

Forschungsbericht FZKA-BWPLUS

**Überprüfung der Nachhaltigkeit
landwirtschaftlicher Bodennutzung in der Region Stuttgart
mit Hilfe einer Schwermetallbilanz**

Projektbearbeitung:
Barbara Malburg-Graf
Projektleitung:
Wolf Dieter Blümel

Institut für Geographie der Universität Stuttgart

Förderkennzeichen: PW 98 202

Die Arbeiten des Programms Lebensgrundlage Umwelt und ihre Sicherung werden mit Mitteln des Landes Baden-Württemberg gefördert

Februar 2002

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung und Zielsetzung	1
2. Nachhaltige Bodennutzung und Schwermetalleinträge in der Landwirtschaft	3
3. Untersuchungskonzeption und Methodik im Überblick	11
4. Untersuchungsgebiet: Die Landkreise Göppingen und Ludwigsburg	15
5. Ergebnisse, Bewertung und Empfehlungen (Kurzfassung)	19
6. Ergebnisse: Die Schwermetallbilanz auf Makro- und Mikroebene	33
6.1 Methodik und Ergebnisse auf der Makroebene (Landkreise)	34
6.1.1 Schwermetalleinträge aus Klärschlamm	34
6.1.2 Schwermetalleinträge aus Wirtschafts- und Handelsdünger	42
6.1.2.1 Betriebe mit Tierhaltung	44
6.1.2.2 Betriebe ohne Tierhaltung	55
6.1.3 Sonstige Einträge: Kompost und atmosphärische Deposition	58
6.2 Methodik und Ergebnisse auf der Mikroebene (Untersuchungsflächen)	59
6.2.1 Zur Flächenauswahl	59
6.2.2 Feststellung des Bodenzustandes	60
6.2.3 Quantifizierung der Schwermetalleinträge	61
6.2.4 Quantifizierung der Schwermetallausträge	63
6.2.5 Erstellung der Schwermetallbilanz	69
6.2.6 Die Teiluntersuchungsgebiete in den Landkreisen Göppingen und Ludwigsburg	69
6.2.7 Ergebnisse: Schwermetallbilanz der Flächen in den Teiluntersuchungsgebieten	71
6.2.8 Ergebnisse: Quellen der Schwermetalleinträge in den Teiluntersuchungsgebieten	80
7. Zusammenfassung	97
Literaturverzeichnis	99
Tabellenanhang A1 – A49	104

Abbildungsverzeichnis

1. Nachhaltigkeit in der Landwirtschaft	3
2. Schwermetalleinträge und Schwermetallausträge bei landwirtschaftlich genutzten Böden	4
3. Schaubild der Gesamtkonzeption der Untersuchung	11
4. Flächennutzung in den Landkreisen Göppingen und Ludwigsburg	15
5. Acker- und Dauergrünlandfläche in den Landkreisen Göppingen und Ludwigsburg 1991, 1995 und 1999	16
6. Gesamte im Landkreis Göppingen anfallende Klärschlamm-Menge	37
7. Auf landwirtschaftlichen Flächen im LK GP 1993 bis 1999 verwerteter Klärschlamm	37
8. Anteil der auf landwirtschaftlichen Flächen im LK LB verwerteten Klärschlamm-Trockensubstanz	38
9. Mittlerer Cadmium-Eintrag im Landkreis GP (Klärschlamm)	39
10. Mittlerer Zink-Eintrag im Landkreis GP (Klärschlamm)	40
11. Cadmium-Eintrag aus Klärschlamm in die landwirtschaftlich genutzten Böden im Landkreis LB	41
12. Zink-Eintrag aus Klärschlamm in die landwirtschaftlich genutzten Böden im Landkreis LB	42
13. Berechnung der Schwermetalleinträge aus Wirtschafts- und Handels-Dünger für Betriebe mit und ohne Tierhaltung	43
14. Cadmium-Einträge nach Variante 1 (nach dem GV-Besatz/ha)	49
15. Zink-Einträge nach Variante 1 (nach dem GV-Besatz/ha)	49
16. Cadmium-Einträge nach Variante 2 (Obergrenzen der Düngeverordnung)	52
17. Zink-Einträge nach Variante 2 (Obergrenzen der Düngeverordnung)	53
18. Landwirtschaftlich genutzte Fläche in den Landkreisen GP und LB mit Ausbringung von Wirtschaftsdünger nach Variante 2	53
19. Cadmium-Eintrag bei Anbau verschiedener Feldfrüchte nach Variante 6 (Verwendung von NPK-Dünger nach dem P-Bedarf)	57
20. Zink-Eintrag bei Anbau verschiedener Feldfrüchte nach Variante 6 (Verwendung von NPK-Dünger nach dem P-Bedarf)	57
21. Transferfaktoren für Cadmium im Weizenkorn	66
22. Transferfaktoren für Zink im Weizenkorn	67
23. Cadmium-Einträge aus NPK-Dünger und KAS bei Fläche A11 (LB)	81
24. Cadmium-Einträge aus allen Düngemitteln bei Fläche A14 (LB)	82
25. Zink-Einträge aus allen Düngemitteln bei Fläche A15 (LB)	84

26. Cadmium-Einträge aus allen Düngemitteln bei Fläche A3 (GP)	85
27. Zink-Einträge aus allen Düngemitteln bei Fläche A3 (GP)	86
28. Zink-Einträge aus allen Düngemitteln bei Fläche A8 (LB)	87
29. Zink-Einträge aus allen Düngemitteln bei Fläche A9 (LB)	88
30. Zink-Einträge aus allen Düngemitteln bei Fläche A10 (LB)	88
31. Cadmium-Einträge aus allen Düngemitteln bei Fläche A4 (GP)	89
32. Zink-Einträge aus allen Düngemitteln bei Fläche A4 (GP)	90
33. Cadmium-Einträge aus allen Düngemitteln bei Fläche A1 (GP)	91
34. Zink-Einträge aus allen Düngemitteln bei Fläche A1(GP)	92
35. Cadmium-Einträge aus allen Düngemitteln bei Fläche A6 (GP)	92
36. Zink-Einträge aus allen Düngemitteln bei Fläche A6 (GP)	93
37. Cadmium-Einträge aus allen Düngemitteln bei Fläche G2 (GP)	94
38. Zink-Einträge aus allen Düngemitteln bei Fläche G2 (GP)	94
39. Cadmium-Einträge aus allen Düngemitteln bei Fläche G5 (GP)	95
40. Zink-Einträge aus allen Düngemitteln bei Fläche G5 (GP)	96

Tabellenverzeichnis

1. Zur Berechnung der Schwermetalleinträge herangezogene Mittelwerte der Schwermetallgehalte von Düngemitteln	6
2. Mittlere Schwermetallgehalte in Bioabfällen und Wirtschaftsdüngern	6
3. Mittlere Schwermetallgehalte in Düngemitteln	6
4. Cadmium- und Zinkgehalte von Ackerflächen in den beiden Landkreisen	17
5. Mittlere Cadmium- und Zinkeinträge aus Klärschlamm in den Landkreisen	20
6. Variante 1: Betriebe mit Tierhaltung, Einträge aus Wirtschaftsdünger	20
7. Variante 2: Betriebe mit Tierhaltung, Einträge aus Wirtschaftsdünger	21
8. Variante 6: Betriebe ohne Tierhaltung, Einträge aus Handelsdünger	22
9. Klärschlamm-Mengen und Flächen mit Klärschlamm in den Landkreisen	36
10. Schwermetallgehalte der Klärschlämme im Landkreis Ludwigsburg	40
11. Acker- und Dauergrünlandflächen der tierhaltenden Betriebe in den Landkreisen GP und LB	45
12. Großvieheinheiten, Wirtschaftsdüngermengen, N-Gehalte der Wirtschaftsdünger und Flächen der tierhaltenden Betriebe in den Landkreisen	46
13. Phosphat-Bedarf der Feldfrüchte in den Landkreisen und im Wirtschaftsdünger zur Verfügung stehende P-Menge	54

14. Nährstoffangebot des Wirtschaftsdüngers und Nährstoffbedarf der Feldfrüchte in den Landkreisen GP und LB	55
15. Gesamte Acker- und Grünlandfläche in den beiden Landkreisen sowie Acker- und Grünland der Betriebe mit und ohne Tierhaltung	55
16. Transferfaktoren für Cadmium und Zink bei Weizenkorn nach pH-Werten	65
17. Cadmium- und Zinkgehalte der Böden im TUG GP und im TUG LB	72
18. pH-Werte und Zinkgehalte, Zink-Einträge und Zink-Austräge von 3 Ackerflächen von Betrieben ohne Tierhaltung im TUG LB	73
19. pH-Werte und Zinkgehalte, Zink-Einträge und Zink-Austräge von 12 Ackerflächen von Betrieben mit Tierhaltung im TUG GP und im TUG LB	74
20. Cadmiumgehalte, Cadmium-Einträge und Cadmium-Austräge von 3 Ackerflächen von Betrieben ohne Tierhaltung im TUG LB	75
21. Cadmiumgehalte, Cadmium-Einträge und Cadmium-Austräge von 12 Ackerflächen von Betrieben mit Tierhaltung im TUG GP und im TUG LB	76
22. pH-Werte, Cadmiumgehalte und Cadmium-Einträge von 5 Grünlandflächen im TUG GP	77
23. pH-Werte, Zinkgehalte und Zink-Einträge von 5 Grünlandflächen im TUG GP	78
24. Auf den untersuchten Flächen der tierhaltenden Betriebe aufgebrauchte Wirtschaftsdüngermengen	83

1 Einleitung und Zielsetzung

Die vorliegende Untersuchung verfolgt das Ziel, eine Bewertung der derzeitigen Nutzung landwirtschaftlicher Böden in der Region Stuttgart hinsichtlich der Einträge an Schwermetallen vor dem Hintergrund des Prinzips der Nachhaltigkeit vorzunehmen. Im Jahre 1987 veröffentlichte eine Arbeitsgruppe der Vereinten Nationen unter Gro Harlem Brundtland einen Bericht, in dem „nachhaltige Entwicklung“ als Eckpfeiler einer für die heutigen Generationen und für die Nachwelt beispielhaften Politik genannt und erläutert wurde (KASTENHOLZ, ERDMANN & WOLFF 1996). Nachhaltige Entwicklung wurde definiert als eine Entwicklung, die die Bedürfnisse der Gegenwart befriedigt, ohne die Chancen künftiger Generationen zu schmälern, ihre Entwicklungsziele erreichen zu können (QUENNET-THIELEN 1996).

Zur Beurteilung der Nachhaltigkeit landwirtschaftlicher Bodennutzung muss eine Reihe unterschiedlicher Indikatoren herangezogen werden, zu denen unter anderem die Schadstoffbelastung der Böden gehört. Derzeitige administrative und juristische Instrumente des Bodenschutzes, der Landwirtschaft und der Abfallwirtschaft werden dem Ziel nachhaltiger Bodennutzung bisher noch sehr unzureichend gerecht, da vor allem der aktuelle Bodenzustand und zu wenig die Schadstoffeinträge in die Böden als Bewertungsgrundlage herangezogen werden. Das Prinzip der Nachhaltigkeit beinhaltet jedoch die Berücksichtigung der Auswirkungen heutiger Wirtschaftsweisen auf den zukünftigen Zustand der Geoökosphäre. Die jetzigen Rahmenbedingungen lassen Schwermetalleinträg in die Böden kontinuierlich zu. Die vorliegende Untersuchung überprüft, ob dem Prinzip der Nachhaltigkeit hinsichtlich des derzeitigen Umgangs mit schwermetallhaltigen Stoffen in der Landwirtschaft in der Region Stuttgart Rechnung getragen wird bzw. werden kann.

Folgende Teilziele sollten erreicht werden:

- Erfassung der Schwermetalleinträge in die Böden und der Schwermetallausträge aus den Böden des Untersuchungsgebietes
- Ermittlung einer Schwermetallbilanz aus den Daten zu Einträgen, Austrägen und zum Bodenzustand
- Aussagen über die Entwicklung der Schwermetallgehalte der Böden vor dem Hintergrund der Schwermetallbilanz
- Bewertung der Nachhaltigkeit der Bodennutzung vor dem Hintergrund der Schwermetallbilanz
- Formulierung von Empfehlungen zur nachhaltigen Bodennutzung in Bezug auf Schwermetallflüsse in der Landwirtschaft

Der vorliegende Abschlussbericht dokumentiert die Methodik, die Ergebnisse sowie die zum jetzigen Zeitpunkt möglichen Bewertungen und Empfehlungen mit dem Stand Februar 2002. Ein endgültiger Abschluss der Auswertungs- und Bewertungsarbeiten wird mit der Dissertation (MALBURG-GRAF 2002) vorgelegt.

2 Nachhaltige Bodennutzung und Schwermetalleinträge in der Landwirtschaft

Nachhaltige Entwicklung in der Landwirtschaft

Der Begriff „Nachhaltigkeit“ wurde schon an der Wende vom 18. zum 19. Jahrhundert in der Forstwirtschaft eingeführt (FLAIG, LINCKH & SPRICH 1998). Zu einem populären Schlagwort für Lösungsansätze globaler Umwelt- und Entwicklungsprobleme entwickelte er sich, als er 1987 als Leitmotiv im Report der Weltkommission für Umwelt und Entwicklung (Brundtland-Report) verwendet wurde, spätestens aber seit der Konferenz für Umwelt und Entwicklung in Rio de Janeiro 1992. Das forstwirtschaftliche Prinzip der Nachhaltigkeit wurde auf den Umgang der Menschen mit ihrer gesamten Umwelt übertragen. Das Leitbild der Nachhaltigkeit beinhaltet, ökologische, ökonomische und soziale Ziele im Sinne der Erhaltung der Lebensgrundlagen für jetzt lebende und kommende Generationen miteinander in Einklang zu bringen. Dahinter steht die Einsicht, dass ein schonender Umgang mit den vorhandenen Ressourcen nur bei Beachtung der sozialen und ökonomischen Rahmenbedingungen durchsetzbar sein kann.

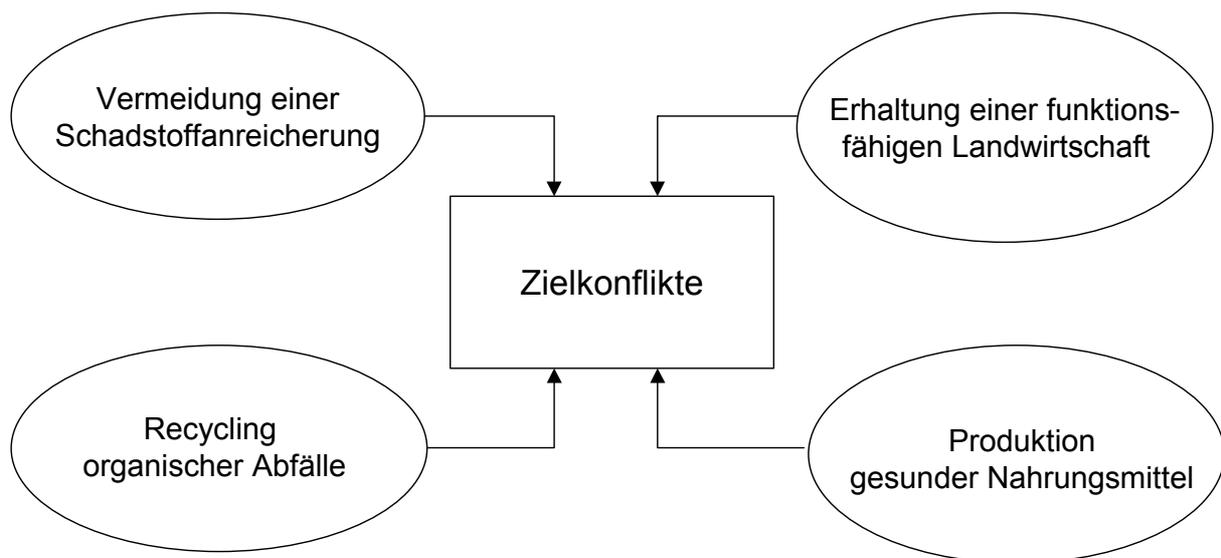


Abbildung 1: Nachhaltigkeit in der Landwirtschaft

Dies gilt in besonderer Weise auch für die Landwirtschaft. Abbildung 1 nennt einige der wichtigsten Ziele und Ansprüche, die im Sinne einer nachhaltigen Entwicklung in der Landwirtschaft erreicht werden sollen.

In Baden-Württemberg waren 1996 48% der Gesamtfläche landwirtschaftlich genutzt (FLAIG, LINCKH & SPRICH 1998). Selbst im Verdichtungsraum Region Stuttgart sind es 1997 47,5 % (STALA BADEN-WÜRTEMBERG 1999). Die Landwirtschaft hat ähnlich wie die Forstwirtschaft eine große Bedeutung hinsichtlich des Umgangs mit den natürlichen Ressourcen.

Ressourcennutzung bedeutet hier in erster Linie Bodennutzung. Eine langfristig ertragreiche Landwirtschaft ist abhängig von einem guten Bodenzustand, wodurch ein schonender Umgang mit der Ressource Boden auch im ökonomischen Interesse eines landwirtschaftlichen Betriebes liegt. Nichts desto trotz sind in den letzten 50 Jahren Beeinträchtigungen der Umwelt durch die industrialisierte Agrarproduktion zu verzeichnen. Der Verwirklichung des Leitbildes einer nachhaltigen Bodennutzung steht ein zunehmender Konkurrenzdruck für landwirtschaftliche Produkte auf dem europäischen und dem Weltmarkt und dadurch ein Zwang zu intensivierter Pflanzen- und Tierproduktion entgegen.

Bodenerosion, Bodenverdichtung, Eutrophierung und Schadstoffeinträge sind durch landwirtschaftliche Bodennutzung hervorgerufenen Prozesse. Dadurch wurde und wird die nicht erneuerbare Ressource Boden als Produktionsgrundlage der Landwirtschaft zunehmend geschädigt. Nach den Grundsätzen einer nachhaltigen Entwicklung ist Boden kein substituierbarer Produktionsfaktor, sondern ein komplexes, nicht ersetzbares Ökosystem, dessen Selbstregulationsfähigkeit erhalten werden muss (LERCH 1997).

Schwermetallbilanz für landwirtschaftlich genutzte Böden

In Abbildung 2 sind die wesentlichen Pfade für Schwermetallein- und Austräge in die Böden bzw. aus den Böden von landwirtschaftlichen Ökosystemen zusammengestellt.

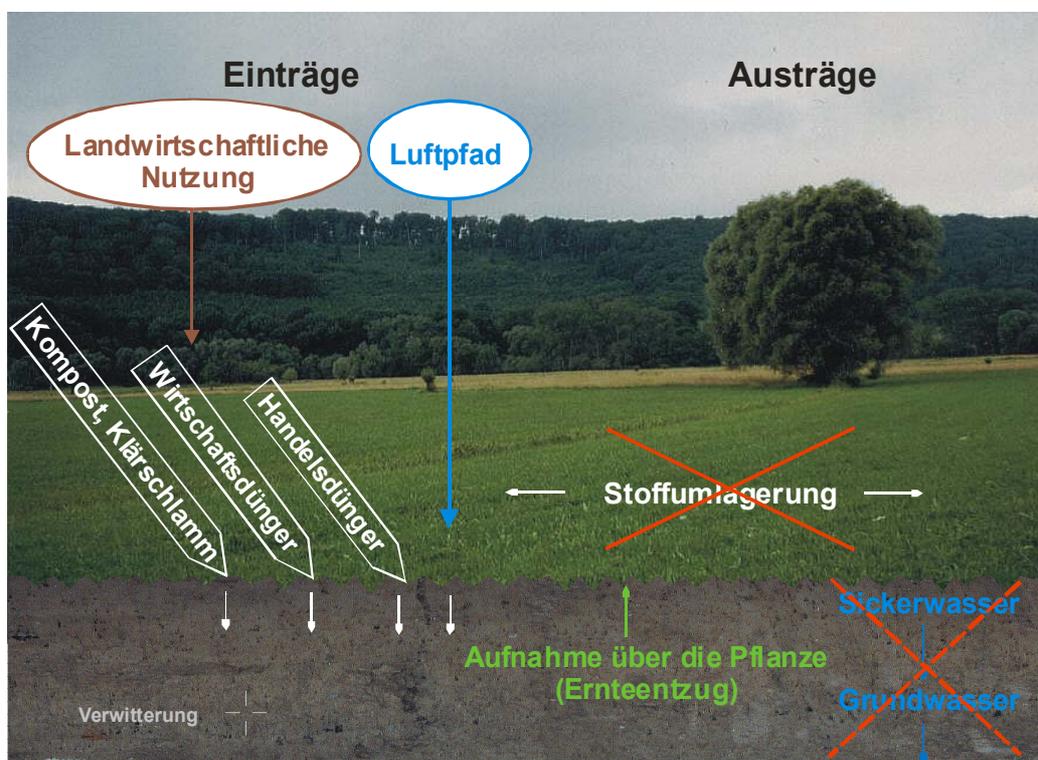


Abbildung 2: Schwermetalleinträge und Schwermetallausträge bei landwirtschaftlich genutzten Böden

Die Graphik weist darauf hin, dass die Stoffumlagerung in der vorliegenden Untersuchung aufgrund der Komplexität des Sachverhalts nicht betrachtet werden kann. Der Austragspfad Sickerwasser ist insofern Untersuchungsgegenstand, als es um die Austräge mit dem Sickerwasser aus dem Oberboden geht.

Wirtschaftsdünger, das sind Flüssigmist (Gülle) und Festmist, gehören zum internen Stoffkreislauf eines landwirtschaftlichen Betriebes und enthalten Schwermetalle, die in die Böden gelangen. Insbesondere Wirtschaftsdünger von Schweinen können Kupfer und Zink in Größenordnungen enthalten, die mit den Schwermetallgehalten von Klärschlämmen vergleichbar sind. Dies ist auf teilweise hohe Kupfer- und Zinkgehalte der Futtermittel zurückzuführen.

Klärschlämme und Kompost werden als Sekundärrohstoffdünger bezeichnet. Sie enthalten erhöhte Schwermetallgehalte, so dass sie teilweise aufgrund der in Deutschland geltenden Klärschlammverordnung (AbfKlärV 1992) bzw. der Bioabfallverordnung (BioAbfV1998) nicht auf landwirtschaftlichen Böden verwertbar sind. Kompost wird (noch) nicht im großen Stil auf landwirtschaftliche Flächen aufgebracht, was sich aber in Anbetracht des im Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz (KrW-/AbfG 1994) enthaltenen Gebotes der Wiederverwertung von Abfällen möglicherweise noch ändern wird. Auf die Schwermetallgehalte der Klärschlämme wird in den Kapiteln 5 und 6 eingegangen.

Auch bei der Anwendung von Mineraldünger gelangen Schwermetalle in die Böden. Zum Beispiel können im Phosphatdünger Spuren der Schwermetalle Cadmium und Chrom enthalten sein. Zu den Schwermetallgehalten von Wirtschaftsdüngern und Mineraldüngern wurde eine Literaturschau durchgeführt. Die Tabellen A1 und A2 im Anhang führen die mittleren Schwermetallgehalte von Wirtschaftsdüngern und Handelsdüngern auf, wie sie aus unterschiedlichen Untersuchungen zusammengetragen wurden. Zu diesen ausgewerteten Untersuchungen gehört auch eine Untersuchung der Schwermetallgehalte von Wirtschaftsdüngern in Baden-Württemberg der Landesanstalt für Landwirtschaftliche Chemie Hohenheim und der Landwirtschaftlichen Untersuchungs- und Forschungsanstalt Augustenberg in Karlsruhe (LUFA AUGUSTENBERG & LA CHEMIE HOHENHEIM 2001). Die auf der Basis sämtlicher zur Verfügung stehender Quellen errechneten Mittelwerte (Tabelle 1) wurden herangezogen, um die Schwermetalleinträge auf der Makro- und der Mikroebene zu schätzen. GÄTH (2001) gibt die in Tabelle 2 aufgeführten Werte für die verschiedenen Düngemittel an. Bei BANNICK et al. (2001) sind die in Tabelle 3 angegebenen Werte zu finden. Die jeweils errechneten Mittelwerte basieren auf teilweise unterschiedlichen Grundlagen, zeigen aber ähnliche Größenordnungen an. Gleichzeitig werden aber auch große Spannweiten bei den Werten deutlich.

Tabelle 1: In dieser Untersuchung zur Berechnung der Schwermetalleinträge herangezogene Mittelwerte der Schwermetallgehalte von Wirtschaftsdüngern und wichtiger Handelsdünger

	Cd (mg/kg TS)	Cu (mg/kg TS)	Ni (mg/kg TS)	Pb (mg/kg TS)	Zn (mg/kg TS)
WD Rinder	0,42	43,17	7,67	8,03	224,56
WD Schweine	0,50	540,42	14,55	5,21	1130,12
WD Geflügel	0,21	75,21	9,35	4,55	473,76
KAS	0,31	4,99	4,73	24,74	55,02
AHL	0,03	6,33	0,30	0,20	2,30
Triplesuper-P	23,43	23,40	32,50	1,05	459,50
Kaliumchlorid	0,07	3,35	1,25	0,38	4,50
NP-Dünger	10,23	24,80	17,10	2,43	115,75
PK-Dünger	4,80	22,90	21,40	2,65	153,50
NPK-Dünger	2,37	11,80	8,93	11,97	125,33

(Quelle: Unterschiedliche Untersuchungen, s. Tabelle 1 im Anhang; Abkürzungen: WD = Wirtschaftsdünger, KAS = Kalkammonsalpeter, AHL = Ammoniumnitrat-Harnstofflösung, Triplesuper-P = Triple-Superphosphat, NP = mineralische Stickstoff-Phosphat-Dünger, PK = mineralische Phosphat-Kalium-Dünger, NPK = mineralische Volldünger mit Stickstoff, Phosphat und Kalium)

Tabelle 2: Mittlere Schwermetallgehalte in Bioabfällen und Wirtschaftsdüngern nach BEISECKER, GÄTH & FREDE 1998 in GÄTH 2001:102)

	Cd (mg/kg TS)	Cu (mg/kg TS)	Ni (mg/kg TS)	Pb (mg/kg TS)	Zn (mg/kg TS)
Kompost	0,8	46	21	83	249
Klärschlamm	3,8	330	3,1	159	1.318
Gülle	0,3-0,8	45-294	7-38	8-11	220-900
Festmist	0,4	63-125	11	7	500-11.500

Tabelle 3: Mittlere Schwermetallgehalte in Düngemitteln nach BANNICK et al. (2001:33)

	Cd (mg/kg TS)	Cu (mg/kg TS)	Ni (mg/kg TS)	Pb (mg/kg TS)	Zn (mg/kg TS)
Klärschlamm	1,40	274	23,0	63,0	809
Rindergülle	0,28	45	5,9	7,7	270
Schweinegülle	0,40	309	10,3	6,2	858
Festmist, Rind	0,29	39	5,2	5,8	190
Festmist, Schwein	0,33	450	9,5	5,1	1.068
Geflügelkot	0,25	53	8,1	7,2	336
Superphosphat	10,80	17	28,8	18,5	236
Triplesuper-P	26,80	27	36,3	12,0	489
Rohphosphate	7,80	16	15,6	1,3	199
NPK-Dünger	3,78	11	10,9	14,8	116
NP-Dünger	9,15	22	18,0	5,5	151
PK-Dünger	7,98	19	19,9	14,4	152

Zusätzlich zu den Einträgen durch die landwirtschaftliche Bodennutzung werden Schwermetalle über die atmosphärische Deposition in die landwirtschaftlichen Böden eingetragen. Nach FRICKE & HÖHL (2000) in GÄTH (2001) werden in Deutschland im Durchschnitt 6 g Cd pro Hektar und Jahr in die Böden über den Luftpfad eingetragen.

Nach WILCKE & DÖHLER (1995) ist die Gesamtbilanz an im Agrarökosystem verbleibenden Schwermetallen in der Bundesrepublik Deutschland überwiegend positiv. Die Studie betrachtet die verschiedenen Ein- und Austräge von Schwermetallen in Agrarökosystemen in Deutschland. Die Länderarbeitsgemeinschaft Bodenschutz (LABO) hat eine Literaturlauswertung zu Ein- und Austrägen von Cadmium bei landwirtschaftlich genutzten Böden in Deutschland durchgeführt (KIENE 1998). Bezogen auf die gesamte landwirtschaftlich genutzte Fläche wurde ein Bilanzplus von 73 t Cd/a errechnet, wobei die Einträge bei 108 t Cd/a und die Austräge bei 35 t Cd/a liegen.

Hauptaustragspfade sind der Entzug über die Pflanze und über das Sickerwasser in Richtung Grundwasser. Der Austrag ist abhängig von den Parametern Schwermetallgesamtgehalt, pH-Wert, Tongehalt, Humusgehalt und Gehalt an Sesquioxiden. Verfahren zur Schätzung der Schwermetallausträge werden in Kapitel 6.2.1.4 vorgestellt und diskutiert. Auch die Bodenerosion durch Wasser spielt eine große Rolle. Allerdings wird auf diesem Weg auch Bodenmaterial ausgetragen, so dass die Schwermetallkonzentration im Boden nur in dem Maße sinkt, in dem Metalle in der abgetragenen obersten Schicht angereichert waren (WILCKE & DÖHLER 1995).

Die Schwermetalle können die Aktivität der Bodenorganismen beeinträchtigen und wirken sich negativ auf den Ertrag und die Qualität der Anbauprodukte aus (REINHARD 1997). Nach DELSCHEN & KÖNIG (1998) sind Einträge von Blei und Cadmium bezüglich der Nahrungspflanzenqualität relevant, Blei, Cadmium, Kupfer und Nickel bezüglich der Futterpflanzenqualität sowie Kupfer, Nickel und Zink bezüglich phytotoxischer Wirkungen (was sich in Wachstumsbeeinträchtigungen bemerkbar macht).

Strategien einer nachhaltigen Bodennutzung in der Landwirtschaft

Bezüglich einer nachhaltigen Bodennutzung sind Strategien sowohl aus dem Bereich des Bodenschutzes als auch der Landwirtschaft selbst denkbar und notwendig. Zusätzlich muss auch der Bereich der Abfallwirtschaft in die Überlegungen einbezogen werden, wenn auch in Zukunft sogenannte Sekundärrohstoffdünger in der Landwirtschaft angewandt werden sollen. Nur ein ganzheitlicher, aus allen Bereichen kombinierter Ansatz erscheint erfolversprechend.

Bodenschutz

Während Bodenerosion mit dem bloßen Auge messbar und deshalb für den Landwirt direkt fassbar ist, ist die Zufuhr von Schadstoffen in die Böden ein schleicher und weitgehend unsichtbarer Prozess. Dieses Wahrnehmungsproblem zusammen mit immer noch vorhandenen Wissenslücken über die Schädlichkeit bestimmter Stoffe auf Seiten der Wissenschaft und die

damit verbundene mangelnde Akzeptanz von Bodengrenzwerten auf Seiten der Landwirtschaft führen dazu, dass eine Minimierung von Schadstoffeinträgen alleine über Grenzwerte schwer umsetzbar ist. Daher wäre eine strenge Form der nachhaltigen Bewirtschaftung wichtig, bei der Grenzwerte möglichst niedrig angesetzt werden, um eine größere Sicherheitsspanne zu erreichen.

Nach den zur Zeit geltenden rechtlichen Rahmenbedingungen sind Schwermetalleinträge in die Böden und Schwermetallausträge in Pflanze und Grundwasser kontinuierlich möglich. Ein umfassendes Konzept zur nachhaltigen Bodennutzung bezüglich dieser Schadstoffproblematik liegt noch nicht vor. Ein aktueller Ansatz sind die von BANNICK et al. (2001) erarbeiteten „Grundsätze und Maßnahmen für eine vorsorgeorientierte Begrenzung von Schadstoffeinträgen in landbaulich genutzte Böden“.

Im Bundesbodenschutzgesetz (BBodSchG 1998) wird geregelt, dass der Geltungsbereich des Gesetzes auf schädliche Bodenveränderungen und auf Altlasten begrenzt ist, soweit nicht die Regelungen im Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz (mit der Klärschlamm- und der Bioabfallverordnung als untergesetzliche Regelwerke) und im Düngemittelrecht (mit der Düngemittelverordnung und der Düngeverordnung) Einwirkungen auf den Boden regeln (BANNICK, BERGS & LINDNER 2002). Das bedeutet, dass die Schadstoffeinträge in landwirtschaftliche Böden ohne festgestellte schädliche Veränderungen nach der aktuellen Rechtslage nur bei Aufbringung von Klärschlamm nach der AbfKlärV (1992) und von Kompost nach der BioAbfV (1998) reglementiert bzw. begrenzt werden. Die in beiden Verordnungen festgelegten Grenzwerte sind jedoch unterschiedlich hoch. Ein EU-Vorschlag (EU-KOMMISSION 2000 in BANNICK, BERGS & LINDNER 2002:13) unterbreitet neue Grenzwerte für Klärschlämme und Böden bei der Aufbringung von Klärschlamm, wobei die Bodengrenzwerte nach pH-Wertstufen gegliedert sind und niedriger liegen als die Grenzwerte nach AbfKlärV (1992).

Bei der Aufbringung von Wirtschafts- und Handelsdünger gelten lediglich die Auflagen hinsichtlich einer sogenannten „guten fachlichen Praxis“ durch die Düngeverordnung (DVO 1996), in der z. B. maximale Nährstoff-Frachten aus Wirtschaftsdünger festgelegt werden sowie Bodenuntersuchungen und Betriebs-Nährstoffbilanzen von den landwirtschaftlichen Betrieben gefordert werden. Maximale Schadstoff-Frachten sind dort nicht festgelegt. Schon in einem Arbeitspapier einer Bund-/Länderarbeitsgruppe (1993 in BANNICK, BERGS & LINDNER 2002 : 187ff) mit Hinweisen zum Vollzug der AbfKlärV (1992) wird auf die Notwendigkeit eines Düngeplans zur Einbeziehung von Klärschlamm, Wirtschafts- und Handelsdünger unter umfassenden Umweltgesichtspunkten hingewiesen.

Die Bundesbodenschutzverordnung (BBodSchV 1999) gibt erst für den Fall der „Besorgnis einer schädlichen Bodenveränderung“ maximale Schwermetallfrachten an. Außerdem wurden Prüf- und Maßnahmenwerte zur Gefahrenbeurteilung der Wirkungspfade Bodenverunreinigung / Altlast – Mensch, Pflanze, Grundwasser festgelegt. Das bedeutet, dass zunächst ein konkreter Verdacht bzw. Hinweis auf eine schädliche Bodenveränderung vorliegen muss, damit die BBodSchV angewandt werden kann.

Bezüglich der Schwermetallausträge in die Pflanze und in das Grundwasser gelten darüber hinaus rechtliche Regelungen des Pflanzenschutzes und des Grundwasserschutzes. Nach SCHÜTZE (1998) sollte die ungesättigte Bodenschicht nicht als Senke für Schadstoffe betrachtet werden. Geht man davon aus, dass zumindest die mobileren Elemente (z. B. Cd) in absehbaren Zeiträumen das Grundwasser erreichen können, sollte aus Vorsorgesicht gelten, dass das Sickerwasser, das die obere Bodenschicht (10 bis 30 cm) verlässt, die Prüfwerte nicht überschreitet. Um tolerierbare Schwermetallausträge zukünftig besser quantifizieren zu können, sollten nach SCHÜTZE (1998) Konzentrationen in der Bodenlösung im Sinne von Vorsorgewerten definiert werden.

Für eine praktische Anwendung in der Landwirtschaft zur Gewährleistung minimaler Schwermetalleinträge und –austräge können die zur Zeit geltenden rechtlichen Regelungen nur bedingt herangezogen werden.

Landwirtschaft

Auf die für die landwirtschaftliche Praxis relevanten Verordnungen Düngeverordnung und Düngemittelverordnung wurde schon unter der Überschrift „Bodenschutz“ hingewiesen. Hier soll die grundlegende Problematik einer nachhaltigen landwirtschaftlichen Bodenbewirtschaftung kurz skizziert werden. Durch eine Spezialisierung der landwirtschaftlichen Betriebe wurde der Kreislauf Viehhaltung – Dünger – Ackerbau – Futterpflanzen – Viehhaltung unterbrochen. Um eine ökologisch nachhaltige Bewirtschaftung zu erreichen, müssten die Stoffkreisläufe wieder soweit wie möglich geschlossen werden, damit keine Stoffe (Dünger) dem System von außen zugeführt werden müssten (REINHARD 1997). In erster Linie sind jedoch die Belastungen der Umweltmedien mit Stoffen, die von außen zugeführt werden, zu reduzieren. Strategien einer nachhaltigen Bodennutzung bezogen auf eine Minimierung des Schadstoffeintrags sind (WEBSTER 2000: 136):

- möglichst ausschließliche Verwendung von eigenen oder lokal verfügbaren Ressourcen
- Verzicht auf synthetische Dünger bzw. Reduktion der Mengen
- höhere Vielfalt der Anbaufrüchte
- reduzierter Viehbesatz

- Kombination von Ackerbau und Viehhaltung zur Nutzung von Pflanzenabfällen und Viehdung
- Anbau von Leguminosen zur Stickstoffdüngung

Das Ziel ist eine profitable und effiziente Nahrungsmittelproduktion, bei der die Minimierung zugekaufter und der gezieltere Einsatz interner Produktionsmittel zur Kostenersparnis führen (PRETTY 2000 : 325). Eine Maßnahme, um in der landwirtschaftlichen Produktion Nachhaltigkeit zu erreichen, ist also reduzierte, angepasste Düngung. Der Bedarf an Dünger muss für die jeweilige Fläche genau ermittelt werden. Inwieweit dieser Aufwand durch den einzelnen landwirtschaftlichen Betrieb tatsächlich leistbar ist, muss überprüft werden. Es ist zu befürchten, dass hier ein Teil der kleineren und mittleren Betriebe überfordert ist.

3 Untersuchungskonzeption und Methodik im Überblick

Das Ziel dieser Untersuchung war eine Schwermetallbilanz auf zwei verschiedenen Maßstabsebenen in der Region Stuttgart mit der Absicht, aus den Ergebnissen eine Bewertung der Nachhaltigkeit landwirtschaftlicher Bodennutzung vorzunehmen und daraus Empfehlungen für mögliche und notwendige Veränderungen abzuleiten. Im folgenden Schaubild sind die Einzelkomponenten der Erhebungen auf der Makro- und der Mikroebene dargestellt. Die Auswahl der beiden Landkreise Ludwigsburg und Göppingen wird in Kapitel 4 begründet.

Für die beiden Landkreise (die Makroebene) wurden zur Quantifizierung der Schwermetalleinträge Sekundärstatistiken ausgewertet, d. h. vor allem agrarstatistische Daten, die aus der Struktur- und Regionaldatenbank des Statistischen Landesamtes Baden-Württemberg mit Hilfe teilweise aufwändiger Sonderauswertungen zur Verfügung gestellt wurden. Die Einträge über Klärschlämme konnten mit Hilfe der Klärschlamm-Statistik der beiden Landratsämter Göppingen und Ludwigsburg berechnet werden.

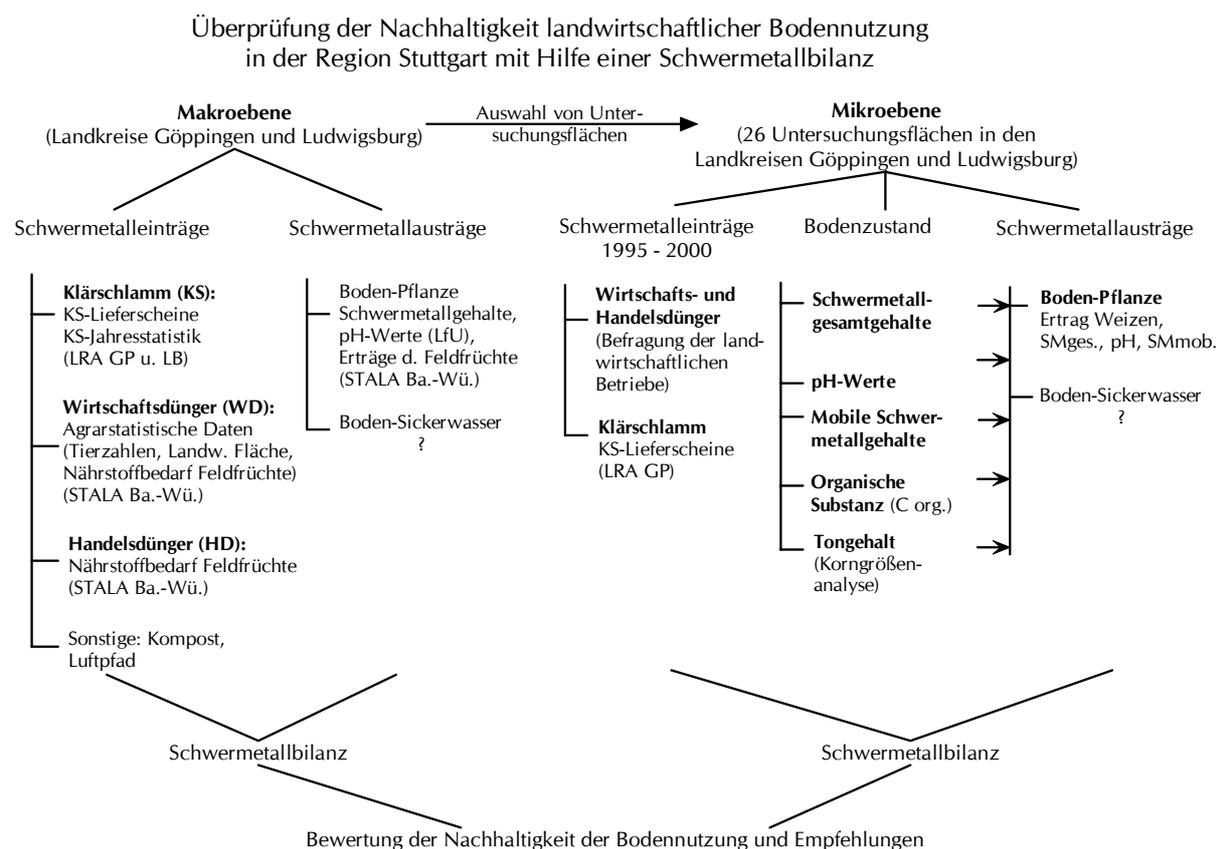


Abbildung 3: Schaubild der Gesamtkonzeption der Untersuchung (fett gedruckt sind die Parameter, zu denen bisher Ergebnisse vorliegen; angegeben sind die Quellen der Auswertungen; Abkürzungen: LRA = Landratsämter, GP = Göppingen, LB = Ludwigsburg, STALA = Statistisches Landesamt Baden-Württemberg, LfU = Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, C org. = organisch gebundener Kohlenstoff, SM ges. = Gesamtschwermetallgehalte, SM mob. = mobile Schwermetallgehalte)

Für die im Schaubild fett gedruckten Eintragspfade können mit diesem Abschlussbericht Ergebnisse vorgestellt werden, für die übrigen (Kompost, Luftpfad) liegen noch keine abgeschlossenen Auswertungen vor. Die anfallenden Düngemittelmengen wurden mit durchschnittlichen Schwermetallgehalten der Düngemittel multipliziert. Für die Schwermetallausträge liegen noch keine Ergebnisse auf der Makroebene vor. Für den Pfad Boden-Pflanze soll über bekannte Punktdaten zu pH-Werten und Schwermetallgesamtgehalten aus der Bodendatenbank der Landesanstalt für Umweltschutz eine Abschätzung der Austräge durchgeführt werden. Eine Schätzung der Austräge über den Pfad Boden-Sickerwasser mit den zur Verfügung stehenden Daten muss noch auf seine methodische Durchführbarkeit überprüft werden.

