Bern.
- Bolliger R., 1996. *Mündliche Mitteilungen*. Finanzdepartement des Kantons Aargau. Abteilung Landwirtschaft, Aarau.
- Bonjour R., 1995. *Mündliche Mitteilungen*. Eidg. Forschungsanstalt für Agrikulturchemie und Umwelthygiene, Liebefeld-Bern.
- Bono R., 1996. *Mündliche Mitteilungen*. Amt für Umweltschutz und Energie des Kantons Basel-Landschaft, Liestal.
- BUS 1977. *Klärschlamm Verwertung und Beseitigung aus den kommunalen Abwasserreinigungsanlagen der Schweiz*. Bundesamt für Umweltschutz, Bern.
- BUS 1981. *Bericht zur Klärschlammverordnung vom 8. April 1981*. Bundesamt für Umweltschutz, Bern.
- BUS 1985a. *Vollzug der Klärschlammverordnung vom 8. April 1981 - Vorstösse, Schwierigkeiten, dringliche Massnahmen*. Brief vom 4. April 1985 an die kantonalen Fachstellen für Gewässer- und Umweltschutz. Bundesamt für Umweltschutz, Bern.
- BUS 1985b. *Gewässerschutzstatistik. Schriftenreihe Umweltschutz Nr. 46*. Bundesamt für Umweltschutz, Bern.

- BUS 1987. *Erläuterungen zur Verordnung vom 9. Juni 1986 über Schadstoffe im Boden (VSBö)*. Bundesamt für Umweltschutz, Bern.
- BUS/FAC 1988. *Mitteilungen zum qualitativen Bodenschutz und zur Verordnung über Schadstoffe im Boden (VSBö) Nr. 2*. Bundesamt für Umweltschutz, Bern.
- Buser A., 1996. *Mündliche Mitteilungen*. Landwirtschaftliches Zentrum Ebenrain des Kantons Basel-Landschaft, Sissach.
- BUWAL 1992. *Bodenverschmutzung durch den Strassen- und Schienenverkehr in der Schweiz. Schriftenreihe Umwelt Nr. 185*. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern.
- BUWAL 1993. *Nationales Bodenbeobachtungsnetz. Messresultate 1985-1991. Schriftenreihe Umwelt Nr. 200*. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern.
- BUWAL 1994a. *Die Klärschlammvorschriften des Bundes. Mitteilungen zum Gewässerschutz Nr. 14*. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern.
- BUWAL 1994b. *Daten zum Gewässerschutz in der Schweiz. Umwelt-Materialien Nr. 22*. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern.
- BUWAL 1995. *Gewässerschutz-Datenbank*. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern. (Stand 1995).
- Candinas T., 1993. *Ein kurzer Blick auf dem langen Weg von den Anfängen der Abwasserentsorgung bis zur modernen Klärschlammverwertung*. Direkt orientiert, Sondernummer 2/93.
- Candinas T., 1995. *Mündliche Mitteilungen*. Eidg. Forschungsanstalt für Agrikulturchemie und Umwelthygiene, Liebefeld-Bern.
- Candinas T., Chassot G., Besson J.-M. & Lischer P., 1991. *Nutz- und Schadstoffe im Klärschlamm*. Schweiz. Landw. Fo. 30 (1/2).
- Candinas T., Gupta S.K., Zaugg W., Lischer P. & Besson J.-M., 1989. *15 Jahre Schwermetalle im Klärschlamm*. Schweiz. Landw. Fo. 28 (3/4).
- Carrard M., 1995. *Mündliche Mitteilungen*. Bundesamt für Umwelt Wald und Landschaft, Bern.
- Chassot G., 1991. *Klärschlamm-Umfrage 1991*. unveröffentlicht. Eidg. Forschungsanstalt für Agrikulturchemie und Umwelthygiene, Liebefeld-Bern.
- Chassot G., 1995. *Recensement et évaluation du métabolisme anthropique sur la base des boues d'épuration*. Dissertation. Eidg. Technische Hochschule Zürich und Eidg. Forschungsanstalt für Agrikulturchemie und Umwelthygiene, Liebefeld-Bern.
- Desaules A., Studer K., Geering S., Meier E. & Dahinden R. 1996. *Die Nationale Bodenbeobachtung in der Schweiz. Konzept, Stand und Perspektiven*. Entwurf. Beitrag für Rosenkranz et al. (Hrsg). Bodenschutz. Institut für Landwirtschaft und Umweltschutz, Liebefeld-Bern.
- Düngemittelbuch 1972. *Landwirtschaftliches Hilfsstoffbuch. Düngemittelbuch vom 26. Mai 1972*. SR 916.052 (Stand 1981).
- EIDG. GEWÄSSERSCHUTZKOMMISSION 1989. *Thesen über die Verwertung und die Beseitigung von Klärschlamm in der Schweiz*.
- EAWAG 1974. *Landwirtschaftliche Klärschlamm-Verwertung*. Eidg. Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz, Dübendorf.
- FAC 1977. *Klärschlamm-Enquête 1975/76*. Eidg. Forschungsanstalt für Agrikulturchemie und Umwelthygiene, Liebefeld-Bern.

- FAC 1979. *Klärschlammkontrolle: Erfahrung nach einem Jahr*. Eidg. Forschungsanstalt für Agrikulturchemie und Umwelthygiene, Liebefeld-Bern.
- FAC 1995a. *Kompost und Klärschlamm. Weisungen und Empfehlungen der Eidg. Forschungsanstalt für Agrikulturchemie und Umwelthygiene (FAC) im Bereich der Abfalldünger*. Eidg. Forschungsanstalt für Agrikulturchemie und Umwelthygiene, Liebefeld-Bern.
- FAC 1995b. *Klärschlamm-Datenbank*. Eidg. Forschungsanstalt für Agrikulturchemie und Umwelthygiene, Liebefeld-Bern. (Stand 1995).
- FAP/RAC/FAC 1994. *Grundlagen für die Düngung im Acker- und Futterbau*. Landwirtschaftliche Beratungszentrale (LBL), Lindau.
- Furrer O.J. & Candinas T., 1982. *Probleme der Schlammverwertung*. Wiener Mitteilungen - Wasser, Abwasser, Gewässer. 47.
- Geering J., 1968. *Richtlinien für die Verwendung von Abwasser-Klärschlamm im schweizerischen Futter- und Ackerbau*. Mitteilungen für die Schweizerische Landwirtschaft Nr. 1 Jahrgang 16.
- Geiser D., 1972. *Kurze Klärschlamm-Aufklärung*. Die Grüne (Nov. 72).
- Gisiger L., 1958. *Die landwirtschaftliche Verwertung von Klärschlamm*. Eidg. Forschungsanstalt für Agrikulturchemie und Umwelthygiene, Liebefeld-Bern.
- Grolimund D., 1992. *Regionale Entwicklung von Schwermetallgehalten und Schwermetallfrachten im Klärschlamm 1984 - 1989*. Praktikumsbericht Teil 1. Eidg. Forschungsanstalt für Agrikulturchemie und Umwelthygiene, Liebefeld-Bern.
- GSchG 1955. *Bundesgesetz vom 16. März 1955 über den Schutz der Gewässer gegen Verunreinigung*. Sammlung der eidgenössischen Gesetze Nr. 55 (Dez. 1956).
- GSchG 1971. *Bundesgesetz vom 6. Oktober 1971 über den Schutz der Gewässer gegen Verunreinigung (Gewässerschutzgesetz)*. Bundesblatt der Schweizerischen Eidgenossenschaft. 123. Jahrgang - 1971. Band II.
- Gsponer R., 1990. *Rohdaten zu Schwermetalle in Düngemitteln: Ein Diskussionsbeitrag*. Amt für Gewässerschutz und Wasserbau des Kantons Zürich, Zürich.
- Gsponer R., 1995. *Stratifizierung der Bodenbelastung/Düngungen*. Entwurf. Fachstelle Bodenschutz Kanton Zürich, Zürich.
- Haldemann C., Lischer P., Bonjour R. & Besson J.-M., 1995. *StoV - Ringversuch - Bericht 1994 (MARSEP)*. Eidg. Forschungsanstalt für Agrikulturchemie und Umwelthygiene, Liebefeld-Bern.
- Häni M., 1995. *Mündliche Mitteilungen*. Amt für Gewässerschutz und Abfallwirtschaft des Kantons Bern, Abteilung Stoffe und Bodenschutz, Bern.
- Hofstetter H.U., 1989. *Öffentlichkeitsarbeit der ARA Bern-Neubrück*. Direkt orientiert 1/89.
- Julien P., 1986. *Consequences de l'utilisation de boues d'épuration sur les sol agricoles dans le canton de Fribourg*. Institut agricole de l'état de Fribourg, station cantonale de protection végétale Grangeneuve, Posieux.
- Keller P., 1977. *Ein Vorschlag zur Kontrolle der landwirtschaftlichen Klärschlamm-Verwertung*. Landwirtschaftliche Forschung, Sonderheft 33/1.
- KGV 1991. *Kantonale Gewässerschutzverordnung des Kantons Bern vom 15. Mai 1991*.
- KSV 1981. *Eidgenössische Klärschlammverordnung vom 8. April 1981*. SR 814.225.23.