Um die Schwermetallbilanz auf der Makroebene auf ihre Relevanz für einzelne landwirtschaftliche Betriebe und landwirtschaftliche Flächen zu überprüfen, wurden in beiden Landkreisen Untersuchungsflächen (Mikroebene) auf der Basis der vorliegenden Daten auf der Makroebene ausgewählt. Es war jedoch in Anbetracht des notwendigen Erhebungsumfangs für die Schwermetallbilanzierung der Einzelflächen im Rahmen dieser Untersuchung unmöglich, eine für die beiden Landkreise in jeder Hinsicht repräsentative Flächenauswahl durchzuführen. Die entwickelten Schwermetallbilanzen der Einzelflächen sind deshalb als Fallstudien zu betrachten. Es ist deshalb nicht zulässig, aufgrund der Ergebnisse zu den untersuchten Einzelflächen in den beiden Teiluntersuchungsgebieten verallgemeinernde Rückschlüsse auf einen generellen Trend in den beiden Landkreisen zu ziehen.

Einerseits sollten die beiden Teiluntersuchungsgebieten die naturräumlichen und hier insbesondere die agrarökologisch relevanten Rahmenbedingungen der beiden Landkreise widerspiegeln. Die Flächen des Teiluntersuchungsgebietes Ludwigsburg (TUG LB) sind hinsichtlich hoher Pufferkapazität und Bodengüte der lössbürtigen Böden repräsentativ für den größten Teil der Ackerflächen des Landkreises. Aufgrund größerer Heterogenität der naturräumlichen Ausstattung im Landkreis Göppingen musste hier bei der Flächenauswahl ein anderer Schwerpunkt gesetzt werden. Die Flächen im Teiluntersuchungsgebiet Göppingen (TUG GP) liegen bezüglich der Pufferkapazität aufgrund niedriger bis mittlerer pH-Werte unter dem mittleren Landkreis-Niveau, hinsichtlich der Bodengüte nach Bodenschätzung aufgrund der Tiefgründigkeit der lehmigen Böden jedoch etwas über dem Landkreis-Durchschnitt. Das TUG GP ist repräsentativ für den klimatisch und pedogenetisch bedingt hohen Anteil des Grünlandes an der gesamten landwirtschaftlichen Nutzfläche und hinsichtlich des sich daraus ergebenden hohen Stellenwertes der Rinderhaltung im Landkreis. Aus diesem Grund wurden lediglich im TUG Göppingen Grünlandflächen untersucht.

Außerdem sollten in beiden Teiluntersuchungsgebieten sowohl Flächen mit Klärschlammverwertung als auch Flächen ohne Klärschlammverwertung in der Vergangenheit untersucht werden. Da der Zeitaufwand für den Aufbau von Kontakten zu kooperationsbereiten Landwirten und für die Schaffung einer Vertrauensbasis bei der Projektkonzeption unterschätzt worden ist, konnten lediglich im zuerst bearbeiteten TUG Göppingen Flächen mit Klärschlammausbringung in die Untersuchung einbezogen werden.

An diesen methodischen Schwierigkeiten bei der Flächenauswahl lässt sich das Spannungsfeld erkennen, in dem diese Untersuchung steht. Ein wichtiges Teilergebnis ist neben der Bilanzierung von Schwermetallein- und Austrägen die Erkenntnis einer mangelnden Bereitschaft von Landwirten und ihrer Interessenvertreter mit einer universitären und damit staatlichen Einrichtung bezogen auf die hier bearbeitete Thematik zu kooperieren. Dies ist einerseits auf die von den Landwirten teilweise als Bevormundung empfundene Reglementierung der landwirtschaftlichen Praxis durch Gesetze und Verordnungen wie insbesondere die Düngeverordnung zurückzuführen. Andererseits basiert die Vorsicht und Zurückhaltung auf einer generellen Verunsicherung der Landwirte bezüglich der Verwertung von Sekundärrohstoffdüngern.

Ein rein naturwissenschaftlicher Versuchsaufbau für die Schwermetallbilanzierung ohne die Zusammenarbeit mit den die Flächen bewirtschaftenden Landwirten war nicht möglich, weil die Daten zu den Schwermetalleinträgen im zur Verfügung stehenden Zeitraum lediglich über eine Befragung der Landwirte erhoben werden konnten. Von den Landwirtschaftsämtern wurden aus Datenschutzgründen keine betriebs- und schlagbezogenen Daten zur Verfügung gestellt, die eine aussagekräftige Quantifizierung der Schwermetalleinträge erlaubt hätten. Eine naturwissenschaftliche Alternative stellen lediglich Dauerbeobachtungsflächen dar, wobei messbare Ergebnisse zu Schwermetalleinträgen und Austrägen frühestens in fünf bis zehn Jahren zu erwarten sind.

Der Kontakt zu den kooperierenden Landwirten in Teiluntersuchungsgebiet Göppingen konnte über das Landwirtschaftsamt Göppingen, das Anschreiben einzelner Betriebe und eine Informationsveranstaltung zu den Zielen dieser Untersuchung hergestellt werden. Für eine vergleichbar aufwändige Vorgehensweise im Teiluntersuchungsgebiet Ludwigsburg war der zeitliche Rahmen der Untersuchung zu knapp bemessen. Außerdem konnte im Landwirtschaftsamt Ludwigsburg keine ausreichende Bereitschaft zu einer Kooperation bezüglich des Kontaktaufbaus mit landwirtschaftlichen Betrieben erreicht werden. Die Auswahl der kooperierenden Betriebe im TUG LB basiert auf der durch das Landwirtschaftsamt empfohlenen Kontaktaufnahme mit dem Kreisbauernverband. Durch diese Vermittlung des Kreisbauernverbandes konnte eine interessante Bandbreite unterschiedlicher Betriebe in die Untersuchung erreicht werden. Es konnte aber andererseits kein Betrieb mit Klärschlamm-anwendung in die Untersuchung einbezogen werden. Vor diesem Hintergrund müssen die Unterschiede der Ergebnisse der Schwermetallbilanzen in den beiden Teiluntersuchungsgebieten gesehen werden.

Es konnten in beiden Teiluntersuchungsgebieten Flächen von Betrieben mit und ohne Tierhaltung untersucht werden. Unter den Betrieben mit Tierhaltung sind in beiden Teilgebieten Betriebe mit Rinderhaltung und mit Schweinehaltung. Im TUG LB konnte darüber hinaus ein ökologisch wirtschaftender Betrieb untersucht werden, für den das Ergebnis aufgrund methodischer Probleme noch nicht vorliegt. Außerdem wurde ein Betrieb mit Anwendung von

Grünguthäcksel(-kompost) im TUG LB untersucht. Durch die Auswahl an Betrieben und Flächen wird somit insgesamt ein relativ breites Spektrum abgedeckt.

Aus dem Schaubild (Abbildung 3) ist zu entnehmen, dass die Parameter, die die Schwermetallbindung bzw. -mobilität im Boden steuern, zur Kennzeichnung des Bodenzustandes der Einzelflächen erhoben wurden. Die Parameter Gesamtschwermetallgehalt, pH-Werte und mobile Schwermetallgehalte wurden zur Schätzung der Schwermetallausträge über den Pfad Boden - Pflanze herangezogen. Für die Schätzung der Austräge über den Pfad Boden – Sickerwasser besteht wie auf der Makroebene noch die Notwendigkeit der Eignungsprüfung einer methodischen Vorgehensweise. Zur Quantifizierung der Schwermetalleinträge aus Klärschlamm wurden die entsprechenden Flächendaten der Klärschlammlieferzscheine herangezogen, wie sie nach Klärschlammverordnung (AbfKlärV 1992) bei einer Klärschlamm-aufbringung erstellt werden müssen.

4 Untersuchungsgebiet: Die Landkreise Göppingen und Ludwigsburg

In Absprache mit dem Mitinitiator des Projektes im Regierungspräsidium Stuttgart (Referat Gewässer und Boden) wurde die Thematik für einen repräsentativen Teil der Region Stuttgart bearbeitet. Zwei Landkreise in der Region Stuttgart auszuwählen war insofern sinnvoll, als die für die Berechnungen auf der Makroebene notwendigen, agrarstatistischen Basisdaten bezogen auf Verwaltungseinheiten vorliegen. Die beiden Landkreise Göppingen und Ludwigsburg sind aus verschiedenen Gründen als Untersuchungsgebiete interessant. Beide Landkreise verfügen über einen hohen Anteil an landwirtschaftlicher Nutzfläche (1996 49% der Gesamtfläche im Landkreis Ludwigsburg und 46% der Gesamtfläche im Landkreis Göppingen). Sie unterscheiden sich jedoch hinsichtlich ihrer naturräumlichen Ausstattung und dadurch auch bezüglich des Anteils an Acker- und Grünland (s. Abbildung 4). Die weitgehende Flächenkonstanz der landwirtschaftlichen Nutzfläche in den beiden Landkreisen ist in Abbildung 5 für die Zeit von 1991 bis 1999 dargestellt.

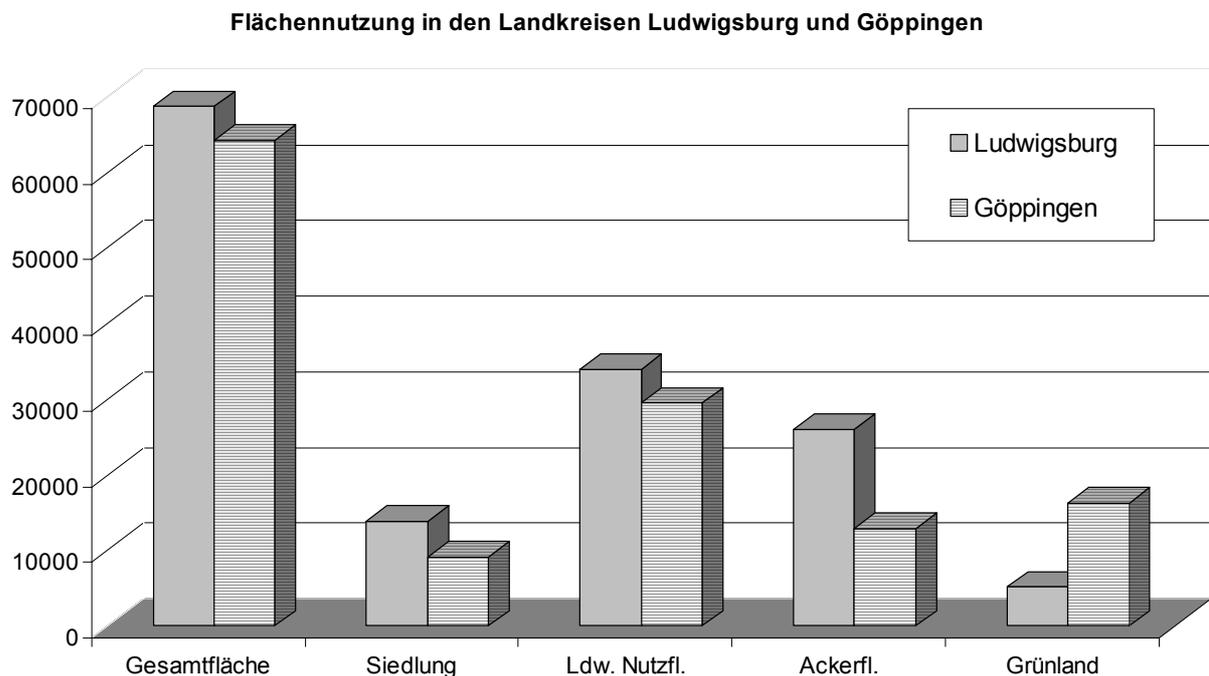


Abbildung 4: Flächennutzung in den Landkreisen Göppingen (GP) und Ludwigsburg (LB)
(Quelle: STATISTISCHES LANDESAMT BADEN-WÜRTTEMBERG 1997)

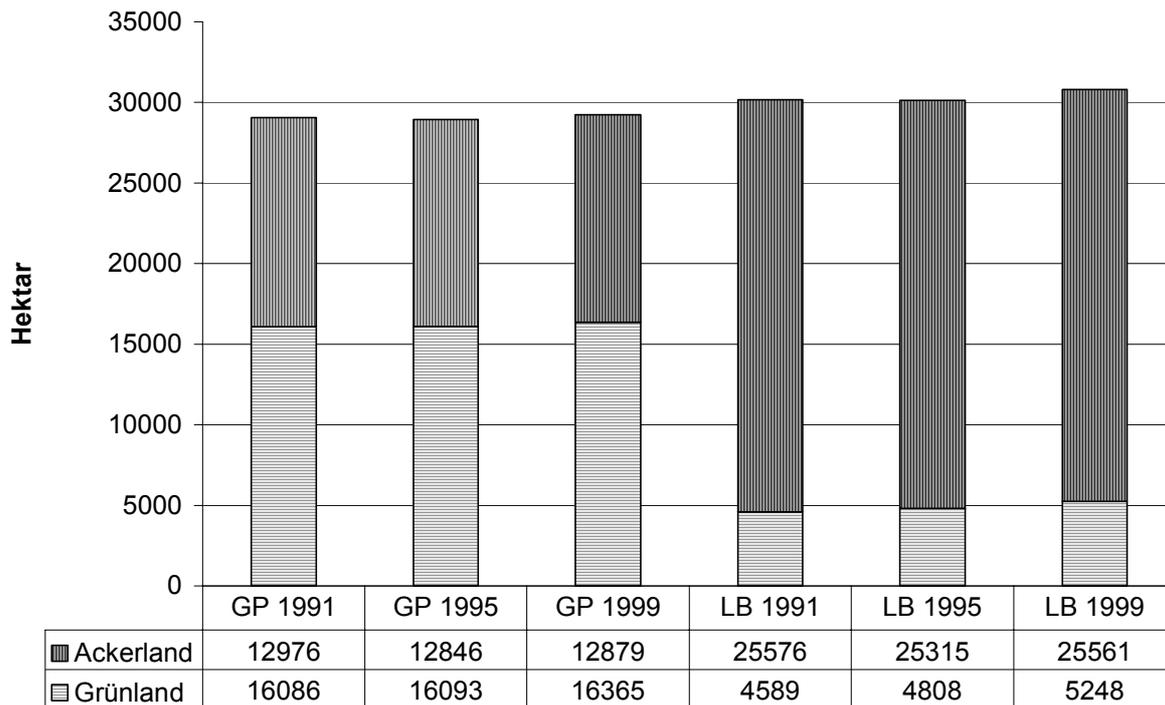


Abbildung 5: Acker- und Dauergrünlandfläche in den Landkreisen Göppingen (GP) und Ludwigsburg (LB) 1991, 1995 und 1999

Neben diesen naturräumlichen Gegebenheiten spielte bei der Auswahl der Landkreise auch die Klärschlammproblematik eine Rolle. Eine Betrachtung der Schwermetallbilanz bei landwirtschaftlichen Böden des Landkreises Göppingen erschien erforderlich, da bekannt war, dass hier in der Vergangenheit ein großer Teil der insgesamt anfallenden Klärschlamm-Menge auf landwirtschaftlichen Flächen verwertet wurde.

Naturräumliche und agrarökologische Ausstattung

Der Landkreis Ludwigsburg ist fast ausschließlich der naturräumlichen Einheit des klimatisch begünstigten Neckarbeckens zuzuordnen und verfügt - verglichen mit den übrigen Landkreisen der Region - über den größten Anteil an hochwertigen, für den Ackerbau hervorragend geeigneten Böden aus mehr oder weniger mächtigen Lössen. Im Neckarbecken herrschen als Bodentypen (teilweise erodierte) Parabraunerden, Pararendzinen und Braunerden vor. Aus dieser klimatischen und pedogenetischen Begünstigung des Gebietes ergibt sich die überwiegende ackerbauliche Nutzung.

Der Landkreis Göppingen weist ein kleinräumiges Muster unterschiedlicher naturräumlicher Einheiten auf, wobei der größere Teil der landwirtschaftlich genutzten Fläche aus Grünland besteht. Zu den Naturräumen des Landkreises gehören das mittlere Voralbland mit seinen Lias-Flächen (Schwarzer Jura) mit Lößbedeckung einerseits und dem Braunjura-Hügelland mit abnehmender Lößbedeckung andererseits. Hinzu kommen das östliche Voralbland mit

vorwiegender Waldnutzung und im Bereich der Weißjura-Schichtstufe die mittlere Kuppenalb sowie Albuch und Härtsfeld mit teilweise größeren zusammenhängenden Flächen mit ackerbaulicher Nutzung. Das Muster an Bodenformen ist vielfältiger als im Landkreis Ludwigsburg. Es kommen Parabraunerden, Braunerden, Pelosole sowie Rendzinen und Terrae fuscae aus quartären und tertiären Deckschichten vor, die sich aus den verschiedenen Ausgangssubstraten der jurassischen Sedimentgesteine entwickelt haben. Der teilweise sehr hohe Tongehalt der Böden, das meist hügelige Relief sowie hohe Niederschläge und niedrigere Temperaturen als im Neckarbecken führen insgesamt zu einer ausgeprägten Grünlandnutzung.

Belastbarkeit und Schwermetallgehalte der Böden

Aufgrund meist hoher Tongehalte der Böden im Landkreis Göppingen und mittlerer Tongehalte der Böden im Landkreis Ludwigsburg weisen die Böden beider Gebiete einen wesentlichen Bindungspartner für Schwermetalle auf. Von größerer Bedeutung für die Schwermetallmobilität und damit für den Austrag von Schwermetallen in angrenzende Umweltkompartimente sind die pH-Werte der Böden. Aufgrund teilweise hoher Kalkgehalte der lössbürtigen Böden im Landkreis Ludwigsburg bewegen sich die pH-Werte dort um den Neutralpunkt und liegen selten unter pH 6,5. Hier ist eine gleichmäßig hohe Pufferkapazität gegeben. Im Gegensatz dazu liegt der mittlere pH-Wert der 920 aus der Bodendatenbank der LFU (2000) vorhandenen Datensätze für den Landkreis Göppingen bei pH 6,4, das Minimum bei pH 4,5, das Maximum bei pH 7,7. Mittelwerte und Abweichungen vom Mittelwert sowie Minima und Maxima der Cadmium- und Zinkgehalte der Böden in den beiden Landkreisen sind in Tabelle 4 aufgeführt.

Tabelle 4: Cadmium- und Zinkgehalte von Ackerflächen in den beiden Landkreisen

	Arith. Mittel	Median	Standard- abweichung	Variations- koeffizient (%)	Min.	Max.
Cd (LK GP)	0,48	0,41	0,23	46	0,0	2,8
Zn (LK GP)	107	98	33	31	14	586
Cd (LK LB)	0,23	0,20	0,12	35	0,1	2,0
Zn (LK LB)	65	64	13	21	26	199

(Quellen: Bodendatenbank der LFU (2000) für den Landkreis Göppingen und Schlagkartei zur Klärschlammverordnung des Landratsamtes Ludwigsburg (1999))

Für den Großraum Stuttgart hat HAUßMANN (2000) auf der Basis von LfU-Daten (UMEG 1998) Hintergrundwerte der lithologischen Einheiten errechnet. Dazu gehören jedoch nicht die Juragesteine im Landkreis Göppingen. Die Hintergrundwerte für Cd bewegen sich zwischen 0,16 mg/kg (Sandsteine) und 0,26 mg/kg (Unterer Keuper), der Wert für Löss liegt bei 0,20 mg/kg. Die mittleren Cadmiumgehalte des LK LB liegen in diesem Hintergrundniveau. Auch die

Durchschnitts-Zinkwerte des LK LB liegen überwiegend im Bereich des von HAUßMANN (2000) ermittelten Hintergrundwertes für Löss von 61 mg/kg oder etwas darüber.

Für die naturräumlichen Einheiten im Landkreis Göppingen sind keine verallgemeinernden Aussagen über Hintergrundwerte der Gesteinseinheiten möglich. Bei einigen tonreichen Gesteinseinheiten der Jurafolge kommen jedoch geogen erhöhte Schwermetallgehalte vor. Die Verwaltungsvorschrift „Anorganische Schadstoffe“ des UMWELTMINISTERIUMS BADEN-WÜRTTEMBERG (1993) zum baden-württembergischen Bodenschutzgesetz nennt für Ölschiefer (Lias epsilon), für Tonstein und Tonmergel aus Lias sowie für Böden aus Residualtonen des Oberen Jura (Malm) einen Hintergrundwert für Cadmium von 2,2 mg/kg. ZAUNER (1996) gibt für einen von einem Kolluvium überdeckten Terra fusca-Horizont im Bereich des Weißjura beta einen Cadmiumgehalt von 0,5 mg/kg an.

5 Ergebnisse, Bewertung und Empfehlungen (Kurzfassung)

Im Folgenden werden die zum Zeitpunkt der Fertigstellung dieses Abschlussberichts vorliegenden wichtigsten Ergebnisse zu den wesentlichen Schwermetall-Eintragspfaden auf der Makroebene und zur Schwermetallbilanz auf der Mikroebene kurzgefasst vorgestellt. Kapitel 6 enthält die detaillierte Darstellung dieser Ergebnisse. Es werden hier schon erste Bewertungen und allgemeine Empfehlungen ausgesprochen. Eine abschließende Bewertung der Nachhaltigkeit landwirtschaftlicher Bodennutzung und daraus sich ergebende Empfehlungen können jedoch erst nach Abschluss der noch fehlenden Auswertungen endgültig formuliert werden (MALBURG-GRAF, 2002). Auf die noch fehlenden Arbeitsschritte und Endergebnisse wird in Kapitel 6 jeweils hingewiesen. Die Kapitel 5.1 und 5.2 fassen die Ergebnisse auf der Mikroebene und der Makroebene zusammen, in Kapitel 5.3 finden sich die Bewertungen und Empfehlungen.

5.1 Ergebnisse auf der Makroebene (Landkreise)

Auf der Makroebene liegt noch keine abschließende Schwermetallbilanz vor. Eine Abschätzung der Schwermetallausträge auf der Makroebene muss noch entwickelt werden (MALBURG-GRAF 2002). Es werden hier die Ergebnisse zu den Einträgen über die Haupteintragspfade Klärschlamm sowie Wirtschafts- und Handelsdünger vorgestellt.

Schwermetalleinträge aus Klärschlamm

Die Auswertung der in den Landratsämtern (LRA) der Landkreise Göppingen und Ludwigsburg vorliegenden Statistiken zur Klärschlammausbringung zeigt, dass jährlich auf einem äußerst kleinen Teil der gesamten Ackerfläche der beiden Landkreise Klärschlamm entsorgt wird. Im Landkreis Ludwigsburg waren dies von 1993 bis 1998 jährlich zwischen 0,9 und 2,1% der Ackerfläche. Im Landkreis Göppingen sind es im Zeitraum 1993 bis 1999 zwischen 0,5 und etwa 3,0%. Ein Anteil von etwa 9% der Flächen wurde im Landkreis Ludwigsburg im betrachteten Zeitraum 1993 bis 1998 zwei mal beaufschlagt, etwa 1,5% drei mal. Bei den restlichen Flächen handelt es sich um eine einmalige Ausbringung im gesamten Zeitraum. Jedoch wird in den meisten Fällen die nach AbfklärV (1992) maximale Klärschlammfracht in einem Jahr ausgebracht. Die Flächen werden durch eine einmalige Klärschlammausbringung im betrachteten Zeitraum in einem Jahr durch folgende mittlere Schwermetalleinträge belastet (s. Tabelle 5).

Tabelle 5: Mittlere Cadmium- und Zinkeinträge aus Klärschlamm in den Landkreisen Ludwigsburg (LB) 1993 bis 1998 und Göppingen (GP) 1993 bis 1999

	LK GP (5 t TS/ha)*	LK GP (1,67 t TS/ha)*	LK LB (4,97 t TS/ha)**	Ø aus Dünger BRD***
Cd (g/ha*a)	8,1	2,7	7,0	1,4
Zn (g/ha*a)	3856	1288	3322	?

* Maximalwert pro Hektar in 3 Jahren bzw. in 1 Jahr nach AbklärV (1992) (Erläuterung s. Kapitel 6.1.1)

** Mittelwert der Jahre 1993 bis 1998 (Erläuterung s. Kapitel 6.1.1)

*** Nach SCHÜTZE & NAGEL (1998) werden 1,4 g/ha*a Cd auf landwirtschaftliche Flächen über Düngemittel eingetragen.

Gemessen an einem durchschnittlichen jährlichen Eintrag durch Düngung auf landwirtschaftlichen Flächen in Deutschland nach SCHÜTZE & NAGEL (1998) sind dies in einem Jahr überdurchschnittlich hohe Frachten.

Schwermetalleinträge aus Wirtschafts- und Handelsdünger

Die Schwermetalleinträge aus Wirtschafts- und Handelsdünger wurden auf der Basis statistischer Daten des Statistischen Landesamtes Baden-Württemberg und einer Nährstoffbilanz nach Düngeverordnung (BMELF 1996) für die beiden Landkreise in den Jahren 1991, 1995 und 1999 geschätzt. Es wurde zwischen den Flächen der Betriebe mit Tierhaltung und den Flächen der Betriebe ohne Tierhaltung unterschieden. Zum Abschluss dieses Berichtes liegen die Ergebnisse für zwei verschiedene Düngevarianten für die Betriebe mit Tierhaltung (Variante 1 und Variante 2) und eine Variante für die Betriebe ohne Tierhaltung (Variante 6) vor. Die Flächen der **Betriebe mit Tierhaltung** nehmen in beiden Landkreisen den weitaus größten Teil der Acker- und Grünlandfläche ein.

Tabelle 6: **Variante 1: Betriebe mit Tierhaltung, Einträge aus Wirtschaftsdünger 1999:** Gleichmäßige Verteilung des Wirtschaftsdüngers nach dem **GV-Besatz/ha auf den Flächen (FL) der vorwiegend Rinder (R), Schweine (S) und Geflügel (G) haltenden Betriebe** ohne zusätzliche Einträge aus Handelsdünger (Flächengewichtete Mittelwerte auf der Basis der Werte für die Gemeindeflächen)

	GP 1999			LB 1999		
	FL(R)	FL(S)	FL(G)	FL(R)	FL(S)	FL(G)
Cd (g/ha*a)	0,8	0,4	0,4	0,6	0,6	0,2
Zn (g/ha*a)	492	888	773	367	1353	427

Mit dieser Größenordnung von Cadmium- und Zinkeinträgen ist jährlich zu rechnen. Die höheren Cd-Einträge über den Wirtschaftsdünger von Rindern im Landkreis GP sind auf den höheren GV-Besatz/ha zurückzuführen. Die höheren Zink-Einträge über den Wirtschaftsdünger von Schweinen sind durch die höheren Schwermetallgehalte von Schweine-Festmist und -Flüssigmist zu erklären. Im Landkreis Ludwigsburg sind besonders hohe Zink-Einträge über die Schweinegülle aufgrund des hohen GV-Besatzes/ha zu verzeichnen. Schon nach wenigen Jahren ist insbesondere bei Wirtschaftsdünger von Schweinen eine ähnlich hohe Zinkfracht auf einer definierten Fläche erreicht wie bei einer einmaligen Klärschlammausbringung. Die Cadmium-Einträge sind demgegenüber weniger kritisch. Sie liegen unter dem Durchschnitt von 1,4 g/ha*a für landwirtschaftliche Flächen in Deutschland. Allerdings sind hier die zusätzlichen Einträge über Handelsdünger noch nicht berücksichtigt. Größenordnungen der Schwermetalleinträge aus Handelsdünger lassen sich an den Ergebnissen zu Variante 6 ablesen.

Auf einem Teil der Flächen der Betriebe mit Viehhaltung werden jedoch die Obergrenzen der Düngeverordnung hinsichtlich einer maximalen N-Menge aus Wirtschaftsdünger ausgeschöpft. Für diese Flächen wurde Variante 2 berechnet, wobei der gesamte in den beiden Landkreisen anfallende Wirtschaftsdünger in maximalen Frachten verteilt wurde. Die Cadmium- und Zinkeinträge sind etwa zwei bis drei mal so hoch wie bei Variante 1, je nach Element und Art des Wirtschaftsdüngers. Die Flächen für die Ausbringung sind entsprechend kleiner (vgl. Abbildung 18, Kap. 6.1.2.1).

Tabelle 7: **Variante 2: Betriebe mit Tierhaltung / Einträge aus Wirtschaftsdünger 1991, 1995 und 1999:** Verteilung des Wirtschaftsdüngers nach den **Obergrenzen der Düngeverordnung** (210 kg N/ha bzw. ab 1997 auf Ackerflächen max. 170 kg N/ha) auf den Flächen (FL) der Rinder (R), Schweine (S) und Geflügel (G) haltenden Betriebe (ohne zusätzliche Einträge aus Handelsdünger)

	GP 1991, 1995 u. Grünland 1999			GP Acker 1999			LB 1991, 1995 u. Grünland 1999			LB Acker 1999		
	FL(R)	FL(S)	FL(G)	FL(R)	FL(S)	FL(G)	FL(R)	FL(S)	FL(G)	FL(R)	FL(S)	FL(G)
Cd (g/ha*a)	1,8	1,3	0,7	1,4	1,1	0,6	1,8	1,4	0,7	1,4	1,1	0,6
Zn (g/ha*a)	956	3035	1608	770	2434	1301	948	3043	1602	765	2452	1286

Werden die Obergrenzen der Düngeverordnung ausgeschöpft, steigen die Cadmium-Werte bei den Flächen der Rinder- und Schweinehalter über den bundesdeutschen Durchschnittswert. Die Zinkwerte liegen auf den Flächen von Schweine haltenden Betrieben geringfügig unter den mittleren Werten einer Klärschlammaufbringung von 5 t TS/ha.

Zu den weiteren Varianten, nämlich Variante 3 (nach allgemeiner Düngeempfehlung), Variante 4 (nach dem P-Bedarf der Anbaufrüchte) und Variante 5 (nach dem Nährstoffangebot der Wirtschaftsdünger) zu den tierhaltenden Betrieben liegen noch keine endgültigen Ergebnisse vor.

Im Gegensatz dazu sind insbesondere die Zinkeinträge aus Handelsdünger sehr gering, wie die Berechnung der Variante 6 für **Betriebe ohne Tierhaltung** zeigt. Die Cadmium-Einträge können bei Anwendung phosphathaltiger Mineraldünger in einer ähnlichen Größenordnung liegen wie die Einträge aus Wirtschaftsdünger. Der bundesdeutsche Durchschnittswert für Cadmium von 1,4 g/ha wird bei dieser Variante jedoch unterschritten.

Variante 6 berücksichtigt den Düngebedarf der Feldfrüchte in den beiden Landkreisen, indem Volldünger bestehend aus 15% Stickstoff, 15% Phosphat und 15% Kalium (im Folgenden kurz NPK-Dünger) nach dem P-Bedarf eingesetzt wird und zusätzlich der restliche Stickstoff-Bedarf aus Kalkammonsalpeter, dem am häufigsten angewandten N-Dünger, gedeckt wird.

Tabelle 8: **Variante 6: Betriebe ohne Tierhaltung / Einträge aus Handelsdünger 1991, 1995 und 1999: Verteilung des NPK-Düngers nach dem P-Bedarf**, zusätzlich Einsatz von Kalkammonsalpeter zur Deckung des restlichen N-Bedarfs

	GP und LB
Cd (g/ha*a)	0,9
Zn (g/ha*a)	54

Die aufgeführten Werte sind Mittelwerte für die beiden Landkreise in den angegebenen Jahren für die Flächen der Feldfrüchte Kartoffeln, Zuckerrüben, Weizen, Wintergerste und Körnermais. Die Werte des Landkreises Ludwigsburg liegen geringfügig über denen des Landkreises Göppingen, weil dort im Durchschnitt höhere Erträge erzielt werden (vgl. Kap. 6.1.2.2, Abbildungen 19 und 20). Die Zinkeinträge über die gängigen Handelsdünger liegen weit unter den Einträgen aus Wirtschaftsdünger und Klärschlamm.

5.2 Ergebnisse auf der Mikroebene (ausgewählte Untersuchungsflächen)

Die Untersuchung einzelner Flächen hatte die **Funktion der Überprüfung der Ergebnisse** auf der Makroebene. Es wurden 10 Ackerflächen und 6 Grünlandflächen im Teiluntersuchungsgebiet Göppingen (TUG GP) und 10 Ackerflächen im Teiluntersuchungsgebiet Ludwigsburg (TUG LB) auf ihre Schwermetallgehalte, pH-Werte, Kohlenstoffgehalte und Korngrößen-

zusammensetzung untersucht. Neben den Bodenuntersuchungen wurden standardisierte Interviews mit den Landwirten durchgeführt, die diese Flächen bewirtschaften, so dass zu jeder untersuchten Fläche eine Datensammlung zu den verwendeten Düngemittelarten und den Düngermengen der Jahre 1995 bis 2000 vorliegt.

Die **Flächenauswahl** fand auf der Grundlage vorliegender Bodendaten aus der Bodendatenbank der Landesanstalt für Umweltschutz (LFU 2000) und Daten zur Klärschlammverwertung (LANDRATSAMT GP 2000 und LANDRATSAMT LB 2001) statt. Es sollten in beiden Teiluntersuchungsgebieten sowohl **Flächen mit als auch Flächen ohne Klärschlammverwertung** in der Vergangenheit untersucht werden. Da der Zeitaufwand für den Aufbau von Kontakten zu kooperationsbereiten Landwirten und für die Schaffung einer Vertrauensbasis bei der Projektkonzeption stark unterschätzt worden ist, konnten lediglich im zuerst bearbeiteten **Teiluntersuchungsgebiet Göppingen (TUG GP)** Flächen mit Klärschlammausbringung in die Untersuchung einbezogen werden. Die Flächen des **Teiluntersuchungsgebiets Ludwigsburg (TUG LB)** sind hinsichtlich relativ gleichmäßig hoher Pufferkapazität und Bodengüte der lösbürtigen Böden repräsentativ für den größten Teil der Ackerflächen des Landkreises. Die Flächen im TUG GP liegen bezüglich der Pufferkapazität aufgrund niedriger bis mittlerer pH-Werte unter dem mittleren Landkreis-Niveau, hinsichtlich der Bodengüte nach Bodenschätzung aufgrund der Tiefgründigkeit der lehmigen Böden jedoch etwas über dem Landkreis-Durchschnitt. Außerdem ist das TUG GP repräsentativ für den relativ hohen Anteil des Grünlandes an der gesamten landwirtschaftlichen Nutzfläche und hinsichtlich des hohen Stellenwertes der Rinderhaltung im Landkreis.

Die **Ergebnisse hinsichtlich der Schwermetalleinträge** auf der Mikroebene werden im Folgenden am Beispiel der errechneten Extremwerte dargestellt und können dadurch mit den Mittelwerten auf der Makroebene verglichen werden. Die verwendeten Düngemittelmengen wurden mit den aus der Literatur bekannten, mittleren Schwermetallgehalten der Düngemittel, wie sie auch für die Berechnungen auf der Makroebene verwendet wurden, multipliziert. Die jährlichen **Cadmium-Einträge** als Mittelwert der Jahre 1995 bis 2000 liegen bei den bis zum Abschluss dieses Berichtes ausgewerteten **15 Ackerflächen zwischen 0,4 und 9,0 g/ha*a**, die **Zink-Einträge zwischen 53 g/ha*a und 2846 g/ha*a**. **Von 5 Ackerflächen**, wovon sich vier im TUG GP und eine im TUG LB befinden, **fehlen noch die endgültigen Ergebnisse**.

Der **niedrigste mittlere Cadmium-Eintrag** ist bei einer Fläche im TUG LB zu verzeichnen, bei der lediglich Kalkammonsalpeter zur N-Düngung eingesetzt wurde und einmal in den 6 Jahren 3,75 t TS Schweinemist verwertet wurde. Der **höchste mittlere Cadmium-Eintrag** von 9,0 g/ha*a wird bei einer Fläche im TUG GP erreicht, bei der im Durchschnitt der 6 Jahre jährlich 3

t TS Wirtschaftsdünger von Rindern und Schweinen ausgebracht wurden, regelmäßig NPK-Dünger verwendet wurde und zusätzlich insgesamt 8,3 t TS Klärschlamm verwertet wurden. Eine einmalige Klärschlammausbringung von 5 t TS/ha auf dieser Fläche macht sich mit einem Cadmium-Eintrag von 34,2 g/ha bemerkbar. In Relation zum durchschnittlichen Cd-Eintrag auf bundesdeutschen, landwirtschaftlich genutzten Flächen von 1,4 g/ha*a muss diese Art der Düngung als nicht nachhaltig eingestuft werden.

Der **niedrigste mittlere Zink-Eintrag** wurde für eine Fläche eines Betriebes ohne Tierhaltung im TUG LB ermittelt. Er liegt mit 53 g/ha*a auf dem mittleren Eintragsniveau der beiden Landkreise, wie sie für die Variante 6 zu den Betrieben ohne Tierhaltung errechnet wurde. Auf dieser Fläche wurde jährlich mit Kalkammonsalpeter gedüngt und in zwei Jahren wurde zusätzlich PK-Dünger eingesetzt, so dass der Cadmium-Eintrag im Durchschnitt der 6 Jahre bei 0,9 g/h*a liegt, die beiden PK-Düngungen führten jeweils zu einem Cd-Eintrag von 2,16 g/ha. Der **höchste mittlere Zink-Eintrag** von 2846 g/ha*a ist für eine Fläche eines Betriebes mit Schweinehaltung und Klärschlammanwendung im TUG GP zu verzeichnen. Für die Höhe dieser mittleren Einträge ist insbesondere die in einem Jahr stattfindende Verwertung von 7 t Schweinemist-Trockensubstanz (TS) pro Hektar mit einem einmaligen Zink-Eintrag von 7911 g/ha verantwortlich, während über den Klärschlamm 1843 g/ha Zink eingetragen wurden. Bei dieser Fläche ist der Cadmium-Eintrag über den Klärschlamm (2,2 t TS mit einem Cd-Gehalt von 2,15 mg/kg) geringer (5,0 g Cd/ha) als eine Düngung mit NP-Dünger (8,2 g Cd/ha) in einem Jahr, da NP-Dünger hohe mittlere Cadmiumgehalte aufweisen.

Die Schwermetalleinträge auf den untersuchten **Grünlandflächen im TUG Göppingen** liegen zwischen diesen Extremen. Die Grünlandflächen sind generell durch eine gleichbleibende Düngung mit Wirtschafts- und Handelsdünger und dadurch konstante jährliche Schwermetalleinträge gekennzeichnet. Die Cadmium-Einträge bewegen sich bei den 5 ausgewerteten Grünlandflächen zwischen 1,9 und 3,8 g/ha*a, die Zink-Einträge zwischen 443 und 1556 g/h*a. Aufgrund der regelmäßigen Anwendung von Wirtschaftsdünger und NPK-Dünger bei allen Flächen liegen die Cadmium-Einträge über dem Durchschnittswert von 1,4 g/ha.

Die **Untersuchungen des Bodenzustandes** der **Ackerflächen** korrelieren nicht in der Weise mit den Ergebnissen zu den Schwermetalleinträgen, dass bei allen Flächen mit hohen Einträgen auch höhere Schwermetallgehalte vorkommen, was je nach Fläche verschiedene Ursachen hat. Zu den Ursachen gehören:

- der Beobachtungszeitraum hinsichtlich der Einträge ist zu kurz, um sich in den Schwermetallgehalten der Böden niederzuschlagen

- Die Austräge verhindern langfristig eine messbare Anreicherung.

Erhöhte Schwermetallgehalte, die auf eine anthropogene Anreicherung hinweisen und deutlich über den Werten aller übrigen Ackerflächen liegen, wurden bei einer Ackerfläche im TUG LB festgestellt. Hier wurden 108 bzw. 119 mg/kg Zink und 0,6 bzw. 0,7 mg/kg Cadmium gemessen. Die aufgrund der Befragung ermittelten Cadmium-Einträge liegen auf dieser Fläche im Zeitraum 1995 bis 2000 bei 0,9 g/ha*a und die Zink-Einträge bei 412 g/ha*a, d. h. unter dem bundesdeutschen Durchschnitt hinsichtlich der Cd-Einträge. Ein Eintrag von 412 g/ha*a entspricht bei dieser Fläche einer Zink-Zunahme im Boden von 0,12 mg/kg. Unter der Voraussetzung, dass der Eintrag in den letzten 100 Jahren konstant war, dass es erst seitdem zu einer deutlichen Anreicherung gekommen ist und dass aufgrund des pH-Wertes von 7,3 kein Austrag stattgefunden hat, hat der Zinkgehalt in diesem Zeitraum um 12 mg/kg zugenommen. Gemessen am Zink-Hintergrundwert für Löss von 61 mg/kg in diesem Gebiet nach HAUBMANN (2000) reicht diese Zunahme nicht aus, um den gemessenen Wert zu erklären. Denkbar ist jedoch, dass die Wirtschaftsdünger des Betriebes höhere Cadmium- und Zinkgehalte aufweisen als bei den hier durchgeführten Berechnungen vorausgesetzt werden und dass in der Vergangenheit weitere Düngemittel und/oder Kalke mit höheren Schwermetallgehalten verwandt wurden. Außerdem müssen die Einträge aus der Luft mit in die Berechnung einbezogen werden. Daneben ist sowohl eine geogene Anreicherung durch eine pleistozäne Vermischung mit tonhaltigem Keupermaterial als auch eine pedogene Tonanreicherung (Lessivierung) mit einer Erhöhung der Zinkgehalte gegenüber Löss verbunden (MALBURG-GRAF 1998).

Die Zinkgehalte der übrigen Ackerflächen bewegen sich sowohl im TUG GP als auch im TUG LB um einem mittleren Wert von 65 mg/kg. Die Cadmiumgehalte des TUG LB liegen bei 0,1 bzw. 0,2 mg/kg, die Cadmiumgehalte des TUG GP bei 0,4 bis 0,5 mg/kg. In den höheren Cadmiumgehalten der Flächen im TUG GP kann sich die stärkere Anwendung von phosphathaltigen Düngemitteln in Kombination mit höheren Wirtschaftsdüngerfrachten und Klärschlammanwendung äußern. Sie könnten aber auch durch eine pedogene Residual-Anreicherung aufgrund der Lösung cadmiumhaltiger Weißjura-Kalke erklärt werden, wie es ZAUNER (1996) bei seinen Untersuchungen für Terrae fuscae aus Weißjura-Kalken festgestellt hat. Es sind keine Unterschiede zwischen den Flächen mit und ohne Klärschlammanwendung feststellbar. Es war auch nicht zu erwarten, dass sich Klärschlammfrachten in den Bodenschwermetallgehalten niederschlagen, die innerhalb eines Zeitraumes von 6 Jahren aufgebracht wurden. Entscheidender für eine anthropogene Cadmiumanreicherung sind hier die regelmäßige Anwendung von Wirtschaftsdünger und NPK-Dünger sowie von PK- und NP-Dünger. Phosphathaltige Düngemittel werden im TUG GP deshalb verstärkt verwendet, weil die für

Ackerflächen niedrigen pH-Werte zur Phosphat-Festlegung und damit zu mangelnder Pflanzenverfügbarkeit des Phosphats führen.

Der Großvieheinheiten-Besatz pro Hektar der untersuchten Betriebe mit Rinderhaltung im TUG GP liegt höher als der GV-Besatz der Rinder haltenden Betriebe im TUG LB. Im Gegensatz dazu ist der GV-Besatz der beiden Betriebe mit Schweinehaltung im TUG LB im betrachteten Zeitraum mit 2,48 GV/ha und 1,98 GV/ha doppelt so hoch wie der GV-Besatz des einen untersuchten Betriebes mit Schweinehaltung im TUG GP. Dadurch liegt die Vermutung nahe, dass die zur Verfügung gestellten Flächen der Betriebe mit Schweinehaltung im TUG LB als nicht repräsentativ für die Flächen des Betriebsdurchschnitts anzusehen sind, da sie keine nachweisbaren Schwermetallanreicherungen aufweisen.

Die Grünlandflächen des TUG GP weisen im Mittel höhere Cadmium- und Zinkgehalte auf als die Ackerflächen. In den beprobten oberen 10 cm des Ah-Horizonts kann eine Anreicherung der Schwermetalle eher stattfinden als im durchschnittlich 30 cm tiefen Pflug-Horizont eines Ackerbodens. Bei den Grünlandflächen scheinen Korrelationen zwischen den Einträgen und den gemessenen Gehalten, aber auch mit den pH-Werten vorzuliegen. Die ermittelten höheren Einträge korrelieren mit den gemessenen höheren Gehalten und niedrige Einträge mit niedrigen Gehalten sowie niedrige Gehalte mit niedrigen pH-Werten.

Die Schwermetallausträge bei hypothetischem Weizenanbau und einem Weizenertrag von 65 dt/ha wurden aufgrund der gemessenen mobilen Schwermetallgehalte (für Cadmium) für jede Ackerfläche geschätzt. Die Austräge über diesen Pfad Boden-Weizenkorn sind entscheidend vom pH-Wert abhängig, so dass sie im TUG GP generell höher sind als im TUG LB. Die pH-Werte liegen bei den Ackerflächen im TUG GP zwischen 4,8 und 6,0, im TUG LB zwischen 6,5 und 7,6. Sowohl das Eintrags- als auch das Austragsniveau ist im TUG GP höher als im TUG LB.

Bei einer Teilfläche eines beprobten Ackers im TUG GP wurde ein mobiler Cd-Gehalt von 0,058 mg/kg TS gemessen, d.h. hier wird der Maßnahmenwert der BBodSchV (1999) von 0,40 mg/kg TS beim Anbau von Brotweizen überschritten. Dieser Wert wird auch bei einigen weiteren Einzelproben der untersuchten Ackerflächen des TUG GP überschritten, bei einer Mittelwertbildung sind diese Überschreitungen jedoch nicht mehr erkennbar. Es fehlen hier noch die Betrachtung der Austräge über den Pfad Boden-Sickerwasser und eine Schätzung der Austräge bei den Grünlandflächen.

5.3 Bewertung der Ergebnisse und Empfehlungen

Bewertung Makroebene

Die durchschnittlichen Schwermetalleinträge pro Hektar und Jahr nehmen generell auf den betroffenen Flächen in der Reihenfolge Klärschlamm > Wirtschaftsdünger > Handelsdünger ab. In derselben Richtung nimmt die Flächengröße der von diesen Einträgen betroffenen Flächen zu. Im langjährigen Mittel sind jedoch die Flächen, auf denen insbesondere Wirtschaftsdünger von Schweinen regelmäßig verwertet wird, am meisten von Schwermetalleinträgen beeinträchtigt. Betrachtet man die beiden Elemente Cadmium und Zink getrennt, ergibt sich ein differenzierteres Bild. Die Zink-Einträge über den Wirtschaftsdünger von Schweinen können bei einer Ausschöpfung der Obergrenzen der Düngeverordnung auf dem gleichen Niveau wie die Einträge einer Klärschlamm-Ausbringung liegen. Demgegenüber können die Cadmium-Einträge über phosphathaltige Mineraldünger über den Einträgen aus Wirtschaftsdünger liegen. Dies ist auf der Makroebene dann der Fall, wenn die Wirtschaftsdünger nach Variante 1 gleichmäßig nach dem GV-Besatz pro Hektar in den beiden Landkreisen auf den Flächen der tierhaltenden Betriebe verteilt werden und die mineralischen NPK-Dünger nach Variante 6, d. h. nach dem P-Bedarf der Feldfrüchte angewandt werden.

In der Regel werden von tierhaltenden Betrieben Wirtschafts- und Handelsdünger zur Düngung einer Feldfrucht verwendet, so dass die beiden Varianten 1 (Verteilung des Wirtschaftsdüngers nach dem GV-Besatz/ha) und 2 (Verteilung des Wirtschaftsdüngers nach den Obergrenzen der Düngeverordnung) um die Komponente Nährstoffbedarf der angebauten Feldfrüchte erweitert werden muss (MALBURG-GRAF 2002). Der für Deutschland von SCHÜTZE & NAGEL (1998) errechnete mittlere Cadmium-Eintrag von $1,4 \text{ g/ha} \cdot \text{a}$ über die Düngung wird ohne zusätzliche Handelsdüngeranwendung dann überschritten, wenn Klärschlamm ausgebracht wird oder wenn Wirtschaftsdünger von Rindern und Schweinen mit einem N-Gesamtgehalt von 210 kg/ha ausgebracht wird. Bei Reduzierung der Menge auf maximal 170 kg N/ha bei Ackerflächen nach der novellierten Düngeverordnung (1996) liegen die Cd-Einträge aus Wirtschaftsdünger in den beiden Landkreisen auf bzw. unter dem Niveau des mittleren Wertes für Cadmium-Einträge aus Düngemitteln in Deutschland (s. Tabelle 7).

Empfehlungen auf der Basis der Ergebnisse auf der Makroebene

Ein endgültiger Bewertungsrahmen dieser Einträge wurde noch nicht erarbeitet, es muss deshalb an dieser Stelle auf MALBURG-GRAF (2002) verwiesen werden. Trotzdem sollen einige Empfehlungen schon an dieser Stelle ausgesprochen werden. Ein nachhaltige Bodennutzung kann sich nicht an der Einhaltung von Grenzwerten der Schwermetallgesamtgehalte der Böden und der Sekundärrohstoffdünger orientieren, sondern hier müssen alle Stoffströme so optimal

wie möglich kontrolliert werden. Das heißt, dass es einheitliche Vorgaben für maximal tolerierbare Schwermetalleinträge aus allen Eintragungspfaden in die landwirtschaftlich genutzten Böden geben müsste und dass die Schwermetallgehalte aller Düngemittel reduziert werden müssen.

An den Ergebnissen auf der Makroebene ist zu erkennen,

- dass die **Verwertung von Wirtschaftsdünger** von Schweinen nach den Obergrenzen der Düngeverordnung auf dem gleichen Niveau wie die Einträge einer Klärschlammaufbringung liegen können und dass diese deshalb bei regelmäßiger Anwendung als kritisch eingestuft werden muss.
- Besonders bezogen auf die Verwertung von Wirtschaftsdünger von Schweinen sollten die maximalen N-Mengen der Düngeverordnung weiter reduziert werden und/oder es sollte eine Begrenzung der Schadstoff-Frachten in der Düngeverordnung eingeführt werden.
- Die strikte Trennung der Kontrolle der Nährstoff-Frachten über die Düngeverordnung einerseits und der Schadstoff-Frachten lediglich durch Klärschlamm-Verordnung und Bioabfall-Verordnung muss im Sinne einer nachhaltigen Bodennutzung überdacht werden.
- Eine gleichmäßige Verteilung der Wirtschaftsdüngermengen auf der Gesamtfläche der tierhaltenden Betriebe führt demgegenüber in beiden Landkreisen zu einer deutlichen Verringerung der Einträge. Aber auch hier fallen insbesondere die hohen mittleren Zink-Einträge über Wirtschaftsdünger von Schweinen im Landkreis Ludwigsburg auf, die mehr als drei mal so hoch sind wie die Zink-Einträge aus Wirtschaftsdünger von Rindern.
- Neben der Kontrolle des Stickstoff-Eintrags in die Böden über die Düngeverordnung sollte auch der Schadstoff-Eintrag letztlich über die Düngeverordnung geregelt werden, so dass die Landwirtschaftsämter als Kontroll-Instanzen für alle Stoffeinträge eingesetzt werden könnten.

Um die zu hohen Schwermetalleinträge einer **Klärschlammaufbringung** (gemessen am bundesdeutschen Durchschnittswert für Cadmium von SCHÜTZE & NAGEL (1998) zu reduzieren,

- sollte eine maximale Verwertungsmenge in einem Jahr (und nicht für drei Jahre) festgelegt werden und die Verwertung sollte insgesamt auf einer größeren Fläche verteilt werden. In den Landkreisen stehen rein theoretisch weitaus größere Flächen für die Klärschlammverwertung zur Verfügung. Bei der jetzigen Praxis wird die Maximalmenge von 5 t TS/ha, die in drei Jahren ausgebracht werden darf, in den meisten Fällen in einem Jahr verwertet und im nächsten Jahr werden vom gleichen Betrieb andere Flächen ebenfalls mit der maximal möglichen Menge beaufschlagt. Das heißt, die Gesamtfläche mit Klärschlammaufbringung ist relativ klein, der Eintrag auf dieser Fläche jedoch sehr hoch.

- Außerdem sollten die Schwermetallgehaltsgrenzwerte des Klärschlammes in der AbklärV weiter abgesenkt werden. Kritisch muss auch bewertet werden, dass zwar ein relativ großer Anteil der Klärschlämme landwirtschaftlich verwertet wird, dass jedoch der größte Teil im Landkreis Göppingen in die neuen Bundesländer exportiert wird. Auch im Landkreis Ludwigsburg wurde im Jahr 1998 der größte Teil der landwirtschaftlich verwerteten Menge nicht auf den landkreiseigenen Flächen aufgebracht. Über andere Jahre liegen keine Daten vor. Hier wird das Problem in andere Regionen exportiert, was die Bodennutzung im eigenen Landkreis auf Kosten eines Schadstoffexports sozusagen „nachhaltiger“ macht. Hier sollten ein bundesweites und regionale Gesamtkonzepte zur Klärschlammverwertung erarbeitet werden, da die Tragweite des Problems über die Entscheidungskompetenz einer Kommune und insbesondere eines landwirtschaftlichen Betriebes hinausgeht und die Verunsicherung in der Landwirtschaft sehr groß ist.

Bewertung Mikroebene

Zur abschließenden Bewertung der Schwermetallbilanz auf der Mikroebene soll unter anderem das Konzept der „kritischen Schwermetalleinträge (critical loads)“ nach SCHÜTZE (1998) getestet werden (MALBURG-GRAF 2002). Es werden im Folgenden schon einige Hinweise zur Bewertung der vorliegenden Ergebnisse gegeben.

Bei gezieltem Einsatz von Einnährstoffdüngern und am Bedarf des Bodens und der Pflanze orientierter P-Düngung bei Betrieben ohne Tierhaltung sind die geringsten Einträge zu verzeichnen. Hinsichtlich der Schwermetalleinträge ist hier das größte Maß an Nachhaltigkeit gegeben. Ein anderes Kriterium für nachhaltige Bodennutzung ist das Schließen der Stoffkreisläufe durch die Kombination aus Viehhaltung und Ackerbau. Bei den Betrieben mit Tierhaltung ist das höchste Maß an Nachhaltigkeit dann gegeben, wenn keine zusätzlichen mineralischen Dünger angewandt werden.

Im ***Teiluntersuchungsgebiet des Landkreises Göppingen*** wurden einzelne Flächen untersucht, die durch Klärschlammaufbringungen ab dem Jahr 1992 gekennzeichnet sind. Gleichzeitig wird auf diesen Flächen Wirtschaftsdünger von Rindern und Schweinen verwertet und es werden verstärkt phosphathaltige Mineraldünger wie NPK-, PK- und NP-Dünger verwendet. Durch diese Kombination kommt es zu hohen, über den Durchschnittswerten für Deutschland liegenden Einträgen. Auf der anderen Seite stehen relativ hohe Austräge über den Pfad Boden-Pflanze aufgrund niedriger pH-Werte verbunden mit einer relativ hohen Schwermetallmobilität. Aufgrund dieses Bodenzustandes können sich Schwermetalle nur in sehr langen Zeiträumen anreichern, insbesondere in den bis maximal 40 cm tiefen Ap-Horizonten ackerbaulich

genutzter Böden. Bei den untersuchten Grünlandböden mit einer hohen Rate von Wirtschaftsdüngerverwertung sind anthropogene Anreicherungen in den oberen 10 cm des Ah-Horizonts nachweisbar. Das Teiluntersuchungsgebiet muss aufgrund dieser Situation als kritischer Bereich angesehen werden, bei dem zusätzliche Schwermetalleinträge aus Klärschlamm zumindest ohne die regelmäßige und langfristige Aufkalkung der Böden vermieden werden sollten. Im Sinne einer nachhaltigeren Bodennutzung müssen hier alle Möglichkeiten erwogen werden, wie in Zukunft insbesondere auf phosphat- und damit Cd-haltige Handelsdünger weitestgehend verzichtet werden kann.

Im **Teiluntersuchungsgebiet des Landkreises Ludwigsburg** wurden keine Flächen mit Klärschlammaufbringungen untersucht. Es wurde eine Fläche eines Großbetriebes (168 ha) untersucht, der Grünguthäcksel bzw. Grünguthäcksel-Kompost verwertet, aber keine Viehhaltung betreibt, so dass keine Wirtschaftsdünger anfallen. Aufgrund geringer Schwermetallgehalte von Grünguthäcksel und der ansonsten eingesetzten Stickstoff-Dünger mit vernachlässigbaren Schwermetallgehalten kann hier derzeit von einer nachhaltigen Bodennutzung gesprochen werden. Auch im TUG LB fallen bei der überwiegenden Anzahl der Betriebe Wirtschaftsdünger in größeren Mengen an, so dass vor allem die Zinkeinträge über den Wirtschaftsdünger in einem mit den Flächen des TUG GP vergleichbaren Niveau liegen. Bei den untersuchten Rinder haltenden Betrieben des TUG LB ist jedoch der GV-Besatz/ha im Durchschnitt etwas niedriger als im TUG GP, während der GV-Besatz bei den Schweine haltenden Betrieben doppelt so hoch ist. Von den untersuchten Betrieben werden phosphathaltige Düngemittel in sehr geringem Ausmaß verwendet, so dass die Cadmium-Einträge eher dem Durchschnittswert von 1,4 g/ha*a in Deutschland entsprechen oder sogar darunter liegen. Eine Akkumulation von Schwermetallen in den Böden des TUG LB ist nur geringfügig möglich, weil auch minimale Austräge in Pflanze stattfinden. Lediglich bei einer Fläche wurden aufgrund der gemessenen Schwermetallgehalte sehr hohe anthropogene Anreicherungen festgestellt, die alleine mit den errechneten mittleren Einträgen pro Jahr auf dieser Fläche nicht erklärbar sind.

Empfehlungen auf der Basis der bisher vorliegenden Ergebnisse auf der Mikroebene

Eine nachhaltige Bodennutzung hinsichtlich der Vermeidung von Schwermetallakkumulationen einerseits und Gefährdungen angrenzender Ökosystem-Kompartimente (Pflanze und Grundwasser) andererseits sollte sich aufgrund der Ergebnisse an folgenden Maximen orientieren:

- Die Düngung muss in der Praxis noch stärker als bisher nach den Erfordernissen des Bodenzustandes durchgeführt werden.
- Die Verwertung von hofeigenem Wirtschaftsdünger hat Vorrang vor dem Einsatz von Handelsdünger und Klärschlamm oder Kompost. Deshalb muss versucht werden, die Schwermetallgehalte von Wirtschaftsdüngern zu drosseln.
- Die Ausbringung von Sekundärrohstoffdüngern sollte in erster Linie von Betrieben ohne eigenen Wirtschaftsdünger durchgeführt werden und sollte noch stärker an eine hohe Pufferkapazität der Böden gekoppelt werden. Nach einem EU-Vorschlag vom 27.04.2000 (BANNICK, BERGS & LINDNER 2002:13) sollen die Schwermetall-Grenzwerte im Boden bei Klärschlammaufbringung deutlicher als nach der geltenden Klärschlamm-Verordnung an pH-Wert-Stufen gebunden werden.
- Der pH-Wert muss mehr als bisher als Steuergröße der Schwermetallmobilität und der Phosphorverfügbarkeit beachtet werden. Generell sollte sich der Einsatz von Phosphatdünger noch stärker als bisher am P-Gehalt des Bodens und am pH-Wert des Bodens orientieren. Kalkung kann die Verwendung von Phosphatdüngern auf den Flächen mit mittleren pH-Werten bei langfristigem und zielgerichtetem Einsatz weitgehend überflüssig machen.
- Die Ausbringung von Sekundärrohstoffdüngern sollte sich generell mehr am Gesamtnährstoff- und Schadstoffinput und -output auf der Fläche orientieren und nicht wie bisher an den Nährstoff- und Schadstoffgehalten des Bodens und der Klärschlämme und Komposte.
- Eine Vereinheitlichung (Harmonisierung) der verschiedenen für die Landwirte relevanten Verordnungen ist dringend erforderlich (insbesondere Düngeverordnung, Düngemittelverordnung, Klärschlamm- und Bioabfallverordnung). Sinnvoll wäre auch eine Reglementierung der Schadstoff-Frachten über die Düngeverordnung. Für die Durchsetzung dieses Ziels und die Umsetzung durch den einzelnen Landwirten ist eine Zusammenarbeit Bodenschutz-Landwirtschaft-Abfallwirtschaft dringend geboten.
- Eine Überprüfung der Schwermetallgehalte der Wirtschaftsdünger sollte insbesondere bei Schweine haltenden Betrieben in größeren Abständen durchgeführt werden.
- Auch die Cadmiumgehalte der phosphathaltigen Düngemittel sollten stichprobenhaft überprüft und auf den Verpackungen deklariert werden. Cadmium-Grenzwerte für Mineraldünger müssten festgelegt werden.
- Die Durchschnittswerte für den GV-Besatz/ha in den Landkreisen bzw. in den Gemeinden täuschen darüber hinweg, dass der einzelne Betrieb über Flächen verfügt, die nicht mit Wirtschaftsdünger beaufschlagt werden: Flächen in Wasserschutzgebieten, Flächen in zu stark reliefierten Bereichen und Flächen in Ortsnähe. Im Gegensatz dazu werden die ebenen Flächen außerhalb der Wasserschutzgebiete, insbesondere diejenigen in Hofnähe besonders stark beaufschlagt, so dass dort die Einträge über dem Durchschnitt liegen. Diese

Flächen werden im Lauf der Zeit zu Deponien der Verwertung der hofeigenen Abfälle. Der GV-Besatz müsste sich folgerichtig an dieser kleineren Fläche des Betriebes orientieren.

- Durch die Untersuchungen auf der Mikroebene ergibt sich, dass die pH-Werte der Böden aufgrund ihrer engen Korrelation mit den mobilen Schwermetallgehalten als Indikatoren für zu hohe Austräge herangezogen werden können. Die Austräge verhindern zwar eine Schwermetallanreicherung im Boden, führen aber zur Gefährdung angrenzender Umweltkompartimente, was nicht im Sinne einer nachhaltigen Bodennutzung sein kann.

Diese Empfehlungen ergeben sich teilweise als Maximalforderungen aus den Ergebnissen und müssen deshalb letztlich auch an den (agrar-)ökonomischen, abfallwirtschaftlichen und juristischen Rahmenbedingungen auf ihre Machbarkeit überprüft werden.

6 Ergebnisse: Schwermetallbilanz auf Makro- und Mikroebene

Das Ziel der Untersuchung auf der **Makroebene** war, mit Hilfe vorhandener statistischer Daten insbesondere die **Schwermetalleinträge** zu quantifizieren, aber auch Aussagen über **Schwermetallausträge** zu machen. Als Haupteintragspfade und damit als Untersuchungsgegenstand bezogen auf die landwirtschaftliche Bodennutzung wurden Sekundärrohstoffdünger wie Klärschlamm und Kompost, aber auch Wirtschaftsdünger und Handelsdünger benannt (s. Kapitel 2). Die Schwermetalleinträge aus Klärschlamm und über Wirtschafts- und Handelsdünger stellten sich für die beiden ausgewählten Landkreise als die wesentlichen heraus, während Kompostverwertung zur Zeit noch eine untergeordnete Rolle spielt. Mit diesem Abschlussbericht können die wichtigsten Ergebnisse bezüglich der **Schwermetalleinträge auf der Makroebene** vorgestellt werden. Außerdem war beabsichtigt, eine Vorgehensweise zur Schätzung der Schwermetallausträge auf der Makroebene zu entwickeln. Dieses Ziel konnte bis zum Zeitpunkt der Fertigstellung dieses Abschlussberichtes noch nicht erreicht werden. Die Schwermetalleinträge über den Luftpfad sollen den Einträgen über die landwirtschaftliche Bodennutzung gegenübergestellt werden (MALBURG-GRAF 2002).

Um das Landkreismodell auf seine Relevanz für den einzelnen landwirtschaftlichen Betrieb bzw. eine landwirtschaftlich genutzte Fläche zu überprüfen, war eine **Quantifizierung der Einträge und Austräge** auch für **einzelne Untersuchungsflächen (Mikroebene)** vorgesehen. Neben dieser Funktion der Untersuchungsflächen sollten gleichzeitig sogenannte kritische Belastungssituationen in den Landkreisen überprüft werden. Unter einer kritischen Belastungssituation ist zu verstehen, dass z. B. zusätzlich zu betriebsinternen Einträgen aus Wirtschaftsdünger bei Viehwirtschaft externe Einträge (z. B. aus Klärschlamm) hinzukommen und dass auf der anderen Seite die Böden eine nicht ausreichende Pufferkapazität für Schwermetalle aufweisen oder aber schon durch erhöhte Schwermetallgehalte gekennzeichnet sind.

Mit diesen Vorgaben erfolgte die Flächenauswahl im Teiluntersuchungsgebiet des Landkreises Göppingen, während dieses Ziel im Landkreis Ludwigsburg letztendlich innerhalb des vorgegebenen Zeitrahmens nicht erreicht werden konnte (vgl. Kapitel 3). Die im Teiluntersuchungsgebiet des Landkreises Ludwigsburg untersuchten Flächen sind, wie die Ergebnisse zeigen, durch eine mittlere Eintragungssituation und eine hohe Pufferkapazität der Böden gekennzeichnet, während die Flächen im Teiluntersuchungsgebiet Göppingen tatsächlich als kritische Bereiche hinsichtlich Eintrag und Austrag angesehen werden müssen. Die Schwermetalleinträge konnten für den größten Teil der insgesamt untersuchten 26 Flächen von 20 Betrieben mit Abschluss dieses Berichtes quantifiziert und dokumentiert werden, während

bezüglich der Schwermetallausträge noch einige Detailfragen geklärt werden müssen. Der Austragspfad Boden – Pflanze wurde für die Flächen auf der Mikroebene betrachtet.

6.1 Methodik und Ergebnisse auf der Makroebene (Landkreise)

Es wurden die Schwermetalleinträge in die Böden der beiden Landkreise aus Klärschlamm, aus Wirtschafts- und Handelsdünger quantifiziert. Die angewandten Methoden werden im einzelnen in den nachfolgenden Kapiteln zusammen mit den Ergebnissen erläutert.

6.1.1 Schwermetalleinträge aus Klärschlamm

Zur Berechnung der Schwermetalleinträge aus Klärschlamm konnten die Datensammlungen der Landratsämter Göppingen und Ludwigsburg (als Untere Abfallrechtsbehörden) verwendet werden, die dort aufgrund der Ausführung der Abfall-/Klärschlammverordnung (AbfKlärV 1992) vorliegen. Ein umfassender Datenpool – eine sogenannte Schlagkartei - aller Klärschlamm-aufbringungen auf einzelnen Flächen des Landkreises liegt für den **Landkreis Ludwigsburg** ab Mitte 1992 bis einschließlich 1998 vor. Diese Quelle liefert die ausgebrachten Mengen und die Schwermetallgehalte der einzelnen Klärschlamm-Chargen, die auf bekannten Flächen verwertet wurden, und die Schwermetallgehalte der Böden. Aufgrund dieser detaillierten Datensammlung konnten folgende Parameter berechnet werden:

- Gesamtmenge an Klärschlamm (t TS), der auf landwirtschaftlichen Flächen im Landkreis LB von 1993 bis 1998 verwertet wurde
- Gesamtfläche mit Klärschlammaufbringung im Landkreis
- Mittlere Klärschlamm-Menge (t TS) pro Hektar 1: $KS \text{ ges. (t TS) / FL ges. (ha)}$
(KS = Klärschlamm, FL = Fläche)
- Mittlere Klärschlamm-Menge (t TS) pro Hektar 2: $KS \text{ EFL (t TS) / EFL (ha)}$
(EFL = Einzelfläche)
- Mittlere Schwermetalleinträge (g/ha) aus Klärschlamm

Diese Datensammlung liegt im Landratsamt Göppingen für den **Landkreis Göppingen** lediglich in Form einzelner Klärschlamm-Lieferscheine vor, die vor einer Auswertung zuerst mit Hilfe eines Datenbank- oder Tabellenkalkulationsprogramms erfasst werden müssten. Da dieser Aufwand im Rahmen der vorliegenden Untersuchung nicht für die Daten des gesamten Landkreises leistbar war, wurden die Jahresstatistiken des Landratsamtes Göppingen zur Quantifizierung der verwerteten Klärschlamm-Mengen ausgewertet. Diese Jahresstatistiken enthalten für die Jahre 1992 bis 2000 die in den Kläranlagen des Landkreises angefallenen Klärschlamm-Gesamt mengen, die in der Landwirtschaft verwerteten Mengen und die mittleren Schwermetallgehalte der in den jeweiligen Kläranlagen anfallenden Schlämme. Die für den Landkreis Göppingen ermittelten mittleren Schwermetalleinträge sind deshalb mit dem Fehler

behaftet, dass die mittleren Schwermetallgehalte der gesamten Klärschlämme des Landkreises und nicht nur die Werte der in der Landwirtschaft verwerteten Schlämme als Berechnungsgrundlage herangezogen werden konnten.

Da nicht alle notwendigen Daten aus der Jahresstatistik entnommen werden konnten, musste ein Teil der Klärschlamm-Lieferscheine ausgewertet werden. Das Landratsamt überwacht auch den Import von Klärschlämmen in den Landkreis sowie den Export aus dem Landkreis. Die vorliegenden Klärschlamm-Lieferscheine wurden daraufhin überprüft, welche zur Verwertung in der Landwirtschaft abgegebenen Klärschlamm-Mengen aus dem Landkreis exportiert wurden und damit von den Gesamtmengen subtrahiert werden müssen und welche in den Landkreis importiert wurden und folglich addiert werden müssen.

Diese Vorgehensweise hat zur Folge, dass im Unterschied zur Auswertung der Schlagkartei des Landkreises LB folgende Parameter direkt entnommen bzw. berechnet werden konnten:

- Gesamtmenge an Klärschlamm, die von allen Kläranlagen des Landkreises anfällt
- Gesamtmenge an Klärschlamm (t TS), der auf landwirtschaftlichen Flächen im Landkreis GP von 1993 bis 1999 verwertet wurde
- Gesamtmenge an Klärschlamm (t TS), der aus dem Landkreis exportiert wurde
- Gesamtmenge an Klärschlamm (t TS), der in den Landkreis importiert wurde
- Mittlere Schwermetalleinträge (g/ha) aus Klärschlamm in Böden im Landkreis

Der Parameter

- Gesamtfläche mit Klärschlammaufbringung im Landkreis GP

wurde indirekt auf der Basis der Prämisse berechnet, dass zwischen 1,67 t TS/ha und 5,0 t TS/ha Klärschlamm in einem Jahr auf einer Fläche verwertet werden. Daraus ergeben sich eine minimale und eine maximale Gesamtfläche mit Klärschlammaufbringung.

Die **Ergebnisse** zeigen, dass in beiden Landkreisen jeweils nur ein sehr kleiner Teil der Gesamtackerfläche von der Ausbringung von Klärschlamm betroffen ist (s. Tabelle 9). Die im Landkreis Göppingen in der Landwirtschaft verwertete Klärschlamm-Menge und die beaufschlagte Fläche sind kleiner als im Landkreis Ludwigsburg. Die Auswertungen für den Landkreis Ludwigsburg ergeben, dass die innerhalb von 3 Jahren nach AbfKlärV (1992) maximal mögliche Klärschlamm-Menge von 5 t TS/ha meist in einem Jahr aufgebracht wird. Ein Flächenanteil von etwa 9% wurde im Zeitraum 1992 bis 1998 zwei mal beaufschlagt, ca. 1,5% drei mal. Im Jahr 1997 lagen die verwerteten Mengen im Landkreis LB über den zulässigen Maximalfrachten der AbfKlärV (1992).

Tabelle 9: Klärschlamm-Mengen und Flächen mit Klärschlamm in den Landkreisen GP und LB

Jahr	KS an Ldw. (t TS)		KS-Menge/Fläche (t TS/ha)			Fläche mit KS (ha)			Anteil an Gesamt- Ackerfläche (%) ***	
	GP	LB	GP	LB*	LB**	GP (1,67 t/ha)	GP (5,0 t/ha)	LB	GP (5,0 t/ha)	LB
1993	491	1670	n.b.	3,63	4,13	294	98	460	0,76	1,75
1994	485	684	n.b.	4,24	4,49	290	97	161	0,75	0,61
1995	327	748	n.b.	3,14	3,50	196	65	238	0,50	0,91
1996	423	1140	n.b.	4,89	4,76	253	85	233	0,66	0,89
1997	520	1333	n.b.	5,74	7,99	311	104	232	0,81	0,88
1998	436	2379	n.b.	4,43	4,95	261	87	538	0,67	2,05
1999	603	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	361	121	n.b.	0,94	n.b.

n.b. nicht bekannt

* Gesamte KS-TS bezogen auf die Gesamtackerfläche

** KS-TS, die im Durchschnitt auf einzelnen Flächen aufgebracht wird

*** Die Prozentwerte beziehen sich auf den Mittelwert der Gesamtackerfläche der Jahre 1995 und 1999 in den beiden Landkreisen (GP:12.901 ha, LB:26.272 ha) (STALA 1998 und 2001)

Geht man davon aus, dass im Landkreis Göppingen die nach AbfklärV (1992) zulässige Höchstmenge von 5 t/ha*3a ebenfalls in einem Jahr auf einer Fläche ausgebracht wird, ergibt sich, dass im Zeitraum 1993 bis 1999 jährlich eine Fläche zwischen 65 und 121 ha Fläche mit Klärschlamm beaufschlagt wurde. Bei Aufbringung einer geringeren Menge erhöht sich die Flächengröße und der Schwermetalleintrag verringert sich (s. Tabelle 9).

Klärschlammverwertung im Landkreis Göppingen

Abbildung 6 veranschaulicht die auf landwirtschaftlichen Flächen im LK Göppingen in den Jahren 1993 bis 1999 verwertete Klärschlamm-Trockensubstanz von landkreiseigenen und landkreisfremden Kläranlagen. Addiert man die beiden Säulen jedes Jahres, ergibt sich die Gesamtmenge an Klärschlamm, der auf Flächen des Landkreises verwertet wurde (vgl. Tabelle 9). Der größte Teil des in der Landwirtschaft verwerteten Klärschlammes wird aus dem Landkreis Göppingen exportiert, und zwar in erster Linie in die neuen Bundesländer (LRA GP 1999). Dagegen gelangen nur zwischen 1,8 und 4,9 % der von Kläranlagen des Landkreises produzierten Gesamtmenge auf landwirtschaftliche Flächen im Landkreis Göppingen. Der Anteil des Imports schwankt im betrachteten Zeitraum zwischen 7,3 und 39,9 % (vgl. Abbildung 7).

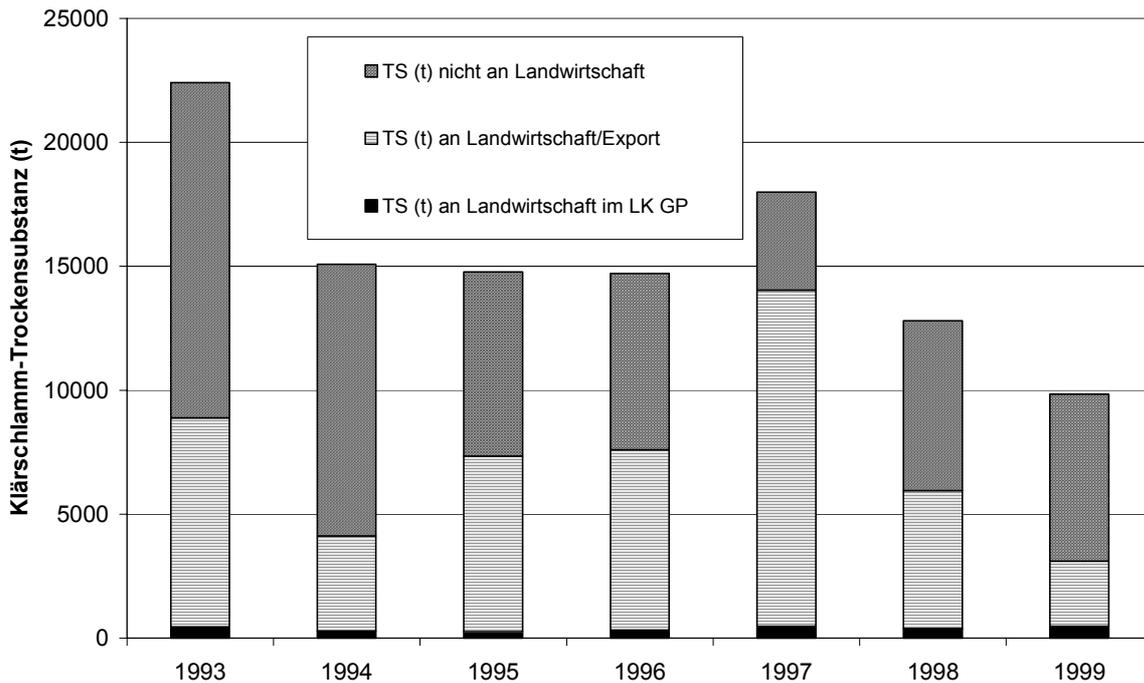


Abbildung 6: Gesamte im Landkreis Göppingen anfallende Klärschlamm-Menge mit dem Anteil des in der Landwirtschaft entsorgten Klärschlamms, unterteilt in exportierte und auf Ackerflächen im Landkreis GP verwertete Menge. Nicht an Landwirtschaft = Deponierung, Kompostierung, Verbrennung etc.

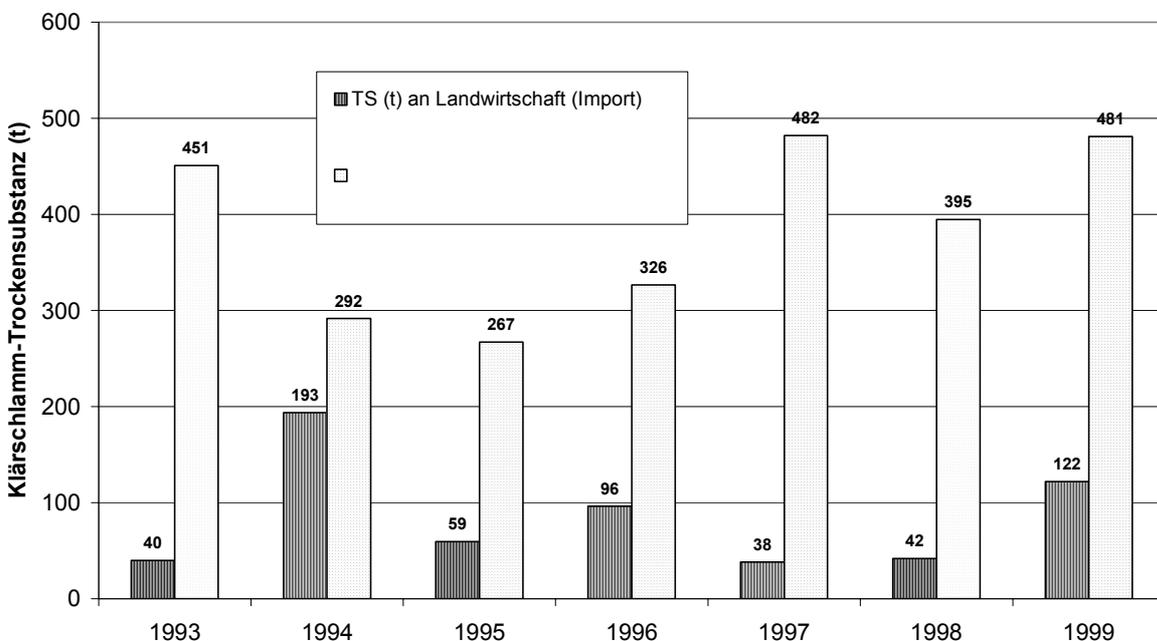


Abbildung 7: Auf landwirtschaftlichen Flächen im LK Göppingen 1993 bis 1999 verwerteter Klärschlamm (dunkle Säulen: KS von Kläranlagen des LK GP, helle Säulen: in den Landkreis importierter Klärschlamm) (Datenquelle: Landratsamt Göppingen)

Klärschlammverwertung im Landkreis Ludwigsburg

Eine vergleichbar detaillierte Landkreis-Jahresstatistik liegt für den Landkreis Ludwigsburg erst ab dem Jahr 1998 vor. Im Landkreis Ludwigsburg fallen größere Klärschlamm-Gesamtmengen als im Landkreis Göppingen an, was auf die höhere Bevölkerungszahl (DECKARM & BRACHAT-SCHWARZ 1997) und den dadurch höheren Anteil an Abwässern im Landkreis Ludwigsburg zurückzuführen ist (vgl. Abbildung 8). Mit den insgesamt höheren Klärschlamm-Mengen können auch die höheren in der Landwirtschaft verwerteten Mengen erklärt werden. Auch im Landkreis Ludwigsburg ist im Jahr 1998 der Anteil der auf landwirtschaftlichen Flächen des eigenen Landkreises verwerteten Klärschlämme an den gesamten Klärschlamm-Mengen sehr klein.

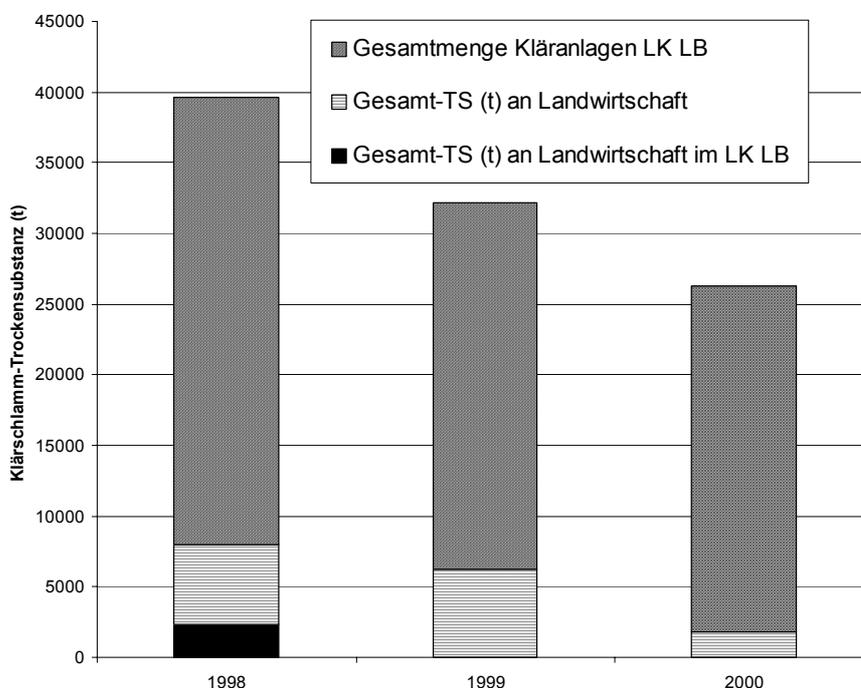


Abbildung 8: Anteil der auf landwirtschaftlichen Flächen im LK LB verwerteten Klärschlamm-Trockensubstanz 1998 im Vergleich mit den insgesamt anfallenden Klärschlamm-Mengen (TS) und den insgesamt in der Landwirtschaft verwerteten Mengen. Für die Jahre 1999 und 2000 liegen keine Daten zur Klärschlammverwertung auf den Flächen des Landkreises vor.