- Kupper T., 1995. *Probenahme von Klärschlamm*. Eidg. Forschungsanstalt für Agrikulturchemie und Umwelthygiene, Liebefeld-Bern.
- LMG 1992. *Bundesgesetz vom 9 Oktober 1992 über Lebensmittel und Gebrauchsgegenstände (Lebensmittelgesetz)*. SR 817.0.
- LWG 1951. *Bundesgesetz vom 3. Oktober 1951 über die Förderung der Landwirtschaft und die Erhaltung des Bauernstandes (Landwirtschaftsgesetz)*. SR 910.1 (Stand 1994).
- Menzi H., 1991. *Schwermetallgehalte in den Hofdüngern (Juni 1991)*. unveröffentlicht. Eidg. Forschungsanstalt für Agrikulturchemie und Umwelthygiene, Liebefeld-Bern.
- Niklaus U., 1979. *Klärschlamm in der Düngung nur gezielt einsetzen*. LBL-Berater-Informationen 4/79.
- Nölte M. & Fletcher R., 1995. *Verdachtsflächenkartierung schadstoffbelasteter Böden in der Schweiz: Kartierung des Kantons Aargau mit GIS*. Diplomarbeit. Ingenieurschule beider Basel (IBB), Muttenz.
- OR 1911. *Bundesgesetz vom 30. März 1911 betreffend die Ergänzung des Schweizerischen Zivilgesetzbuches (Fünfter Teil: Obligationenrecht)*. (Stand 1996). Sammlung von Bundeserlassen auf losen Blättern. Band III. Dr. R. Brüstlein, Basel.
- Schneider M., Candinas A. & Desaulles A., 1984. *Bericht über die Belastung der Böden mit Schadstoffen in der Schweiz. Pilotprojekt für das Nationale Forschungsprogramm „Nutzung des Bodens“ (NFP 22)*. Bericht 3. Bern.
- Siegenthaler A., Furrer O.J. & Gupta S.K., 1985. *Anwendung von Schweinegülle und Klärschlamm: Phosphatbilanz in einem mittelfristigen Feldversuch*. Eidg. Forschungsanstalt für Agrikulturchemie und Umwelthygiene, Liebefeld-Bern.
- Soder D., 1996. *Mündliche Mitteilungen*. Amt für Gewässerschutz und Wasserbau des Kantons Zürich, Zürich.
- StoV 1986. *Eidgenössische Verordnung über umweltgefährdende Stoffe (Stoffverordnung) vom 6. Juni 1986*. SR 814.013 (Änderung-Anhang 4.5: 16. 9. 1992) (Stand 1994).
- Studer K., Desaulles A. & Gsponer R., 1995. *Erfassung und Ausmass der flächenhaften Kupferbelastung in Rebbergböden der Schweiz*. Schriftenreihe der FAC Nr. 20. Eidg. Forschungsanstalt für Agrikulturchemie und Umwelthygiene, Liebefeld-Bern.
- Taverna R., Schmid T. & Wegelin T., 1994. *Schwermetallbelastung des Bodens im Gebiet Küsnachter Berg*. Fachstelle Bodenschutz Kanton Zürich, Zürich.
- USG 1983. *Bundesgesetz vom 7. Oktober 1983 über den Umweltschutz (Umweltschutzgesetz)*. SR 814.01 (Stand 1993).
- USG<sub>rev</sub> 1993. *Botschaft zu einer Änderung des Bundesgesetz über den Umweltschutz vom 7. Juni 1993*. SR 93.053.
- Vögel H., Desaulles A. & Häni H., 1989. *Schwermetallgehalte in Böden der Schweiz*. Nationales Forschungsprogramm „Boden“, Bericht 40. 82ff. Liebefeld-Bern.
- VBo 1986. *Verordnung vom 9. Juni 1986 über Schadstoffe im Boden*. SR 814.12 (Stand 1987).
- VVS 1986. *Verordnung vom 12. November 1986 über den Verkehr mit Sonderabfällen*. SR 814.014 (Stand 1993).
- Wirt 1996. *Mündliche Mitteilungen*. Kantonale Land- und Hauswirtschaftsschule Wülflingen. Düngeberatung Weinland, Winterthur.



## 8 ANHÄNGE

### Anhang A : Daten und Berechnung der Düngungsszenarien

Zur Berechnung dieser Düngungsszenarien wurden vier möglichst unterschiedliche Betriebe ausgewählt (Tabelle 9). Gemäss StoV (1986) kann Klärschlamm nur mit einem Bedarfsnachweis bezogen werden, deshalb bilden die Nährstoffbilanzen der ausgewählten Betriebe die Grundlage dieser Berechnung (Anhang B). Aus diesen Bilanzen ist die maximal mögliche P-Zufuhr und die P-Zufuhr aus den Hofdüngern ersichtlich, so dass ausgehend von diesen Zahlen die maximal mögliche P-Ergänzungsdüngung berechnet werden konnte (Tabelle 10). Die Düngung wurde so festgesetzt, dass Hofdünger und Mineraldünger (exklusive P-Dünger, dieser wird ersetzt durch Klärschlamm) den Angaben der Originalbilanzen

entsprechen. Daraus lassen sich unter der Annahme, dass alle Dünger im Laufe der Jahre gleichmässig über die gesamte düngbare Fläche verteilt werden, die Schwermetallfrachten pro Hektare berechnen (Anhang C). Die Berechnung der Anzahl Jahre bis zum voraussichtlichen Erreichen der VSBo-Richtwerte erfolgten unter folgenden Annahmen nach GSPONER (1995): Oberboden: 20 cm mächtige Schicht des Bodens, Dichte im Oberboden: 1,25 g/cm<sup>3</sup>, Speicherung von 80 % des Schwermetalleintrages im Oberboden. Als Grundbelastung des Bodens wurden die Medianwerte der NABO-Standorte (BUWAL 1993) angenommen. In Tabelle 11 sind die Ergebnisse für alle Betriebe und Schwermetalle aufgelistet.

Tabelle 9: Grunddaten für die Belastungsszenarien der ausgewählten Betriebe

Betrieb	Betriebsart	Nutzfläche ha	IP-Betriebe	Düngbare Fläche ha	Ackerbau % LN	Milchvieh	Mastvieh	Zuchtschweine	Mastschweine	Legehennen	Mastpoulet	sonstige	DGVE/ha
						DGVE	DGVE	DGVE	DGVE	DGVE	DGVE	DGVE	
A	Graswirtschaft	8,84	X	8,84	0	13,6				0,1			1,55
E	viehlos	19,03	X	18,21	90	0,8							0,044
F	gemischter	30,21	X	29,95	65	19,1		9,9				0,3	0,978
G	Schweinemast	18,52		18,52	100			13,5	34,0				2,565

Tabelle 10: Berechnung der maximalen Phosphorzufuhr in Form von Klärschlamm für die in beschriebenen Betriebe

Betriebe	maximale P-Zufuhr <sup>1)</sup> kg	P-Zufuhr aus Hofdünger <sup>1)</sup> kg	maximal mögliche P-Ergänzungsdüngung		Klärschlamm <sup>2)</sup> t TS
			pro Betrieb kg	pro ha kg	
A	569	467	102	11,5	1,9
E	1'525	28	1'497	82,2	27,7
F	2'661	1'181	1'480	49,4	27,4
G	1'561	2'000	-439	-23,7	--

<sup>1)</sup> gemäss jeweiligen Nährstoffbilanzen (Anhang C)

<sup>2)</sup> Ausgehend von medianem P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-Gehalt aller schweizerischen Klärschlämme des Jahres 1994 (54 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/t TS)

Tabelle 11: Erreichen der VSBo-Richtwerte nach x Jahren Düngung

Betrieb	P-Ergänzungs- dünger	Pb	Cd	Cr	Co	Cu	Mo	Ni	Hg	Zn	[Jahre]	
A	Klärschlamm	646	919	1'315	15'380	417	12'302	3'031	75'203	549		
E	Klärschlamm	106	233	204	2'307	100	4'773	693	20'394	149		
E	Triple Superphosp.	30'731	180	3'155	72'900	6'469	159'344	6'238	3'522'230	4'909		
E	Superphosphat	1'628	402	5'029	62'206	5'692	75'097	5'897	2'764'968	4'159		
E	Thomasphosphat	9'596	10'898	145	6'185	3'271	31'695	5'113	3'322'361	5'920		
F	Klärschlamm	174	353	335	3'785	142	6'617	1'056	29'761	202		
G	keiner	11'942	2'251	10'718	73'109	197	28'412	4'729	82'837	229		
H*	Klärschlamm	61	106	151	573	62	170	621	227	111		

(Ausgehend von medianen Schwermetallgehalten der NABO-Standorte (BUWAL 1993); Annahmen zur Schadstoffanreicherung im Boden gemäss Figur 8; Düngemittelzusammensetzung gemäss Anhang C)

H\* Höchstzulässige Fracht gemäss KSV (1981) und StöV (1986) aus Figur 8

## **Anhang B : Gesamtbetriebliche Nährstoffhaushalte**

# 1 Graswirtschaftsbetrieb (A)

## Gesamtbetrieblicher Nährstoffhaushalt LBL Auflage 5.0

Betriebs Nr.: \_\_\_\_\_ Name: **Betrieb A** Zone: **BZ 2** Düngbare Fläche in ha: **8.84**  
 Adresse: \_\_\_\_\_ Höhe ü.M.: \_\_\_\_\_ m Kontrolle LN in ha: **8.84**  
 PLZ, Ort: \_\_\_\_\_ Jahr: **1996** LN in ha: **8.84**  
 Tel.: \_\_\_\_\_

### A: Nährstoffbedarf der Kulturen

Bedarf der Ackerkulturen	Standard Ertrag	Fläche ha	Ertrag dt/ha	Menge dt total	N-Bedarf kg/ha	Nährstoffbedarf, kg/dt (ha)			Nährstoffbedarf, kg/Jahr			
						N	P205	K2O	Mg	N	P205	K2O
Winterweizen (ohne Stroh) (60 dt K8)					140	0.83	0.20	0.17				
Wintergerste (ohne Stroh) (60 dt K8)					110	0.83	0.22	0.12				
Winterroggen (ohne Stroh) (55 dt K8)					90	0.84	0.18	0.11				
Hafer (ohne Stroh) (55 dt K8)					90	0.85	0.78	0.18				
Raps (ohne Stroh) (35 dt K8)					140	1.83	1.03	0.29				
Körnermais (80 dt K8)					110	0.81	0.39	0.10				
Kartoffeln (Speise/Futter/tech.Ver. (450 dt Kn)					120	0.18	0.64	0.03				
Saat- und Frühkartoffeln (250 dt Kn)					100	0.19	0.74	0.03				
Zuckerrüben (ohne Blatt) (600 dt Rü)					100	0.08	0.05	0.03				
Proteinerbсен (50 dt K8)						1.14	1.80	0.18				
Gründüngung (nur Nichtleguminosen)					30							
Ökologische Ausgleichsfl. auf d. LN, ohne Futterertrag mit Düngerverbot (inkl. Streufläche, Grünbrache)												
Weggeführtes Weizenstroh, 85% TS			60			0.24	1.30	0.08				
Weggeführtes Rübenblatt, 15% TS			60			0.53	3.60	0.47				
<b>A1: Zwischentotal Ackerkulturen</b>									<b>A1</b>			