Schwermetalleinträge aus Klärschlamm im Landkreis Göppingen

Die folgenden beiden Diagramme veranschaulichen die unterschiedliche Höhe der Cadmium- und Zinkeinträge bei der Anwendung von 5 t Klärschlamm-Trockensubstanz und von 1,67 t TS in einem Jahr. Im betrachteten Zeitraum bewegen sich die Cadmium-Einträge zwischen 2 und 3 g/ha bei Anwendung von 1,67 t TS/ha und zwischen 6,5 und 9 g/ha bei einer Aufbringung von 5 t TS/ha. Im Vergleich mit den mittleren Einträgen aus Wirtschaftsdünger und insbesondere aus Handelsdünger liegen diese Werte sehr hoch.

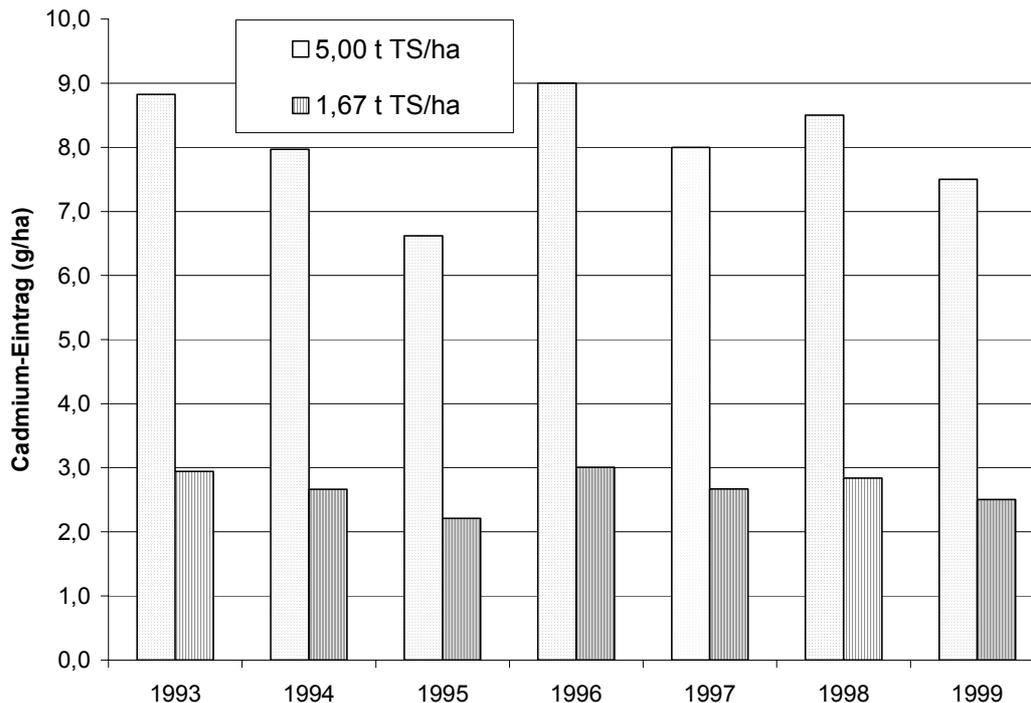


Abbildung 9: Mittlerer Cadmium-Eintrag im Landkreis GP bei Ausbringung von 1,67 t TS/ha oder der maximalen Klärschlamm-Menge von 5 t TS/ha in einem Jahr

Die mittleren Cadmiumgehalte der Klärschlämme von Kläranlagen im Landkreis Göppingen liegen zwischen 1,3 und 1,8 mg/kg TS, die Zinkgehalte zwischen 715 und 888 mg/kg TS. Allerdings schwanken die Werte relativ stark um diese Mittelwerte. Bei Cadmium liegen die Variationskoeffizienten zwischen 44 und 102 %, bei Zink zwischen 27 und 44 %. Die Klärschlamm-Mengen pro Hektar wurden mit diesen mittleren Schwermetallgehalten zur Ermittlung der Schwermetalleinträge multipliziert.

Schwermetalleinträge aus Klärschlamm im Landkreis Ludwigsburg

Die Cadmium-Gehalte der Klärschlämme im Landkreis LB liegen etwas unter den mittleren Werten für den Landkreis GP, während die Zinkgehalte nicht wesentlich voneinander abweichen. An Tabelle 10 lässt sich für das Jahr 1998 ablesen, dass den Werten unterschiedliche Datenquellen zugrunde liegen. Die Auswertung der digitalen Schlagkartei des Landratsamtes ergibt für 1998 sehr niedrige Schwermetallgehalte der auf den Flächen aufgetragenen Klärschlämme im Vergleich mit den vorangehenden Jahren. Ab dem Jahr 1999 wurde diese Datenbank nicht mehr weitergeführt, so dass lediglich auf die Jahresstatistik zurückgegriffen werden kann.

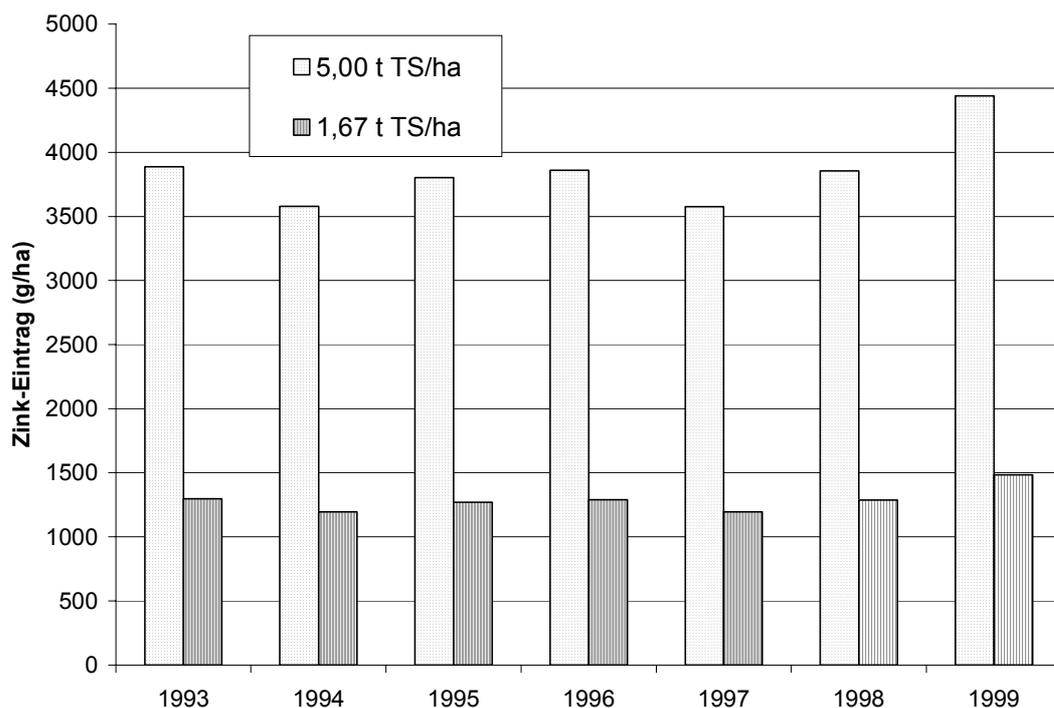


Abbildung 10: Mittlerer Zink-Eintrag im Landkreis GP bei Ausbringung von 1,67 t TS/ha oder der maximalen Klärschlamm-Menge von 5 t TS/ha in einem Jahr

Die Werte der Jahresstatistik für 1998, 1999 und 2000 liegen auf dem gleichen Niveau wie die Werte für 1993 bis 1997, die auf der digitalen Schlagkartei beruhen. Der markante Unterschied zwischen Jahresstatistik und Schlagkartei ist dadurch begründet, dass im Jahr 1998 Klärschlämme mit Schwermetallgehalten auf den Landkreisflächen ausgebracht wurden, die weit niedriger als die Schwermetallgehalte der Schlämme aller Kläranlagen waren.

Tabelle 10: Schwermetallgehalte der Klärschlämme (mg/kg TS) im Landkreis Ludwigsburg 1993 – 1999

mg/kg TS	1993 ¹	1994 ¹	1995 ¹	1996 ¹	1997 ¹	1998¹	1998²	1999 ²	2000 ²
Cd	1,1	1,3	1,4	1,6	1,3	0,7	1,4	1,2	1,1
Cu	315	301	380	292	272	60	355	401	429
Ni	24	31	27	30	31	8	26	28	24
Pb	55	57	67	82	61	11	64	57	56
Zn	705	687	767	846	746	224	700	737	755

1 = Quelle: Digitale Schlagkartei des Landratsamtes LB; 2 = Quelle: Jahresstatistik des Landratsamtes LB

Die Schwermetalleinträge beziehen sich auf die tatsächlich auf den Flächen des Landkreises ausgebrachten Klärschlämme und deren Schwermetallgehalte. Die Werte zeichnen die Höhe der Klärschlamm-Mengen pro Hektar und die Schwermetallgehalte der ausgebrachten Klär-

schlämme in den verschiedenen Jahren nach (vgl. Tabellen 9 u. 10). Die Flächengrößen, für die diese Einträge gelten, sind Tabelle 9 zu entnehmen.

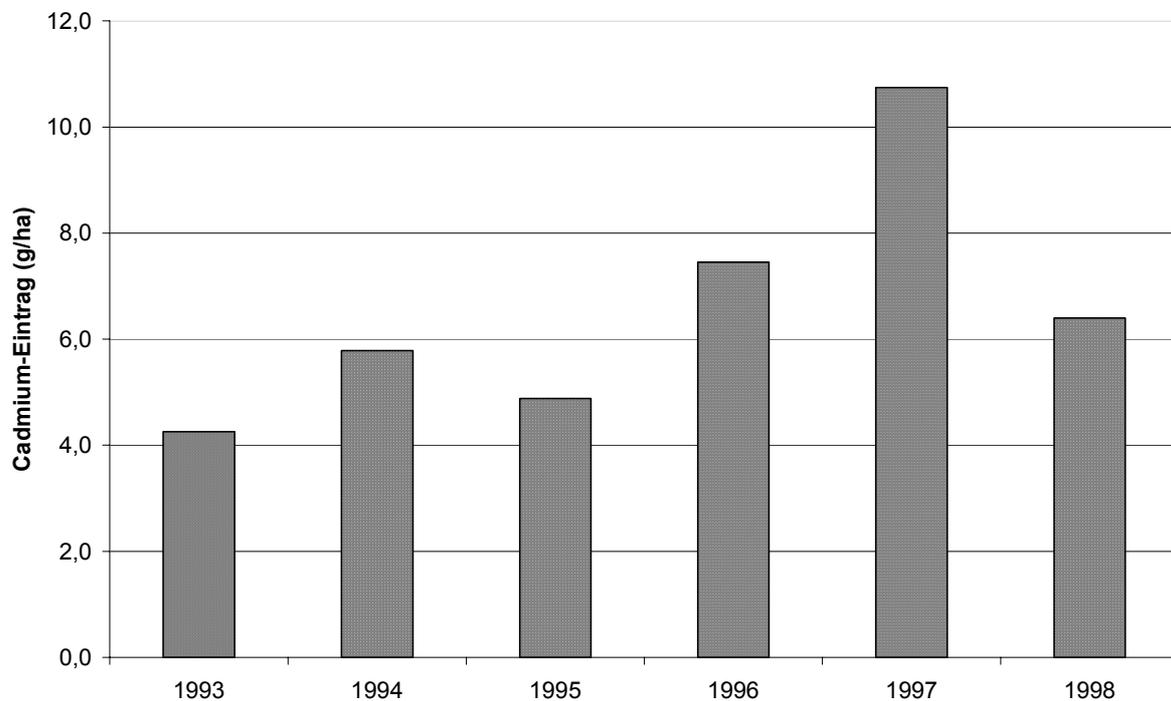


Abbildung 11: Cadmium-Eintrag aus Klärschlamm in die landwirtschaftlich genutzten Böden im Landkreis LB

Die mittleren Cadmium-Einträge in die Böden des Landkreises Ludwigsburg liegen im betrachteten Zeitraum zwischen 4 und 10 g/ha, die mittleren Zink-Einträge zwischen 1000 und fast 6000 g/ha. Die Größenordnung der Werte entspricht derjenigen im Landkreis Göppingen.

Fazit zu den Schwermetalleinträgen aus Klärschlamm

Die Einträge liegen auf einem sehr hohen Niveau, beziehen sich jedoch nur auf sehr kleine Teilflächen bezogen auf die Gesamtackerfläche der Landkreise. Der mittlere Cadmium-Eintrag von 1,4 g/ha*a durch die Düngung auf landwirtschaftlichen Flächen in Deutschland (SCHÜTZE & NAGEL 1998) wird durch diese Einträge aus Klärschlamm teilweise weit übertroffen.

Es fehlt an dieser Stelle die Betrachtung der Böden, die von diesen Einträgen betroffen sind und deren Bodenzustand ein Kriterium für die Flächenauswahl auf der Mikroebene darstellte. Auf der Basis der Gesamtschwermetallgehalte und der pH-Werte soll eine Abschätzung der Schwermetallausträge auf diesen Flächen durchgeführt werden (MALBURG-GRAF 2002).

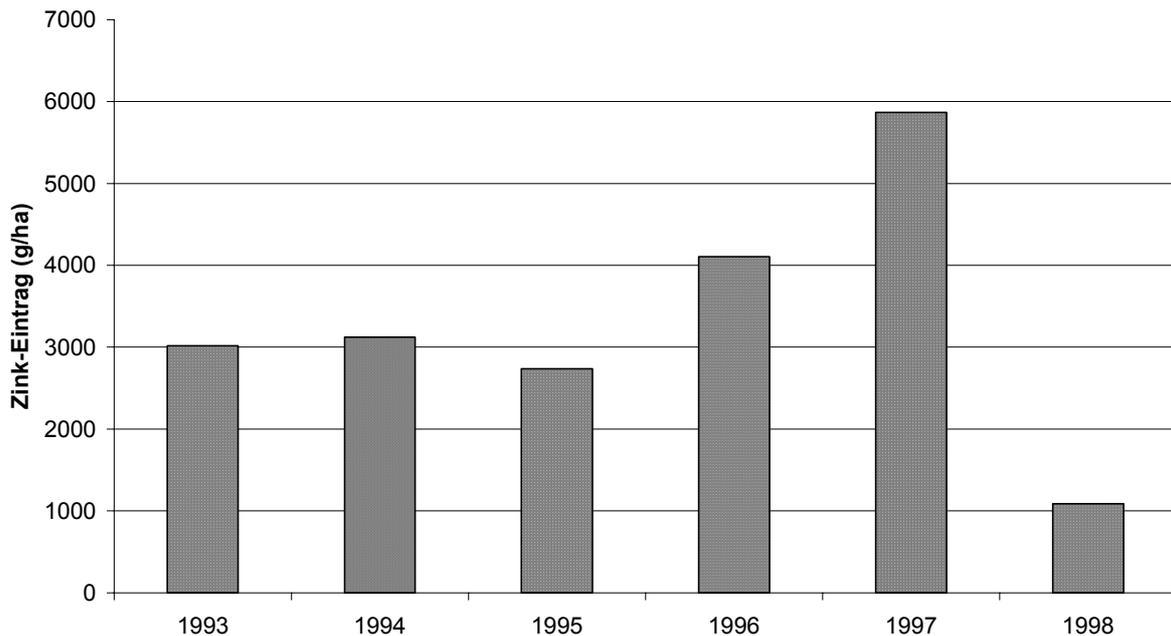


Abbildung 12: Zink-Eintrag aus Klärschlamm in die landwirtschaftlich genutzten Böden im Landkreis LB

6.1.2 Schwermetalleinträge aus Wirtschafts- und Handelsdünger

Statistische Daten zum Düngemittelanfall liegen auf Landkreis-Ebene nicht vor. Statistiken zu den verkauften Handelsdüngermengen finden sich für die Bundesebene (STATISTISCHES BUNDESAMT 1999). Zu den anfallenden Wirtschaftsdüngermengen in Baden-Württemberg insgesamt gibt es Daten des STATISTISCHEN LANDESAMTES BADEN-WÜRTTEMBERG (1998). Die in den Landkreisen Göppingen und Ludwigsburg anfallenden Wirtschafts- und Handelsdüngermengen wurden deshalb auf der Basis einer Nährstoffbilanz nach Düngeverordnung (BMELF 1996) unter der Annahme geschätzt, dass es sich bei den Landkreisen um landwirtschaftliche Betriebe mit Nährstoffinput und -output handelt (s. Anhang, Tabellen A3 – A14). Eine Nährstoffzufuhr im landwirtschaftlichen Betrieb geschieht durch Tierausscheidungen und bei Stickstoff zusätzlich durch N-bindende Feldfrüchte wie Leguminosen und Gräser (Grünland). Der Nährstoffentzug wird ermittelt auf der Grundlage der Erträge auf den verschiedenen Anbauflächen. Aus Abfuhr und Entzug ergibt sich die Nährstoffbilanz. In Abbildung 13 ist das Modell der Berechnung der Schwermetalleinträge dargestellt.

Ausgangspunkt der Berechnungen ist der Nährstoffbedarf der Feldfrüchte, deren erzielte Erträge und Anbaufläche für die Jahre 1991, 1995 und 1999 in der Struktur- und Regionaldatenbank des Statistischen Landesamtes Baden-Württemberg (STALA 2001a) nachgewiesen sind. Dadurch

ist es möglich, den Schwermetalleintrag für Anbauflächen in den 3 Jahren basierend auf einer modellhaften Düngemittelanwendung zu schätzen.

Ein besseres Modell könnte mit Hilfe von Zahlen zu regionalen Ertragszielen erstellt werden, die zumindest bei einem Teil der Betriebe über den tatsächlich erzielten Erträgen liegen. Die Ertragsziele der einzelnen Betriebe können jedoch auch innerhalb eines agrarökologisch weitgehend homogenen Gebietes relativ weit auseinander liegen, wie es die Ergebnisse auf der Mikroebene zeigen. Im langjährigen Mittel und im Durchschnitt aller Betriebe wird davon ausgegangen, dass aus ökonomischen Gründen nicht wesentlich über die tatsächlich erzielbaren Erträge hinaus - und dies sind die in der Vergangenheit erzielten Erträge - gedüngt wird.

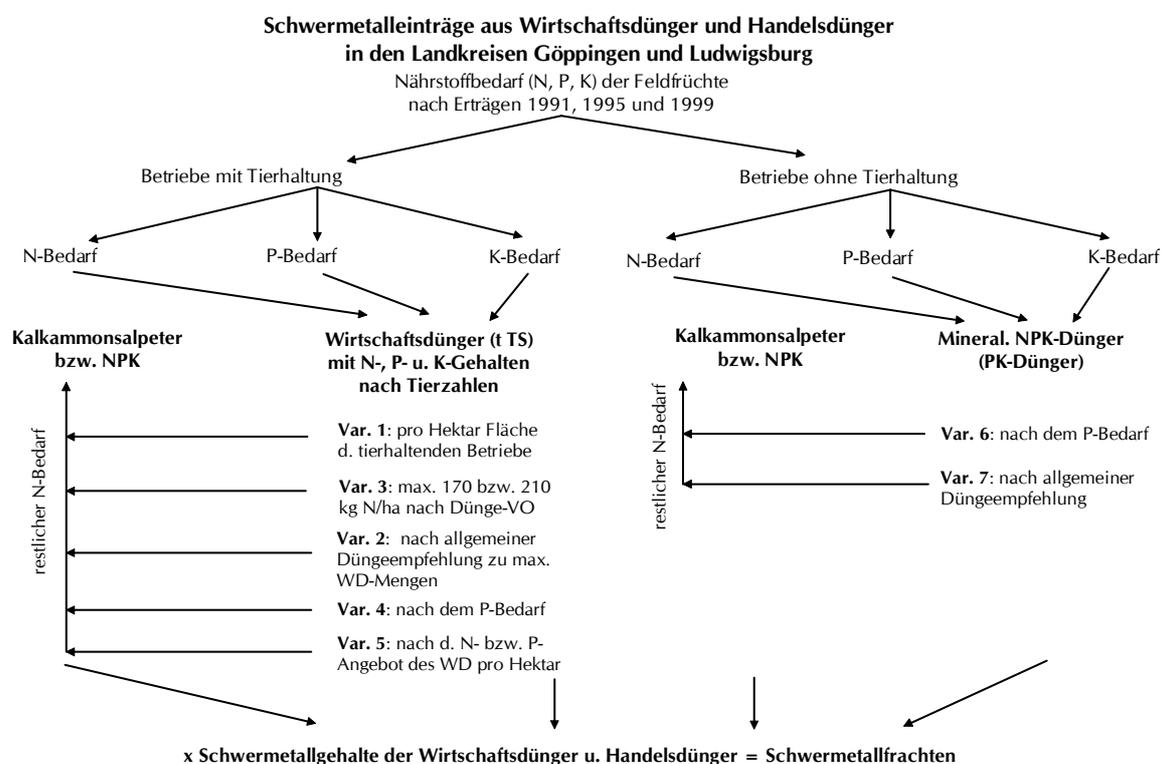


Abbildung 13: Berechnung der Schwermetalleinträge aus Wirtschafts- und Handelsdünger für Betriebe mit und ohne Tierhaltung nach verschiedenen Varianten

Außerdem kann bei einer landkreisbezogenen Berechnung des Düngedarfs der kleinräumig stark variierende Bodenvorrat an Nährstoffen nicht berücksichtigt werden, was bei einer fachgerechten landwirtschaftlichen Bodennutzung vorausgesetzt werden muss und was den tatsächlichen Düngeaufwand reduziert. Die erzielten Erträge als Basis für die Ermittlung des Düngedarfs können deshalb als eine realitätsnahe Schätzung angesehen werden, weil sie

einerseits die zur Erreichung eines höheren Ertragsziels nötigen höheren Düngemittelmengen, aber gleichzeitig auch den Bodenvorrat und damit geringere Mengen unberücksichtigt lassen.

Um die Größenordnung der Schwermetalleinträge aus den Quellen Wirtschaftsdünger und Handelsdünger abschätzen zu können, muss zwischen den Betrieben mit und den Betrieben ohne Tierhaltung unterschieden werden. Aufgrund unzureichender Datenlage ist die Betrachtung verschiedener, modellhafter Düngevarianten notwendig.

6.1.2.1 Betriebe mit Tierhaltung

Aufgrund der Tierzahlen der beiden Landkreise und Richtwerten zu den daraus sich ergebenden Tierausscheidungen (LAP FORCHHEIM & LEL SCHWÄBISCH GMÜND 1997) können die insgesamt anfallenden Wirtschaftsdüngermengen errechnet werden. Es wird unterstellt, dass ein Großteil des Wirtschaftsdüngers von Rindern und Schweinen in Form von Flüssigmist (=Gülle) mit einem durchschnittlichen Trockensubstanzanteil von 7,5 % anfällt. Bei Geflügel handelt es sich vorwiegend um Festmist mit einem Trockensubstanzanteil von 50 bis 55%. Für die Schätzung der Schwermetalleinträge in die Böden ist das Gewicht der Trockensubstanz der Wirtschaftsdünger relevant.

$$(1) 1\text{m}^3 \text{ Flüssigmist} = 1 \text{ t}$$

$$(2) 1 \text{ t Flüssigmist R/S} * 7,5 / 100 = 0,075 \text{ t TS}$$

$$1 \text{ t Festmist G} * 50 \text{ bzw. } 55 / 100 = 0,50 \text{ bzw. } 0,55 \text{ t TS}$$

R= Rind; S= Schwein; G= Geflügel

Die folgende Tabelle gibt einen Überblick über die Flächen, die von den Betrieben mit Viehhaltung in den beiden Landkreisen bewirtschaftet werden. In beiden Landkreisen verfügen die Betriebe mit Tierhaltung über den weitaus größten Anteil an der gesamten landwirtschaftlichen Nutzfläche. Im Landkreis Göppingen überwiegt das Grünland gegenüber dem Ackerland, während im Landkreis Ludwigsburg das Grünland nur einen kleinen Teil an der gesamten Fläche ausmacht. Insgesamt zeichnen sich an der Abnahme der Fläche die zurückgehenden Tierzahlen von 1991 bis 1999 ab.

Tabelle 11: Acker- und Dauergrünlandflächen (Hektar) der tierhaltenden Betriebe in den Landkreisen Göppingen und Ludwigsburg

	1991			1995			1999		
	Gesamt	Acker	Grünl.	Gesamt	Acker	Grünl.	Gesamt	Acker	Grünl.
GP	20.656	9.503	11.040	18.762	8.401	10.271	18.660	8.492	10.105
LB	24.875	20.266	3.395	23.047	18.429	3.461	21.551	16.959	3.447

Quelle: STALA BADEN-WÜRTTEMBERG (2001a)

In Tabelle 12 sind die wichtigsten Mengenangaben zusammengefasst, die für die Verteilung des Wirtschaftsdüngers auf der landwirtschaftlich genutzten Fläche des Landkreises relevant sind. Die Rinderzahlen und demzufolge die Wirtschaftsdüngermengen von Rindern haben in beiden Landkreisen von 1991 bis 1999 kontinuierlich abgenommen. Die Werte liegen im Landkreis Göppingen um den Faktor 1,9 im Jahr 1999, 1,8 1995 und 1,5 im Jahr 1991 höher als im Landkreis Ludwigsburg, wo die Schweinehaltung traditionell eine größere Rolle als im Landkreis Göppingen spielt.

Während die Zahl der Großvieheinheiten bei Schweinen im Landkreis Ludwigsburg von 1991 bis 1999 nahezu unverändert blieb, ist im Landkreis Göppingen eine leicht abnehmende Tendenz zu erkennen. Auch bei Geflügel ist im Landkreis Ludwigsburg eine weitgehende Konstanz zu erkennen, während die Zahlen im Landkreis Göppingen kontinuierlich abnehmen. Insgesamt ist eine Abnahme der Tierzahlen und damit der Wirtschaftsdüngermengen von 1991 bis 1999 zu verzeichnen.

In beiden Landkreisen liegen die Großvieheinheiten von Pferden und Schafen zusammen in etwa auf dem selben Niveau wie die Großvieheinheiten von Schweinen. Da zu den Schwermetallgehalten von Pferde- und Schafsmist zu wenige Daten vorliegen, beziehen sich alle Berechnungen auf der Makroebene auf die Wirtschaftsdünger von Rindern, Schweinen und Geflügel.

Bei der Verteilung der Wirtschaftsdünger auf der landwirtschaftlich genutzten Fläche ist in erster Linie der je nach Betrieb unterschiedliche Großvieheinheiten-Besatz (GV/ha) relevant, insbesondere die tatsächlich den Betrieben für die Ausbringung zur Verfügung stehende Fläche. Darüber hinaus müssen von der gesamten landwirtschaftlichen Fläche der Betriebe durch Grünland genutzte, stark reliefierte und somit nicht befahrbare Bereiche und Wasserschutzgebiete subtrahiert werden, da sie für eine Ausbringung von Wirtschaftsdünger nicht in Frage kommen.

Tabelle 12: Großvieheinheiten (GVE), Wirtschaftsdünger (WD), N-Gehalte der Wirtschaftsdünger (N) nach Abzug von 30% Lagerungs- und Ausbringungsverlusten und Flächen der überwiegend Rinder, Schweine oder Geflügel haltenden Betriebe in den Landkreisen GP und LB 1991, 1995 und 1999

	LK GP 1991	LK GP 1995	LK GP 1999	LK LB 1991	LK LB 1995	LK LB 1999
GVE Rinder (MEKA)	31.822	29.067	26.655	20.631	16.524	14.066
WD Rinder (t TS)	54.173	49.163	45.637	34.681	27.698	23.802
N WD Rinder (kg)	1.861.320	1.698.102	1.583.021	1.204.672	963.134	831.626
Fläche Rinderhalter (ha)	n.b.	n.b.	23.015	n.b.	n.b.	15.808
GVE Schweine (MEKA)	2.337	2.172	2.037	3.859	3.899	3.852
WD Schweine (t TS)	2.676	2.485	2.378	4.423	4.453	4.449
N WD Schweine (kg)	145.854	135.403	131.359	241.208	242.259	243.992
Fläche Schweinehalter (ha)	n.b.	n.b.	3.241	n.b.	n.b.	5.065
GVE Geflügel (MEKA)	1.100	977	705	629	684	652
WD Geflügel (t TS)	3.164	2.820	2.033	1.816	1.917	1.858
N WD Geflügel (kg)	137.096	122.132	88.059	78.464	83.129	81.446
Fläche Geflügelhalter (ha)	n.b.	n.b.	799	n.b.	n.b.	1.766

n.b.: nicht bekannt; MEKA: Schlüssel des „Marktentlastungs- und Kulturlandschaftsausgleichsprogramms“ zur Errechnung der GV-Einheiten

Die Annahme verschiedener Varianten beruht auf dem Wissen, dass bei der Verteilung der Wirtschaftsdünger verschiedene Rahmenbedingungen eine Rolle spielen. Die Varianten 1, 2 und 5 orientieren sich am Verhältnis von vorhandener Wirtschaftsdüngermenge bzw. von Nährstoffgehalt im Wirtschaftsdünger pro Flächeneinheit. Die Varianten 3 und 4 orientieren sich am Bedarf der angebauten Feldfrüchte. In einem weiteren Schritt ist vorgesehen, die Varianten miteinander zu kombinieren (MALBURG-GRAF 2002).

Zusätzlich wird der neben der Wirtschaftsdüngeranwendung stattfindende Einsatz von Handelsdüngern betrachtet. Ein geeignetes Modell für die Handelsdüngeranwendung auf der Makroebene zu erstellen, beinhaltet größere Unsicherheiten als für die Wirtschaftsdüngeranwendung. Die Ergebnisse auf der Mikroebene zeigen, dass hier die betriebsbezogenen Unterschiede sehr groß sind. Vereinfachend wird davon ausgegangen, dass Kalkammonsalpeter (KAS) der wichtigste N-Dünger ist und dass NPK-Dünger (3*15%) am häufigsten zur Deckung des Bedarfs an allen drei Hauptnährstoffen verwendet wird. Wie die Untersuchungen auf der Mikroebene dokumentieren, übernimmt NPK-Dünger auch die Funktion eines N-Düngers, d. h. der N-Bedarf ist der Steuerfaktor für die Berechnung der NPK-Düngergabe. Die beiden Varianten Einsatz von KAS oder NPK zur Deckung des restlichen N-Bedarfs - nach der Verwertung von Wirtschaftsdünger als Volldünger - sollen dieser Beobachtung Rechnung tragen. Wird

Kalkammonsalpeter nach Verwertung des Wirtschaftsdüngers zur Deckung des restlichen N-Bedarfs verwendet, so erhöhen sich die Schwermetalleinträge nur unwesentlich. Dies zeigen die Berechnungen der Variante 6 zu den Betrieben ohne Tierhaltung.

Variante 1: Betriebe mit Tierhaltung / Gleichmäßige Verteilung des Wirtschaftsdüngers auf der den tierhaltenden Betrieben zur Verfügung stehenden Fläche

Für das Jahr 1999 wurden vom Statistischen Landesamt mit Hilfe einer Sonderauswertung der Struktur- und Regionaldatenbank (STALA BADEN-WÜRTTEMBERG 2001a) gemeindebezogene Angaben zum GV-Besatz pro Hektar zur Verfügung gestellt. Lediglich die Landwirtschaftszählung 1999 des Statistischen Landesamtes lässt eine solche Auswertung zu, während dies für die früheren Jahre nicht möglich war. Die Daten erlauben die Berechnung der Cadmium- und Zinkeinträge auf den Flächen, die den Betrieben mit überwiegender Rinder-, Schweine- oder Geflügelhaltung tatsächlich zur Verfügung stehen. Die Daten zu der jeweiligen Flächengröße und zu den Großvieheinheiten der Rinder, Schweine und des Geflügels liegen für jede Gemeinde in den beiden Landkreisen vor.

Aus den Tierzahlen gegliedert nach Altersstufe bzw. Gewichtsklasse ergeben sich die absoluten Mengen an Wirtschaftsdünger von Rindern und Schweinen (s. Anhang, Tabellen A3 bis A14), für die vereinfachend 100% Flüssigmistverfahren in den beiden Landkreisen angenommen werden, und von Geflügel, wobei von ausschließlicher Festmistanfall im gesamten Landkreis ausgegangen wird. Außerdem wurden die GV-Einheiten auf der Basis dieser Tierzahlen ermittelt, so dass sich der Koeffizient „Wirtschaftsdünger-Trockensubstanz (t TS) pro GV“ als Landkreiswert ergibt:

$$(3) \quad \text{WD-TS/GV (R/S/G)} = \sum (\text{WD-TS TK} / \text{GV TK}) * \text{GV TK} / \sum \text{GV TK}$$

WD = Wirtschaftsdünger; TS = Trockensubstanz; TK = Tierartenklasse (z. B. Milchkühe 6000 kg); GV = Großvieheinheit; R = Rind; S = Schwein; G = Geflügel;

Die Wirtschaftsdüngermenge pro GV wird als Faktor zur Multiplikation mit den GV-Einheiten verschiedener Tiergruppen in den Gemeinden verwendet. Der resultierende Wert wird auf die Fläche der überwiegend Rinder, Schweine oder Geflügel haltenden Betriebe in den einzelnen Gemeinden herangezogen:

$$(4) \quad \text{WD-TS GE (t) / FL (ha)} = (\text{WD/GV (R/S/G)} * \text{GV GE}) / \text{FL (R/S/G) (ha)}$$

GE = Gemeinde; FL = landwirtschaftlich genutzte Fläche

Die Wirtschaftsdünger-Trockensubstanz pro Hektar in den Gemeinden wird anschließend (gewichtet nach den GV- und damit Wirtschaftsdünger-Anteilen der drei verschiedenen Tierarten auf den Flächen der überwiegend Rinder, Schweine oder Geflügel haltenden Betriebe) mit den durchschnittlichen Schwermetallgehalten der Wirtschaftsdünger der verschiedenen Tierarten multipliziert. Diese gemeindebezogenen Schwermetalleinträge sollen in Klassen eingeteilt und in einer thematischen Karte für die beiden Landkreise dargestellt werden (MALBURG-GRAF 2002). Eine weitere Verbesserung des Ergebnisses soll durch die Subtraktion der Steilhang-Bereiche und der Wasserschutzgebiete erreicht werden (MALBURG-GRAF 2002). Daraus wird sich eine Erhöhung der durchschnittlichen Schwermetallfrachten bezogen auf die tatsächlich kleineren Flächen ergeben.

$$(5) \text{ SME/FL(R/S/G) GE (g/ha) = WD-TS GE (t) / FL (R/S/G) (ha) * SMG WD (R/S/G) (mg/kg)}$$

SMG = Schwermetallgehalt; SME = Schwermetalleintrag

Aus den Gemeindewerten wurde ein flächengewichteter Mittelwert für den gesamten Landkreis errechnet, das heißt, dass die Gemeinden nach der Flächengröße der Rinder, Schweine und Geflügel haltenden Betriebe in den Landkreis-Mittelwert eingehen.

$$(6) \text{ SME/FL(R/S/G) LK (g/ha) = } (\sum \text{ SME/FL(R/S/G) GE (g/ha) * FL(R/S/G) GE (ha)) / \sum \text{ FL(R/S/G) GE (ha)}$$

Die folgenden Abbildungen 14 und 15 zeigen die Ergebnisse der Berechnungen. Die Größenachsen der Koordinatensysteme weisen zum besseren Vergleich mit den Ergebnissen der Variante 2 und mit den Ergebnissen zu den Schwermetalleinträgen aus Klärschlamm als Maximalwert für Cadmium den Wert 2 g/ha und für Zink 3500 g/ha auf.

Bei den Cd-Einträgen äußern sich die unterschiedlich hohen Tierzahlen und damit Wirtschaftsdüngermengen pro Hektar, da sich die mittleren Cadmiumgehalte von Rinder- und Schweine-Wirtschaftsdünger nur geringfügig unterscheiden. Während bei den Flächen der Rinderhalter in Landkreis Göppingen höhere Cd-Einträge aufgrund eines höheren Tierbesatzes zu verzeichnen sind, sind im Landkreis Ludwigsburg die Flächen der Schweine haltenden Betriebe durch höhere Einträge betroffen.

Die mittleren Cadmiumgehalte von Schweinegülle und Schweinemist sind mit 0,50 mg/kg geringfügig höher als die von Rinder-Wirtschaftsdünger mit 0,42 mg/kg, die zu verwertenden Wirtschaftsdüngermengen sind bei Rindern jedoch höher als bei Schweinen. Die mittleren Cd-Gehalte von Geflügel-Wirtschaftsdünger liegen erheblich unter denen von Rinder- und

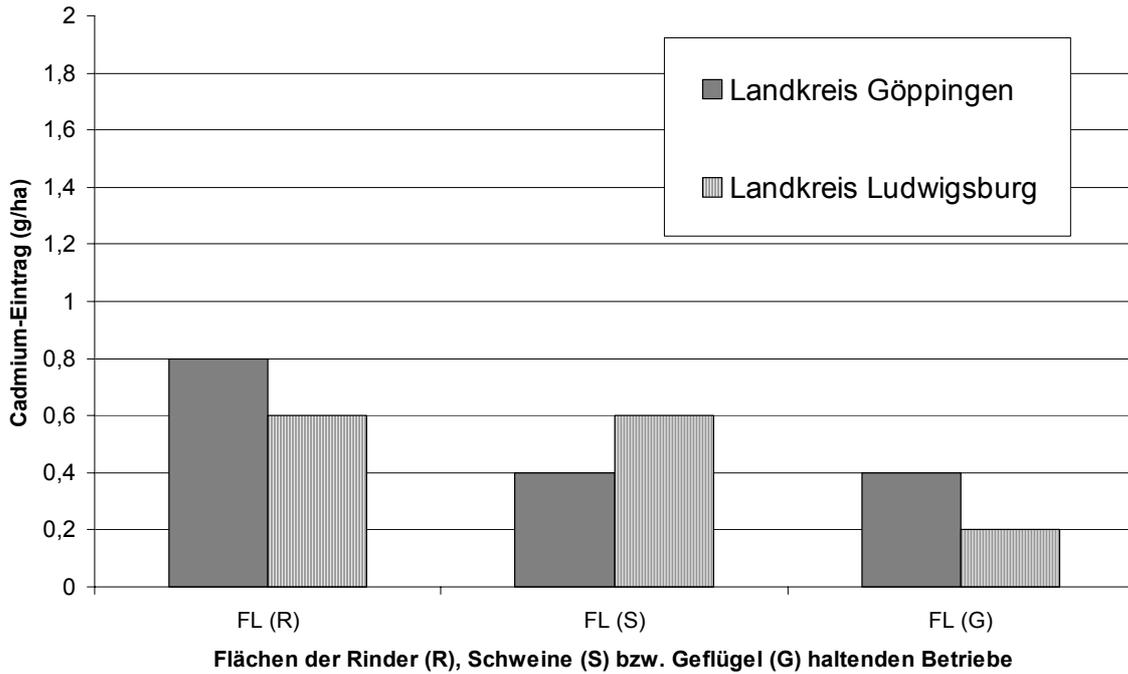


Abbildung 14: Cadmium-Einträge (flächengewichtete Mittelwerte) nach Variante 1: Verteilung des Wirtschaftsdüngers nach dem Großvieheinheiten-Besatz pro Hektar der Rinder, Schweine und der Geflügel haltenden Betriebe in den Gemeinden der Landkreise Göppingen und Ludwigsburg 1999

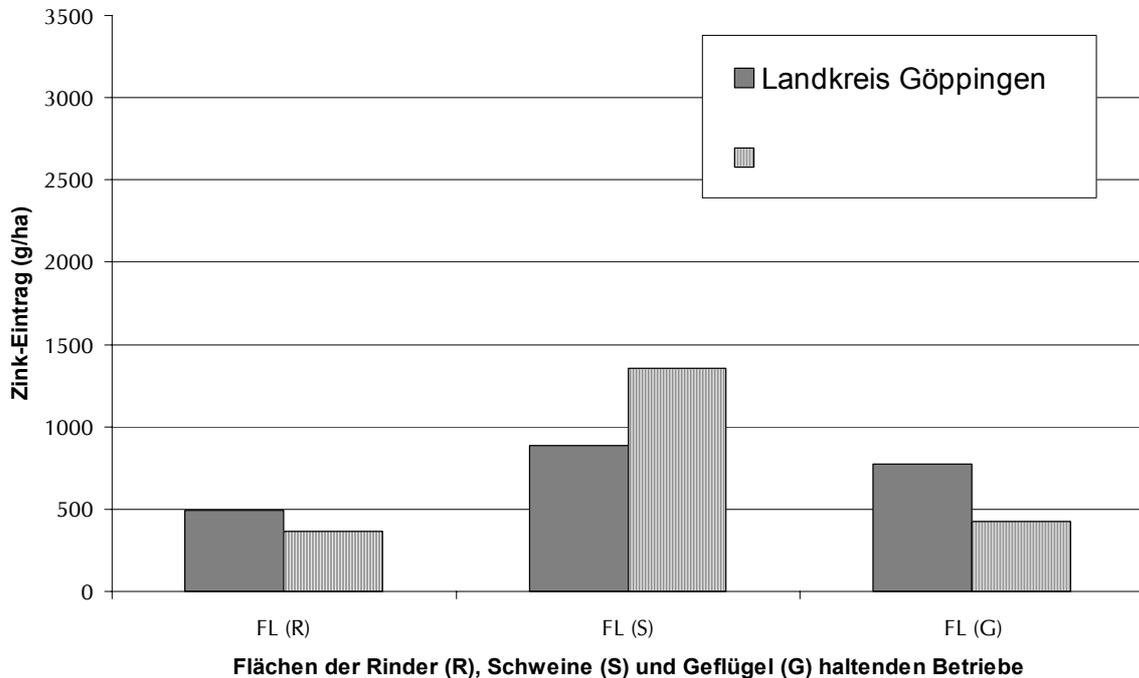


Abbildung 15: Zink-Einträge (flächengewichtete Mittelwerte) nach Variante 1: Verteilung des Wirtschaftsdüngers nach dem Großvieheinheiten-Besatz pro Hektar der Rinder, Schweine und der Geflügel haltenden Betriebe in den Gemeinden der Landkreise Göppingen und Ludwigsburg 1999

Schweine-WD (0,21 mg/kg). Der GV-Besatz und damit die mittleren Wirtschaftsdüngermengen von Geflügel sind in beiden Landkreisen ähnlich hoch. Im Landkreis Göppingen wirkt sich eine Gemeinde mit einem hohen Eintrag durch hohen GV-Besatz und gleichzeitig hohen Flächenanteil an der Gesamtfläche der Geflügelhalter im Landkreis auf den mittleren Cadmium-Eintrag stark aus.