Bedarf der Spezialkulturen	Fläche ha	Normdüngungsfaktor			Nährstoffbedarf, kg/dt (ha)			Nährstoffbedarf, kg/Jahr				
		P	K	Mg	N	P205	K2O	Mg	N	P205	K2O	Mg
Obstbläse		1	1	1	50	20	80	10				
<b>Gemüse</b> = Total v. Zusatzformular = manuell einsetzen												

### A2: Zwischentotal Spezialkulturen

davon Fläche Gemüse (FG) \_\_\_\_\_ % FG als Anteil an DF

Bedarf für Grundfutter	Standard Ertrag	Fläche ha	Ertrag dt/ha	Menge dt total	N-Bedarf kg/ha	Nährstoffbedarf, kg/dt (ha)			Nährstoffbedarf, kg/Jahr			
						N	P205	K2O	Mg	N	P205	K2O
Extensive Wiesen auf Dauergrünfläche (10 -40)												
Extensive Wiesen auf stillgelegtem Ackerland												
Übrige Wiesen mit Düngerverbot												
Extensive Weiden und Waldweiden (10 -30)						0.50	0.50	1.20	0.20			
Wenig intensive Wiesen u. Weiden (1-3 Nutz) (25 -6)	3.10	60	186			0.60	0.60	1.50	0.25	112	112	279
Mittelintensive Wiesen und Weiden (35 -100)	5.34	90	481			1.00	0.70	1.90	0.25	481	336	913
1-4 Nutzungen												
Intensive Wiesen und Weiden (55 -135)						1.20	0.80	2.40	0.30			
2-6 Nutzungen												
Zwischenfutter und / oder Aengsteln (25 -50)						1.20	0.80	2.40	0.40			
1-2 Schnitte												
Silomais (180 dt TS)	0.40	140	56		110	0.59	1.41	0.13	0.44	33	79	7
Futterrüben (ohne Kraut) (180 dt TS)					100	0.49	0.75	0.15				
Betr.eigenes, verfürt. Weizenstroh 85% TS			64			0.24	1.30	0.08				
Betr.eigenes, verfürt. Rübenblatt 15% TS			75			0.53	3.60	0.47				
<b>A3: Zwischentotal Grundfutter</b>		8.84	723						<b>A3</b>	836	481	1271
<b>A = A1 + A2 + A3 = Gesamttotal Nährstoffbedarf Betrieb</b>										<b>836</b>	<b>481</b>	<b>1271</b>

Kontrollrechnung zur Grundfutterproduktion		dt. TS
Gesamter Grundfutter-Feldertrag Betrieb = GFprod. (A2)		723
	Normal	
	Extensiv	
Aufgeteilt in normales Futter und "extensiv"-Futter		836
(-) Lagerungs- und Kippenverluste (5% von A2)		77
(-) verkaufte Grundfutter, netto		
(+) zugekauft Grundfutter (inkl. Stroh z. verfüttern) netto		12
(+) betr.eigen verfürt. Kart./Z. Rüben/R. Schnitzel/CCM netto		
(+) Kraftfutter > Menge von 1000 kg je RGVe und Jahr		GF ext.
Pro Jahr verfügbares Grundfutter auf dem Betrieb		829
Gesamte verfügbare Grundfuttermenge (GF verf.)		829
Minus Grundfutterverzehr auf Betrieb (GFverz.)		698
= Grundfutterbilanz für den gesamten Betrieb		131 dt TS
		Abweichung in %
		1.50

Total DGVe = 13.70  
 Düngbare Fläche in ha = 8.84  
 DGVe/ha, Düngb. Fläche = 1.55

Ackerfläche: (OA + KW)		0.80 ha	Fruchtfolge
Grünlandfläche:		8.44 ha	(Ist-Werte)
Getreide (gesamthalt)		ha =	%
Weizen / Korn:		ha =	%
Rüben:		ha =	%
Kartoffeln:		ha =	%
Raps:		ha =	%
Mais:		0.40 ha = 50.00 %	
Proteinerbсен:		ha =	%
Spezialkulturen in der FF:		ha =	%
Kunstwiese: (v. Hand eingeben)		0.40 ha = 50.00 %	
Naturwiese / Wiesen etc.:		8.04 ha	

**Soll-Werte**

Ökologische Ausgleichsflächen (min 5% der LN) = 0.44 ha  
 = davon Anteil

Grünlandnutzung = Anteil extensiv- / od. wenig intensiv genutzte Wiesen / od. extensive Weiden.  
 (min 5% der Grünlandfläche) = 0.42 ha

# Graswirtschaftsbetrieb (A): Fortsetzung

## B: Verfügbare Nährstoffe

Tierart / Tierplatzkategorie	Anzahl Tiere / St. / Tage	Abzug Zu- schlag	Anzahl korrig.	GF / Tag / kg TS	Verzehr / Jahr / kg TS	Nährstoffanfall je Einheit / Jahr					Nährstoffanfall pro Jahr				Berechnung			
						N	Nges	P205	K2O	Mg	Nges	P205	K2O	Mg	herstellung)	Std je Tag	Tage je Jahr	WJKuh
<b>Milchkühe (Jahresmilchmenge eingeben) =</b>			5100		kg Milch													
-normale Fütterung	10		10.00	13.7	498	106.0	90.1	35.4	181.8	12.1	801	364	181.8	121		9	180	1.8
-ad libitum Fütterung				14.2		106.0	90.1	35.4	181.8	12.1								
-Fütterung v. Kart/Rüb				14.0		106.0	90.1	35.4	181.8	12.1								
-ad libitum + Kart/Rüb				14.5		106.0	90.1	35.4	181.8	12.1								
Aufzucht- 1. Jahr	4		4.00	3.0	14	26	22	9	50	4	88	36	200	16		12	180	0.2
zucht- 2. Jahr	5		5.00	6.0	119	42	36	14	75	5	180	70	375	25		12	180	0.5
Rinder 3. Jahr	1		1.00	10.0	37	83	54	21	110	7	64	21	110	7		12	180	0.1
Mutter-/Ammenkühe				12.0		84	71	28	144	10								
Mutterkuhkalber				2		18	15	6	22	1.2								
Mastküheplätze						12	10	3	6	0.4								
Rindviehmastplätze > 125 kg				0.3		8	7	2.5	7	0.8								
Pferde				4.6		35	30	17	36	4								
Mutterschafe inkl. Jungtiere				0.0		60	51	28	110	8								
Milchziegenplätze inkl. Jungtiere				2.1		18	14	6	29	2								
Mastschweineplätze 25-100 kg						15	12	7	6	1								
Zuchtschweine inkl. Ferkel				0.0		35	28	20	18	3								
Leggehennenplätze 100 pl.	0.1		0.10			71	50	46	25	5	5	5	5	1				
Mastpouletplätze 100 pl.						40	28	15	13	3								
<b>Grundfutter-Verzehr total pro Jahr, dt TS GF verz</b>					898													
<b>Zwischenwert</b>						1228	495	2506	170									
<b>Anteil am Nges</b>						106	18											
<b>Abzug f. pro Jahr auf d. Betrieb verfügb. Menge* extensiv-Futter*</b>					177		0.60	0.10										
<b>Abzug f. die durch Weidenutzung reduz. Wirksamkeit d. N-Ansatzes</b>						2.7	50											

Abzug f. pro Jahr auf d. Betrieb verfügb. Menge* extensiv-Futter*	177		0.60	0.10
Abzug f. die durch Weidenutzung reduz. Wirksamkeit d. N-Ansatzes	2.7	50		

106	18
137	
895	467
2506	170

## B1: Zwischentotal Tierhaltung

Zu- u. Wegfuhr von Nährstoffen	Zu- und Wegfuhr (+ / -)	Nährstoffgehalt je Einheit					Nährstoffmenge je Jahr				
Gülle unverdaut in m3	Mist in t	Nverf	P205	K2O	Mg	N	Nges	Nverf	P205	K2O	Mg
Rindergülle	Stück	38.5	198.0	13.2	115.0	97.8					
Mast-Schweinegülle	Haft	7.0	8.0	1.0	15.0	12.0					
Mastpouletmist	100 Pl	15.0	13.0	3.0	40.0	28.0					
Klärschlamm	m3	1.1	4.5	0.3	0.3						
		1.8	15.0	0.8	2.0						
Ammonsalpeter	dt	27.5						28			
Suplesan	dt	20.0	8.0	8				60	24	24	
Thomaskali	dt	11.0	20.0					33	60		
Zukauf von Weizenstroh zum Einstreuen	dt TS	0.24	1.30	0.08				10	52	3	
<b>B2: Zwischentotal Nährstoffe aus Zu- und Wegfuhr</b>								88	67	156	3

<b>"Vollmist" -Aufstallungssysteme</b>	Reduziert den N- Ausnutzungsgrad um	0.45%
LN = 8.84	OA = 0.40	in % zur LN 4.5%

## C: Nährstoffbilanz

N ges	N ges	Gesamtbetrieb				je ha Düngbare Fläche (DF)					
		N ges	%	P205	K2O	Mg	N ges	Nverf	P205	K2O	
59.6	59.6	895	587	467	2506	170	111	66	53	283	19
		638	100	481	100	1271	100	72	54	144	20
		150	92	14	97	1234	197	-6	-2	140	0
		88	67		136	3	10	8	15	0	
		38	104	53	111	1370	208	4.2	6.0	166	0
		100 %									

**Kommentar:** Stickstoff = 4.3 kg Nverf. Überschuss je ha düngbare Fläche entspricht den IP-Weisungen  
 Phosphor = 6.0 kg P. Überschuss je ha düngbare Fläche entspricht den IP-Weisungen  
 Sofern die unter Zu- und Wegfuhr aufgeführten Düngermengen nicht überschritten werden

## 2 Viehloser Betrieb (E)

### Gesamtbetrieblicher Nährstoffhaushalt

LBL Auflage 5.0

Betriebs Nr.:   
 Name: **Betrieb E** Zöne:   
 Adresse:   
 Höhe ü.M.: m   
 PLZ, Ort:   
 Kontrolle LN in ha. **18.21**   
 Tel.:   
 Jahr: **1995**   
 LN in ha. **19.03**