Bei den Zink-Einträgen äußern sich in erster Linie die sehr hohen Zink-Gehalte von Schweine-Wirtschaftsdünger. Außerdem zeigt sich der höhere GV-Besatz des Landkreises Ludwigsburg bei Schweinen (Mittelwert aller Gemeinden mit Schweinehaltung im LK LB 0,92 GV/ha, im LK GP 0,74 GV/ha). Außerdem sind diese Einträge auf eine etwas größere Gesamtfläche bezogen als im LK GP (5065 ha im LK LB gegenüber 3.241 ha im LK GP, s. Tabelle 12).

Variante 2: Betriebe mit Tierhaltung, Einsatz von Wirtschaftsdünger nach den Obergrenzen der Düngeverordnung

Neben der gleichmäßigen Verteilung des Wirtschaftsdünger nach Variante 1 ist es sinnvoll, auch eine Maximalvariante nach den derzeit geltenden rechtlichen Vorgaben zu betrachten. Nach Düngeverordnung (DVO 1996) durften bis 1.7.97 im Betriebsdurchschnitt auf Grünland und Ackerland maximal 210 kg N/ha*a aus Wirtschaftsdüngern ausgebracht werden. Seit diesem Zeitpunkt liegt die Obergrenze für Ackerland bei 170 kg N/ha*a, für Grünland nach wie vor bei 210 kg N/ha*a. In allen Fällen galt bzw. gilt die Einschränkung, dass dieser Düngebedarf auch gegeben sein muss. Aus pflanzenbaulichen Gründen ist es meist nicht sinnvoll, diese Obergrenzen auszuschöpfen. Im Sinne der Ertragssicherung wird bei konventionell betriebener Landwirtschaft zur Düngung der meisten Feldfrüchte Handelsdünger eingesetzt, da diese Nährstoffe der Pflanze schneller zur Verfügung stehen. Der Großteil der landwirtschaftlichen Betriebe ist demnach bestrebt, den anfallenden Wirtschaftsdünger auf einer größeren Fläche zu verteilen. Trotzdem stellt die Maximalvariante bei Betrieben mit einem hohen GV-Besatz für einen Teil der Betriebsflächen eine realistische Variante dar. Da sich die Werte auf den Betriebsdurchschnitt beziehen, kann auf einem Teil der Betriebsfläche sogar eine über diesen Obergrenzen der Düngeverordnung liegende N-Menge verwertet werden.

Es wird hier davon ausgegangen, dass der Wirtschaftsdünger von Rindern, Schweinen und Geflügel auf getrennten Flächen ausgebracht wird, was nur zum Teil der Realität entspricht, wie es die Basisdaten des STALA (2001a) zu Variante 1 verdeutlichen. In Wirklichkeit müssen die Betriebe in die Kategorien „überwiegend Rinderhaltung“ oder „überwiegend Schweinehaltung“ eingeteilt werden, so dass tatsächlich auf die Flächen von Betrieben mit überwiegend

Rinderhaltung auch teilweise Wirtschaftsdünger von Schweinen oder Geflügel ausgebracht wird.

Bei dieser Art der Berechnung bleibt die Schwermetallfracht pro Hektar annähernd gleich, während die Flächengröße zeitlich und aufgrund der unterschiedlichen Tierzahlen der Landkreise auch räumlich variiert. Es ist davon auszugehen, dass die Einträge im langjährigen Mittel bezogen auf alle Flächen in einem Bereich zwischen den Werten von Variante 1 und den Werten von Variante 2 liegen.

Durch Division der maximal möglichen N-Menge nach Dünge-VO durch die Stickstoffmenge pro Tonne Wirtschaftsdünger (TS) (ermittelt aus den Nährstoffbilanzen der Landkreise, s. Tabellen A3 – A14) lässt sich die maximal mögliche Wirtschaftsdüngermenge errechnen, die dann mit den mittleren Schwermetallgehalten der Wirtschaftsdünger multipliziert wird, um den Schwermetalleintrag zu erhalten:

$$(7) \text{ SME (R/S/G) (g/ha) = [N}_{\text{max.}} \text{ (kg/ha) / (NWD (kg) / WD (t TS))] * SMG WD (R/S/G) (mg/kg TS)}$$

Durch Division der insgesamt anfallenden N-Menge durch die maximal mögliche N-Menge pro Hektar ergibt sich die Flächengröße, für die die mit Hilfe Gleichung (7) errechnete Schwermetallfracht gilt:

$$(8) \text{ LFl. (ha) = N}_{\text{WD ges}} \text{ (kg) / N}_{\text{max}} \text{ (kg/ha)}$$

Die Einträge sind bei dieser Maximalvariante nach Düngeverordnung (DVO1996) zwischen Faktor 2 und 3 höher als bei Variante 1 (vgl. Abbildungen 16 und 17). Während im LK GP im Jahr 1999 insgesamt 12036 ha für die Ausbringung des Wirtschaftsdüngers von Rindern benötigt werden, sind es im LK LB nur 6323 ha. Nach STALA BADEN-WÜRTTEMBERG (2001a) stehen den Rinder haltenden Betrieben im LK GP 23.015 ha zur Verfügung, im LK LB 15.808 ha. Es handelt sich somit in beiden Landkreisen um etwa die Hälfte der Gesamtfläche, die bei dieser Maximalvariante für die Verwertung des Wirtschaftsdüngers gebraucht wird.

Abbildung 18 stellt die Flächengrößen dar, für die die in beiden Landkreisen gleich hohen Schwermetalleinträge gelten. Auf diese Weise ermöglicht die Düngeverordnung, dass Flächen über den durchschnittlich pro Hektar anfallenden Wirtschaftsdüngermengen beaufschlagt werden.

Nachdem die Wirtschaftsdüngermengen und damit die beaufschlagte Fläche im Jahr 1995 im Vergleich zu 1991 abgenommen hatte, ist im Jahr 1999 eine Stagnation der Werte trotz abnehmender Tierzahlen zu verzeichnen, die auf die niedrigeren N-Raten auf Ackerflächen im Jahr 1999 zurückzuführen ist. Diese niedrigeren Raten haben eine Abnahme der Schwermetallfrachten auf diesen Flächen und eine Zunahme der benötigten Fläche zur Folge.

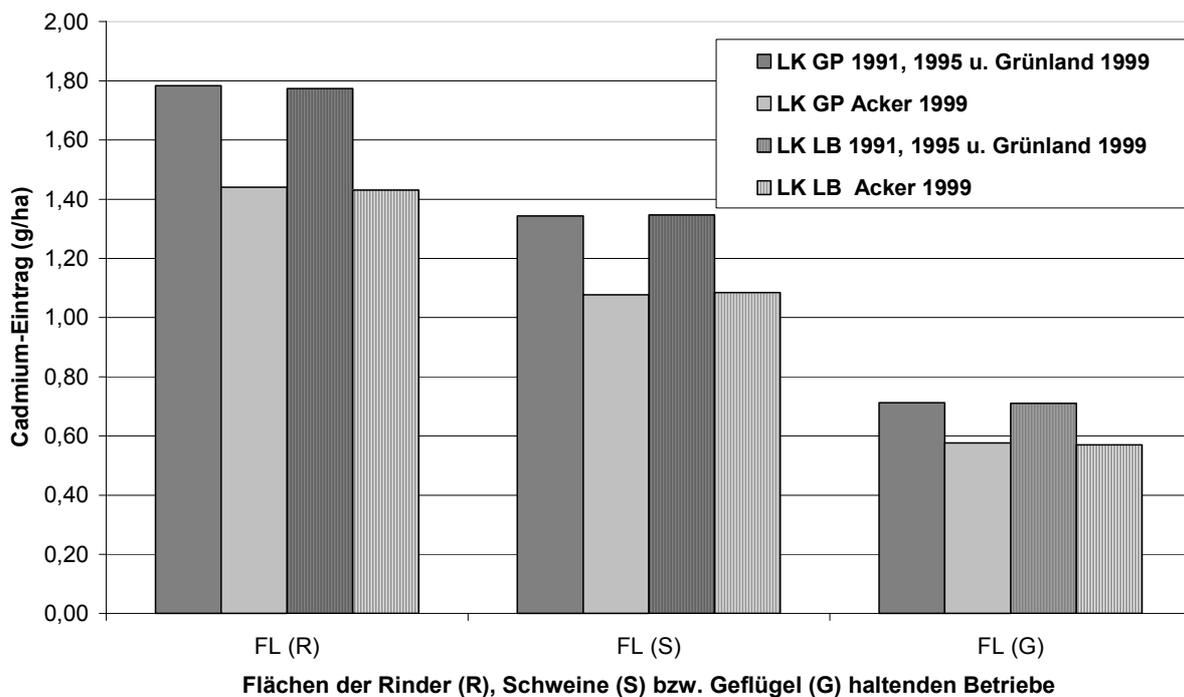


Abbildung 16: Cadmium-Einträge nach Variante 2 (Verteilung des Wirtschaftsdüngers nach den Obergrenzen der Düngeverordnung in den Landkreisen Göppingen und Ludwigsburg 1991, 1995 und 1999)

Varianten 3, 4 und 5: Betriebe mit Tierhaltung, Einsatz von Wirtschaftsdünger nach allgemeiner Düngeempfehlung (Variante 3), nach dem P-Bedarf der Anbaufrüchte (Variante 4) oder nach dem Nährstoffangebot (Variante 5)

Die Varianten 3 und 4 wurden aufgrund der Überlegung entwickelt, dass Wirtschaftsdünger nicht nur nach dem Mengenanfall, sondern auch nach dem Nährstoffbedarf der Feldfrüchte ausgebracht werden. Außerdem erschien die Betrachtung weiterer Varianten notwendig, weil für die Jahre 1991 und 1995 die statistische Grundlage für Variante 1 fehlt. Bei diesen Varianten besteht das Problem, dass zwar die Anbauflächen der Feldfrüchte mit ihrer Flächengröße in den beiden Landkreisen in den Jahren 1991, 1995 und 1999 bekannt sind, dass jedoch nicht bekannt ist, welche dieser Flächen von den Betrieben mit Rinderhaltung, Schweinehaltung oder Geflügelhaltung bewirtschaftet werden.

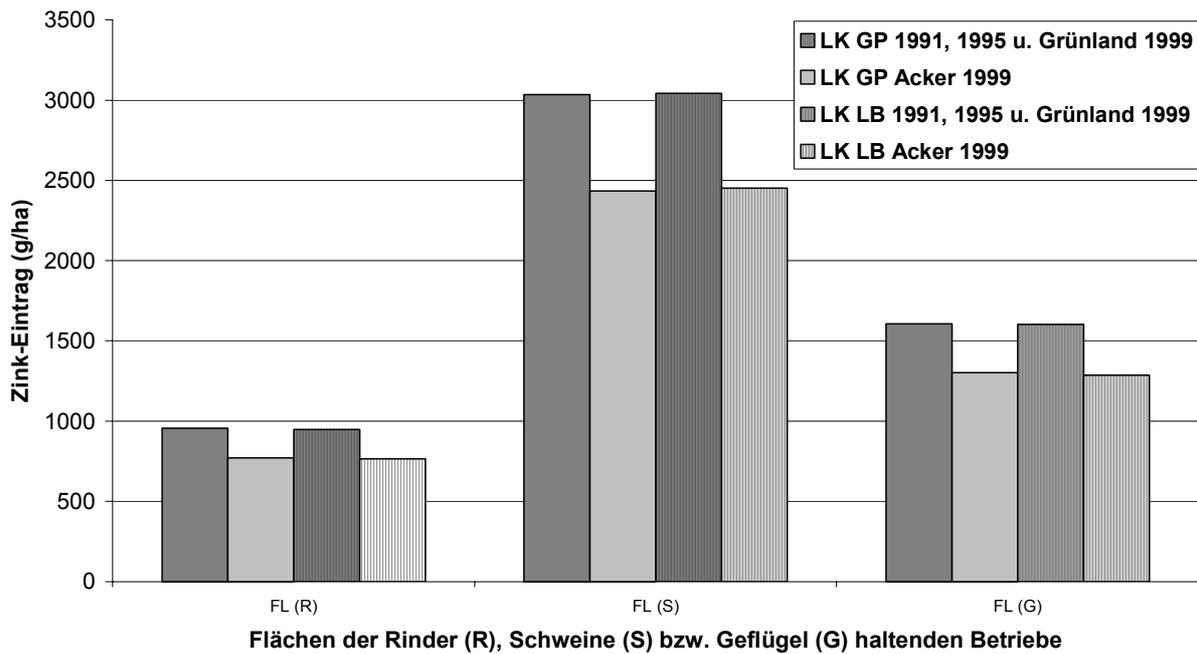


Abbildung 17: Zink-Einträge nach Variante 2 (Verteilung des Wirtschaftsdüngers nach den Obergrenzen der Düngeverordnung in den Landkreisen Göppingen (GP) und Ludwigsburg (LB) 1991, 1995 und 1999)

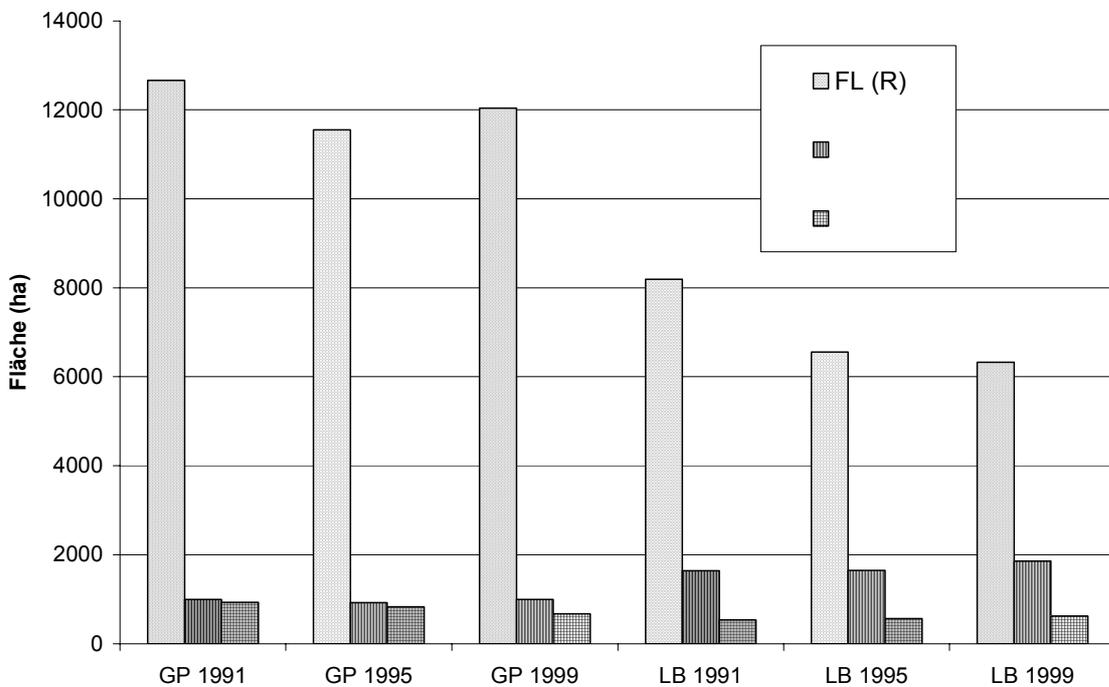


Abbildung 18: Landwirtschaftlich genutzte Fläche in den Landkreisen Göppingen (GP) und Ludwigsburg (LB) mit Ausbringung von Wirtschaftsdünger von Rindern (R), Schweinen (S) und Geflügel (G) nach Variante 2

Es ist lediglich bekannt, welche Flächengröße den tierhaltenden Betrieben insgesamt in den Jahren 1995 und 1999 zur Verfügung stand (vgl. Tabelle 11). Es liegen somit keine Daten darüber vor, auf welchen Anbauflächen die Wirtschaftsdünger der verschiedenen Tierarten nach dem P-Bedarf oder einer allgemeinen N-Düngeempfehlung ausgebracht werden können.

Bei Variante 3 stellt sich als Ergebnis heraus, dass der gesamte Wirtschaftsdüngerbedarf aller angebauten Feldfrüchte in den Landkreisen, der sich aus der maximal anwendbaren N-Menge aus WD ergibt (z. B. max. 80 kg N/ha zu Winterweizen und max. 120 kg N/ha zu Mais), höher ist als die tatsächlich im Landkreis anfallende Wirtschaftsdünger-Menge. Bei Variante 4 lässt sich durch die Erstellung der Nährstoffbilanz für die beiden Landkreise erkennen (vgl. Tabellen A3 – A14), dass die mit dem Wirtschaftsdünger zur Verfügung stehende P₂O₅-Menge kleiner ist als der P₂O₅-Bedarf der Feldfrüchte (vgl. Tabelle 13).

Tabelle 13: Phosphat-Bedarf der Feldfrüchte in den Landkreisen insgesamt und im Wirtschaftsdünger zur Verfügung stehende Phosphat-Menge

	Landkreis Göppingen			Landkreis Ludwigsburg		
kg	1991	1995	1999	1991	1995	1999
P ₂ O ₅ -Bedarf	1.597.648	1.689.120	1.788.576	1.706.790	1.632.736	1.863.024
P ₂ O ₅ -Menge aus WD	1.229.973	1.140.176	1.032.938	939.592	830.602	760.228

Eine weitere Möglichkeit der Verteilung des Wirtschaftsdüngers für die Jahre 1991 und 1995 könnten die tatsächlich gegebenen N- und P-Gehalte der Wirtschaftsdünger in den Landkreisen pro Hektar landwirtschaftlicher Nutzfläche sein. In Tabelle 14 ist das Stickstoff- und Phosphor-Angebot und der N- und P-Bedarf in den beiden Landkreisen bezogen auf die landwirtschaftliche Nutzfläche aufgeführt. Der Vergleich zwischen den beiden Landkreisen spiegelt den höheren Tierbesatz im Landkreis Göppingen wieder. Außerdem zeigt sich die Abnahme der Tierzahlen von 1991 bis 1999 an der Abnahme des Nährstoffangebots pro Hektar. Bei den angegebenen N-Angebotswerten pro Hektar sind N-Verluste von 30 % durch Ausbringung und Lagerung schon berücksichtigt. Der Nährstoffbedarf pro Hektar ist in den beiden Landkreisen annähernd gleich hoch.

In einem weiteren Schritt sollen die Wirtschaftsdüngermengen nach ihrem Nährstoffangebot (Variante 5) gleichmäßig auf den Flächen der Landkreise verteilt werden (MALBURG-GRAF 2002). Der Restbedarf an Nährstoffen wird in Form von Handelsdünger gedeckt.

Tabelle 14: Nährstoffangebot des Wirtschaftsdüngers und Nährstoffbedarf der Feldfrüchte in den beiden Landkreisen Göppingen und Ludwigsburg (kg/ha)

kg/ha	Landkreis Göppingen			Landkreis Ludwigsburg		
	1991	1995	1999	1991	1995	1999
N-Angebot	80	73	67	57	51	45
N-Bedarf	134	141	150	134	130	141
P-Angebot	44	40	36	33	30	26
P-Bedarf	57	60	63	60	59	65

6.1.2.2 Betriebe ohne Tierhaltung

Generell sind die Schwermetalleinträge bei den Flächen von Betrieben ohne Tierhaltung geringer als bei den Betrieben mit Tierhaltung. Höhere Cadmiumfrachten sind allerdings dann zu verzeichnen, wenn größere Mengen an phosphathaltigen Mineraldüngern verwandt werden. Für die Flächen von Betrieben ohne Tierhaltung sind analog zum Modell der Betriebe mit Tierhaltung zwei verschiedene Varianten denkbar.

Die Fläche, auf die sich diese Einträge beziehen, ist nur die den Betrieben ohne Tierhaltung zur Verfügung stehende Fläche. Die Größe dieser Fläche kann als Differenzbetrag zwischen der gesamten Acker- und Grünlandfläche und der den tierhaltenden Betrieben zur Verfügung stehenden Acker- und Grünlandfläche beziffert werden. Die Werte liegen für beide Landkreise auf etwa dem selben Niveau, wie Tabelle 15 zeigt.

Tabelle 15: Gesamte Acker- und Grünlandfläche in den beiden Landkreisen Göppingen und Ludwigsburg sowie Acker- und Grünland der Betriebe mit Tierhaltung und der Betriebe ohne Tierhaltung 1995 und 1999

ha	1995		1999	
	GP	LB	GP	LB
Acker- u. Grünland Gesamt	29.271	32.537	29.244	30.809
Acker u. Grünland Tierhaltende Betriebe	18.762	23.047	18.660	21.551
Acker u. Grünland Betriebe ohne Tiere	10.509	9.490	10.584	9.258

Quelle: STALA (1998 u. 2001b)

Für die Berechnung der Schwermetalleinträge nach Variante 7 zu den Betrieben ohne Tierhaltung fehlten zum Zeitpunkt der Erstellung dieses Abschlussberichtes noch einige Informationen und Daten. Es wird hier auf MALBURG-GRAF (2002) verwiesen.

Variante 6: Betriebe ohne Tierhaltung, Einsatz von NPK-Dünger nach dem P-Bedarf der Feldfrüchte

Die Größe der einzelnen Anbauflächen der Betriebe ohne Tierhaltung ist nicht bekannt. Vereinfachend wird davon ausgegangen, dass das Verhältnis P_2O_5 -Bedarf einzelner Anbaufrüchte zur Fläche dieser Anbaufrüchte bei den Betrieben ohne Tierhaltung die gleiche Größenordnung aufweist wie das bekannte Verhältnis bei der Gesamtheit aller Betriebe in den beiden Landkreisen. Aufgrund dieser Prämisse ist es deshalb möglich, Durchschnittswerte wie P_2O_5 /ha bzw. NPK/ha zu berechnen, die auch auf die Flächen der Betriebe ohne Tiere zutreffen. Eine weitere Differenzierung dieser Variante besteht darin, statt NPK-Dünger standardmäßig PK-Dünger einzusetzen, was zur Erhöhung der Cadmium-Einträge führt (MALBURG-GRAF 2002).

Im ersten Schritt wird der Bedarf an NPK pro Flächeneinheit nach dem Phosphat-Bedarf der Feldfrüchte berechnet:

$$(9) \text{ NPK-Bedarf (kg/ha)} = P_2O_5\text{-Bedarf}_{\text{Feldfr}} \text{ (kg/ha)} * 100 / P \text{ (\% von NPK)}$$

Daraus ergibt sich die Berechnung des Schwermetalleintrages aus NPK-Dünger:

$$(10) \text{ SME}_{\text{NPK}} \text{ (g/ha)} = (\text{NPK-Bedarf (kg/ha)} * \text{SM}_{\text{ges NPK}} \text{ (mg/kg TS)}) / 1000$$

Analog dazu werden bezogen auf den noch nicht gedeckten restlichen Stickstoffbedarf die erforderliche Menge an Kalkammonsalpeter (KAS) und die daraus resultierenden Schwermetalleinträge berechnet. Die Skalen der y-Achsen der beiden Diagrammen wurden mit Absicht so gewählt, um die Werte auf den ersten Blick mit den Werten der Varianten 1 und 2 zu den Betrieben mit Tierhaltung vergleichen zu können. Der Maximalwert wurde für Cadmium mit 2 g/ha beibehalten, für Zink wurde statt 3500 g/ha der Wert 2000 g/ha verwendet, weil die Säulen sonst kaum darstellbar sind.

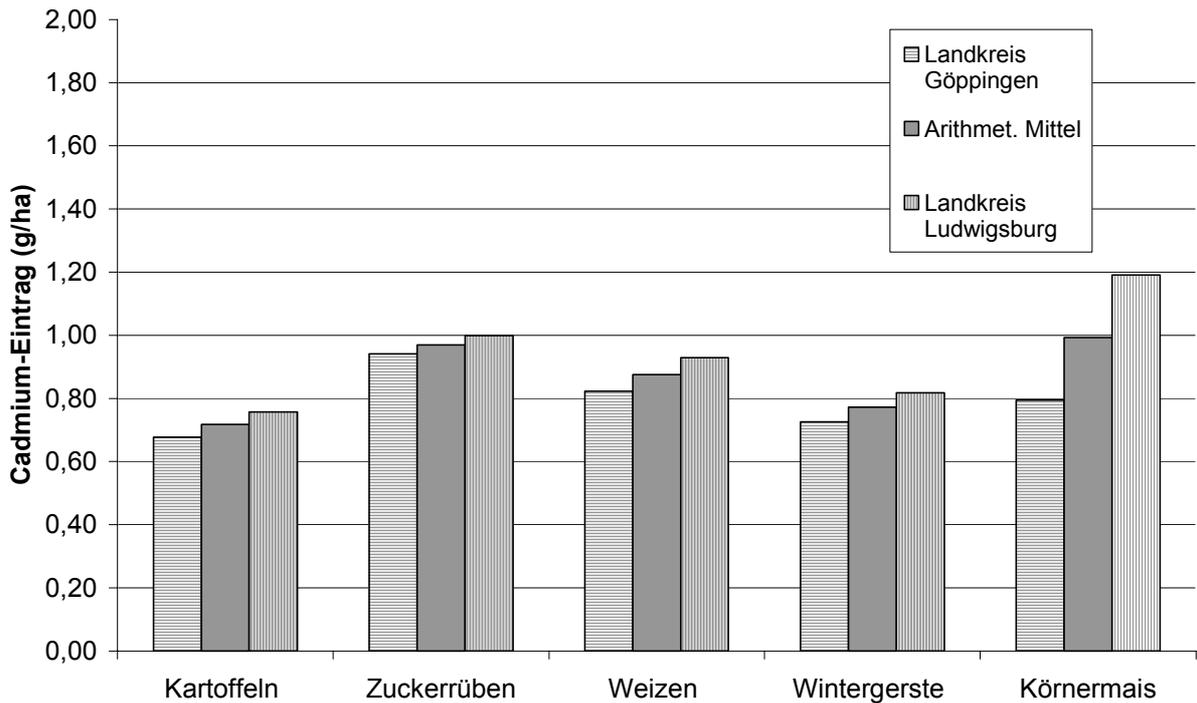


Abbildung 19: Cadmium-Eintrag (Mittelwert für 1991, 1995 und 1999 bei Anbau verschiedener Feldfrüchte und ausschließlicher Anwendung von NPK-Dünger nach dem P-Bedarf und zusätzlichem Einsatz von KAS zur Deckung des restlichen N-Bedarfs nach Variante 6 für die Betriebe ohne Tierhaltung

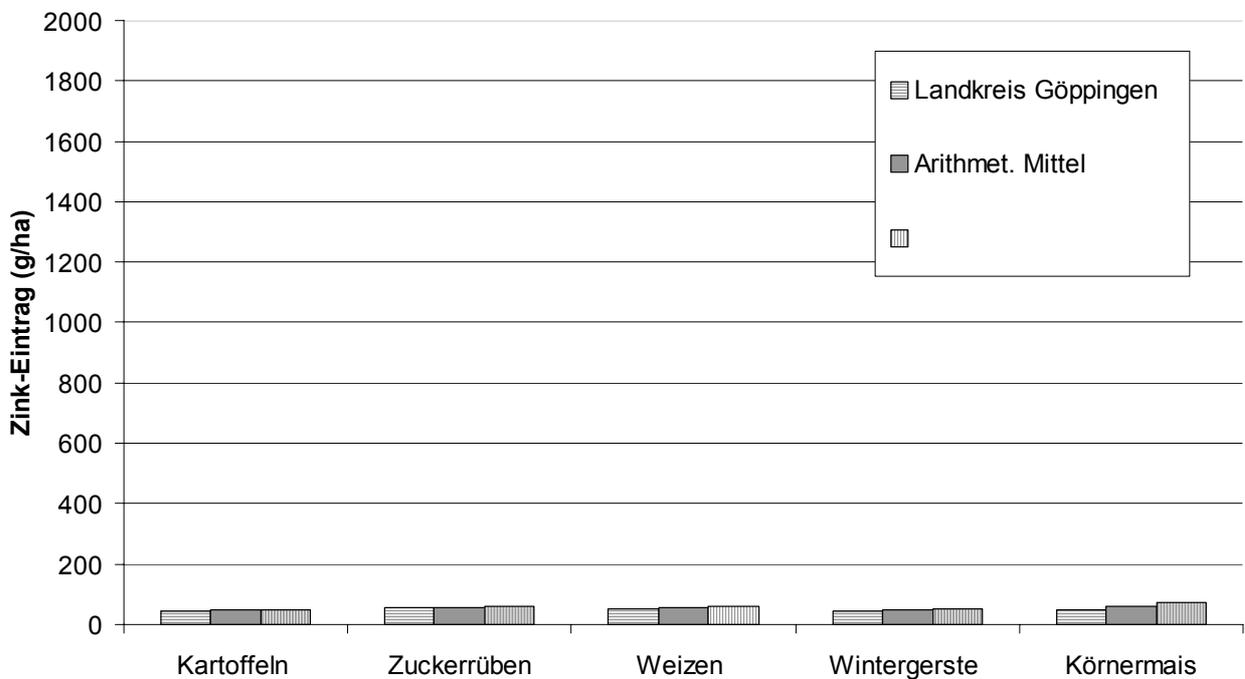


Abbildung 20: Zink-Eintrag (Mittelwert für 1991, 1995 und 1999 bei Anbau verschiedener Feldfrüchte und ausschließlicher Anwendung von NPK-Dünger nach dem P-Bedarf und zusätzlichem Einsatz von KAS zur Deckung des restlichen N-Bedarfs nach Variante 6 für die Betriebe ohne Tierhaltung

Der auf die Fläche bezogene P_2O_5 -Bedarf der einzelnen Anbaufrüchte in kg/ha weist in beiden Landkreisen in den drei Jahren die gleiche Größenordnung auf. Daraus ergeben sich auch Schwermetalleinträge in der gleichen Größenordnung. Die Gesamteinträge, die sich aus den Einträgen aus NPK-Dünger und aus Kalkammonsalpeter zusammensetzen, werden in den Abbildungen 19 und 20 für einzelne wichtige Feldfrüchte als Mittelwert der 3 Jahre 1991, 1995 und 1999 und der beiden Landkreise angegeben. Unterschiede zwischen den Jahren beruhen auf den unterschiedlich hohen Erträgen. Verglichen mit den Ergebnissen der Variante 1 bei den Betrieben mit Tierhaltung ergeben sich viel geringere Einträge pro Flächeneinheit.

Die Diagramme veranschaulichen den vernachlässigbaren Zinkeintrag im Vergleich zu den Einträgen aus Wirtschaftsdünger. Sie zeigen aber ebenfalls, dass die Cadmium-Einträge durch phosphathaltige Mineraldünger (hier NPK 3*15%) durchaus mit Einträgen aus Wirtschaftsdünger vergleichbar sein können. Der Anteil des Kalkammonsalpeters am Gesamtwert liegt je nach Feldfrucht bei Cadmium zwischen 5,5 und 10,6% und bei Zink zwischen 16 und 28%.

6.1.3 Sonstige Schwermetalleinträge: Kompost und atmosphärische Deposition

Kompostaufbringung spielt in den beiden Landkreisen nach den Informationen der Landratsämter bisher noch keine große Rolle, so dass dieser Eintragungspfad nicht betrachtet wurde. Der Eintragungspfad Luft ist noch nicht abschließend ausgewertet. Es liegen hierzu keine Daten für das Gesamtgebiet der beiden Landkreise vor. Über Blei- und Cadmium-Einträge durch den Staubbiederschlag der Luft liegen für einen Teil des Untersuchungsgebiets Ergebnisse vor, die vom UVM BADEN-WÜRTTEMBERG (1995 und 1997) veröffentlicht wurden. Eine Untersuchung (UVM BA.-WÜ. 1997 : A34, A114-117) dokumentiert Immissionsmessungen nach TA Luft im Zeitraum November 1995 bis Oktober 1996 im Großraum Stuttgart, womit bezogen auf das Untersuchungsgebiet im wesentlichen der östliche und mittlere Teil des Landkreises Ludwigsburg abgedeckt wird, der zum Verdichtungsraum Stuttgart gerechnet werden kann. Die zweite Studie (UM BA.-WÜ. 1995 : A36, A84-85) bezieht sich auf das ebenfalls zum Verdichtungsraum Stuttgart zählende Filstal im Landkreis Göppingen, wo von Mai 1993 bis April 1994 Immissions- und Wirkungsuntersuchungen durchgeführt wurden. Daten zur nassen Deposition liegen laut UMEG (2001) für die beiden Landkreise nicht vor.

6.2 Methodik und Ergebnisse auf der Mikroebene (Untersuchungsflächen)

Um die Modellergebnisse auf der Makroebene auf ihre Übertragbarkeit und Relevanz für einen landwirtschaftlichen Betrieb und die von diesem bewirtschafteten Flächen zu überprüfen, wurden insgesamt 10 Acker- und 6 Grünlandflächen von 10 Betrieben im Landkreis Göppingen und 10 Ackerflächen von 10 Betrieben im Landkreis Ludwigsburg untersucht. Dabei geht es vor allem um die Beantwortung der Frage, mit welchen Größenordnungen an Schwermetalleinträgen bei unterschiedlicher Düngemittelanwendung in einem Zeitraum von 6 Jahren zu rechnen ist. Da das Grünland im Landkreis Göppingen den größeren Anteil an der landwirtschaftlich genutzten Fläche einnimmt und im Landkreis Ludwigsburg eine untergeordnete Rolle spielt (vgl. Abbildungen 4 und 5, Kapitel 4), wurden lediglich im Landkreis Göppingen Grünlandflächen untersucht. In diesem Abschlussbericht werden Ergebnisse für 15 von insgesamt 20 Ackerflächen und 5 von 6 Grünlandflächen dargestellt. Aufgrund einzelner fehlender Daten und Informationen können die Befragungen und Bodenuntersuchungen von 4 Ackerflächen und 1 Grünlandfläche im Teiluntersuchungsgebiet Göppingen und von 1 Ackerfläche im Teiluntersuchungsgebiet Ludwigsburg noch nicht an dieser Stelle vorgestellt werden. Es wird hier auf MALBURG-GRAF (2002) verwiesen.

6.2.1 Zur Flächenauswahl

In beiden Landkreisen wurden Betriebe mit Rinderhaltung und mit Schweinehaltung sowie Betriebe ohne Tierhaltung untersucht. Im Teiluntersuchungsgebiet Göppingen (TUG GP) wurden von den 10 Betrieben 5 Betriebe mit Klärschlammmanwendung auf den untersuchten Flächen einbezogen. Von den 10 Betrieben im Teiluntersuchungsgebiet Ludwigsburg (TUG LB) wendet ein Betrieb Grünguthäcksel bzw. Grünkompost auf seinen Flächen an, ein weiterer Betrieb wirtschaftet nach den Prinzipien ökologischer Landwirtschaft.

Die Auswahl der Untersuchungsflächen in den beiden Teiluntersuchungsgebieten war mit der Absicht verbunden, Aussagen für repräsentative und für eventuell kritische Teilbereiche der Landkreise zu machen. Die Flächen des TUG Ludwigsburg sind hinsichtlich gleichmäßig hoher Pufferkapazität und Bodengüte der teilweise erodierten (und dadurch kalkreichen), lössbürtigen Böden repräsentativ für den größten Teil der Ackerflächen des Landkreises. Die Flächen im TUG Göppingen liegen bezüglich der Pufferkapazität etwas unter dem mittleren Landkreis-Niveau, hinsichtlich der Bodengüte nach Bodenschätzung aufgrund der Tiefgründigkeit der lehmigen

Böden jedoch etwas darüber. Das TUG GP ist repräsentativ für den relativ hohen Anteil des Grünlandes an der gesamten landwirtschaftlich genutzten Fläche im Landkreis.

Die Auswahl kritischer Bereiche in Form von Flächen mit Klärschlammaufbringung ist lediglich im TUG GP aufgrund einer zwar anfangs zögerlichen, später aber sehr guten Zusammenarbeit mit dem Amt für Landwirtschaft und Bodenkultur (ALLB) Göppingen gelungen. Die sehr zeitintensive Kontaktaufnahme hat letztlich zu der für die weitere Vorgehensweise notwendigen Aufgeschlossenheit der Landwirte im Teiluntersuchungsgebiet Göppingen geführt. Eine vergleichbare Bereitschaft zur Zusammenarbeit konnte im TUG LB nicht erreicht werden. Die Auswahl von Untersuchungsflächen im TUG LB ist das Ergebnis der Kontaktaufnahme mit den landwirtschaftlichen Betrieben über den Bauernverband des Landkreises Ludwigsburg. Nähere Ausführungen zu dieser Problematik der Flächenauswahl finden sich in Kapitel 3.

Die ursprüngliche Absicht, auch im Landkreis Ludwigsburg Betriebe mit Klärschlamm-anwendung in die Untersuchung einzubeziehen, konnte deshalb nicht realisiert werden. Die Untersuchungen auf der Mikroebene dürfen deshalb nicht als grundsätzlich repräsentativ für den jeweiligen Landkreis, sondern müssen als Fallstudien für bestimmte Eintrags- und Austragsituationen angesehen werden. Auch im Landkreis Ludwigsburg befinden sich Bereiche mit einer kritischen Eintragsituation, die jedoch nicht in dieser Untersuchung berücksichtigt werden konnten. Damit sind die Flächen von Betrieben mit einem hohen Großvieheinheiten-Besatz pro Hektar und zusätzlicher Klärschlammmanwendung gemeint.

6.2.2 Feststellung des Bodenzustandes

Zur Feststellung des Bodenzustandes bezüglich seiner Schwermetallgehalte wurden Bodenproben aus dem Oberboden entnommen. Bei den Ackerflächen wurde jeweils der Ap-Horizont (im Durchschnitt 30 cm Bodentiefe), bei den Grünlandflächen wurden die oberen 10 cm des Ah-Horizontes beprobt. Bei insgesamt 5 Ackerflächen wurden in einem regelmäßigen Raster Einzelproben aus dem Ap-Horizont entnommen. Gründe für diese Einzelbeprobungen waren einerseits die Überprüfung der Variabilität der Schwermetallgehalte auf einer Fläche und andererseits die Frage, ob sich unterschiedlich hohe Schwermetalleinträge aus unterschiedlichen Eintragsquellen anhand der Schwermetallgehalte nachweisen lassen. Von den restlichen 15 Ackerflächen wurden in Anlehnung an die Vorgaben der BBodSchV (1999) Mischproben aus dem Ap-Horizont untersucht. Zur Erstellung einer Mischprobe wurden Proben in regelmäßigen Abständen diagonal zur Bearbeitungsrichtung des Ackers entnommen, die im Labor zu einer Mischprobe vereinigt wurden. Eine Mischprobe repräsentiert eine maximal 0,5 ha große

Teilfläche, so dass bei größeren Flächen bis zu 3 Mischproben resultierten. Auf den Grünlandflächen wurden jeweils 10 Einzelproben entnommen. Zur Erfassung der Trockenroh-dichte wurde an jedem Probenahmepunkt eine Stechzylinderprobe entnommen.

Von allen Proben wurden die Gesamtgehalte an Cadmium, Kupfer, Nickel, Blei und Zink mittels Königswasseraufschluss und anschließender AAS-Messung ermittelt (Cadmium: Graphitrohr-AAS, übrige Elemente: Flammen-AAS). Außerdem wurden die Gehalte an organisch und carbonatisch gebundenem Kohlenstoff, der pH-Wert, die Korngrößenzusammensetzung und damit der Tongehalt erfasst. Bei Proben, deren pH-Werte unter pH 6,5 lagen, wurden NH_4NO_3 -Extraktionen durchgeführt und die Cadmium- und Zinkgehalte der Extrakte mittels Graphitrohr-AAS gemessen. Stichprobenhaft wurden von einigen Proben mit einem pH-Wert über 6,5 die NH_4NO_3 -löslichen Cd- und Zn-Gehalte ermittelt.

6.2.3 Quantifizierung der Schwermetalleinträge

Zur **Schätzung der Schwermetalleinträge** in die Böden der 26 Flächen wurden standardisierte Interviews der 20 Betriebe durchgeführt. Die Landwirte machten Angaben zu den angebauten Feldfrüchten und zu den verwendeten Arten und Mengen an Düngemitteln auf den untersuchten Flächen in den Jahren 1995 bis 2000 (vgl. Anhang Tabellen A35 – A49).

Die Handelsdüngermengen werden im folgenden in kg/ha angegeben. Die Mengenangaben für Wirtschaftsdünger und Sekundärrohstoffdünger wurden generell auf t Trockensubstanz (TS) / ha normiert. Für Wirtschaftsdünger wurden in Anlehnung an die einschlägige Standardliteratur (KTBL 2000, QUADE 1993) folgende Festlegungen getroffen:

(1) $1 \text{ m}^3 \text{ Flüssigmist} = 1 \text{ t}$

$1 \text{ m}^3 \text{ Festmist} = 700 \text{ kg}$

(2) $1 \text{ t Flüssigmist (FS)} * 7,5 / 100 = 0,075 \text{ t TS}$

$1 \text{ t Festmist (FS)} * 25 / 100 = 0,25 \text{ t TS}$

(FS = Frischsubstanz, TS = Trockensubstanz)

Die Düngemittelmengen wurden wie folgt mit den auch auf der Makroebene (Landkreise) herangezogenen mittleren Schwermetallgehalten der Dünger (s. Tabelle1, Kapitel 2) multipliziert. Die in den Betrieben anfallenden Wirtschaftsdünger sollten zur Überprüfung dieser

errechneten Mittelwerte auf ihre Schwermetallgehalte beprobt werden, um die realen Gefahrenpotenziale zu ermitteln.

(3) Eintrag von Schwermetallen (SM) über Handelsdünger (HD)

$$\text{SME (g/ha)} = \text{HD (kg/ha)} * \text{SMG (mg/kg)} / 1000$$

(SME = Schwermetalleintrag, SMG = Schwermetallgehalt)

(4) Eintrag von Schwermetallen (SM) über Wirtschaftsdünger (WD)

$$\text{SME (g/ha)} = \text{WD (t TS / ha)} * \text{SMG (mg/kg TS)}$$

Die Angaben zu den auf einzelnen Flächen tatsächlich verwendeten Klärschlämmen und deren zum Vollzug der AbfKlärV (1992) ermittelte Schwermetallgehalte stammen aus der Datensammlung (sog. Klärschlamm-Lieferscheine) des Landratsamtes Göppingen. Sie stehen somit formal auf einer besser abgesicherten Basis in Bezug auf die untersuchten Flächen als die Schätzungen der Einträge aus Handelsdünger und Wirtschaftsdünger über die Befragungen der Landwirte.

(5) Eintrag von Schwermetallen über Sekundärrohstoffdünger (SD)

$$\text{SME (g/ha)} = \text{SD (t TS / ha)} * \text{SMG (mg/kg TS)}$$

Zur Abschätzung der Zunahme des Bodenschwermetallgehalts im beprobten Bereich durch die Einträge wurde die Schwermetallfracht (g/ha) in die Angabe mg/kg TS umgerechnet. Dabei wurden die bei den Ackerflächen an allen Probenahmestandorten gemessene und bei den Grünlandflächen auf 10 cm festgelegte Horizonttiefe (Ap bzw. Ah) und die Trockenrohddichte (ρ_t) in die Rechnung einbezogen:

$$(6) \text{ SME (mg/kg)} = \text{SME (g/ha)} / 10.000 * \text{Fläche (m}^2\text{)} * \text{Tiefe A (m)} * \rho_t \text{ (kg/dm}^3\text{)}$$

Von den in den 6 Jahren errechneten Gesamteinträgen wurden durchschnittliche jährliche Einträge errechnet. Dieser Durchschnittswert wird als jährliche Zufuhr zur Fläche betrachtet. Folgende Plausibilitätskontrollen zur Überprüfung der Angaben der Landwirte sind möglich:

1. Die Angaben der tierhaltenden Betriebe zu den auf den Flächen angewandten Wirtschaftsdünger-Mengen sollen mit Hilfe der von den Landwirten angegebenen Tierzahlen des Betriebes und den sich hieraus ergebenden durchschnittlich aufzubringenden Menge verglichen werden (MALBURG-GRAF 2002).

2. Außerdem sollen die Düngemittel-Angaben aller Betriebe durch Abgleich zwischen den zu den Feldfrüchten verwendeten Stickstoffmengen und den dadurch erzielbaren Erträgen auf ihre Plausibilität überprüft werden (MALBURG-GRAF 2002). Es soll überprüft werden, ob die angegebenen Mengen zur Erzielung durchschnittlicher Erträge geeignet sind.

6.2.4 Quantifizierung der Schwermetallausträge

Zur **Abschätzung der Schwermetallausträge** über die Pfade „Entzug durch die Pflanze“ und „Austrag mit dem Sickerwasser“ aus dem Horizont wurden verschiedene in der Literatur dargestellte Methoden überprüft. Es bestehen hier grundsätzlich noch eine Reihe von Unsicherheiten, auf die im Folgenden hingewiesen werden soll.

Grundsätzlich gibt es zwei verschiedene Ansätze zur Einschätzung der Schwermetallverfügbarkeit im Boden (WERNER 1994), über die letztendlich die Austräge geschätzt werden können. Das ist auf der einen Seite die Einbeziehung des Gesamtgehaltes in Kombination mit den die Mobilität beeinflussenden Bodenparametern wie pH-Wert, Tongehalt, Humusgehalt und Sesquioxide. Auf der anderen Seite kann eine Einschätzung der Schwermetallmobilität durch die Bewertung von Extraktionen mit Neutralsalzlösungen wie CaCl_2 , $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ und NH_4NO_3 vorgenommen werden. Die Extraktion mit NH_4NO_3 hat sich als Standardmethode zur Erfassung sogenannter mobiler Schwermetallgehalte etabliert.

Nach HORNBERG, WELP & BRÜMMER (1995) umfassen die mobilen Anteile mit Einschränkungen die für Pflanzen verfügbare und mit dem Sickerwasser verlagerbare Fraktion. Dies trifft insbesondere bei Cd, Zn und Mn hinsichtlich des Transports in die Pflanze zu. Von HORNBERG & BRÜMMER (1993) wurden durch multiple Regressionen sehr enge Beziehungen der mobilen SM-Fraktion mit dem SM-Vorrat und dem pH-Wert nachgewiesen. Im pH-Bereich 6,5 bis 3 steigt die Mobilität in der Reihe $\text{Cd} (6,5) > \text{Zn} (5,3) > \text{Cu} (4,5) > \text{Pb} (3,5)$ an. Im pH-Bereich 6,5 – 7,5 weist vor allem Cu, zum Teil auch Pb durch den Einfluss löslicher organischer Substanzen eine zunehmende Mobilität auf.

Austragspfad Boden - Pflanze:

Bei SCHÜTZE (1998) wird als Ernteentzug die Schadstoffmenge verstanden, die mit der geernteten Biomasse von der landwirtschaftlichen Nutzfläche entfernt wird, unabhängig davon, ob der Schadstoff den Boden erreicht hat oder bereits vorher an oberirdische Pflanzenteile angelagert oder in diese aufgenommen worden ist. Von der Autorin wird es nicht für sinnvoll gehalten, Pflanzengehalte auf der Basis von Transferfunktionen Boden - Pflanze zu berechnen,

da solche Beziehungen bisher überwiegend auf spezifisch belasteten Böden erhoben wurden, so dass sie auf Böden mit nur ubiquitärer Belastung nicht übertragbar seien. Die Ernteausträge wurden von SCHÜTZE (1998) aus dem Biomassertrag und einem mittleren Gehalt der geernteten Teile der Kulturarten errechnet. Die Anwendbarkeit einer solchen Vorgehensweise sollte für die eigenen Austragsberechnungen noch überprüft werden (MALBURG-GRAF 2002).

WESSELER (1991) hat ein Aufnahmemodell für Schwermetalle aus Ackerböden bei Kulturgräsern entwickelt, in das Daten anderer Publikationen und seiner eigenen Untersuchung eingeflossen sind. Das Modell berücksichtigt die Abhängigkeit der Schwermetallaufnahme vom Schwermetallgehalt sowie vom pH-Wert des Bodens und von der Art der Kulturgräser. Für Standardbedingungen (Cd-Gehalt Boden 1 mg/kg, Zn-Gehalt 100 mg/kg, pH = 6) beschreiben Akkumulationsfaktoren die absoluten Schwermetallgehalte einzelner Kulturgräser. Durch die rechnerische Standardisierung der Akkumulationsfaktoren ist ihre Vergleichbarkeit auch für davon abweichende Verhältnisse gegeben. Die Anwendbarkeit der von WESSELER (1991) entwickelten Funktionen für die Quantifizierung der Schwermetallausträge in die Pflanze bei den eigenen Untersuchungsflächen soll in einem weiteren Schritt der Datenauswertung überprüft werden (MALBURG-GRAF 2002).

Der Schwermetalltransfer vom Boden in die Pflanze zeigt unterschiedlich starke Abhängigkeiten von den genannten Bodenparametern. Insbesondere bei den Cd-, Zn und Cu-Gehalten der Pflanzen ist der Einfluss der Gesamt-SM-Gehalte des Bodens mehr oder weniger von den verfügbarkeitsbestimmenden Bodenparametern überlagert. Bei Cd steht der Einfluss des pH-Werts im Vordergrund. Bei Zink erweisen sich Tongehalt und pH-Wert als wichtigste Einflussparameter des Biotransfers (WERNER 1994).

Im pH-Bereich > 7 können wasserlösliche und von den Wurzeln aufnehmbare metallorganische Komplexe vorhanden sein, welche durch die Extraktion mit Neutralsalzlösungen nicht erfasst werden, so dass eine Unterschätzung der mobilen Schwermetallgehalte und damit auch der Schwermetalltransfers in die Pflanze die Folge sein kann. Außerdem werden Böden mit geringem Redoxpotenzial (Pseudogleye) zu niedrig eingestuft. Zur Erfassung metallorganischer Komplexe eignen sich DTPA-Extraktionen besser.

Hinzu kommen pflanzenspezifische Einflussfaktoren. Bei den verschiedenen Kulturpflanzen weisen die Pflanzenwurzeln ein unterschiedliches Aufnahmevermögen bzw. unterschiedliches Verlagerungsvermögen zu den oberirdischen Pflanzenteilen auf. Ein Vergleich der Gruppen Gras, Getreide und Gemüse zeigt, dass Gemüse die weitaus höchste Aufnahmebereitschaft für

Cd und Zn hat (SAUERBECK & LÜBBEN 1991). Nach SCHIMMING (1992) werden Cd, Cu, Ni und Zn von Pflanzen im Vergleich zu den Gesamtgehalten im Boden angereichert. Während von Spinat und Radieschen relativ viel Cd aufgenommen, reichern Gräser weitaus weniger Cd an.

Die Arbeit von KNOCHE, BRAND & BÖKEN (1999) zeigt das Transferverhalten von Schwermetallen aus Böden in ausgewählte Nahrungs- und Futterpflanzen auf der Basis der Umweltbundesamt-Datenbank TRANSFER. Die Auswertungen wurden in Form von Regressionsberechnungen durchgeführt, um einen möglichen statistischen Zusammenhang zwischen den Schwermetallkonzentrationen im Boden (gemessen in Königswasser- und in NH_4NO_3 -Extrakten) und in der Pflanze aufzeigen zu können. Darüber hinaus ermöglichen sie Aussagen über die Wahrscheinlichkeit bestimmter Pflanzenkonzentrationen bei verschiedenen Bodenkonzentrationen. Königswasser wurde bislang in weiten Bereichen als Extraktionsmittel eingesetzt und weist infolge dessen in der Datenbank TRANSFER einen umfangreichen Datenbestand auf. Die Ammoniumnitrat-Extraktion wurde gewählt, weil es mit diesem Verfahren möglich erscheint, eine mobile Schwermetallfraktion des Bodens zu erfassen, die eine Abschätzung des Schwermetalltransfers Boden/Pflanze eher erlaubt als beispielsweise die mittels Königswasser erfassten Schwermetallgehalte.

Die bei KNOCHE et al. (1999:30-31) dargestellte Regressionsfunktion für den Zusammenhang zwischen NH_4NO_3 -löslichen Cadmium-Gehalten und zugehörigen Cadmiumgehalten im Weizenkorn wurde deshalb als Methode zur Berechnung mittlerer Cadmium-Austräge über die Pflanze für die Ackerflächen der eigenen Untersuchung verwendet.

(7) Methode zur Berechnung mittlerer Cd-Austräge aus dem Boden bei Weizenkorn nach den Regressionberechnungen von KNOCHE ET AL. (1999)

$$(a) \text{ Log Cd}(W) [\text{mg/kg TS}] = 0,27 + 0,594 * \text{Log Cd mob. (B)} (\text{mg/kg TS})$$

$$(r = 0,813; r^2 = 0,662)$$

$$(b) \text{ SMA (W)} (\text{mg/kg TS}) = E(W) * \text{SMG}(W) (\text{mg/kg TS}) * 10^{-7} / (F * A_p * \rho_t)$$

$$(c) \text{ SMA (W)} (\text{g/ha TS}) = E(W) * \text{SMG}(W) (\text{mg/kg TS}) / 1000$$

(Cd mob. = mobiler Cadmiumgehalt, W = Weizen, SMG = Schwermetallgehalt, B = Boden, SMA = Schwermetallaustrag, E = Ertrag [kg/ha TS]; F = Fläche [m^2]; ρ_t = Trockenrohdichte [t/m^3]; A_p = Tiefe Ap [m])

Austrag der Schwermetalle über das Bodensickerwasser aus dem Oberboden:

Neben dem Schwermetallaustrag über den Pfad Boden-Pflanze findet in Abhängigkeit von der Schwermetallmobilität im Boden auch ein Austrag aus den untersuchten Bodenhorizonten (Ap

bei Ackerböden, obere 10 cm des Ah von Grünlandböden) in tiefere Bodenbereiche statt. Zur Abschätzung des Austrags auf diesem Weg müsste die Schwermetallkonzentration im Bodenwasser gemessen werden. Außerdem muss der Sickerwasserabfluss pro Zeiteinheit in einer Bodensäule bzw. im Freiland erfasst werden. Der hierfür erforderliche Aufwand war im Rahmen dieser Untersuchung nicht zu leisten.

Eine weitere Vorgehensweise ist die Abschätzung der Konzentration im Bodenwasser über Schwermetalladsorptionsmodelle, die den Gesamtschwermetallgehalt des Bodens und seine Bindungseigenschaften (pH-Wert, Ton- und Humusgehalt) berücksichtigen. Nach SCHÜTZE (1998) sind Prognosen von Schwermetallgehalten im Bodenwasser, die auf Adsorptionsmodelle aufbauen, heute noch sehr unsicher.

Ein dritter Weg zur Prognose von Sickerwassergehalten ist nach SCHÜTZE (1998) die Einbeziehung der mobilen Schwermetallgehalte (NH_4NO_3 -extrahierbare oder wasserlösliche Gehalte) über Regressionsfunktionen (analog zu Methode 2 zur Berechnung des Austrags über den Pfad Boden - Pflanze). Die Anwendung dieser Möglichkeit soll für die eigene Datenauswertung überprüft werden (MALBURG-GRAF 2002).

In BANNICK et al. (2001) werden beruhend auf Lysimeteruntersuchungen von insgesamt 340 Sickerwasserproben aus 16 Böden sogenannter unbelasteter Standorte Mediane von Austragsfrachten über das Bodensickerwasser in $\text{g/ha} \cdot \text{a}$ in Abhängigkeit von der Grundwasserneubildungsrate (100 bis 400 mm) angegeben. In der zugrunde liegenden Untersuchung des UBA-Projektes „Boden-Eluat-Gehalte zur Prognose des Boden-Sickerwassers für das untergesetzliche Regelwerk BBodSchV“ konnten keine Zuordnungen der gemessenen Sickerwasserkonzentrationen zu bestimmten Bodensubstraten vorgenommen werden. Die gefundenen Medianwerte werden deshalb von den Autoren für Berechnungen bei allen Bodenarten vorgeschlagen. In wieweit diese Ergebnisse für die Auswertung der eigenen Daten verwertbar sind, muss noch überprüft werden.

6.2.5 Erstellung der Schwermetallbilanz

Aus den Ausführungen der Kapitel 6.2.2 bis 6.2.4 ergibt sich, dass eine vollständige Bilanz auf der Mikroebene mit diesem Abschlussbericht noch nicht vorgelegt werden kann. Es müssen noch einzelne Probleme bezüglich der Quantifizierung der Austräge gelöst bzw. verschiedene zur Verfügung stehende Verfahren getestet werden (vgl. Kapitel 6.2.4). In Kapitel 6.2.7 werden die bisher vorliegenden Ergebnisse zur Schwermetallbilanzierung dargestellt.

Die Quantifizierung der Schwermetalleinträge ist abgeschlossen. Sie basiert auf den Angaben der Betriebe zu den auf den Flächen verwendeten Düngemitteln und den mittleren Schwermetallgehalten dieser Düngemittel (vgl. Kapitel 6.2.3). In Kapitel 6.2.8 werden die Quellen der Schwermetalleinträge bei einzelnen untersuchten Flächen in Diagrammen dargestellt. Eine Gegenüberstellung der Einträge aus Düngemitteln und aus der Luft steht noch aus.

Die Austräge wurden mit Hilfe einer in Kapitel 6.2.4 vorgestellten Methode für den Pfad Boden-Pflanze für alle Ackerflächen geschätzt. Dabei wird von der Modellvorstellung ausgegangen, dass generell auf den Flächen Weizen angebaut wird und 65 dt/ha Weizen geerntet werden. Ein entsprechendes Modell zur Schätzung der Austräge bei den Grünlandböden muss noch ermittelt werden.

6.2.6 Die Teiluntersuchungsgebiete in den Landkreisen Göppingen und Ludwigsburg

Die **Untersuchungsflächen im Landkreis Göppingen** befinden sich in der Gemeinde Böhmenkirch, im äußersten Südosten der Region Stuttgart. Naturräumlich gesehen liegt das Gebiet im Bereich der östlichen Schwäbischen Alb mit durchschnittlichen Niederschlägen zwischen 900 und 1000 mm und einer Jahresmitteltemperatur von 6,5 °C. Es gehört zu den wichtigsten Ackerbaugebieten des Landkreises und kann dem ländlichen Raum zugeordnet werden. Die Tierhaltung, insbesondere die Rinderhaltung, spielt traditionell bei den meisten Betrieben eine große Rolle, so dass Wirtschaftsdünger in größerem Ausmaß anfällt. Zusätzlich wurde in der Vergangenheit von einzelnen Betrieben Klärschlamm der gemeindeeigenen Kläranlagen ausgebracht.

Die Untersuchungsflächen liegen in einer Meereshöhe zwischen 660 und 730 m ü. NN. Der tiefere geologische Untergrund besteht aus ungeschichteten Massenkalken (Mu) und Liegenden Bankkalken (ki4) des Weißen Jura. Diese Kalksteine unterliegen spätestens seit dem Tertiär der Verwitterung, so dass die Böden heute bis in tiefe Bereiche kalkfrei sind. Vorkommende Bodenformen sind an den erosionsfernen Standorten vor allem Braunerden oder Parabraunerden über *Terrae fuscae* aus lösshaltigen periglazialen Deckschichten über tertiären Verwitterungslehmen (teilweise Feuersteinlehme) (WILD 2001). Daneben kommen teilweise podsolige Braunerden und Parabraunerden aus Feuersteinlehmen und in den Senkenbereichen Kolluvisole vor. Rendzinen haben keine Bedeutung und befinden sich lediglich an einzelnen

stark reliefierten Kuppen. Die Bodenzahlen der Bodenschätzung weisen eine große Spannweite auf und liegen zwischen 30 und 70 (FISCHER 2000).

Aufgrund der mächtigen Überdeckung mit tertiären und quartären Lehmen fand ein Reliefausgleich statt, so dass das Mesorelief insgesamt als flach bis schwach gewellt mit einzelnen Karstwannen beschrieben werden kann. Das Gebiet liegt teilweise aufgrund des verkarsteten tieferen Untergrunds in einem Wasserschutzgebiet.

Die **Untersuchungsflächen im Landkreis Ludwigsburg** liegen in verschiedenen Gemeinden des Strohgäus als Teilbereich des Neckarbeckens (Schwieberdingen, Korntal-Münchingen, Ditzingen, Ditzingen-Schöckingen, Markgröningen). Es handelt sich um einen klimatischen Gunstraum mit einer Jahresmitteltemperatur von 9,5 °C und einen mittleren Niederschlag von 650 mm. Hinsichtlich der Bodenausstattung stellt das Gebiet einen typischen ackerbaulich genutzten Ausschnitt der Region Stuttgart dar. Oberflächennah stehen die Schichten des Muschelkalks und teilweise des Unteren Keupers an. Aufgrund der geringen Reliefenergie ist auf den Flächen des Muschelkalks bzw. des Lettenkeupers eine teilweise mächtige Schicht aus Löss bzw. lösshaltigen Fließerden erhalten geblieben. Die resultierenden Bodentypen sind Parabraunerden, gekappte Parabraunerden und in Bereichen mit stärkerer Bodenerosion Pararendzinen und Braunerden. Die Bodenzahlen der Bodenschätzung liegen zwischen 60 und 80, teilweise auch darüber (AKADEMIE FÜR RAUMFORSCHUNG UND LANDESPLANUNG 1969). Die Schichten des teilweise stark verkarsteten Muschelkalk im Untergrund sind dafür verantwortlich, dass Teile des Gebietes zu Wasserschutzgebieten gehören.

Das Gebiet ist auch im bundesweiten Vergleich als ein landwirtschaftlicher Gunstraum anzusehen. Nach der Einschätzung des Verbandes Region Stuttgart (VRS 1999) sind diese Flächen als Grundlage für eine verbrauchernahe und umweltschonende Nahrungsmittelproduktion in der Region Stuttgart von großer Bedeutung, da sie großräumige Transporte von Nahrungsmitteln ersparen. Andererseits liegt das Gebiet eingekeilt zwischen verschiedenen Entwicklungsachsen der Region und ist dadurch einem erhöhten Schadstoffeintrag aus der Luft ausgesetzt.

Die Tierhaltung spielt hier eine weniger große Rolle als im Landkreis Göppingen, allerdings hat die Schweine- und die Pferdehaltung in den letzten Jahren zugenommen, während die Rinderhaltung abgenommen hat. Im Unterschied zum TUG Göppingen spielen Zuckerrüben als Ausgangsprodukt für die Zuckerproduktion eine große Rolle.

6.2.7 Schwermetallbilanz der untersuchten Flächen in beiden Teiluntersuchungsgebieten

Zunächst werden die Ergebnisse für Cadmium und Zink von 15 Ackerflächen aus den beiden Teiluntersuchungsgebieten (im Folgenden vereinfacht als TUG GP und TUG LB bezeichnet) dargestellt. In 4 Tabellen werden die Gesamtgehalte in Königswasser, die NH_4NO_3 -extrahierbaren Gehalte, die mittleren jährlichen Gesamtschwermetalleinträge sowie die Schwermetallausträge in Richtung Pflanze beim Anbau von Weizen aufgelistet. In den Tabellen A15 bis A34 im Anhang sind alle Laborergebnisse zusammengestellt. In der Bilanz noch nicht berücksichtigt ist der Austrag aus dem beprobten Horizont in tiefere Bodenbereiche. In Kapitel 6.2.8 werden die Schwermetalleinträge für einzelne Flächen differenziert nach den Eintragungspfaden im betrachteten Zeitraum 1995 bis 2000 dargestellt.

Gesamtgehalte, „mobile“ Gehalte und pH-Werte:

In Tabelle 17 sind zum Vergleich mit den auf den Untersuchungsflächen gemessenen Werten die Mittelwerte für die beiden Teiluntersuchungsgebiete in den Landkreisen (Gemeinde Böhmenkirch im Landkreis GP und Gemeinden Ditzingen, Korntal-Münchingen, Markgröningen, Schwieberdingen im Landkreis LB) genannt, wie sie aus den Daten der LfU und des Landratsamtes Ludwigsburg bekannt sind. Tabelle 4 in Kapitel 4 nennt die Mittelwerte für die beiden Landkreise. Die Cadmiumgehalte der untersuchten Ackerflächen im TUG GP bewegen sich zwischen 0,4 und 0,5 mg/kg. Die Werte liegen etwas über den für das TUG in der Bodendatenbank der LfU (1999) vorliegenden Durchschnittswerten und auf dem Durchschnittsniveau des Landkreises, während die Zinkgehalte der untersuchten Flächen unter den Mittelwerten liegen (vgl. Tabelle 4, Kapitel 4).

Tabelle 17: Cadmium- und Zinkgehalte der Böden im TUG GP und im TUG LB (Quellen: LfU 2000 und LRA LB 1999)

	Arith. Mittel	Median	Standardabweichung	Variationskoeffizient (%)	Min.	Max.
Cd (TUG GP) N = 274	0,35	0,28	0,23	65	0,1	1,8
Zn (TUG GP) N = 274	88	86	23	26	38	197
Cd (TUG LB) N = 119	0,21	0,20	0,07	33	0,0	0,5
Zn (TUG LB) N = 119	76	76	18	24	37	120

Für den Großraum Stuttgart hat HAUBMANN (2000) auf der Basis von LfU-Daten (UVM 1998) Hintergrundwerte der lithologischen Einheiten errechnet. Die Hintergrundwerte für Cd bewegen sich zwischen 0,16 mg/kg (Sandsteine) und 0,26 mg/kg (Unterer Keuper), der Wert für Löss liegt bei 0,20 mg/kg. Die mittleren Cadmiumgehalte des LK LB liegen dementsprechend in diesem Hintergrundniveau, die Gehalte der untersuchten Flächen im TUG LB überwiegend unter diesem bzw. ebenfalls in diesem Bereich. Auch die Durchschnitts-Zinkwerte des LK LB und die Zinkgehalte der untersuchten Flächen liegen überwiegend im Bereich des von HAUBMANN (2000) ermittelten Hintergrundwertes für Löss von 61 mg/kg oder etwas darüber. Die Korrelation der Hintergrundwerte mit den tatsächlich in den Böden gemessenen Gehalten ist bei Cadmium in der Untersuchung von HAUBMANN (2000) am wenigsten gegeben, was auf eine deutlich stärkere anthropogene Anreicherung dieses Elementes im Vergleich zu den übrigen Elementen schließen lässt. Von 10 untersuchten Ackerflächen im TUG LB wurden lediglich bei einer Fläche Cadmiumgehalte von 0,6 bzw. 0,7 mg/kg und Zinkgehalte von über 100 mg/kg gemessen, was deutlich auf eine anthropogene Anreicherung hinweist.

Die pH-Werte des TUG GP liegen etwa 1,5 pH-Einheiten unter denen des TUG LB. Der mittlere pH-Wert des TUG GP liegt bei 6,0, der durchschnittliche Wert für den LK GP bei 6,5, womit die pH-Werte der untersuchten Flächen auch unter diesen Mittelwerten liegen. Der mittlere Wert bei den untersuchten Flächen im TUG LB befindet sich mit pH 7,1 etwas über dem Landkreis-Mittel von pH 6,9. Die pH-Werte der untersuchten Flächen sind in den Tabellen 18 und 19 zusammen mit den Daten für Zink aufgeführt.

Die NH_4NO_3 -extrahierbaren Cadmium- und Zinkgehalte korrelieren wie zu erwarten mit den pH-Werten, wobei der Zusammenhang bei Cadmium enger ist. Zwischen 1,4% und 11,6% der Cd-Gesamtgehalte und zwischen 0,2 und 2,4% der Zinkgehalte sind bei den untersuchten Flächen des TUG GP potenziell für die Pflanze verfügbar bzw. verlagerbar. Aufgrund dieser mobilen Fraktion ist eine Schwermetallanreicherung im Ap-Horizont der Flächen des TUG GP weniger gegeben als bei den Böden im TUG LB. Aber auch bei den Flächen im TUG LB finden Cd- und Zn-Austräge in die Pflanze statt. Bei relativ niedrigen Einträgen kann auch hier über lange Zeiträume keine Schwermetallakkumulation im Boden festgestellt werden.

Einträge und Austräge:

In den Tabellen 18 bis 21 sind die Ergebnisse zu den Cadmium- und Zinkeinträgen, zu den pH-Werten, den NH_4NO_3 -extrahierbaren Gehalten und zu den Cadmium-Austrägen dargestellt. Die Einträge in g/ha sind die jährlichen Durchschnittswerte, wie sie sich aus den Befragungen zu

dem 6-jährigen Zeitraum von 1995 und 2000 ergeben haben. Die Methode zur Ermittlung der Cadmium-Austräge ist in Kapitel 6.2.4 erläutert.

Tabelle 18: **pH-Werte und Zinkgehalte** (Gesamt und mobil) von **12 Ackerflächen** von **tierhaltenden Betrieben im TUG GP und im TUG LB** mit den untersuchten Teilflächen sowie mittlere **Zink-Einträge pro Jahr** von 1995 bis 2000. Mit Hinweisen zu den Eintragsquellen.

Fläche	Eintragsquellen	pH	mg/kg TS		g/ha	
			Ges.	Mob.	Mob.	Eintrag
A1 (GP)	WD/S+R, KS, HD	5,6	63	0,47	1523	1264
A2 (GP)	WD/R, HD	5,3	66	0,51	1640	910
A3 A (GP)	WD/S, KS, HD	4,8	61	1,48	4051	2846
A3 B (GP)		5,6	63	0,27	803	2846
A4 A (GP)	WD/R, KS, HD	5,6	63	0,21	714	665
A4 B (GP)		6,0	62	0,09	297	665
A4 C (GP)		5,9	66	0,18	552	665
A5 A (GP)	WD/R, HD	5,3	61	0,54	1843	297
A5 B (GP)		5,3	63	0,62	2023	297
A5 C (GP)		5,2	63	0,76	2550	297
A6 A (GP)	WD/S+R, KS, HD	5,2	75	0,49	1221	2797
A6 B (GP)		5,2	75	0,42	1142	2797
A6 C (GP)		5,1	74	0,58	1392	2797
A7 A (LB)	WD/S, HD	6,7	67	<0,02	<79	724
A7 B (LB)		7,3	72	n.b.	n.b.	724
A8 A (LB)	WD/R, HD	7,3	119	n.b.	n.b.	412
A8 B (LB)		7,3	108	n.b.	n.b.	412
A9 (LB)	WD/R, HD	6,7	62	<0,02	<79	1032
A10 A (LB)	WD/R, HD	7,5	69	n.b.	n.b.	254
A10 B (LB)		7,3	70	n.b.	n.b.	254
A12 (LB)	WD/R, HD	7,1	61	<0,02	<79	719
A15 A (LB)	WD/S, HD	7,5	61	n.b.	n.b.	1819
A15 B (LB)		7,6	62	n.b.	n.b.	1819

(Erläuterungen: Ges. = Gesamtgehalt/Königswasser; Mob. = „Mobiler“ Gehalt/NH₄NO₃; Austrag Weizen = Austrag Boden-Weizenkorn; n.b. = nicht bestimmt)

Die Tabellen 18 und 19 zeigen folgende Tendenzen bezüglich Zink auf:

- Keine Auffälligkeiten bei den Zinkgehalten, lediglich bei Fläche A8 im TUG LB
- Höhere Einträge bei den Betrieben mit Tierhaltung (Vgl. Tabelle 18 mit Tabelle 19)

- Erhöhung der Einträge durch Klärschlammaufbringung im TUG GP
- Höhere mobile Zinkgehalte im TUG GP bei niedrigeren pH-Werten

Tabelle 19: **pH-Werte und Zinkgehalte** (Gesamt und mobil) von **3 Ackerflächen** von **Betrieben ohne Tierhaltung im TUG LB** mit den untersuchten Teilflächen sowie mittlere **Zink-Einträge pro Jahr** von 1995 bis 2000. Eintragsquelle: ausschließlich Handelsdünger.

Fläche	pH	mg/kg TS		g/ha	
		Ges.	Mob.	Mob.	Eintrag
A11 A (LB)	6,6	63	<0,02	<79	73
A11 B (LB)	7,1	64	n.b.	n.b.	73
A13 A (LB)	6,6	57	<0,02	<79	53
A13 B (LB)	6,5	61	<0,02	<79	53
A13 C (LB)	7,3	68	n.b.	n.b.	53
A15 A (LB)	7,5	61	n.b.	n.b.	226
A15 B (LB)	7,4	62	n.b.	n.b.	226

(Erläuterungen: Ges. = Gesamtgehalt/Königswasser; Mob. = „Mobiler“ Gehalt/NH₄NO₃; n.b. = nicht bestimmt)

Tabelle 20: **Cadmiumgehalte** (Gesamt und mobil) von **3 Ackerflächen** von **Betrieben ohne Tierhaltung im TUG LB** mit den untersuchten Teilflächen sowie mittlere **Cadmium-Einträge pro Jahr** von 1995 bis 2000 und **Cadmium-Austräge** bezogen auf den Pfad Pflanze – Weizenkorn bei einem fiktiven Weizenertrag von 65 dt/ha (s. Kapitel 6.2.4). Eintragsquelle: ausschließlich Handelsdünger.

Fläche	mg/kg TS		g/ha		
	Ges.	Mob.	Mob.	Eintr.	Austrag Weizen
A11 A (LB)	0,1	0,002	7,9	1,3	0,3
A11 B (LB)	0,1	n.b.	n.b.	1,3	n.b.
A13 A (LB)	0,1	0,003	13	0,9	0,3
A13 B (LB)	0,1	0,006	24	0,9	0,5
A13 C (LB)	0,1	n.b.	n.b.	0,9	n.b.
A15 A (LB)	0,2	n.b.	n.b.	0,9	n.b.
A15 B (LB)	0,2	n.b.	n.b.	0,9	n.b.

(Erläuterungen: Ges. = Gesamtgehalt/Königswasser; Mob. = „Mobiler“ Gehalt/NH₄NO₃; Austrag Weizen = Austrag Boden-Weizenkorn; n.b. = nicht bestimm)

Die Tabellen 20 und 21 zeigen folgende Tendenzen bezüglich Cadmium auf:

- Keine Auffälligkeiten bei den Cadmiumgehalten, lediglich bei Fläche A8 im TUG LB
- Erhöhung der Einträge durch Klärschlammaufbringung und durch phosphathaltige Handelsdünger (s. Kapitel 6.2.8) im TUG GP

- Höhere mobile Cadmiumgehalte und Austräge im TUG GP bei niedrigeren pH-Werten

Tabelle 21: **Cadmiumgehalte** (Gesamt und mobil) von **12 Ackerflächen** von **tierhaltenden Betrieben im TUG GP und im TUG LB** mit den untersuchten Teilflächen sowie mittlere **Cadmium-Einträge pro Jahr** von 1995 bis 2000 und **Cadmium-Austräge** bezogen auf den Pfad Pflanze – Weizenkorn bei einem fiktiven Weizenertrag von 65 dt/ha (s. Kapitel 6.2.4). Mit Hinweisen zu den Eintragsquellen.

Fläche	Eintragsquellen	mg/kg TS		g/ha		
		Ges.	Mob.	Mob.	Eintrag	Austrag Weizen
A1 (GP)	WD/S+R, KS, HD	0,4	0,021	68	7,5	0,9
A2 (GP)	WD/R, HD	0,4	0,029	93	2,8	1,1
A3 A (GP)	WD/S, KS, HD	0,5	0,058	159	4,3	1,7
A3 B (GP)		0,5	0,015	45	4,3	0,8
A4 A (GP)	WD/R, KS, HD	0,5	0,018	61	7,6	0,9
A4 B (GP)		0,5	0,008	27	7,6	0,5
A4 C (GP)		0,5	0,007	21	7,6	0,5
A5 A (GP)	WD/R, HD	0,4	0,019	65	1,5	0,9
A5 B (GP)		0,5	0,020	65	1,5	0,9
A5 C (GP)		0,4	0,008	27	1,5	0,5
A6 A (GP)	WD/S+R, KS, HD	0,4	0,017	42	9,0	0,8
A6 B (GP)		0,4	0,018	49	9,0	0,9
A6 C (GP)		0,4	0,020	48	9,0	0,9
A7 A (LB)	WD/S, HD	0,2	0,002	7,9	0,4	0,3
A7 B (LB)		0,2	n.b.	n.b.	0,4	n.b.
A8 A (LB)	WD/R, HD	0,7	n.b.	n.b.	0,9	n.b.
A8 B (LB)		0,6	n.b.	n.b.	0,9	n.b.
A9 (LB)	WD/R, HD	0,1	0,003	13	2,2	0,3
A10 A (LB)	WD/R, HD	0,1	n.b.	n.b.	0,6	n.b.
A10 B (LB)		0,1	n.b.	n.b.	0,6	n.b.
A12 (LB)	WD/R, HD	0,1	[0,002]	[7,9]	2,1	[0,3]
A15 A (LB)	WD/S, HD	0,1	n.b.	n.b.	1,0	n.b.
A15 B (LB)		0,1	n.b.	n.b.	1,0	n.b.

(Erläuterungen: Ges. = Gesamtgehalt/Königswasser; Mob. = „Mobiler“ Gehalt/NH₄NO₃; Austrag Weizen = Austrag Boden-Weizenkorn; n.b. = nicht bestimmt; [0,002] = 3 Proben von 18 untersucht: 2 x 0,002, 1 x <0,002)

Von SCHÜTZE & NAGEL (1998) wurden für Deutschland mittlere Cd-Einträge durch die Düngung von 1,4 g/ha*a berechnet. BOYSEN (1992) gibt nach SCHÜTZE (1998) Werte zwischen 0,7 – 4,8 g/ha*a an. Bei den Flächen im TUG GP liegen die Einträge über 1,4 g/ha, aufgrund von Klärschlammmanwendung liegen 3 von 6 Flächen auch über 4,8 g/ha. Die Einträge im TUG LB bewegen sich bis auf zwei Flächen unter 1,4 g/ha.

Die sich aus BioAbfV (1998) maximal ergebenden Schwermetallfrachten betragen 15 g Cd/ha und 4000 g Zink/ha, wenn die maximale Menge von 10 t TS im Jahr (max. 30 t TS in 3 Jahren) aufgebracht wird, und sind damit etwas niedriger als die maximal möglichen Frachten nach AbfKlärV (1992). Diese betragen bei einer Ausbringung von 1,67 t TS in einem Jahr (max. 5 t TS in 3 Jahren) 16,7 g Cd/ha und 4175 g Zink/ha. Nach BBodSchV (1999) werden lediglich für „Flächen mit der Besorgnis einer schädlichen Bodenveränderung“ zusätzliche jährliche Frachten angegeben. Der Wert liegt für Cd bei 6 g/ha und für Zn bei 1200 g/ha. Die drei mit Klärschlamm beaufschlagten Flächen im TUG GP liegen über dem Cadmium-Wert der BBodSchV. Über dem Zink-Wert liegen die Flächen der beiden Betriebe mit Schweinehaltung, wovon sich ein Betrieb im TUG GP und ein Betrieb im TUG LB befindet, außerdem die Flächen von 2 Betrieben, die Klärschlamm auf ihren Flächen angewandt haben und gleichzeitig Wirtschaftsdünger von Rindern und Schweinen ausbringen. Die maximalen Cadmium- und Zinkfrachten nach AbfKlärV (1992) und BioAbfV (1998) werden von den mittleren Einträgen der einzelnen Betriebe nicht überschritten.

In den Tabellen 22 und 23 sind die bis zur Fertigstellung des Abschlussberichts ausgewerteten Ergebnisse für die Grünlandflächen dargestellt. Hier liegen noch keine Abschätzungen der Schwermetallausträge vor.

Tabelle 22: **pH-Werte, Cadmiumgehalte** (gesamt und mobil), sowie mittlere **Cadmium-Einträge** pro Jahr im Zeitraum 1995 bis 2000 bei **5 Grünlandflächen im TUG GP**. Angaben in mg/kg TS und g/ha.

Fläche	pH	mg/kg TS		g/ha	
		Ges.	Mob.	Mob.	Eintr.
G1 (GP)	5,2	0,7	0,027	28	1,9
G2 (GP)	5,2	0,3	0,019	17	3,8
G3 (GP)	4,5	n.n.b.	0,049	46	3,2
G4 (GP)	5,1	n.n.b.	0,021	18	2,7
G5 (GP)	5,0	n.n.b.	0,020	15	1,9

n.n.b. = noch nicht bestimmt

Tabelle 23: **pH-Werte, Zinkgehalte** (gesamt und mobil), sowie mittlere **Zink-Einträge** pro Jahr im Zeitraum 1995 bis 2000 bei **5 Grünlandflächen im TUG GP**. Angaben in mg/kg TS und g/ha.

Fläche	pH	mg/kg TS		g/ha	
		Ges.	Mob.	Mob.	Eintr.
G1 (GP)	5,2	91	0,68	706	772
G2 (GP)	5,2	96	0,71	601	1556
G3 (GP)	4,5	65	2,13	1969	1315
G4 (GP)	5,1	75	0,55	488	700
G5 (GP)	5,0	66	0,50	371	443

Das Niveau der Einträge ist bezogen auf die Fläche (g/ha) mit dem der Ackerflächen ohne Klärschlammanwendung vergleichbar. Alle Werte für Cadmium liegen über dem von SCHÜTZE & NAGEL (1998) ermittelten durchschnittlichen Eintragungswert für Deutschland aus der Düngung von 1,4 g/ha*a. Da sich die Bilanz für die Grünlandflächen jedoch aufgrund einer hier fehlenden Durchmischung wie im Ap-Horizont der Ackerböden nur auf die oberen 10 cm des Ah-Horizontes bezieht, liegen die Einträge auf das Bodengewicht bezogen höher als bei den Ackerflächen. Eine Anreicherung der Schwermetalle in einem kleineren Bodenbereich ist bei den Grünlandflächen deshalb in kürzeren Zeiträumen möglich.

Die beiden Flächen G1 und G2 weisen im betrachteten Zeitraum zwar unterschiedlich hohe Einträge auf, liegen jedoch bezüglich der Zinkgehalte des Bodens an der Spitze der untersuchten Flächen im TUG GP. Die Unterschiede hinsichtlich der geschätzten Eintragungshöhe und der Bodengehalte können neben anderen möglichen Ursachen damit zusammenhängen, dass die Einträge bei Fläche G1 durch höhere Schwermetallgehalte der Düngemittel in Wirklichkeit höher waren. Hier haben, bedingt durch hohe Einträge einerseits und höhere pH-Werte und dadurch niedrigere mobile Zinkgehalte als bei Fläche G3 andererseits, deutliche anthropogene Anreicherungen stattgefunden. Dies zeigt auch der Cadmiumgehalt von 0,7 mg/kg TS von Fläche G1, der ebenfalls höher liegt als die bei den Ackerflächen gemessenen Werte.

Die beiden Flächen G4 und G5 werden von einem Betrieb bewirtschaftet und unterschiedlich intensiv gedüngt. Die Zinkgehalte scheinen diesen Unterschied nachzubilden. Gravierende geogen bedingte Unterschiede bei den Zinkgehalten sind weitestgehend auszuschließen, da sich die beiden Flächen in unmittelbarer Nähe zueinander befinden und das Ausgangssubstrat (Löss- und Feuersteinlehmhaltige periglaziale Deckschichten) identisch ist. Allerdings sind bei Fläche G5 deutliche Pseudogley-Merkmale festzustellen, was auf häufig auftretende reduzierende Verhältnisse hinweist und dadurch eine mittels NH_4NO_3 -Extraktion nicht feststellbare, erhöhte

Mobilität von Cd und Zn nach sich ziehen kann. Dies hätte bei Fläche G5 erhöhte Cd- und Zn-Austräge zur Folge und somit eine geringere Anreicherung.