#### A: Nährstoffbedarf der Kulturen

Bedarf der Ackerkulturen	Standart Ertrag	Fläche ha	Ertrag dt/ha	Menge dt total	N-Bedarf kg/ha	Nährstoffbedarf, kg/dt (ha)				Nährstoffbedarf, kg/Jahr			
						N	P205	K2O	Mg	N	P205	K2O	Mg
Winterweizen ( ohne Stroh )	( 80 dt K8)	4.87	70	327		2.40	1.00	0.90	0.17	795	127	264	58
Wintergerste ( ohne Stroh )	( 80 dt K6)	3.83	75	272		1.80	1.05	0.85	0.19	517	288	231	52
Winterroggen ( ohne Stroh )	( 55 dt K8)												
Hafer ( ohne Stroh )	( 55 dt K8)						0.85	0.78	0.18				
Raps ( ohne Stroh )	( 35 dt K8)	1.33	33	44		3.00	2.10	1.45	0.30	132	92	84	13
Körnermais	( 80 dt K8)	5.27	100	527		1.40	0.85	1.20	0.18	738	448	363	85
Kartoffeln (Speise/Futter/tech.Ver)	( 450 dt Kn)						0.18	0.64	0.03				
Saat- und Frühkartoffeln	( 250 dt Kn)						0.19	0.74	0.03				
Zuckerrüben ( ohne Blatt )	( 800 dt Rü)	2.25	700	1575		0.12	0.09	0.10	0.04	168	142	158	63
Proteinerbisen	( 50 dt K8)						1.14	1.80	0.18				
Gründüngung ( nur Nichtleguminosen )					30								
Ökologische Ausgleichsfl. auf d. LN, ohne Futterertrag mit Düngerverbot (inkl. Streuläche, Grünbrache)													
Weggeführtes Weizenstroh, 85% TS			60				0.24	1.30	0.08				
Weggeführtes Rübenblatt, 15% TS			60				0.53	3.60	0.47				
<b>A1: Zwischentotal Ackerkulturen</b>		<b>17.15</b>								<b>2361</b>	<b>1295</b>	<b>1379</b>	<b>279</b>

Bedarf der Spezialkulturen	Fläche ha	Normdüngungsfaktor			Nährstoffbedarf, kg/dt (ha)				Nährstoffbedarf, kg/Jahr				
		P	K	Mg	N	P205	K2O	Mg	N	P205	K2O	Mg	
Obstanlage		1	1	1	50	20	80	10					
Gemüse (Total v. Zusatzformular = manuell einsetzen)													
<b>A2: Zwischentotal Spezialkulturen</b>													

Bedarf für Grundfutter	Standart Ertrag	Fläche ha	Ertrag dt/ha	Menge dt total	N-Bedarf kg/ha	Nährstoffbedarf, kg/dt (ha)				Nährstoffbedarf, kg/Jahr			
						N	P205	K2O	Mg	N	P205	K2O	Mg
Extensive Wiesen auf Dauergrünfläche (10-4)	0.82	25											
Extensive Wiesen auf stillgelegtem Ackerland													
Übrige Wiesen mit Düngerverbot													
Extensive Weiden und Waldweiden (10-30)						0.50	0.50	1.20	0.20				
Wenig intensive Wiesen u. Weiden (1-3Nutz) (25-85)		60				0.60	0.60	1.50	0.25				
Mittelintensive Wiesen und Weiden 1-4 Nutzungen (35-100)	1.06	65	69			1.00	0.70	1.90	0.25	69	48	131	17
Intensive Wiesen und Weiden 2-6 Nutzungen (55-135)						1.20	0.80	2.40	0.30				
Zwischenfutter und / oder Aeugstlen 1-2 Schnitte (25-50)						1.20	0.80	2.40	0.40				
Silomais (180 dt TS)		140			110	0.59	1.41	0.13					
Futterrüben ( ohne Kraut ) (180 dt TS)					100	0.49	0.75	0.15					
Betr.eigenes, verfüt. Weizenstroh 85% TS		64				0.24	1.30	0.08					
Betr.eigenes, verfüt. Rübenblatt 15% TS		76				0.53	3.60	0.47					
<b>A3: Zwischentotal Grundfutter</b>		<b>1.88</b>			<b>89</b>					<b>69</b>	<b>48</b>	<b>131</b>	<b>17</b>
<b>A = A1 + A2 + A3 = Gesamttotal Nährstoffbedarf Betrieb</b>										<b>2430</b>	<b>1343</b>	<b>1510</b>	<b>298</b>

Kontrollrechnung zur Grundfutterproduktion		dt. TS	
Gesamter Grundfutter-Feldertrag Betrieb = GFprod. (A2)		189	
	Normal		Extensiv
Aufgeteilt in normales Futter und "extensiv"-Futter		68	21
(-) Lagerungs- und Krippenverluste ( 5% von A2)		3	3
(-) verkaufte Grundfutter, netto	20		19
(+) zugekauft Grundfutter (inkl. Stroh z. verfüttem), netto			
(+) betr.eigen. verfüt. Kart./Z. Rüben/R. Schnitzel/CCM netto			
(+) Kraftfutter > Menge von 1000 kg je RGVE und Jahr		GF ext.	
Pro Jahr verfügbares Grundfutter auf dem Betrieb	26		
Gesamte verfügbare Grundfuttermenge ( GF verf )		48	
Minus Grundfuttermenge auf Betrieb ( GF verz )		44	
= Grundfutterbilanz für den gesamten Betrieb		21	
		dt TS	Abweichung in %
		21	4.64

Total DGVE = 0.80  
 Düngbare Fläche in ha. = 18.21  
 DGVE/ ha. Düngb. Fläche = 0.04

Ackerfläche: ( OA + KW )	17.15 ha	Fruchtfolge
Grünlandfläche:	1.88 ha	(ist-Werte)
Getreide (gesamt)	8.30 ha	= 48.40 %
Weizen / Koin:	4.87 ha	= 27.23 %
Rüben:	2.25 ha	= 13.12 %
Kartoffeln:	ha	= %
Raps:	1.33 ha	= 7.76 %
Mais:	5.27 ha	= 30.73 %
Proteinerbisen:	ha	= %
Spezialkulturen in der FF:	ha	= %
Kunstpflanze (v. Hand eingeben):	ha	= %
Naturwiese / Wiesen etc.:	1.88 ha	

**Soll-Werte**  
 Ökologische Ausgleichsflächen (min 5% der LN) = 0.95 ha  
 = davon Anteil  
 Grünlandnutzung = Anteil extensiv- / od. wenig intensiv genutzte Wiesen / od. extensive Weiden.  
 (min 5% der Grünlandfläche) = 0.09 ha

# Viehloser Betrieb (E): Fortsetzung

## B: Verfügbare Nährstoffe

Tierart / Tierplatzkategorie	Anzahl Tiere / St. / Tage	Abzug Zu- / Schlag	Anzahl korrig.	GF / Tag	Verzehr / Jahr	Nährstoffanfall je Einheit / Jahr					Nährstoffanfall pro Jahr				herstellung) / kg	Std je Tag	Tage je Jahr	WKA
						N	Nges	P205	K2O	Mg	Nges	P205	K2O	Mg				
<b>Milchkühe: (Jahresmilchmenge eingeben) =</b>																		
-normale Fütterung				13.0		105.0	89.3	35.0	180.0	12.0								
-ad libitum Fütterung				13.0		105.0	89.3	35.0	180.0	12.0								
-Fütterung v. Kart/Röh				13.0		105.0	89.3	35.0	180.0	12.0								
-ad libitum + Kart/Röh				13.0		105.0	89.3	35.0	180.0	12.0								
Aufzucht- 1. Jahr				3.0		26	22	9	50	4								
zucht- 2. Jahr	4	2.00	2.00	6.0	44	42	36	14	75	5	72	28	150	10				
Rinder 3. Jahr				10.0		83	54	21	110	7								
Mutter-/Ammenkühe				12.0		84	71	28	144	10								
Mutterkuhkäber				1.2		18	15	6	22	1.2								
Mastkälberplätze				1.2		12	10	3	6	0.4								
Rindviehmastplätze	Vormast			0.3		8	7	2.5	7	0.8								
> 125 kg				4.5		35	30	17	36	4								
Pferde				0.0		80	51	28	110	8								
Mutterschafe (inkl. Jungtiere)				2.1		16	14	6	29	2								
Milchziegenplätze (inkl. Jungtiere)				2.1		18	15	6	28	1.8								
Mastschweineplätze 25-100 kg						15	12	7	6	1								
Zuchtschweine inkl. Ferkel				0.6		35	28	20	18	3								
Legehennenplätze 100 pl.						71	50	46	25	5								
Mastpouletplätze 100 pl.						40	28	15	13	3								
Grundfutter-Verzehr total pro Jahr, dt TS GF verz						44												
Zwischenwert						72	28	150	10									

Anteil am Nges

Abzug f. pro Jahr auf d. Betrieb verfügb. Menge "extensiv-Fütter"	0	0.60	0.10
Abzug f. die durch Weidenutzung reduz. Wirksamkeit d. N-Anzahl WJKuh		50	

B1	72	28	150	10
----	----	----	-----	----

## B1: Zwischentotal Tierhaltung

Zu- u. Wegfuhr von Nährstoffen	Zu- und Wegfuhr	Nährstoffgehalt je Einheit					Nährstoffmenge je Jahr				
		N	Nges	P205	K2O	Mg	N	Nges	P205	K2O	Mg
Rindergülle	Stück =	38.5	198.0	13.2	115.0	97.8					
Mast-/Schweinegülle	Plätze =	7.0	6.0	1.0	15.0	12.0					
Mastpouletmist	100-P =	15.0	13.0	3.0	40.0	28.0					
Dickstoff	t	1.5	14.0	0.8	2.0						
Klärschlamm	m3	1.2	6.0	0.3	0.3						
Kompost	t	1.5	3.2	4.0	3.5						
Ammonsalpeter	dt	27.5									
Mg-Ammonsalpeter	dt	27.0			2.5						
Harnstoff	dt	46.0									
	dt										
	dt										
Thomasmehl	dt	17.0									
Kali	dt		60.0								
Zukauf von Weizenstroh zum Einstreuen	dt TS	0.24	1.30	0.08							