Niedrige pH-Werte führen zu einer erhöhten Mobilität von Cadmium und Zink, was sich insbesondere bei der Grünlandfläche mit dem niedrigsten pH-Wert (4,5) bemerkbar macht. Obwohl die Einträge bei dieser Fläche relativ hoch sind, liegt der Zinkgehalt des Bodens in einem unauffälligen Bereich. Die nicht beobachtbare Anreicherung (im Vergleich mit den Zinkgehalten der übrigen Flächen und mit dem Durchschnittswert für das TUG GP) ist mit großer Wahrscheinlichkeit auf die hohe Mobilität von Zink (2,13 mg/kg TS = höchster gemessener Wert überhaupt) und damit auf die Verlagerung in tiefere Bodenbereiche sowie auf Pflanzenaufnahme zurückzuführen.

Der Vergleich zwischen den untersuchten Acker- und Grünlandflächen zeigt, dass Anreicherungen von Zink aufgrund regelmäßiger hoher Einträge trotz niedriger pH-Werte um pH 5 in den oberen 10 cm des Grünlandes stattfinden, während diese Anreicherungen in den Ackerböden des TUG GP nicht nachweisbar sind. Dies ist einerseits darauf zurückzuführen, dass die vergleichbar hohen Einträge in die Ackerböden in einem deutlich größeren Bodenvolumen des Pflughorizontes verteilt werden und sich somit erst in viel größeren Zeiträumen durch eine Zunahme des Bodengehaltes bemerkbar machen. Nicht zuletzt muss darauf hingewiesen werden, dass die heute feststellbaren Bodengehalte im wesentlichen das Resultat von 50 bis 100 Jahren intensiver Bodennutzung und Einträgen aus der Luft darstellen und hier nur ein Zeitraum von 6 Jahren abgebildet werden konnte.

Nach KNOCHE, BRAND & BÖKEN (1999) lässt sich kein enger statistischer Zusammenhang zwischen mobilen Cadmium- und Zinkgehalten im Boden und den entsprechenden Gehalten von Grünlandpflanzen feststellen. Aus diesem Grund wurden keine Abschätzungen der Schwermetallausträge aufgrund einer Regressionsrechnung bei Cadmium und Weizen für Ackerflächen vorgenommen.

6.2.8 Quellen der Schwermetalleinträge in den Teiluntersuchungsgebieten

Die Untersuchungen der Düngemittelanwendung der verschiedenen Betriebe in den beiden Teiluntersuchungsgebieten ergeben teilweise erhebliche Unterschiede, die zusammengefasst folgende Ursachen haben:

1. Unterschiedlich hohe Ernteziele und/oder generell unterschiedliche „Unternehmensphilosophie“ der Betriebe / fachlicher Background der Landwirte
2. Vorhandensein bzw. nicht Vorhandensein von Wirtschaftsdünger
3. GV-Besatz (Großvieheinheiten/ha) bzw. Mengenanfall von Wirtschaftsdünger
4. Lage der untersuchten Flächen in Bezug zum Hof, zu Wasserschutzgebieten, Kläranlagen, Siedlungen etc.
5. Lage der Flächen des Betriebes in Bezug zum Relief der Landschaft (nach der Hangneigung und Erreichbarkeit richtet sich die Aufbringung von Wirtschaftsdünger)
6. Unterschiede bei den Fruchtfolgen im betrachteten Zeitraum
7. Geringere Kosten von Mehrnährstoffdüngern in Relation zu Einnährstoffdüngern
8. Qualität der Fläche aus der Sicht des Landwirts
9. Untersuchungssituation selbst, d. h. Ängste führen zu Angaben unter den N-Mengen, die zur Erzielung des durchschnittlichen Ertrags einer Fruchtart notwendig sind. Eine Überprüfung der Plausibilität der Angaben auf der Basis der sich aus den Angaben der Landwirte ergebenden N-Mengen ist noch in Bearbeitung (MALBURG-GRAF 2002).

Im Folgenden werden die Ergebnisse für einzelne Flächen für den Zeitraum 1995 - 2000 in Form von Diagrammen mit den hinsichtlich der Eintragungssituation relevanten Charakteristika dargestellt. Es wurde eine thematische Untergliederung der Flächen nach Betrieben mit und ohne Tierhaltung, mit Wirtschaftsdünger von Rindern oder Schweinen sowie mit Klärschlamm-anwendung vorgenommen.

Eine Untergliederung nach den Teiluntersuchungsgebieten ist nicht sinnvoll, da nicht der falsche Eindruck vermittelt werden soll, die untersuchten Betriebe seien für die beiden Landkreise in jeder Hinsicht repräsentativ. Die Repräsentativität für weite Teile der landwirtschaftlich genutzten Fläche des Landkreises ist bei den Untersuchungsflächen des TUG LB hinsichtlich der Austragsituation aufgrund der hohen Pufferkapazität der Böden gegeben. Die Flächen des TUG GP mit den höchsten Einträgen sind für solche Bereiche des Landkreises Göppingen stellvertretend, die aufgrund erhöhter Austräge durch niedrige bis mittlere pH-Werte (4,5 bis 6,0) der Ackerböden, einen GV-Besatz um 1 GV/ha und etwas höher (insbesondere bei

Schweinehaltung kritisch) und zusätzliche Klärschlammanwendung als kritische Bereiche anzusehen sind.

Flächen von Betrieben ohne Tierhaltung

Im TUG GP handelt es sich mit Ausnahme eines Nebenerwerb-Betriebes um Betriebe mit Tierhaltung, wobei Rinderhaltung die größte Rolle spielt. Auch im TUG LB wurden von insgesamt 10 Betrieben nur 3 Betriebe ohne Tierhaltung untersucht. In einem Fall handelt es sich um einen Nebenerwerbsbetrieb, der die Rinderhaltung im Jahr 1990 aufgegeben hat. Der zweite Betrieb ist ein Großbetrieb (168 ha), der Ackerbau betreibt (neben Zuckerrüben und Getreide auch Rasen als Nischenprodukt) und als organischen Dünger Grünguthäcksel bzw. Grüngut-Kompost der eigenen Kompostierungsanlage einsetzt. Ein weiterer Betrieb mit einer Betriebsfläche von 20 ha hat die Rinderhaltung im Jahr 1995 aufgegeben und betreibt nur noch Ackerbau. Stellvertretend für insgesamt 4 Ackerflächen von Betrieben ohne Tierhaltung sind in den Abbildungen 23 und 24 die Cadmiumeinträge von 2 Flächen aus verschiedenen Düngemitteln der Jahre 1995 bis 2000 aufgeführt.

Bei den Betrieben im TUG LB spielt Kalkammonsalpeter (KAS) für die N-Düngung die größte Rolle. Es kommt dadurch zu minimalen Einträgen. NPK-Dünger wird nur zu bestimmten Feldfrüchten, z. B. zu Kartoffeln zusätzlich gedüngt. Eine andere Variante ist die Düngung von Kalkammonsalpeter kombiniert mit PK-Dünger. Bei den Flächen der Betriebe ohne Tierhaltung sind die Zinkeinträge relativ gering, die Höhe der Cadmium-Einträge ist abhängig vom Ausmaß der Anwendung P- und damit Cd-haltiger Mineraldünger.

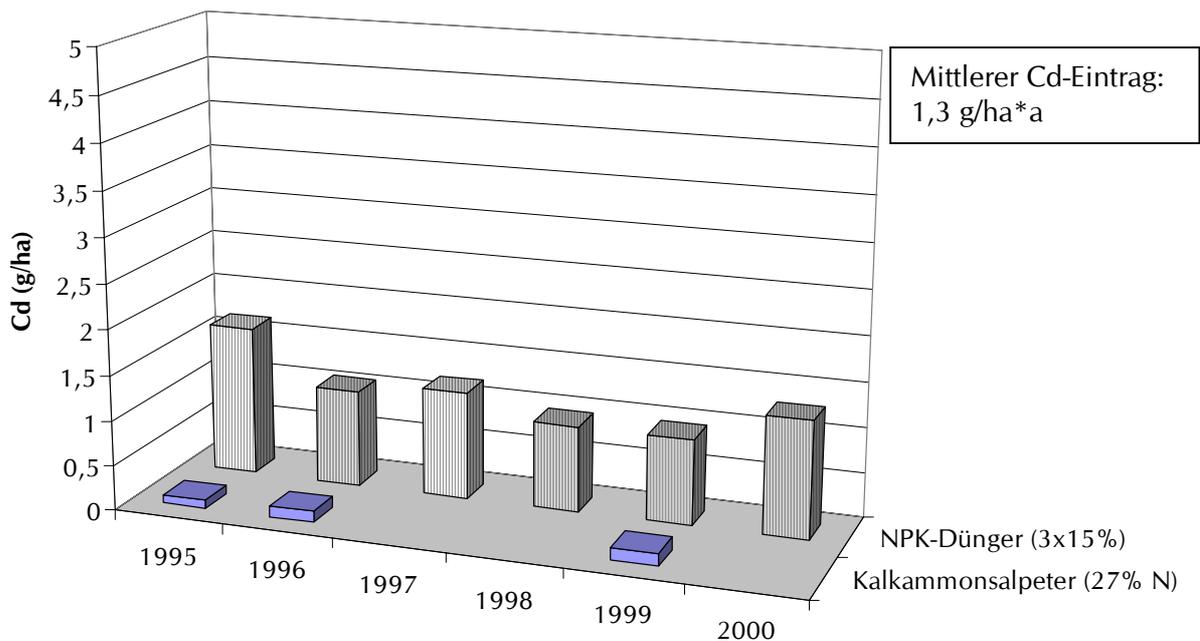


Abbildung 23: Cadmium-Einträge aus NPK-Dünger und Kalkammonsalpeter (KAS) 1995 bis 2000 bei Fläche A11 (LB)

Schwermetalleinträge bei Fläche A11 (LB) (Abbildung 23)

- Der höchste Cd-Eintrag ist im Frühjahr 1995 zu verzeichnen, da hier insgesamt 700 kg/ha NPK-Dünger und 300 kg/ha Kalkammonsalpeter zu Zuckerrüben gedüngt wurde, wobei der Cadmium-Eintrag durch KAS vernachlässigbar gering ist.
- Der durchschnittliche jährliche Eintrag liegt etwas unter dem von SCHÜTZE (1998) angegebenen Durchschnittswert für Deutschland von 1,4 g/ha.

Schwermetalleinträge bei Fläche 14 (LB) (Abbildung 24)

- Da bei dieser Fläche alljährlich eine reine N-Düngung mit KAS bzw. KAS und Ammoniumnitrat-Harnstofflösung (AHL) durchgeführt wird, sind die durchschnittlichen Cadmium-Einträge gemittelt über 6 Jahre geringer als bei Fläche A11 (LB).
- Die Cd-Einträge aus Grünguthäckseln bzw. Grüngutkompost liegen je nach Ausbringungsmenge weit über diesen Werten. Im Jahr 1999 wurden insgesamt 22 t FS/ha ausgebracht. Das entspricht bei einem Trockensubstanzanteil von 53% einer TS-Menge von 11,7 t/ha, einem Cd-Eintrag von 3,5 g/ha und einem Zn-Eintrag von 886 g/ha.

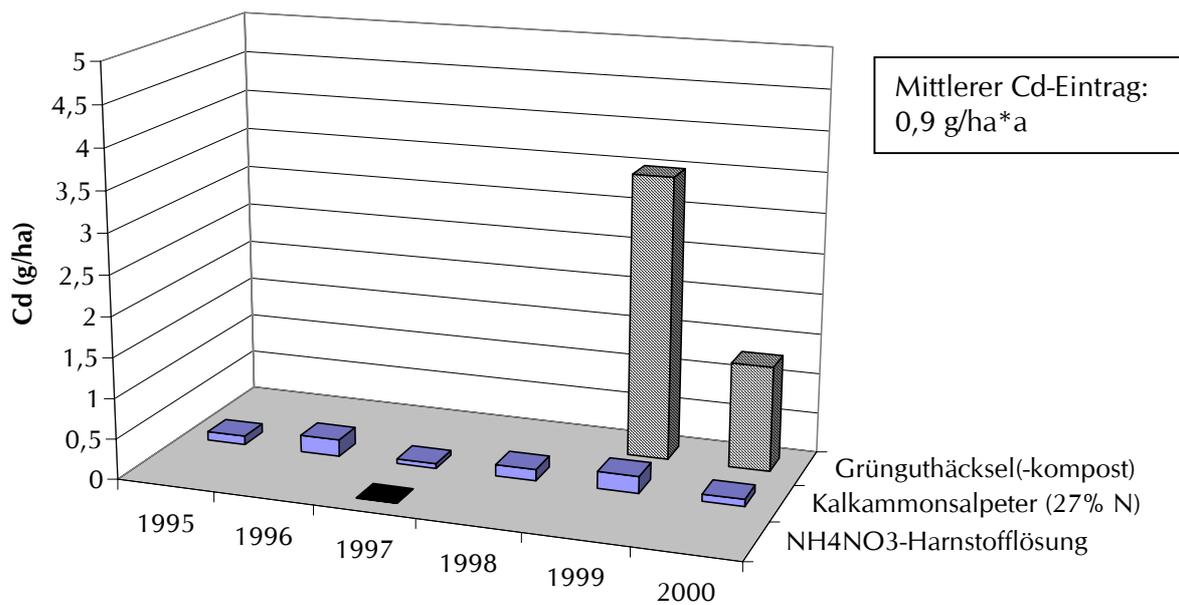


Abbildung 24: Cadmium-Einträge 1995 bis 2000 aus allen Düngemitteln bei Fläche A14 (LB)

- Der Cd-Gehalt von Häckselmaterial des Betriebes (Mittelwert aus 2 Laboruntersuchungen 1999 und 2000) beträgt 0,3 mg/kg TS, der Zn-Gehalt 76 mg/kg. Nach TIMMERMANN (1994) liegen die mittleren Schwermetallgehalte von Grünuthäcksel auf einem relativ niedrigen Niveau (in mg/kg TS: Cd: 0,2; Cu: 10; Ni: 5; Pb: 11; Zn: 45). Da allerdings relativ große Mengen verwendet werden, sind die Einträge nicht unerheblich.

Flächen von Betrieben mit Tierhaltung:

Wirtschaftsdünger wird regelmäßig in jährlich ähnlichen Mengen auf 5 von 6 untersuchten Grünlandflächen des Untersuchungsgebiets Böhmenkirch ausgebracht. Auf Ackerflächen ist der Ausbringungsmodus abhängig von der Fruchtfolge. Die höchsten Mengen an Wirtschaftsdünger werden im Herbst nach der Ernte einer Feldfrucht vor der nächsten Frucht und häufig zu Zwischenfrüchten ausgebracht. Dabei handelt es sich überwiegend um Feldfrüchte mit sehr hohem Nährstoffbedarf wie insbesondere Silomais und Kartoffeln. Aber auch zur Düngung von Zuckerrüben im TUG LB und von Winterweizen wird Wirtschaftsdünger verwendet. In Tabelle 24 sind die bei den untersuchten Betrieben und Flächen anfallenden Wirtschaftsdüngermengen aufgeführt.

Von den Betrieben im TUG GP wird neben der Ausbringung von Wirtschaftsdünger hauptsächlich NPK-Dünger genutzt, vor allem bei Winterweizen und Mais. Es kommt auch vor, dass in erster Linie Kalkammonsalpeter standardmäßig als reiner N-Dünger eingesetzt wird und dann - ähnlich wie von der überwiegenden Zahl der untersuchten Betriebe im TUG LB – je nach Feldfrucht zusätzlich PK-, NP- oder auch NPK-Dünger verwendet werden.

Tabelle 24: Auf den untersuchten Flächen der tierhaltenden Betriebe aufgebrauchte Wirtschaftsdüngermengen 1995 – 2000 (Gesamt mengen pro Hektar im Zeitraum 1995-2000 und sich daraus ergebende Durchschnittsmengen pro Hektar und Jahr)

Fläche	Betrieb	GV/ha	Art des Wirtschaftsdüngers	Gesamtmenge 1995-2000 t TS / ha	Menge pro Jahr t TS / ha*a
A1 (GP)	B1	1,06	Rinder + Schweine	13,2	2,2
A2 (GP)	B2	1,23	Rinder	23,0	3,8
A3 (GP)	B3	0,91	Schweine	19,0	3,2
A4 (GP)	B4	0,92	Rinder	7,0	1,2
A5 (GP)	B5	1,33	Rinder	6,3	1,1
A6 (GP)	B6	1,00	Rinder + Schweine	17,7	3,0
G1 (GP)	B20	1,89	Rinder	19,7	3,3
G2 (GP)	B7	1,03	Rinder	40,2	6,7
G3 (GP)	B5	1,33	Rinder	34,7	5,8
G4 (GP)	B4	0,92	Rinder	14,6	2,4
G5 (GP)	B4	0,92	Rinder	9,8	1,6
A7 (LB)	B10	1,92	Schweine	3,8	0,6
A8 (LB)	B11	0,88	Rinder	10,5	1,8
A9 (LB)	B12	0,61	Rinder	27,0	4,5
A10 (LB)	B13	0,58	Rinder	6,3	1,1
A12 (LB)	B15	0,93	Rinder	18,0	3,0
A15 (LB)	B19	2,48	Schweine	9,5	1,6

Die Tabelle veranschaulicht, dass die Aufbringungsmengen von Wirtschaftsdünger unabhängig vom Großvieheinheitenbesatz pro Hektar auf den einzelnen Flächen der Betriebe erheblich schwanken. Gründe für diese Aufbringungsunterschiede wurden zu Beginn des Kapitels schon aufgeführt. Die höchsten Mengen sind bei zwei Grünlandflächen (G2 und G3) im TUG GP, gefolgt von einer Ackerfläche (A9) im TUG LB zu verzeichnen.

Betriebe mit Schweinehaltung

Von 20 Betrieben wurden 2 Betriebe mit reiner Schweinehaltung (ein Betrieb im TUG LB und ein Betrieb im TUG GP) und ein Betrieb mit Schweine- und Pferdehaltung in der Vergangenheit (TUG LB) untersucht, wovon sich befindet. In den Diagrammen 25 bis 27 sind die Cadmium- und Zinkeinträge aus den verschiedenen Quellen auf den Flächen von 2 Betrieben dargestellt.

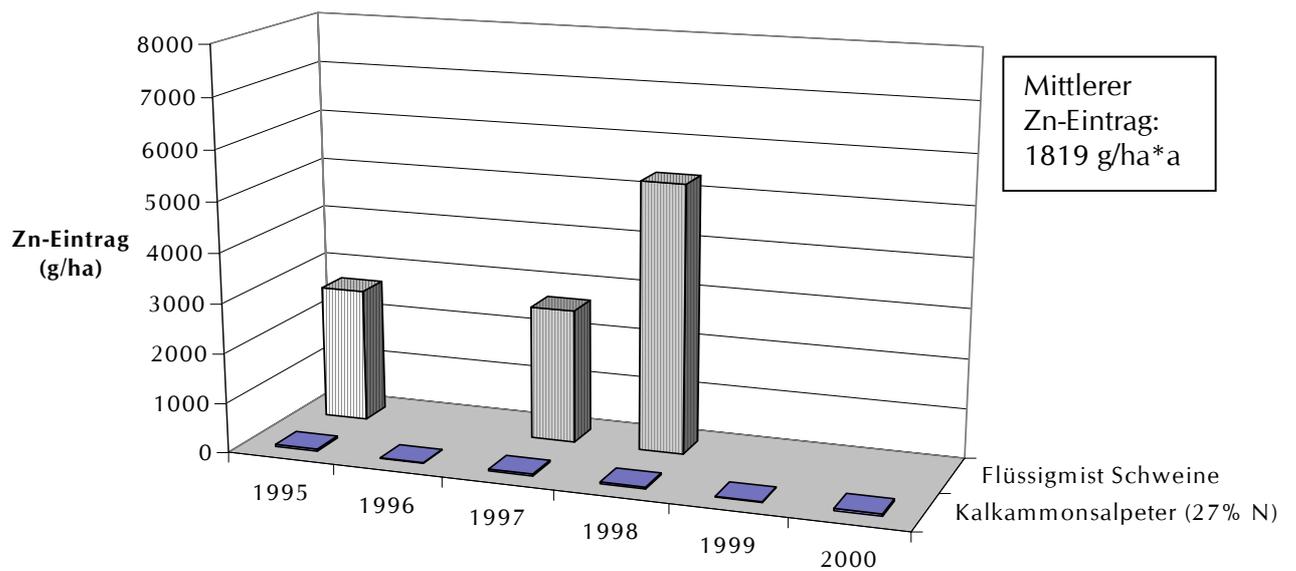


Abbildung 25: Zink-Einträge 1995 – 2000 aus allen Düngemitteln bei Fläche A15 (LB)

Schwermetalleinträge bei Fläche A 15 (LB):

- Im betrachteten Zeitraum wurde keine Düngung mit den Nährstoffen P und K über Handelsdünger durchgeführt, was sich in vergleichsweise geringen Cadmium-Einträgen niederschlägt (nicht als Diagramm dargestellt)
- Die Zink-Einträge liegen – da vergleichbare Mengen an Schweinegülle ausgebracht wurden und gleich hohe Schwermetallgehalte wie bei Fläche A 3 (GP) angenommen werden – in einer ähnlichen Größenordnung wie durch Schweinegülle bei Fläche A 3 (GP)
- Gemessen am hohen Großvieheinheitenbesatz des Betriebes wird wenig Wirtschaftsdünger auf der Fläche (9,5 t TS/ha*6a) verwendet (s. Tabelle 24). Es ist davon auszugehen, dass auf anderen Flächen weitaus mehr Wirtschaftsdünger ausgebracht wurde.

Schweinehaltung und Klärschlammanwendung

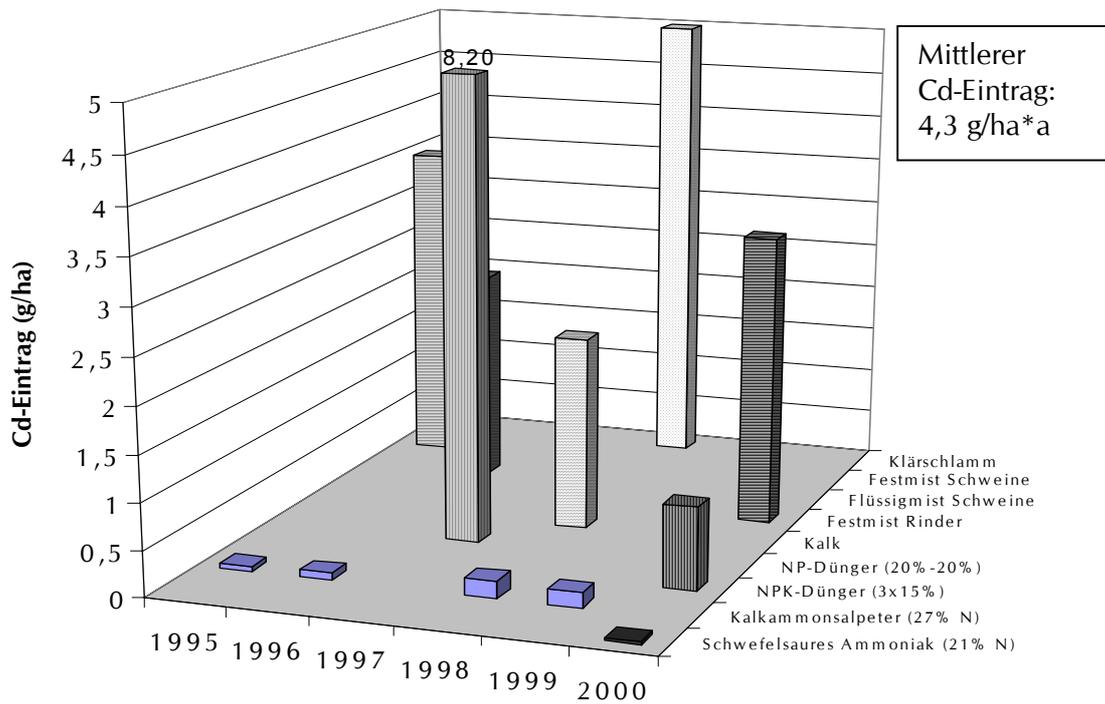


Abbildung 26: Cadmium-Einträge 1995 – 2000 aus allen Düngemitteln bei Fläche A3 (GP)

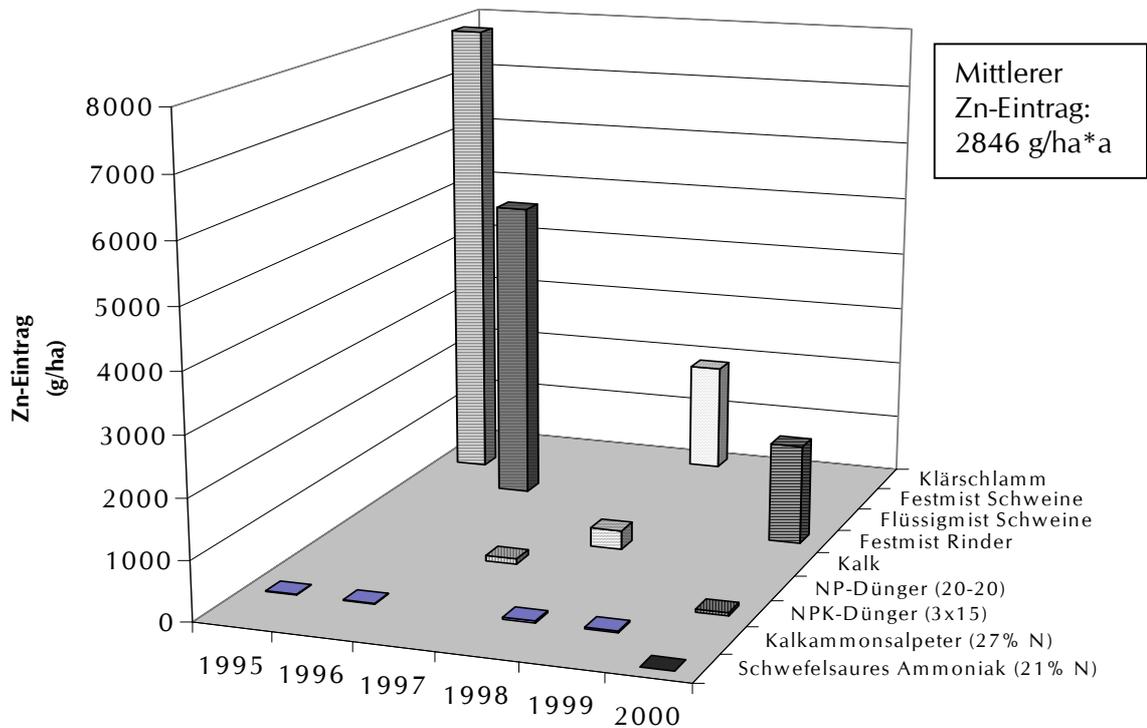


Abbildung 27: Zink-Einträge 1995 – 2000 aus allen Düngemitteln bei Fläche A3 (GP)

Schwermetalleinträge bei Fläche A3 (GP):

- Regelmäßig im Vergleich mit den übrigen Flächen relativ hohe Cadmium-Einträge entweder aus Wirtschaftsdüngern oder Klärschlamm oder aus P-haltigen Mehrnährstoffdüngern
- Beachtenswert ist insbesondere der hohe durchschnittliche Cd-Eintrag aus NP-Dünger (8,2 g/ha)
- Die NP-Düngung erfolgte im Frühjahr 1997 zu Mais, außerdem wurden 60 m³ (= 4,5 t TS) Schweinegülle im Herbst 1996 vor der Maissaat ausgebracht
- Bei den Zink-Einträgen ist als Eintragsquelle an erster Stelle die hohe Menge an Festmist von Schweinen (7,5 t TS = 30 t FS) zu nennen
- Der Festmist von Rindern stammt von einem anderen Betrieb mit höherem GV-Besatz
- Das Gesamtaufkommen an Wirtschaftsdünger auf der Fläche liegt in Relation zum GV-Besatz und im Vergleich mit Fläche A15 (LB) sehr hoch (vgl. Tabelle 24)

Betriebe mit Rinderhaltung

Bei den folgenden Diagrammen (Abbildungen 28 bis 32) wurde eine von den Abbildungen 25 bis 27 abweichende Skalierung der Y-Achse gewählt. Der Maximalwert ist bei den Zinkeinträgen der Flächen von Betrieben mit Rinderhaltung 2000 g/ha statt 8000 g/ha. Es werden vorwiegend die Zink-Einträge dargestellt und miteinander verglichen. Relevante Informationen zu Cadmium finden sich in den Texterläuterungen zu den Diagrammen. Die für den betrachteten Zeitraum errechneten mittleren Einträge pro Hektar und Jahr werden ebenfalls angegeben, um auf die teilweise sehr deutlichen Abweichungen extrem hoher Einträge vom Mittelwert in einzelnen Jahren hinzuweisen.

Schwermetalleinträge bei Fläche A8 (LB):

- Keine Verwendung von P-haltigen Mehrnährstoffdüngern, deshalb relativ geringe Cd-Einträge (nicht graphisch dargestellt, s. Tabellen 20 und 21)
- Verwendung von Rindergülle in 4 von 6 Jahren, so dass die Zink-Einträge dadurch gesteuert werden.
- Da ein Teil der Betriebsfläche im Wasserschutzgebiet liegt, stehen dem Betrieb tatsächlich weniger Flächen zur Ausbringung von Wirtschaftsdünger zur Verfügung als es der GV-Besatz von 0,88 GV/ha suggeriert.

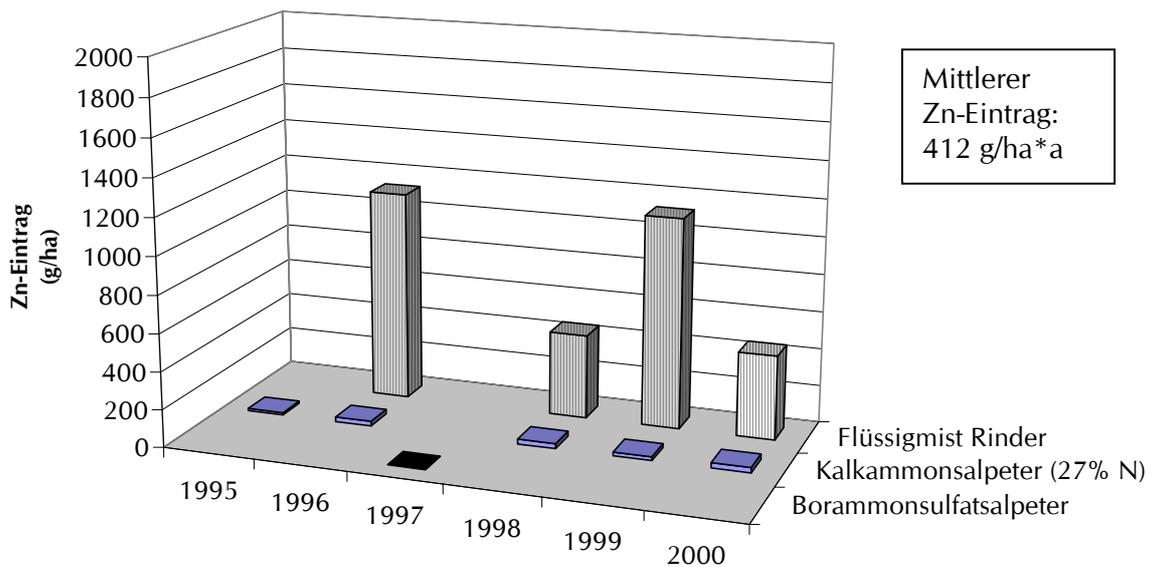


Abbildung 28: Zink-Einträge 1995 – 2000 aus allen Düngemitteln bei Fläche A8 (LB)

- Die Gülle wurde 1996 im Frühjahr zu Winterweizen und im Herbst vor Zuckerrüben, 1998 wiederum im Frühjahr zu Winterweizen, 1999 im Frühjahr zu Silomais und im Herbst 1999 sowie im darauffolgenden Frühjahr 2000 zu Winterweizen als Dünger eingesetzt.
- Die Fläche befindet sich in Hofnähe, aber nicht in Ortsnähe und ist daher günstig für die Ausbringung von Wirtschaftsdünger. Dies erklärt möglicherweise auch die im Vergleich zu allen anderen untersuchten Flächen erhöhten Cd- und Zn-Gesamtgehalte im Boden (0,6/0,7 mg/kg TS bzw. 108/119 mg/kg TS).

Schwermetalleinträge bei Fläche A9 (LB):

- Vor allem durch größere Mengen von Rinder-Festmist 1997 und 2000 (7,9 t TS/ha bzw. 9,8 t TS/ha) und von NPK-Dünger im Jahr 1998 zu Kartoffeln liegen sowohl die Cadmium- (nicht als Diagramm dargestellt) als auch die Zink-Einträge höher als bei Fläche A8
- Bei einem sehr günstigen GV-Besatz des Betriebes von 0,61 GV/ha ist die Wirtschaftsdünger-Fracht von 27 t TS/ha auf der Fläche sehr hoch. Sie liegt ca. 2 km vom Hof entfernt direkt neben einer Kreisstraße und ist über diese vom Hof aus sehr gut erreichbar. Ein Festmist-Silo befindet sich auf der Fläche. Die hohen Einträge spiegeln sich jedoch nicht in den Schwermetallgehalten wider.

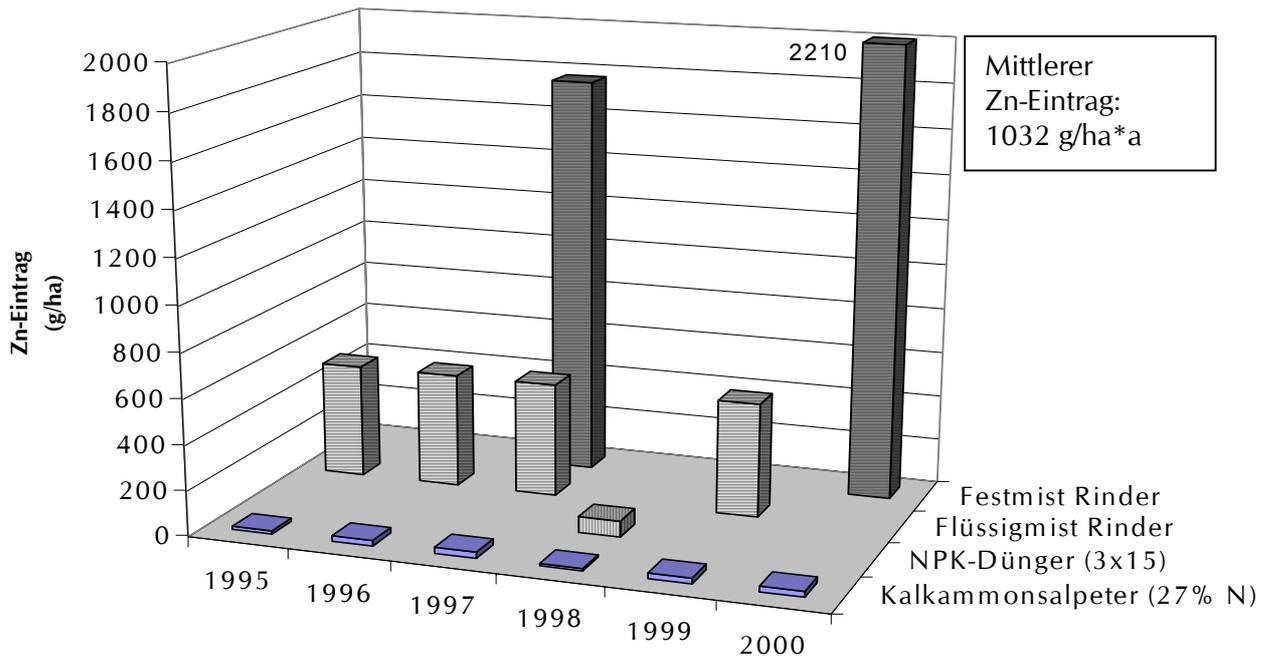


Abbildung 29: Zink-Einträge 1995 – 2000 aus allen Düngemitteln bei Fläche A9 (LB)

- Nach Aussage des Landwirts werden auf der Fläche aufgrund guter Nährstoffversorgung etwa 10 % weniger Düngemittel verwendet als bei anderen Flächen.

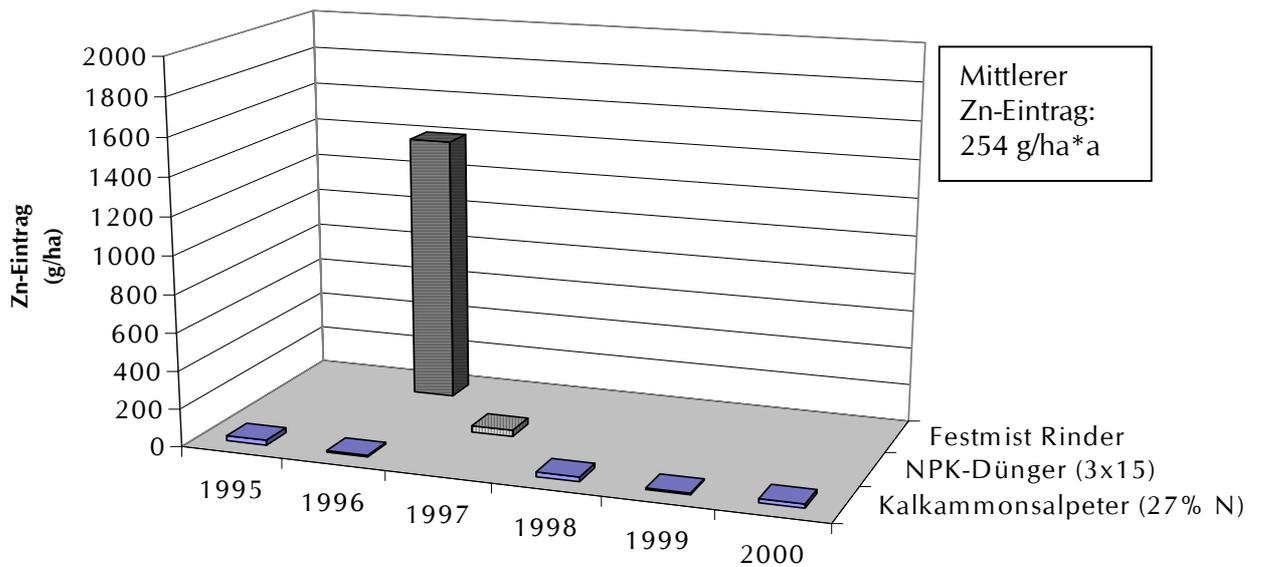


Abbildung 30: Zink-Einträge 1995 – 2000 aus allen Düngemitteln bei Fläche A10 (LB)

Schwermetalleinträge bei Fläche A10 (LB):

- Obwohl sich die Fläche in unmittelbarer Hofnähe befindet, wurden hier nur im Herbst 1996 6,3 t TS/ha Rinder-Festmist nach Sommergerste und vor Kartoffeln ausgebracht. NPK-Dünger wurde ebenfalls zur Düngung der Kartoffeln im Frühjahr 1997 eingesetzt.
- Der GV-Besatz des Betriebes liegt bei nur 0,58 GV/ha. Allerdings hat auch dieser Betrieb Flächen im Bereich eines Wasserschutzgebietes, so dass die tatsächliche Ausbringungsfläche kleiner ist als die gesamte Betriebsfläche. Bezieht man diesen Gesichtspunkt ein, muss der Betrieb über andere Flächen verfügen, bei denen regelmäßig höhere Mengen Festmist von Rindern ausgebracht werden müssen.

Betriebe mit Rinderhaltung und Klärschlammanwendung

Die Betriebe, die diese beiden Kriterien erfüllen, befinden sich im TUG GP. Im TUG LB konnten keine Betriebe mit Klärschlammanwendung in die Untersuchung einbezogen werden. Die Problematik ist jedoch auch für den Landkreis Ludwigsburg relevant, wie sich an den Ergebnissen auf der Makroebene ablesen lässt.

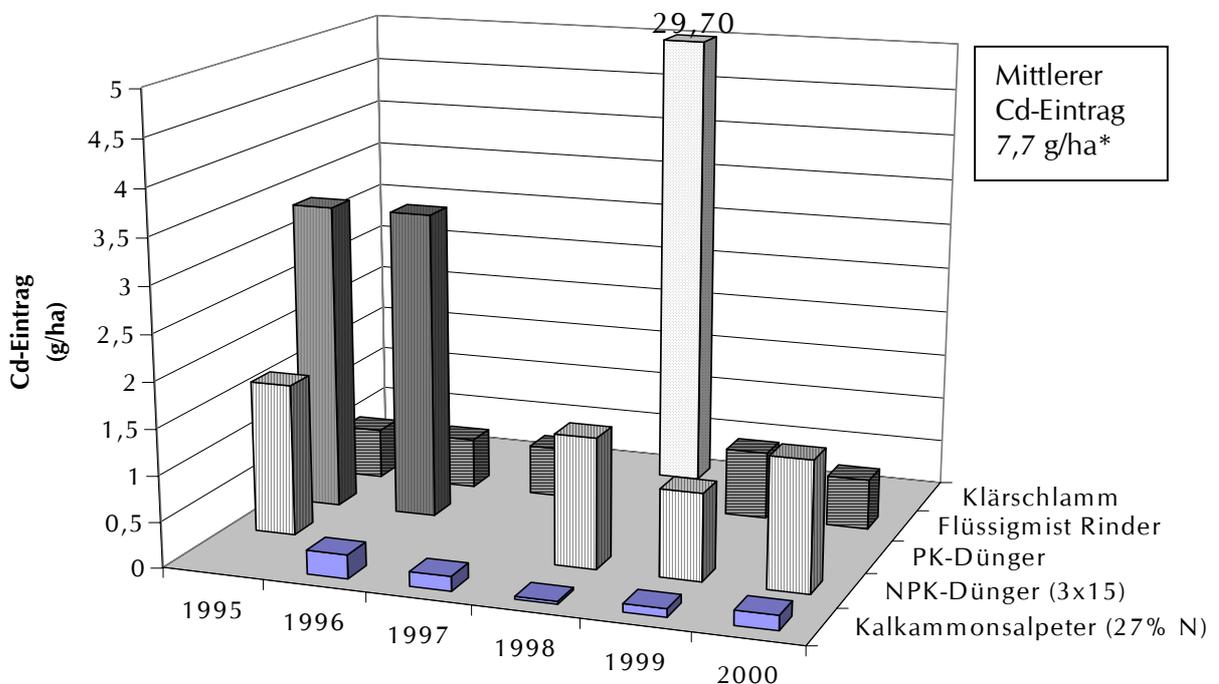


Abbildung 31: Cadmium-Einträge 1995 – 2000 aus allen Düngemitteln bei Fläche A4 (GP)

Schwermetalleinträge bei Fläche A4 (GP):

- Klärschlamm mit einem Cd-Gehalt von 6,9 mg/kg führt im Jahr 1998 zu einer Cadmium-Fracht von 29,7 g/ha, die damit fast doppelt so hoch ist wie die gesamten übrigen Cadmium-Einträge aus den anderen Düngemitteln im gesamten Zeitraum und um den Faktor 3,8 höher ist als der mittlere Cd-Eintrag. Die Fläche befindet sich in der Nähe einer Kläranlage, so dass der Transport von Klärschlamm zu dieser Fläche für den Betrieb rentabel ist.
- NPK- und besonders PK-Dünger bewirken höhere mittlere Cd-Einträge als Flüssigmist von Rindern, der aber in 5 von 6 Jahren trotz Hofferne der Fläche in kleineren Mengen ausgebracht wurde.
- Bei einem GV-Besatz von 0,92 GV/ha ist die insgesamt ausgebrachte Menge von 7,0 TS t/ha eher gering.