## B2: Zwischentotal Nährstoffe aus Zu- und Wegfuhr

B2				
----	--	--	--	--

## C: Nährstoffbilanz

"Vollmist" -Aufstallungssysteme Reduziert den N- Aus-nutzungsgrad um 9.91%

LN = 19.03 OA = 17.15 in % zur LN 88.1%

N <sub>ges</sub> = N <sub>ext</sub> : 60 bis 40 %	Gesamtbetrieb								je ha Düngbare Fläche (DF)			
	N ges	Nvert	P205	K2O	Mg	N ges	Nvert	P205	K2O	Mg		
Verfügbare Nährstoffe Tiere (B1)	72	43	28	150	10	4	2	2	8	1		
(-) Gesamtnährstoffbedarf (A)	2430	100	1343	100	1510	100	286	100	133	74	83	16
Zwischenbilanz: (-B1 - A)	-2387	2	-1315	2	-1360	10	-286	-3	-131	-72	-75	-16
Eigenversorgung Betrieb												
(+) Nährstoffe Zu-/Wegfuhr (B2)												
Gesamtbilanz (=B1 + B2)	2387	2	1315	2	1360	10	286	3	131	72	75	16
Alle Nährstoffe des Betriebs												
Anteil DF an der LN	96 %	> erhöht die Toleranzbreite bei der N- und P-Bilanz um									kg/ha	
P- Einsatz im Gemüsebau ausschließlich in Form von Hofdüngem und/oder Kompost (Korrektur = von Hand eingeben)											kg/ha	
Maximale Toleranzbreite für N und P205 je ha DF für diesen Betrieb (gemäss IP/ Bio-Weisungen)											13.3 10.0 kg/ha	

### 3 Gemischtwirtschaftlicher Betrieb (F)

## Gesamtbetrieblicher Nährstoffhaushalt

LBL Auflage 5:0

Betriebs Nr.: \_\_\_\_\_  
 Name: **Betrieb F** Zone: \_\_\_\_\_ Düngbare Fläche in ha. **29.95**  
 Adresse: \_\_\_\_\_ Höhe ü.M.: \_\_\_\_\_ m  
 PLZ, Ort: \_\_\_\_\_ Kontrolle LN in ha. **30.21**  
 Tel.: \_\_\_\_\_ Jahr: **1995** LN in ha. **30.21**

#### A: Nährstoffbedarf der Kulturen

Bedarf der Ackerkulturen	Standard Ertrag	Fläche ha	Ertrag dt/ha	Menge dt total	N-Bedarf kg/ha	Nährstoffbedarf, kg/dt (ha)				Nährstoffbedarf, kg/Jahr			
						N	P2O5	K2O	Mg	N	P2O5	K2O	Mg
Winterweizen (ohne Stroh) (80 dt Kö)	6.06	63	382		7.40	1.00	0.90	0.17	916	192	344	65	
Wintergerste (ohne Stroh) (80 dt Kö)	6.96	74	515		1.80	1.05	0.85	0.19	879	541	438	98	
Winterroggen (ohne Stroh) (55 dt Kö)													
Hafer (ohne Stroh) (55 dt Kö)													
Raps (ohne Stroh) (35 dt Kö)													
Körnermais (80 dt Kö)													
Kartoffeln (Speise/Futter/tech. Ver. (450 dt Kn)	2.59	480	1191		0.23	0.17	0.50	0.04	274	203	596	48	
Saat- und Frühkartoffeln (250 dt Kn)	4.06	300	1218		0.36	0.20	0.60	0.04	426	244	731	49	
Zuckerrüben (ohne Blatt) (800 dt Rü)													
Proteinerbse (50 dt Kö)													
Gründüngung (nur Nichtleguminosen)													
Ökologische Ausgleichsfl. auf d. LN, ohne Futterertrag mit Düngerverbot (inkl. Streufläche, Grünbrache)	0.26												
Weggeführtes Weizenstroh, 85% TS		60				0.24	1.30	0.08					
Weggeführtes Rübenblatt, 15% TS		60				0.53	3.60	0.47					
<b>A1: Zwischentotal Ackerkulturen</b>	<b>19.67</b>								<b>A1:</b>	<b>2595</b>	<b>1369</b>	<b>2108</b>	<b>259</b>

Bedarf der Spezialkulturen	Fläche ha	Normdüngungsfaktor			Nährstoffbedarf, kg/dt (ha)				Nährstoffbedarf, kg/Jahr			
		P	K	Mg	N	P2O5	K2O	Mg	N	P2O5	K2O	Mg
Obstanlage		1	1	1	50	20	80	10				
Gemüse - Total v. Zusatzformular - manuell einsetzen												

#### A2: Zwischentotal Spezialkulturen

davon Fläche Gemüse (FG) \_\_\_\_\_ % FG als Anteil an DF

Bedarf für Grundfutter	Standard Ertrag	Fläche ha	Ertrag dt/ha	Menge dt total	N-Bedarf kg/ha	Nährstoffbedarf, kg/dt (ha)				Nährstoffbedarf, kg/Jahr				
						N	P2O5	K2O	Mg	N	P2O5	K2O	Mg	
Extensive Wiesen auf Dauergrünfläche (10-40)														
Extensive Wiesen auf stillgelegtem Ackerland														
Übrige Wiesen mit Düngerverbot														
Extensive Weiden und Waldweiden (10-30)						0.50	0.50	1.20	0.20					
Wenig intensive Wiesen u. Weiden (1-3Nutz (25-6	0.73	35	26			0.60	0.60	1.50	0.25	16	15	38	6	
Mittelintensive Wiesen und Weiden 1-4 Nutzungen (35-100)	3.18	65	207			1.00	0.70	2.00	0.25	207	145	413	52	
Intensive Wiesen und Weiden 2-6 Nutzungen (55-135)	6.37	120	764			1.20	0.80	2.40	0.25	917	612	1835	191	
Zwischenfutter und / oder Aegyteln 1-2 Schnitte (25-5	8.90	31	276			1.20	0.80	2.40	0.25	331	221	662	69	
Silomais (180 dt TS)		140			110	0.59	1.41	0.13						
Futterrüben (ohne Kraut) (160 dt TS)					100	0.49	0.75	0.15						
Betr.eigenes, verfüt. Weizenstroh 85% TS		84				0.24	1.30	0.08						
Betr.eigenes, verfüt. Rübenblatt 15% TS		75				0.53	3.60	0.47						
<b>A3: Zwischentotal Grundfutter</b>	<b>30.28</b>			<b>1273</b>	Total dt. TS = GFprod.					<b>A3:</b>	<b>1470</b>	<b>992</b>	<b>2948</b>	<b>318</b>
<b>A = A1 + A2 + A3 = Gesamttotal Nährstoffbedarf Betrieb</b>										<b>A:</b>	<b>4065</b>	<b>2361</b>	<b>5056</b>	<b>577</b>

#### Kontrollrechnung zur Grundfutterproduktion

Gesamter Grundfutter-Feldertrag Betrieb = GFprod. (A2)	dt. TS	Normal	Extensiv
Aufgeteilt in normales Futter und "extensiv"-Futter	1273	1247	26
(-) Lagerungs- und Krüpperverluste (5% von A2)	62		
(-) verkauftes Grundfutter, netto			
(+) zugekauftes Grundfutter (inkl. Stroh z. verfüttem), netto	32		
(+) betr.eigenes, verfüt. Kart./Z. Rüben/R. Schnitzel/CCM netto	15		
(+) Kraftfutter > Menge von 1000 kg je RGVE und Jahr			GF ext.
Pro Jahr verfügbares Grundfutter auf dem Betrieb	1232		24
Gesamte verfügbare Grundfuttermenge (GF verf.)	1232		
Minus Grundfutterverzehr auf Betrieb (GF verz.)	1189		
= Grundfutterbilanz für den gesamten Betrieb	57		

Total DGVE = 29.29  
 Düngbare Fläche in ha. = 29.95  
 DGVE/ha. Düngb. Fläche = 0.98

Abweichung in %  
 dt TS 4.56

Ackerfläche: (OA + KW)	26.04 ha	Fruchtfolge
Grün/ndfläche:	10.28 ha	(ist-Werte)
Getreide (gesamthft)	13.02 ha = 50.00 %	
Weizen / Korn:	6.06 ha = 23.27 %	
Rüben:	ha = %	
Kartoffeln:	6.65 ha = 25.54 %	
Raps:	ha = %	
Maïs:	ha = %	
Proteinerbse:	ha = %	
Spezialkulturen in der FF:	ha = %	
Kunstwiese: (v. Hand eingeben)	6.37 ha = 24.46 %	
Naturwiese / Wiesen etc.:	3.91 ha.	

**Soll-Werte**  
 Ökologische Ausgleichsflächen (min 5% der LN) = **1.51 ha**  
 = „davon“ Anteil  
 Grünlandnutzung = Anteil extensiv- / od. wenig intensiv genutzte Wiesen / od. extensive Weiden. (min 5% der Grünlandfläche) = **0.61 ha**

# Gemischtwirtschaftlicher Betrieb (F): Fortsetzung

## B: Verfügbare Nährstoffe

Tierart / Tierplatzkategorie	Anzahl Tiere / Plätze	Abzug Zu- / Schlag	Anzahl korrig.	GF-Verzehr / kg TS	Nährstoffanfall je Einheit / Jahr				Nährstoffanfall pro Jahr					
					Nfert	P205	K20	Mg	Nfert	P205	K20	Mg		
Milchkühe: (Jahresmilchmenge eingeben) =			2200	kg Milch										
-normale Fütterung				15,3	117,0	39,2	###	13,4						
-ad libitum Fütterung				16,8	117,0	39,2	###	13,4						
-Fütterung v. Kart/Rüb				15,6	117,0	39,2	###	13,4						
-ad libitum + Kart/Rüb	15		15,00	18,8	117,0	39,2	###	13,4	1755	588	3024	202		
Aufzucht- 1. Jahr	5		5,00	3,0	28	9	50	4	130	45	250	20		
2. Jahr	4		4,00	6,0	42	14	75	5	169	58	300	20		
Rinder 3. Jahr	2		2,00	10,0	63	21	110	7	126	42	220	14		
Mutter-/Ammenkühe				12,0	84	28	144	10						
Mutterkuhkübler				1,2	18	6	22	1,2						
Mastküberplätze					12	3	6	0,4						
Rindviehmastplätze Vormast				0,3	8	2,5	7	0,8						
> 125 kg				4,6	35	17	36	4						
Pferde				0,0	60	28	110	8						
Mutterschafe (inkl. Jungtiere)	2		2,00	2,1	17	6	29	2	34	12	56	4		
Milchziegenplätze (inkl. Jungtiere)				2,1	18	6	28	1,8						
Mastschweineplätze 25-100 kg					15	7	6	1						
Zuchtschweine inkl. Ferkel	22		22,00	0,6	35	20	18	3	770	440	396	66		
Legehennenplätze 100 pl.					71	46	25	5						
Mastpouletplätze 100 pl.					40	15	13	3						
Grundfutter-Verzehr total pro Jahr, dt TS GF verz					3199	Zwischenwert				2983	1183	4248	326	

Abzug f. pro Jahr auf d. Betrieb verfügb. Menge "extensiv-Futter"	24	0,80	0,10
Abzug f. die durch Weidenutzung red. Wirksamkeit d. N-Anfalls	(-)		

	15	2		
	445			
<b>B1: Zwischentotal Tierhaltung</b>	2523	1181	4248	326

Zu- u. Wegfuhr von Nährstoffen	Zu- und Wegfuhr (+ / -)	Nährstoffgehalt je Einheit				Nährstoffmenge je Jahr			
		Nfert	P205	K20	Mg	Nfert	P205	K20	Mg
Gülle unverdünnt in m3									
Mist in t									
Rindergülle	Stück	38,5	196,0	13,2	115,0	97,8			
Mast-Schweinegülle	Plätze	7,0	6,0	1,0	15,0	12,0			
Mastpouletmist	100 Pl.	15,0	13,0	3,0	40,0	28,0			
Dickstoff	t	1,5	14,0	0,8	2,0				
Klärschlamm	m3	1,2	6,0	0,3	0,3				
Kompost	t	1,5	3,2	4,0	3,5				
Ammonsalpeter	dt	27,5							
Mg-Ammonsalpeter	dt	27,0			2,5				
Hamstoff	dt	46,0							
Thomasmehl	dt		17,0						
Kali	dt			60,0					
Zukauf von Weizenstroh zum Einstreuen	dt TS	0,24	1,30	0,08					

<b>B2: Zwischentotal Nährstoffe aus Zu- und Wegfuhr</b>				
"Vollmist"-Aufstallungssysteme =				
Reduziert den N-Ausnutzungsgrad um	6,51%			

C: Nährstoffbilanz	N ges	Gesamtbetrieb				je ha Düngbare Fläche (DF)			
		Nfert	P205	K20	Mg	Nfert	P205	K20	Mg
N <sub>ges</sub> = N <sub>verf</sub> * 60 bis 40 %	60,0								
Verfügbare Nährstoffe Tiere (B1)	2523	1514	1181	4248	326	84	39	142	11
(-) Gesamtnährstoffbedarf (A)	4085	100	2361	100	5056	100	577	100	136
Zwischenbilanz: (= B1 - A)	-2561	37	-1180	50	-808	84	-252	56	-85
Eigenversorgung Betrieb									
(+) Nährstoffe Zu-/Wegfuhr (B2)									
Gesamtbilanz (= B1 + A - B2)	2561	37	-1180	50	-808	84	-252	56	-85
Alle Nährstoffe des Betriebes									
Anteil DF an der LN	99 %	> erhöht die Toleranzbreite bei der N- und P-Bilanz um							
P-Einsatz im Gemüsebau-ausschließlich in Form von Hofdüngern und/oder Kompost (Korrektur = von Hand eingeben)		kg/ha							
Maximale Toleranzbreite für N und P205 je ha DF für diesen Betrieb (gemäß IP-/Bio-Weisungen)		13,6 : 10,0 kg/ha							

Kommentar: Stickstoff = -85,2 kg Nfert. je ha düngbare Fläche entspricht den IP-Weisungen  
 Phosphor = -39,4 kg P. je ha düngbare Fläche entspricht den IP-Weisungen.  
 Sofern die unter Zu- und Wegfuhr aufgeführten Düngermengen nicht überschritten werden

# 4 Schweinemastbetrieb (G)

## Gesamtbetrieblicher Nährstoffhaushalt LBL Auflage 5.0

Betriebs Nr.:   
 Name: **Betrieb G** Zone: Düngbare Fläche in ha. **18.52**   
 Adresse: Höhe ü.M.: .. m   
 PLZ, Ort: Kontrolle LN in ha. **18.78**   
 Tel.: Jahr: **1994** LN in ha. **18.52**

### A: Nährstoffbedarf der Kulturen

Bedarf der Ackerkulturen	Standard Ertrag	Fläche ha	Ertrag dt/ha	Menge dt total	N-Bedarf kg/ha	Nährstoffbedarf, kg/dt (ha)				Nährstoffbedarf, kg/Jahr			
						N	P205	K2O	Mg	N	P205	K2O	Mg
Winterweizen ( ohne Stroh )	( 60 dt K6 )	3.65	70	258		2.40	1.00	0.90	0.17	613	256	230	43
Wintergerste ( ohne Stroh )	( 80 dt K6 )	2.00	60	120		3.30	1.05	0.85	0.19	728	126	102	23
Winterroggen ( ohne Stroh )	( 55 dt K6 )												
Hafer ( ohne Stroh )	( 55 dt K6 )	1.27	50	64		1.70	0.90	0.75	0.10	108	67	48	6
Reps ( ohne Stroh )	( 35 dt K6 )	2.00	31	62		3.00	2.10	1.45	0.30	186	130	90	19
Körnermais	( 80 dt K6 )	6.10	100	610		1.40	0.85	1.20	0.18	864	519	732	110
Kartoffeln (Speise/Futter/tech.Ver)	( 450 dt Kn )												
Saat- und Frühkartoffeln	( 250 dt Kn )												
Zuckerrüben ( ohne Blatt )	( 600 dt Rü )	3.50	700	2450		0.12	0.09	0.10	0.04	294	221	245	98
Proteinerbisen	( 50 dt K6 )												
Gründüngung ( nur Nichtleguminosen )													
Ökologische Ausgleichsfl. auf d. LN: ohne Futterertrag mit Düngeverbot (inkl. Streulfläche, Grünbrache)	0.26												
Weggeführten Weizenstroh, 85% TS	3.65	75	274	TS		0.24	1.20	0.08		66	329	22	
Weggeführten Rübenblatt, 15% TS		60				0.53	3.80	0.47					
<b>A1: Zwischentotal Ackerkulturen</b>		<b>18.52</b>								<b>2283</b>	<b>1374</b>	<b>1775</b>	<b>321</b>

Bedarf der Spezialkulturen	Fläche ha	Nomdüngungsfaktor	Nährstoffbedarf, kg/dt (ha)			Nährstoffbedarf, kg/Jahr						
		P	K	Mg	N	P205	K2O	Mg	N	P205	K2O	Mg
Obstanlage		1	1	f	50	20	80	10				
Gemüse - Total v. Zusatzformulär - manual einsetzen												
<b>A2: Zwischentotal Spezialkulturen</b>												

Bedarf für Grundfutter	Standard Ertrag	Fläche ha	Ertrag dt/ha	Menge dt total	N-Bedarf kg/ha	Nährstoffbedarf, kg/dt (ha)				Nährstoffbedarf, kg/Jahr			
						N	P205	K2O	Mg	N	P205	K2O	Mg
Extensive Wiesen auf Dauergrünfläche (10-40)													
Extensive Wiesen auf stillgelegtem Ackerland													
Übrige Wiesen mit Düngeverbot													
Extensive Weiden und Waldweiden (10-30)						0.50	0.50	1.20	0.20				
Wenig intensive Wiesen u. Weiden (1-3 Nutz) (25-85)						0.60	0.60	1.50	0.25				
Mittellintensive Wiesen und Weiden 1-4 Nutzungen (35-100)			90			1.00	0.70	2.00	0.25				
Intensive Wiesen und Weiden 2-8 Nutzungen (55-135)						1.20	0.80	2.40	0.25				
Zwischenfutter und / oder Augstlen 1-2 Schnitte (25-50)						1.20	0.80	2.40	0.25				
Silomais (180 dt TS)			140			1.10	0.59	1.41	0.13				
Futterrüben (ohne Kraut) (180 dt TS)						1.00	0.49	0.75	0.15				
Betr.eigenes, verfütt. Weizenstroh 85% TS			64				0.24	1.30	0.08				
Betr.eigenes, verfütt. Rübenblatt 15% TS			75				0.53	3.60	0.47				
<b>A3: Zwischentotal Grundfutter</b>													
<b>A = A1 + A2 + A3 = Gesamttotal Nährstoffbedarf Betrieb</b>										<b>2283</b>	<b>1374</b>	<b>1775</b>	<b>321</b>

Kontrollrechnung zur Grundfutterproduktion		dt. TS
Gesamter Grundfutter-Feldertrag Betrieb = GFprod. (A2)		
Aufgeteilt in normales Futter und "extensiv"-Futter	Normal	Extensiv
(-) Lagerungs- und Krippenverluste (5% von A2)		
(-) Verkaufte Grundfutter, netto		
(+) zugekauftes Grundfutter (inkl. Stroh z. verfütteten) netto		
(+) betr.eigen. verfütt. Kart./Z.-Rüben/R.Schnitzel/CCM netto	69	
(+/-) Kraftfutter > Menge von 1000 kg je RGVE und Jahr	GF ext	
Pro Jahr verfügbares Grundfutter auf dem Betrieb	69	
Gesamte verfügbare Grundfuttermenge (GF.verf.)	69	
Minus Grundfuttermenge auf Betrieb (GF.verz.)	68	dt TS
= Grundfutterbilanz für den gesamten Betrieb		Abweichung in % 4.78

Total ÖGVE = 47.50  
 Düngbare Fläche in ha. = 18.52  
 ÖGVE/ha. Düngb. Fläche = 2.56

Ackerfläche: ( OA +/- KW )	18.52 ha	Fruchtfolge
Grünlandfläche:	ha	(lit-Werte)
Getreide (gesamthaft)	6.82 ha = 37.37 %	
Weizen / Korn:	3.65 ha = 19.71 %	
Rüben:	3.50 ha = 18.90 %	
Kartoffeln:	ha = %	
Reps:	2.00 ha = 10.80 %	
Malz:	6.10 ha = 32.94 %	
Proteinerbisen:	ha = %	
Spezialkulturen in der FF:	ha = %	
Kunstpflanze (v. Hand einbringen):	ha = %	
Naturwiese / Wiesen etc.:	ha	

**Soll-Werte**

Ökologische Ausgleichsflächen (min 5% der LN) = 0.94 ha  
 = davon Anteil

Grünlandnutzung = Anteil extensiv- / od. wenig intensiv genutzte Wiesen / od. extensive Weiden.  
 (min 5% der Grünlandfläche) = ha

# Schweinemastbetrieb (G): Fortsetzung

## B: Verfügbare Nährstoffe

Tierart / Tierplatzkategorie	Anzahl Tiere / Plätze	Abzug Zu- / schlag	Anzahl korrig.	GF-Verzehr / Tag / Jahr		Nährstoffanfall je Einheit / Jahr				Nährstoffanfall pro Jahr			
				kg-TS	kg-TS	Ntot	P205	K2O	Mg	Ntot	P205	K2O	Mg
Milchkühe (Jahresmilchmenge eingeben) =	6200			15.3		117.0	39.2	###	13.4				
-normale Fütterung				15.3		117.0	39.2	###	13.4				
-ad libitum Fütterung				16.8		117.0	39.2	###	13.4				
-Fütterung v. Kart/Rüb				15.6		117.0	39.2	###	13.4				
-ad libitum + Kart/Rüb				16.8		117.0	39.2	###	13.4				
Aufzucht- 1. Jahr				3.0		26	9	50	4				
2. Jahr				6.0		42	14	75	5				
3. Jahr				10.0		63	21	110	7				
Mutter-/Ammenkühe				12.0		84	28	144	10				
Mutterkuhkälber				1.2		18	6	22	1.2				
Mastkälberplätze						12	3	6	0.4				
Rindviehmastplätze				0.3		8	2.5	7	0.8				
> 125 kg				4.5		35	17	36	4				
Pferde				8.0		60	28	110	8				
Mutterschafe inkl. Jungtiere				2.1		17	6	29	2				
Milchziegenplätze inkl. Jungtiere				2.1		18	6	29	1.8				
Mastschweineplätze 25-100 kg	200		###			15	7	6	1	3000	1400	1200	200
Zuchtschweine inkl. Ferkel	30		30.00	0.6	96	35	20	18	3	1050	600	540	90
Legehennenplätze 100 pl.						71	46	25	5				
Mastpouletplätze 100 pl.						40	15	13	3				
Grundfutter-Verzehr total pro Jahr, dt TS/GF verz				86		Zwischenwert				4050	2000	1740	290

Abzug 1. pro Jahr auf d. Betrieb verfügb. Menge * extensiv-Futter*	0.60	0.10
Abzug 1. die durch Weidenutzung reduz. Wirksamkeit d. N-Anfalls	(-)	

608				
B1	3442	2000	1740	290

## B1: Zwischentotal Tierhaltung

Zu- u. Wegfuhr von Nährstoffen	Zu- und Wegfuhr [+ / -]	Nährstoffgehalt je Einheit				N	Nges	Nährstoffmenge je Jahr			
		Nvert	P205	K2O	Mg			Nvert	P205	K2O	Mg
Rindergülle	8124	38.5	198.0	13.2	115.0	97.8					
Mast-Schweinegülle	124	7.0	6.0	1.0	15.0	12.0					
Mastpouletmist	100 pl.	15.0	13.0	3.0	40.0	28.0					
Dickstoff	t	1.5	14.0	0.8	2.0						
Klärschlamm	m3	1.2	6.0	0.3	0.3						
Kompost	t	1.5	3.2	4.0	3.5						
Ammonsalpeter	dt	27.5									
Mg-Ammonsalpeter	dt	27.0			2.5						
Hamstoff	dt	46.0									
	dt										
Thomasmehl	dt		17.0								
Kali	dt			60.0							
Zukauf von Weizenstroh zum Einstreuen	dt TS	0.24	1.30	0.08							

## B2: Zwischentotal Nährstoffe aus Zu- und Wegfuhr.

"Vollmist" -Aufstallungssysteme =	Reduziert den N- Aus-	
LN = 18.78	OA = 18.52 in % zur LN 98.6%	nutzungsgrad um 9.86%

## C: Nährstoffbilanz

N ges	N ges	Gesamtbetrieb				je ha Düngbare Fläche (DF)				
		Nvert	P205	K2O	Mg	Nges	Nvert	P205	K2O	Mg
60.0	3442	2065	2000	1740	290	186	112	109	94	16
60.0	2283	100	1374	100	1775	100	123	74	96	17
	-218	90	626	146	-35	98	-12	34	-2	-2
Eigenversorgung Betrieb										
(+/-) Nährstoffe Zu-/Wegfuhr (B2)										
	218	90	626	146	-35	98	112	109	94	16
Alle Nährstoffe des Betriebs										
Anteil DF an der LN 99 % > erhöht die Toleranzbreite bei der N- und P-Bilanz um kg/ha										
P-Einsatz im Gemüsebau ausschliesslich in Form von Holdüngern und/oder Kompost (Korrektur = von Hand eingeben) kg/ha										
Maximale Toleranzbreite für N und P205 je ha DF für diesen Betrieb (gemäßes IP-/Bio-Weisungen) 12:3 :10:0 kg/ha										

**Kommentar:** Stickstoff = 11.8 kg Nvert. je ha düngbare Fläche entspricht den IP-Weisungen  
 Phosphor = 33.8 kg P. Überschuss je ha düngbare Fläche IP-Weisungen NICHT ERFÜLLT  
 Sofern die unter Zu- und Wegfuhr aufgeführten Düngermengen nicht überschritten werden

# Anhang C : Schwermetallgehalte und -frachten

## 1 Schwermetallfrachten pro Betrieb und Hektare

### Graswirtschaftsbetrieb (A)

Dünger	Menge	Pb		Cd		Cr		Co	
		[mg]	[%]	[mg]	[%]	[mg]	[%]	[mg]	[%]
Rindervollgülle	[m3] 272	156'672	14.2%	7'589	44.3%	95'472	9.1%	9'792	7.9%
Legehennenkot	[t] 0.4	300	0.0%	42	0.2%	550	0.1%	148	0.1%
Ammonsalpeter	[t] 0.1	235	0.0%	5	0.0%	525	0.1%	535	0.4%
Klärschlamm	[t TS] 1.9	950'000	85.8%	9'500	55.4%	950'000	90.8%	114'000	91.6%
<b>Total</b>		<b>1'107'207</b>		<b>17'136</b>		<b>1'046'547</b>		<b>124'475</b>	
<b>Fracht</b>	<b>[mg/ha]</b>	<b>125'250</b>		<b>1'938</b>		<b>118'388</b>		<b>14'081</b>	

### viehloser Betrieb (E)

Dünger	Menge	Pb		Cd		Cr		Co	
		[mg]	[%]	[mg]	[%]	[mg]	[%]	[mg]	[%]
R-Laufstallmist	[t] 0	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%
R-Vollgülle	[m3] 16	9'216	0.1%	446	0.3%	5'616	0.0%	576	0.0%
Kali 60	[t] 1.5	8'100	0.1%	120	0.1%	1'350	0.0%	3'150	0.2%
Ammonsalpeter	[t] 8.2	19'270	0.1%	410	0.3%	43'050	0.3%	43'870	2.6%
Klärschlamm	[t TS] 27.7	13'850'000	99.7%	138'500	99.3%	13'850'000	99.6%	1'662'000	97.2%
<b>Total</b>		<b>13'886'586</b>		<b>139'476</b>		<b>13'900'016</b>		<b>1'709'596</b>	
<b>Fracht</b>	<b>[mg/ha]</b>	<b>762'580</b>		<b>7'659</b>		<b>763'318</b>		<b>93'882</b>	

### Gemischtwirtschaftlicher Betrieb (F)

Dünger	Menge	Pb		Cd		Cr		Co	
		[mg]	[%]	[mg]	[%]	[mg]	[%]	[mg]	[%]
S-Gülle	[m3] 119	26'180	0.2%	3'094	2.0%	56'049	0.4%	10'710	0.6%
R-Vollgülle	[m3] 381	219'456	1.6%	10'630	7.0%	133'731	1.0%	13'716	0.8%
Schafmist	[t] 5.1	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%
Kali 60	[t] 1.2	6'480	0.0%	96	0.1%	1'080	0.0%	2'520	0.1%
Ammonsalpeter	[t] 8	18'800	0.1%	400	0.3%	42'000	0.3%	42'800	2.5%
Klärschlamm	[t TS] 27.4	13'700'000	98.1%	137'000	90.6%	13'700'000	98.3%	1'644'000	95.9%
<b>Total</b>		<b>13'970'916</b>		<b>151'220</b>		<b>13'932'860</b>		<b>1'713'746</b>	
<b>Fracht</b>	<b>[mg/ha]</b>	<b>466'475</b>		<b>5'049</b>		<b>465'204</b>		<b>57'220</b>	

### Schweinemastbetrieb (G)

Dünger	Menge	Pb		Cd		Cr		Co	
		[mg]	[%]	[mg]	[%]	[mg]	[%]	[mg]	[%]
S-Gülle	[m3] 562	123'640	98.5%	14'612	99.7%	264'702	98.4%	50'580	92.2%
R-Vollgülle	[m3] 0	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%
Kali 60	[t] 0	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%
Ammonsalpeter	[t] 0.8	1'880	1.5%	40	0.3%	4'200	1.6%	4'280	7.8%
Klärschlamm	[t TS] 0	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%
<b>Total</b>		<b>125'520</b>		<b>14'652</b>		<b>268'902</b>		<b>54'860</b>	
<b>Fracht</b>	<b>[mg/ha]</b>	<b>6'778</b>		<b>791</b>		<b>14'520</b>		<b>2'962</b>	

### viehloser Betrieb (E) mit Superphosphat als P-Ergänzungsdüngung

Dünger	Menge	Pb		Cd		Cr		Co	
		[mg]	[%]	[mg]	[%]	[mg]	[%]	[mg]	[%]
Superphosphat	[t] 7.9	869'000	96.0%	79'790	98.8%	513'500	91.1%	15'800	24.9%
R-Vollgülle	[m3] 16	9'216	1.0%	446	0.6%	5'616	1.0%	576	0.9%
Kali 60	[t] 1.5	8'100	0.9%	120	0.1%	1'350	0.2%	3'150	5.0%
Ammonsalpeter	[t] 8.2	19'270	2.1%	410	0.5%	43'050	7.6%	43'870	69.2%
Klärschlamm	[t TS] 0	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%
<b>Total</b>		<b>905'586</b>		<b>80'766</b>		<b>563'516</b>		<b>63'396</b>	
<b>Fracht</b>	<b>[mg/ha]</b>	<b>49'730</b>		<b>4'435</b>		<b>30'945</b>		<b>3'481</b>	

Cu		Mo		Ni		Hg		Zn		P205
[mg]	[%]	[mg]	[%]	[mg]	[%]	[mg]	[%]	[mg]	[%]	[kg]
807'840	41.4%	67'320	63.8%	104'774	40.5%	8'813	48.1%	3'574'080	48.2%	462
4'350	0.2%	199	0.2%	792	0.3%	15	0.1%	35'900	0.5%	4
710	0.0%	25	0.0%	1'300	0.5%	2	0.0%	5'600	0.1%	0
1'140'000	58.4%	38'000	36.0%	152'000	58.7%	9'500	51.8%	3'800'000	51.2%	103
1'952'900		105'544		258'866		18'330		7'415'580		569
220'916		11'939		29'284		2'074		838'867		64

Cu		Mo		Ni		Hg		Zn		P205
[mg]	[%]	[mg]	[%]	[mg]	[%]	[mg]	[%]	[mg]	[%]	[kg]
0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0
47'520	0.3%	3'960	0.7%	6'163	0.3%	518	0.4%	210'240	0.4%	27
7'500	0.0%	375	0.1%	3'300	0.1%	20	0.0%	67'500	0.1%	0
58'220	0.3%	2'050	0.4%	106'600	4.6%	197	0.1%	459'200	0.8%	0
16'620'000	99.3%	554'000	98.9%	2'216'000	95.0%	138'500	99.5%	55'400'000	98.7%	1'496
16'733'240		560'385		2'332'063		139'235		56'136'940		1'523
918'904		30'773		128'065		7'646		3'082'753		84

Cu		Mo		Ni		Hg		Zn		P205
[mg]	[%]	[mg]	[%]	[mg]	[%]	[mg]	[%]	[mg]	[%]	[kg]
1'832'600	9.4%	20'230	3.0%	71'400	2.8%	7'378	4.7%	7'871'850	11.5%	417
1'131'570	5.8%	94'298	14.2%	146'761	5.8%	12'344	7.9%	5'006'340	7.3%	648
0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	13
6'000	0.0%	300	0.0%	2'640	0.1%	16	0.0%	54'000	0.1%	0
56'800	0.3%	2'000	0.3%	104'000	4.1%	192	0.1%	448'000	0.7%	0
16'440'000	84.5%	548'000	82.4%	2'192'000	87.1%	137'000	87.3%	54'800'000	80.4%	1'480
19'466'970		664'828		2'516'801		156'930		68'180'190		2'557
649'982		22'198		84'033		5'240		2'276'467		85

Cu		Mo		Ni		Hg		Zn		P205
[mg]	[%]	[mg]	[%]	[mg]	[%]	[mg]	[%]	[mg]	[%]	[kg]
8'654'800	99.9%	95'540	99.8%	337'200	97.0%	34'844	99.9%	37'176'300	99.9%	1'967
0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0
0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0
5'680	0.1%	200	0.2%	10'400	3.0%	19	0.1%	44'800	0.1%	0
0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0
8'660'480		95'740		347'600		34'863		37'221'100		1'967
467'629		5'170		18'769		1'882		2'009'779		106

Cu		Mo		Ni		Hg		Zn		P205
[mg]	[%]	[mg]	[%]	[mg]	[%]	[mg]	[%]	[mg]	[%]	[kg]
181'700	61.6%	29'230	82.1%	158'000	57.7%	292	28.5%	1'279'800	63.5%	1'501
47'520	16.1%	3'960	11.1%	6'163	2.2%	518	50.5%	210'240	10.4%	27
7'500	2.5%	375	1.1%	3'300	1.2%	20	1.9%	67'500	3.3%	0
58'220	19.7%	2'050	5.8%	106'600	38.9%	197	19.2%	459'200	22.8%	0
0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0
294'940		35'615		274'063		1'027		2'016'740		1'528
16'197		1'956		15'050		56		110'749		84

## Fortsetzung: Schwermetallfrachten pro Betrieb und Hektare

viehloser Betrieb (E) mit Thomasphosphat als P-Ergänzungsdüngung

Dünger	Menge	Pb		Cd		Cr		Co	
		[mg]	[%]	[mg]	[%]	[mg]	[%]	[mg]	[%]
Thomasphosphat [t]	10	117'000	76.2%	2'000	67.2%	19'530'000	99.7%	590'000	92.5%
R-Vollgülle [m <sup>3</sup> ]	16	9'216	6.0%	446	15.0%	5'616	0.0%	576	0.1%
Kali 60 [t]	1.5	8'100	5.3%	120	4.0%	1'350	0.0%	3'150	0.5%
Ammonsalpeter [t]	8.2	19'270	12.5%	410	13.8%	43'050	0.2%	43'870	6.9%
Klärschlamm [t TS]		0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%
<b>Total:</b>		<b>153'586</b>		<b>2'976</b>		<b>19'580'016</b>		<b>637'596</b>	
<b>Fracht</b> [mg/ha]		<b>8'434</b>		<b>163</b>		<b>1'075'234</b>		<b>35'014</b>	

viehloser Betrieb (E) mit Triple Super als P-Ergänzungsdüngung

Dünger	Menge	Pb		Cd		Cr		Co	
		[mg]	[%]	[mg]	[%]	[mg]	[%]	[mg]	[%]
Triple Super [t]	3.25	11'375	23.7%	178'750	99.5%	848'250	94.4%	6'500	12.0%
R-Vollgülle [m <sup>3</sup> ]	16	9'216	19.2%	446	0.2%	5'616	0.6%	576	1.1%
Kali 60 [t]	1.5	8'100	16.9%	120	0.1%	1'350	0.2%	3'150	5.8%
Ammonsalpeter [t]	8.2	19'270	40.2%	410	0.2%	43'050	4.8%	43'870	81.1%
Klärschlamm [t TS]		0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%
<b>Total</b>		<b>47'961</b>		<b>179'726</b>		<b>898'266</b>		<b>54'096</b>	
<b>Fracht</b> [mg/ha]		<b>2'634</b>		<b>9'870</b>		<b>49'328</b>		<b>2'971</b>	

Cu		Mo		Ni		Hg		Zn		P2O5
[mg]	[%]	[mg]	[%]	[mg]	[%]	[mg]	[%]	[mg]	[%]	[kg]
400'000	77.9%	78'000	92.4%	200'000	63.3%	120	14.0%	680'000	48.0%	1'500
47'520	9.3%	3'960	4.7%	6'163	1.9%	518	60.7%	210'240	14.8%	27
7'500	1.5%	375	0.4%	3'300	1.0%	20	2.3%	67'500	4.8%	0
58'220	11.3%	2'050	2.4%	106'600	33.7%	197	23.0%	459'200	32.4%	0
0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0
513'240		84'385		316'063		855		1'416'940		1'527
28'185		4'634		17'357		47		77'811		84

Cu		Mo		Ni		Hg		Zn		P2O5
[mg]	[%]	[mg]	[%]	[mg]	[%]	[mg]	[%]	[mg]	[%]	[kg]
146'250	56.4%	10'400	62.0%	143'000	55.2%	72	8.9%	971'750	56.9%	1'495
47'520	18.3%	3'960	23.6%	6'163	2.4%	518	64.3%	210'240	12.3%	27
7'500	2.9%	375	2.2%	3'300	1.3%	20	2.4%	67'500	4.0%	0
58'220	22.4%	2'050	12.2%	106'600	41.1%	197	24.4%	459'200	26.9%	0
0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0
259'490		16'785		259'063		806		1'708'690		1'522
14'250		922		14'226		44		93'833		84

## 2 Schwermetallgehalte der verwendeten Dünger

Dünger	Pb	Cd	Cr	Co	Cu	Mo	Ni	Hg	Zn	P2O5
	[ppm]									[g/kg]
Ammonsalpeter	2.35	0.05	5.25	5.35	7.1	0.25	13	0.024	56	0
Harnstoff	1.06	0.05	0.7	2	5.5	0.25	2	0.01	45	0
Kali 60 %	5.4	0.08	0.9	2.1	5	0.25	2.2	0.013	45	0.0
Mg-Ammonsalpeter	1	0.1	1.4	5.6	13	2	5	0.02	1	0.0
Superphosphat	110	10.1	65	2	23	3.7	20	0.037	162	190.0
Thomasphosphat	11.7	0.2	1953	59	40	7.8	20	0.012	68	150.0
Triple Super	3.5	55	261	2	45	3.2	44	0.022	299	460.0
Legehennenkot 25%	0.75	0.105	1.375	0.37	10.875	0.4975	1.98	0.0375	89.75	11.0
R-Laufstallmist	1.6	0.058	0.78	0.08	7.7	0.55	0.86	0.072	34	2.8
R-Vollgülle 9%	0.576	0.0279	0.351	0.036	2.97	0.2475	0.3852	0.0324	13.14	1.7
S-Gülle 7%	0.22	0.026	0.471	0.09	15.4	0.17	0.6	0.062	66.15	3.5
Schafmist				keine Angaben						2.5
Klärschlamm	500	5	500	60	600	20	80	5	2000	54.0

QUELLEN: GSPÖNER 1990, MENZI 1991 UND FAP/RAC/FAC 1994