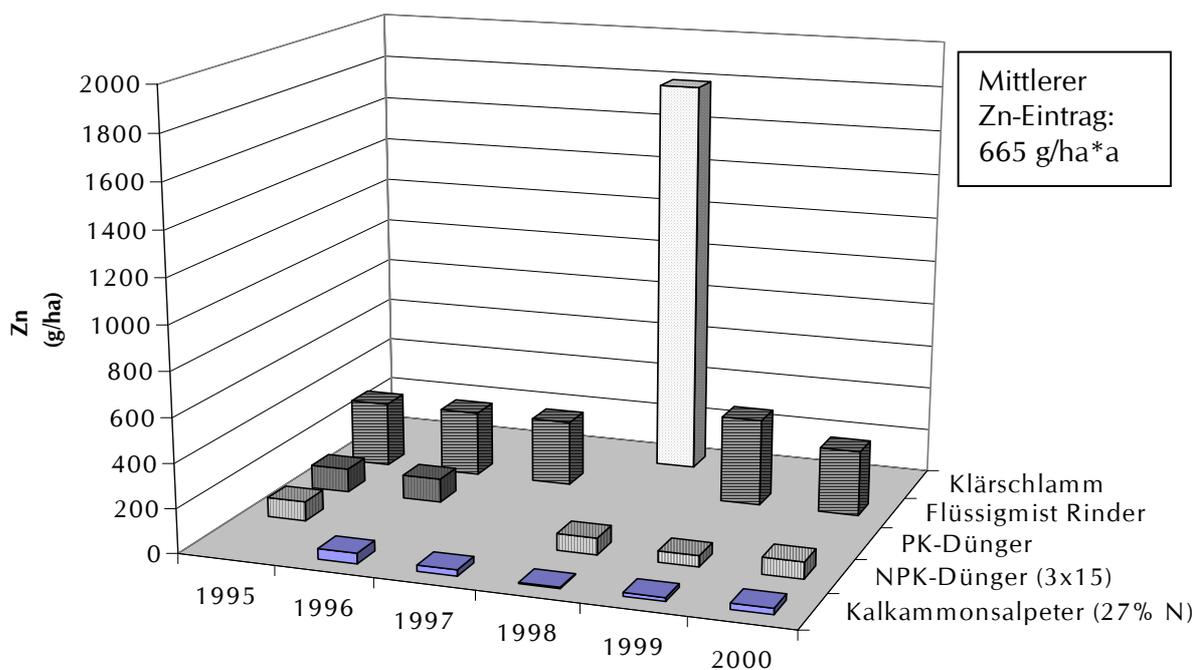


Abbildung 32: Zink-Einträge 1995 – 2000 aus allen Düngemitteln bei Fläche A4 (GP)

Betriebe mit Rinder- und Schweinehaltung und Klärschlammanwendung

Schwermetalleinträge bei Fläche A1 (GP) (Abbildungen 33 und 34):

- 4,9 t TS/ha Klärschlamm führen wie bei Fläche A4 (GP) 1998 zu überdurchschnittlich hohen Cadmium-Einträgen.
- Im Jahr 1998 ist die Fläche insgesamt sehr stark durch Schwermetalleinträge belastet (Cd: 37,7 g/ha, Zn: 4861 g/ha).
- Es fällt Festmist von Rindern und Schweinen sowie Flüssigmist von Rindern an, wobei die Festmist-Ausbringung von 2,7 t TS/ha bei den angenommenen mittleren Zinkgehalten der Wirtschaftsdünger eine mit Klärschlamm vergleichbare Zink-Fracht verursacht.
- NPK-Dünger wird standardmäßig jedes Jahr angewandt, während Kalkammonsalpeter eine untergeordnete Rolle spielt, was die Cadmium-Einträge erhöht.

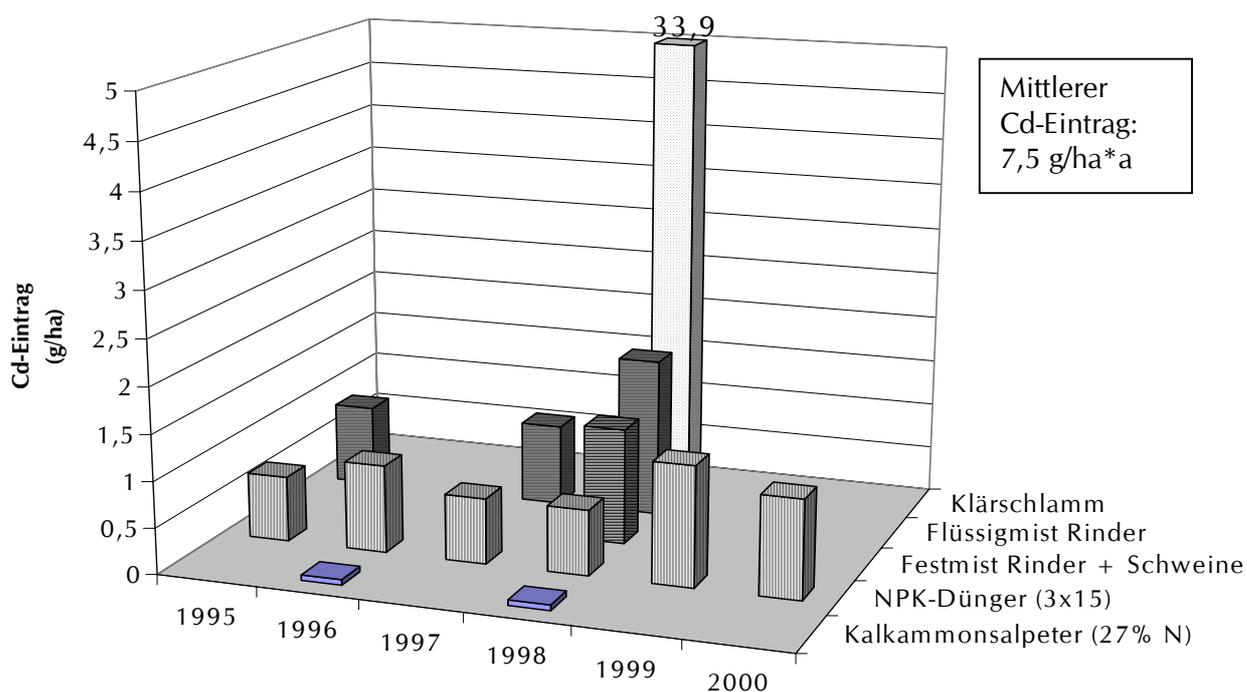


Abbildung 33: Cadmium-Einträge 1995 – 2000 aus allen Düngemitteln bei Fläche A1 (GP)

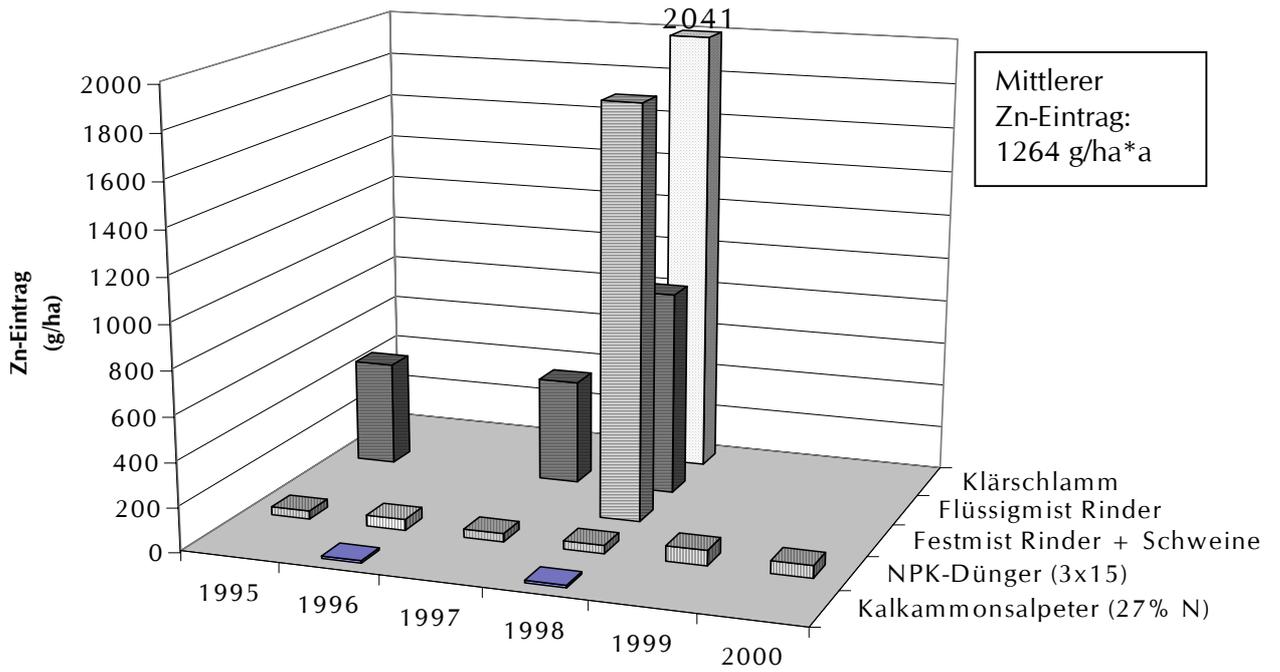


Abbildung 34: Zink-Einträge 1995 – 2000 aus allen Düngemitteln bei Fläche A1 (GP)

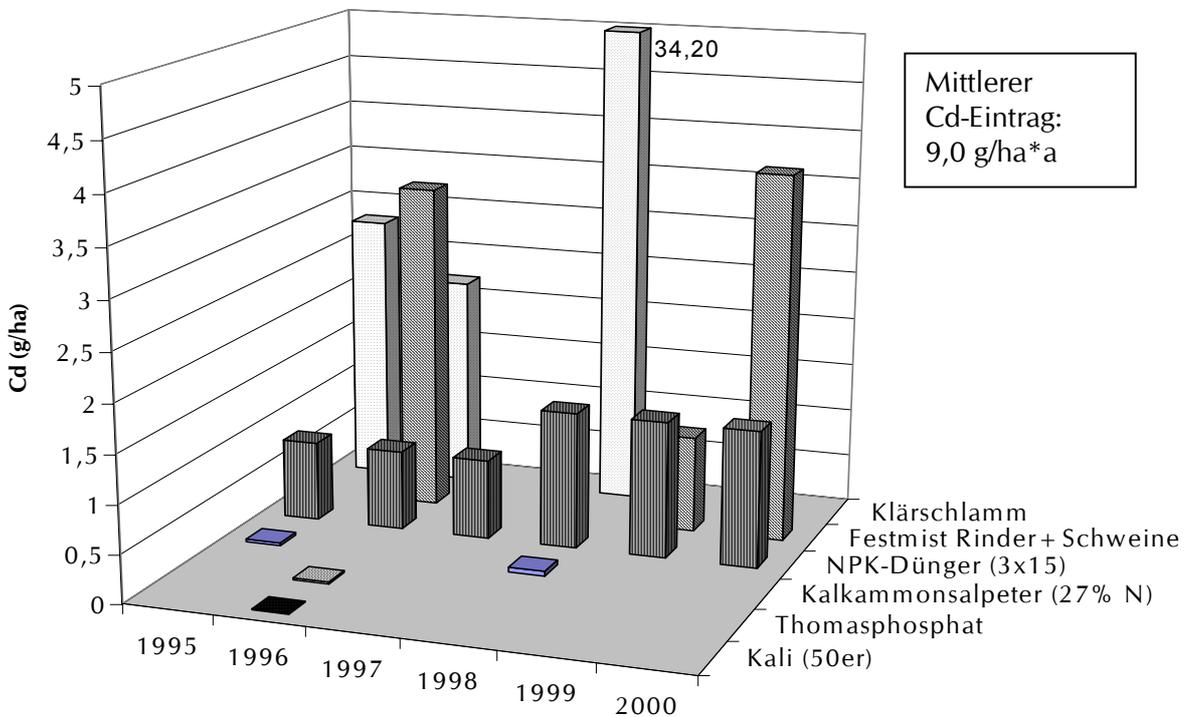


Abbildung 35: Cadmium-Einträge 1995 – 2000 aus allen Düngemitteln bei Fläche A6 (GP)

Schwermetalleinträge bei Fläche A6 (GP) (Abbildungen 35 und 36):

- Die Schwermetalleinträge sind durch Festmistausbringung von Rindern und Schweinen und zusätzliche Klärschlammasbringung in 3 Jahren überdurchschnittlich hoch.
- Die Fläche weist die höchsten mittleren Cadmium- und Zinkeinträge aller bisher ausgewerteten 15 Ackerflächen auf.
- Die Ausbringung von insgesamt 18 t TS Wirtschaftsdünger im gesamten Beobachtungszeitraum ist auf die hofnahe Lage der Fläche zurückzuführen.

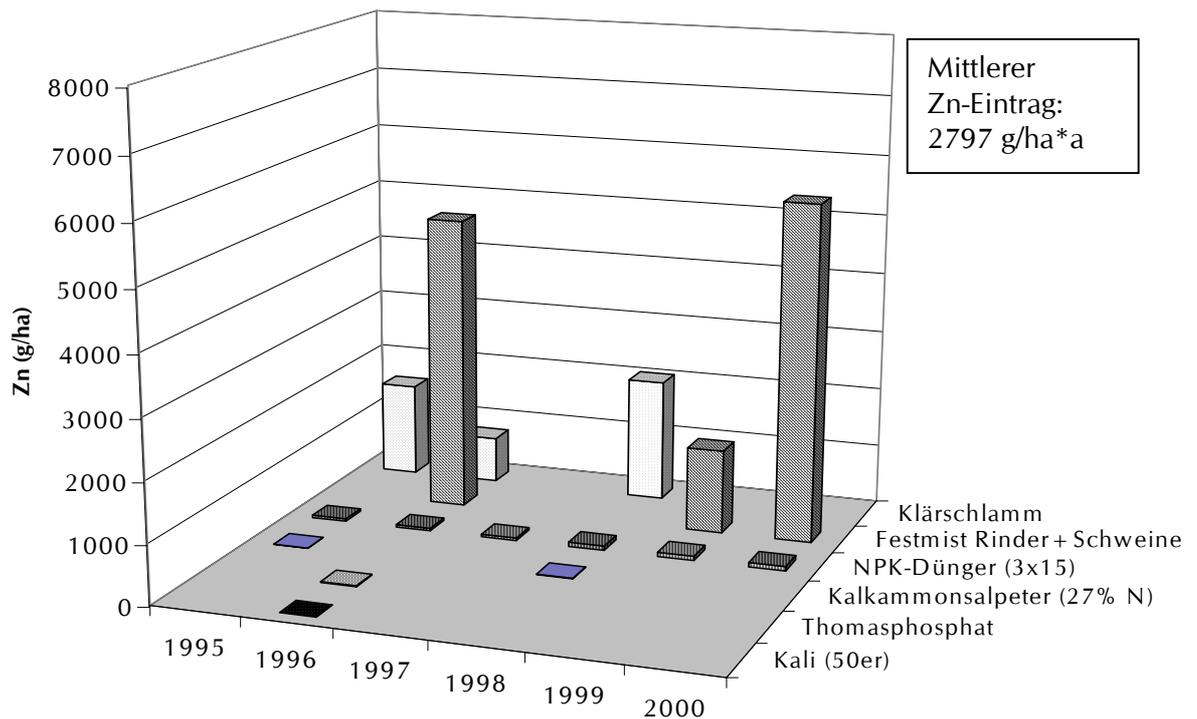


Abbildung 36: Zink-Einträge 1995 - 2000 aus allen Düngemitteln bei Fläche A6 (GP)

Grünlandflächen im TUG Göppingen

Stellvertretend für insgesamt 5 Grünlandflächen sollen mit den folgenden Diagrammen die Schwermetalleinträge von 2 Flächen dargestellt werden. Im Gegensatz zu den Ackerflächen ist die Düngung des Grünlandes durch ein hohes Maß an Regelmäßigkeit gekennzeichnet. Da auf Grünlandflächen nach AbfKlärV (1992) kein Klärschlamm aufgebracht werden darf, werden hier keine Spitzeneinträge erreicht, es findet jedoch ein kontinuierlicher Input aus Wirtschaftsdüngern statt.

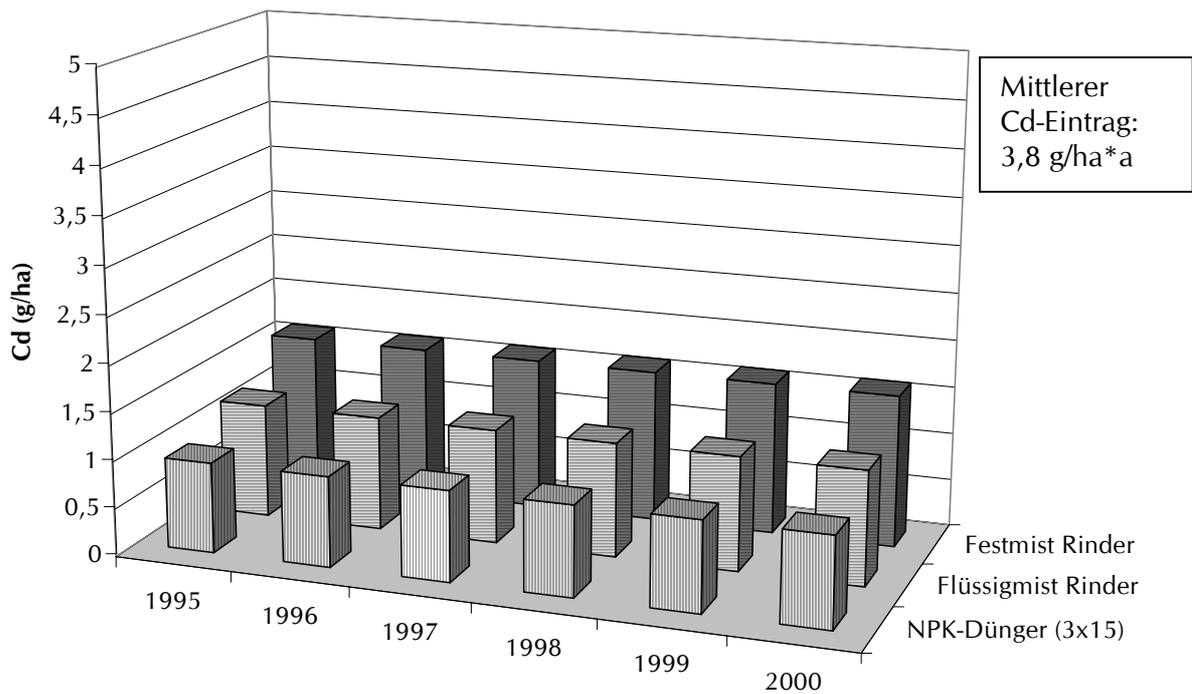


Abbildung 37: Cadmium-Einträge 1995 – 2000 aus allen Düngemitteln bei Fläche G2 (GP)

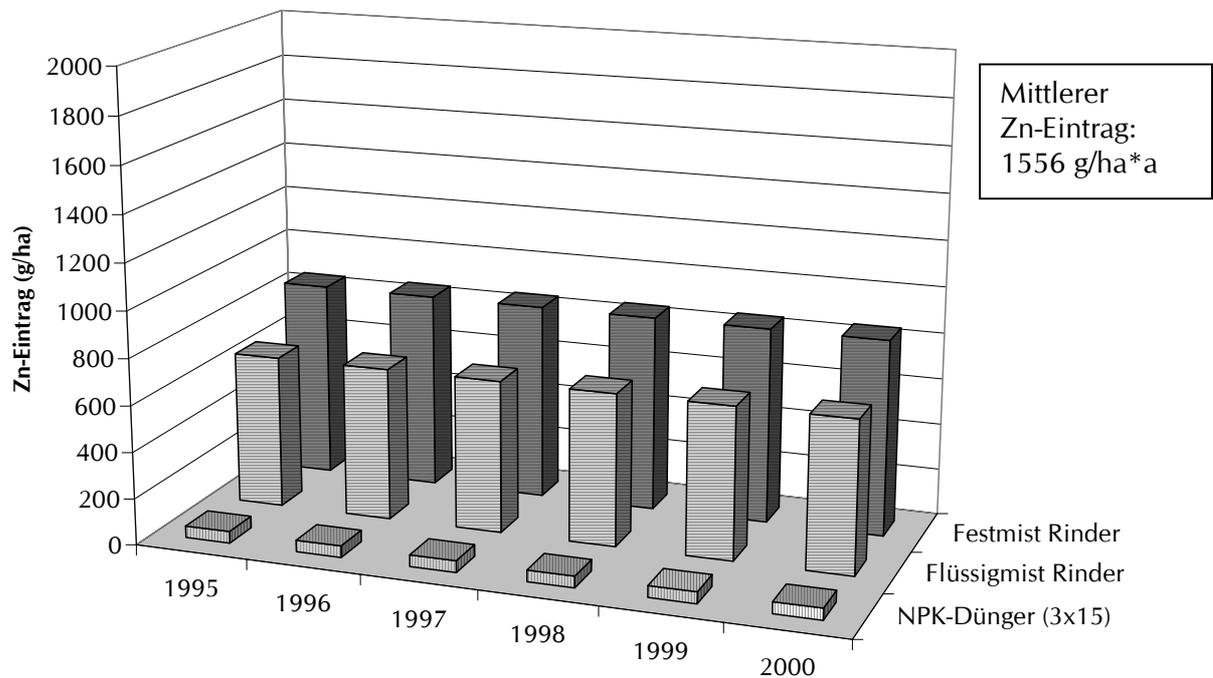


Abbildung 38: Zink-Einträge 1995 – 2000 aus allen Düngemitteln bei Fläche G2 (GP)

Schwermetalleinträge bei Fläche G2 (GP) (Abbildungen 37 und 38):

- Es wurde insgesamt eine sehr hohe Wirtschaftsdüngermenge von 40 t TS/ha im Zeitraum 1995 bis 2000 ausgebracht, was zu einem Zinkeintrag von 1556 g/ha in einem Jahr führt. Das sind 9336 g/ha im gesamten Zeitraum.
- Außerdem wird standardmäßig NPK-Dünger eingesetzt, so dass die Cd-Einträge mit 3,8 g/ha*a wesentlich über dem für Deutschland von SCHÜTZE & NAGEL (1998) ermittelten Durchschnittswert von 1,4 g/ha*a liegen.
- Die Fläche weist mit 96 mg/kg TS den höchsten Zinkgehalt der im TUG GP untersuchten Flächen auf, was sehr deutlich auf eine anthropogene Anreicherung hinweist.

Schwermetalleinträge bei Fläche G5 (GP) (Abbildungen 39 und 40):

- Die Fläche wird im Vergleich mit Fläche G4 desselben Betriebs weniger intensiv gedüngt. Die ausgebrachte Menge an Rindergülle liegt bei 9,8 t TS/ha.
- NPK-Dünger führt jährlich zu Cadmium-Einträgen, die höher liegen als die Cadmium-Einträge aus Rindergülle.
- Die Zink-Einträge liegen um den Faktor 2,5 niedriger als bei Fläche G2.

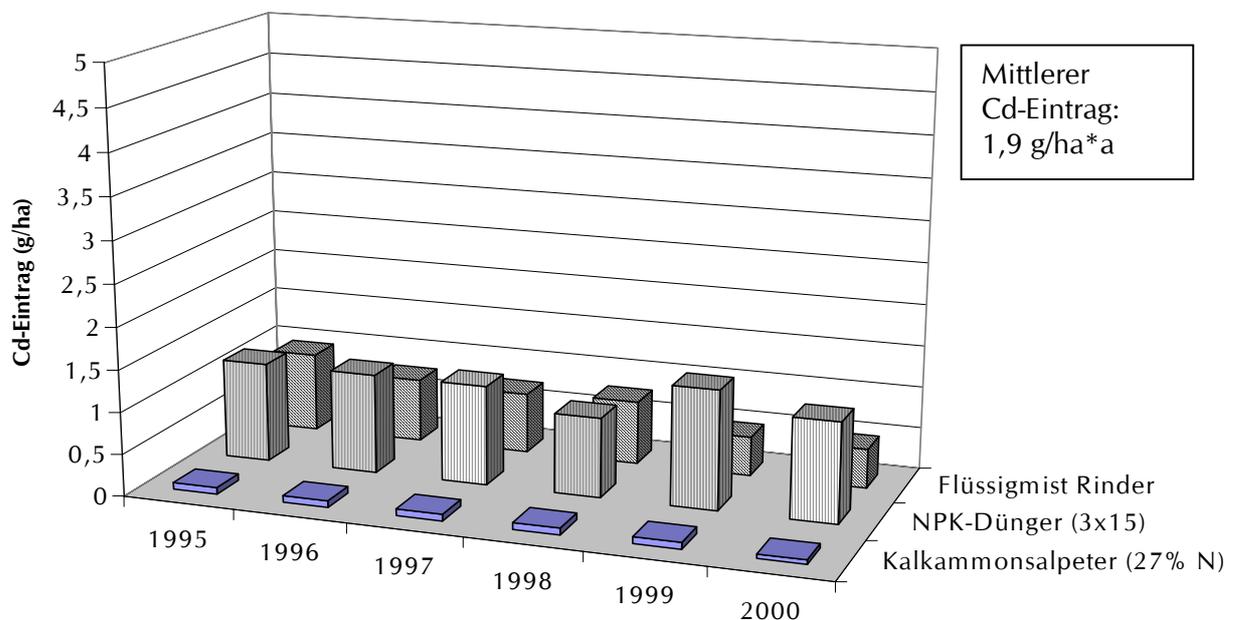


Abbildung 39: Cadmium-Einträge 1995 – 2000 aus allen Düngemitteln bei Fläche G5 (GP)

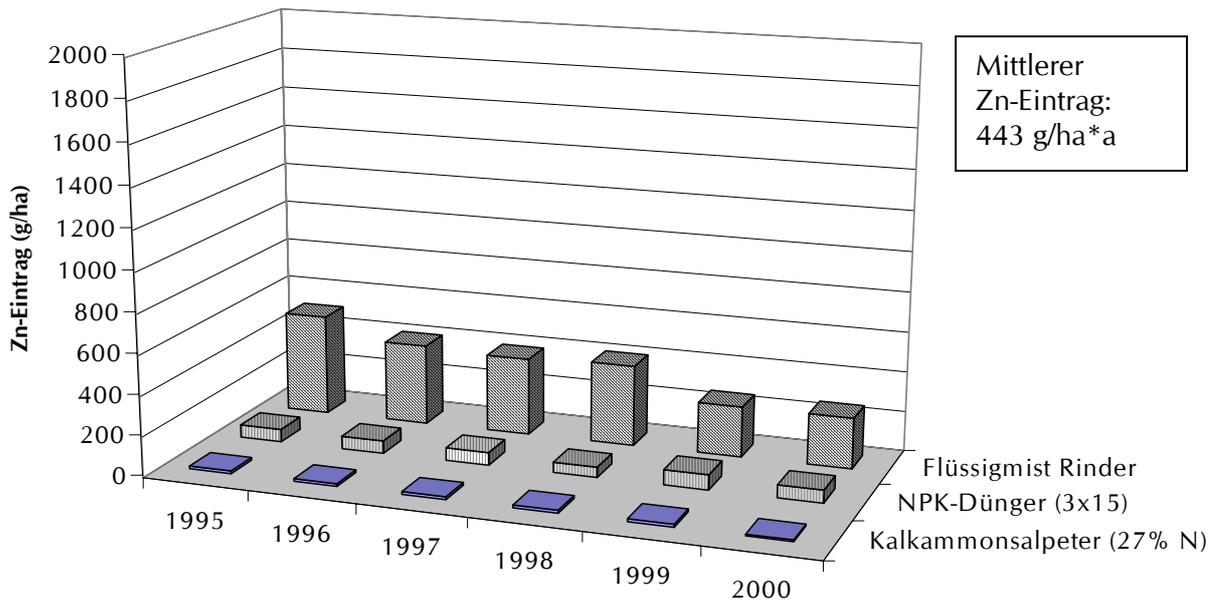


Abbildung 40: Zink-Einträge 1995 – 2000 aus allen Düngemitteln bei Fläche G5 (GP)

7 Zusammenfassung

Mit diesem Abschlussbericht wurden die Vorgehensweise, die Ergebnisse und zum jetzigen Zeitpunkt möglichen Bewertungen und Empfehlungen bezüglich einer nachhaltigen Bodennutzung in den Landkreisen Göppingen und Ludwigsburg (Makroebene) sowie für einzelne Untersuchungsflächen (Mikroebene) vorgestellt. Auf der Makroebene liegen Ergebnisse für die Cadmium- und Zink-Einträge aus Klärschlamm, Wirtschaftsdünger und Handelsdünger vor. Die Flächen, auf die in den vergangenen Jahren seit Inkrafttreten der Klärschlammverordnung (AbfKlärV 1992) Klärschlamm aufgebracht wurde, sind in beiden Landkreisen relativ klein. Es sind jährlich zwischen 0,6 und maximal 3% der gesamten Ackerfläche in den beiden Landkreisen. Die Schwermetalleinträge über einzelne Klärschlammfrachten pro Jahr sind jedoch im Durchschnitt höher als die Einträge über Wirtschaftsdünger.

Die Einträge aus Wirtschaftsdünger betreffen die den Betrieben mit Tierhaltung zur Verfügung stehenden Flächen nach Abzug der Wasserschutzgebiete, der sehr steilen Bereiche sowie der Flächen in direkter Ortsnähe. Für die Ausbringung des Wirtschaftsdüngers wurden zwei verschiedene Varianten angenommen. Bei der Variante 1 mit gleichmäßiger Aufbringung auf den Flächen, die den Betrieben mit Tierhaltung zur Verfügung stehen, liegen die Cadmium-Einträge unter dem für die Bundesrepublik von SCHÜTZE & NAGEL (1998) berechneten Durchschnittswert von 1,4 g/ha*a aus Düngemitteln. Bei der Variante 2 mit Aufbringung nach den Stickstoff-Obergrenzen der Düngeverordnung (1996) von 210 kg N/ha erreichen die Cadmium-Einträge aus Wirtschaftsdünger von Schweinen und Rindern diesen mittleren Wert bzw. übertreffen diesen sogar. Die Reduktion auf 170 kg N/ha bei Ackerflächen seit 1997 führt dazu, dass die Cadmium-Einträge unter 1,4 g/ha bleiben. Die Zink-Einträge aus Wirtschaftsdünger von Schweinen erreichen bei der Verteilung nach der Maximalvariante die mittleren Zink-Einträge aus Klärschlamm, was aufgrund der regelmäßigen Ausbringung der Wirtschaftsdünger als problematisch angesehen werden muss.

Die Cadmium-Einträge aus Handelsdünger sind um so höher, je höher der Phosphatgehalt in einem Mehrnährstoffdünger ist. Düngt man ausschließlich mit NPK-Dünger nach dem P-Bedarf der Feldfrüchte und deckt den restlichen N-Bedarf in den beiden Landkreisen mit einem reinen Stickstoffdünger wie Kalkammonsalpeter, so bleiben die Cadmium-Einträge unter dem bundesdeutschen Durchschnitts-Eintrag 1,4 g/ha.

Von insgesamt 26 Untersuchungsflächen auf der Mikroebene wurden die Ergebnisse von 20 Flächen vorgestellt. Die Daten der übrigen Flächen müssen noch ausgewertet werden. Es

wurden Betriebe ohne und mit Tierhaltung untersucht. Unter den Betrieben mit Tierhaltung befinden sich solche mit Rinderhaltung, mit Schweinehaltung sowie mit Rinder- und Schweinehaltung. Außerdem wurden sowohl Flächen mit, als auch Flächen ohne Klärschlammaufbringung in die Untersuchung einbezogen.

Bezüglich der durchschnittlichen Cadmium- und Zinkeinträge weisen die bisher ausgewerteten Flächen eine große Bandbreite auf. Minimale Einträge sind bei Betrieben ohne Tierhaltung im Teiluntersuchungsgebiet Ludwigsburg zu verzeichnen, die keine oder im Beobachtungszeitraum nur geringe Mengen an phosphathaltigen Mineraldüngern anwenden. Betriebe mit Tierhaltung in den beiden Landkreisen können den Wirtschaftsdünger zur Deckung eines Teils des Nährstoffbedarfs der Feldfrüchte verwenden und wirtschaften insofern nachhaltig, als dadurch die Stoffkreisläufe geschlossen sind. Allerdings sind gerade bei Schweinehaltung sehr hohe Zinkeinträge zu verzeichnen. Bei niedrigen pH-Werten der Ackerflächen im Teiluntersuchungsgebiet Göppingen können permanent höhere Cadmium- und Zinkausträge in die Pflanze stattfinden, so dass eine Schwermetallanreicherung in den Pflughorizonten der Ackerflächen erst in sehr langen Zeiträumen möglich ist, da außerdem auch ein Austrag mit dem Sickerwasser in Richtung Grundwasser stattfinden kann. Klärschlammaufbringung zusätzlich zu Wirtschaftsdünger von Rindern und Schweinen sowie die Ausbringung höherer Mengen an phosphathaltigen Mehrnährstoffdüngern kann bei dieser Austragsituation nicht als nachhaltige Bodennutzung angesehen werden.

Verschiedene Empfehlungen wurden im Vorgriff auf den endgültigen Abschluss der Auswertungen ausgesprochen. Ganz wesentlich erscheint dabei, dass Lösungen nur im Verbund zwischen den Bereichen Bodenschutz, Landwirtschaft und Abfallwirtschaft zu finden sind. Dazu gehören in erster Linie die Harmonisierung der bestehenden rechtlichen Regelungen und die Überlegung, ob neben den Nährstoffströmen nicht auch die Schadstoffeinträge über die Düngeverordnung geregelt werden können. Dies geschieht zwar schon indirekt durch die maximalen Stickstoffmengen, die aus Wirtschaftsdünger möglich sind, erscheint jedoch in Anbetracht der hohen Kupfer- und Zinkgehalte von Wirtschaftsdüngern von Schweinen und der Gebiete mit niedrigeren pH-Werten der Böden nicht ausreichend zu sein. Ein Hauptproblem stellt generell die Umsetzung der bestehenden Verordnungen und die Herstellung einer besseren Akzeptanz rechtlicher Regelungen in der landwirtschaftlichen Praxis dar, was als wichtiges Forschungsfeld der Zukunft angesehen werden muss. Außerdem muss versucht werden, die Schwermetallgehalte der Düngemittel weiter abzusenken. Dadurch könnte erreicht werden, dass die Nährstoffe von Sekundärrohstoffdüngern wie Klärschlamm und Kompost von

Betrieben ohne Tierhaltung in Gebieten hoher Pufferkapazität der Böden genutzt werden können.

LITERATURVERZEICHNIS (INCL. DATENQUELLEN UND RECHTLICHE REGELUNGEN)

ABFKLÄRV (1992): Klärschlammverordnung vom 15. April 1992. – BGBl. I : 912 ff.

AKADEMIE FÜR RAUMFORSCHUNG UND LANDESPLANUNG (1969): Deutscher Planungsatlas 6: Baden-Württemberg. – 80 S., Hannover.

BANNICK, C. G. et al. (2001): Grundsätze und Maßnahmen für eine vorsorgeorientierte Begrenzung von Schadstoffeinträgen in landbaulich genutzten Böden. – UBA-Texte-59/01: 126 S., Berlin.

BANNICK, C. G., C.G. BERGS & K.-H. LINDNER (2002): Verwertung von Bioabfällen und Klärschlämmen. – Abfallwirtschaft in Forschung und Praxis 123 : 206 S., Berlin.

BBODSCHG (1998): Gesetz zum Schutz des Bodens vom 17. März 1998. – BGBl. I : 1354 ff.

BBODSCHV (1999): Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung. – BGBl. I : 1554 ff.

BEISECKER, R., S. GÄTH & H.-G. FREDE (1998): Landbauliche Verwertung von organischen Abfällen im Spannungsfeld von Bodenschutz und Kreislaufwirtschaft. – Zeitschrift für Kulturtechnik und Landentwicklung 39(2) : 54-59.

BIOABFV (1998): Bioabfallverordnung – Verordnung über die Verwertung von Bioabfällen auf landwirtschaftlich, forstwirtschaftlich und gärtnerisch genutzten Böden. – BGBl. I : 2955 ff.

BOYSEN, P. (1992): Schwermetalle und andere Schadstoffe in Düngemitteln. – UBA-Texte 55/92 : 54 S., Berlin.

DECKARM, M. & W. BRACHAT-SCHWARZ (1997): Langfristige Bevölkerungsentwicklung in der Region Stuttgart 1871- 1994. – in: GAEBE, W. (Hrsg.): Struktur und Dynamik der Region Stuttgart 32 – 45, Stuttgart.

DELSCHEN T. & W. KÖNIG (1998): Untersuchung und Beurteilung der Schadstoffbelastung von Kulturböden im Hinblick auf den Wirkungspfad Boden-Pflanze. - In: Rosenkranz, D., G. Bachmann, G. Einsele & H.-M. Harreß (Hrsg.): Ergänzbare Handbuch Bodenschutz 3550 : 30 S.

DRIESSEN, J.J.M. & H. J. WESTHOEK (1997): Schwermetalle in Düngemitteln. - In: VDLUFA-Schriftenreihe 46 - Kongreßband 1997: 563-566.

DVO (1996): Düngeverordnung – Verordnung über die Grundsätze der guten fachlichen Praxis beim Düngen vom 26. Januar 1996. – BGBl. I : 118 ff.

EURICH-MENDEN, B., S. HACKENBERG & H.-R. WEGENER (1996): Humuswirtschaft in Deutschland. - 51 S., Gießen.

FISCHER, S. (2000): Ursachen des Nutzungswandels auf landwirtschaftlichen Flächen des Landkreises Göppingen in den letzten 50 Jahren – eine nachhaltige Entwicklung? . – Unveröffentl. Diplomarbeit Institut für Geographie der Universität Stuttgart, 86 S., Stuttgart.

- FLAIG, H., G. LINCKH & H. SPRICH (1998): Nachhaltigkeit in der Land- und Fortwirtschaft. – in: KNAUS, A. & O. RENN (Hrsg.): Den Gipfel vor Augen – unterwegs in eine nachhaltige Zukunft. Ökologie und Wirtschaftsforschung 29 : 256 – 277, Marburg.
- FRICKE, M. & H.-U. HÖHL (2000): Schadstoffeintrag in Böden. - Müll und Abfall 2000 (6): 350-355.
- GÄTH, S. (2001): Anforderungen an die Verwertung von Abfällen in und auf Böden aus der Sicht der Landwirtschaft. – in: BANNICK, C. G. et al. (Hrsg.): Verwertung von Abfällen in und auf Böden III. BVB-Materialien 7 : 99 – 112. Berlin.
- HACKENBERG, S. & H.-R. WEGENER (1999): Schadstoffeinträge in Böden durch Wirtschafts- und Mineraldünger, Komposte und Klärschlamm sowie durch atmosphärische Deposition. - 255 S., Witzenhausen.
- HAUßMANN, M. (2000): GIS-gestützte Regionalisierung und Bewertung von punkthaft gemessenen Schwermetallgehalten in Oberböden. – Unveröffentlichte Diplomarbeit am Institut für Geographie der Universität Stuttgart, 149 S., Stuttgart.
- HORNBURG, V. & G.W. BRÜMMER (1993): Verhalten von Schwermetallen in Böden. Erste Untersuchungen zur Schwermetallmobilität. - Zeitschrift für Bodenkunde und Pflanzenernährung 156 : 267-277.
- HORNBURG, V. & G.W. BRÜMMER (1990): Schwermetallverfügbarkeit und –Transfer in Abhängigkeit von der Bodenreaktion und dem Stoffbestand der Böden. – Poster VDLUFA-Kongress 102, Berlin.
- HORNBURG, V., G. WELP & G.W. BRÜMMER (1995): Verhalten von Schwermetallen in Böden 2: Extraktion mobiler Schwermetalle mittels CaCl_2 und NH_4NO_3 . - Zeitschrift für Bodenkunde und Pflanzenernährung 158: 137-145.
- KASTENHOLZ, H. G., K.-H. ERDMANN & M. WOLFF (1996): Perspektiven einer nachhaltigen Entwicklung – eine Einführung. – in: Kastenholz, H. G., K.-H. Erdmann & M. Wolff (Hrsg.): Nachhaltige Entwicklung 1 – 8, Berlin.
- KIENE, A. (1998): Eintrag und Austrag von Cadmium in Böden und die Ableitung einer "zulässigen Zusatzbelastung" aus Sicht des Bodenschutzes. - Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft 87: 367-370.
- KNOCHE, H., P. BRAND & H. BÖKEN (1999): Schwermetalltransfer Boden-Pflanze. – UBA-FB 98-120 : 213 S., Berlin.
- KÖNEMANN, R. (1994): Vermarktung von Kompost in der Landwirtschaft. – BODENÖKOLOGISCHE ARBEITSGEMEINSCHAFT BREMEN E.V. (Hrsg.): Tagungsband Bodenschutz und Kompost 1994 : 22 – 43. Bremen.
- KRW-/ABFG (1996): Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz. – BGBl. I : 1354 ff.
- KURATORIUM FÜR TECHNIK UND BAUWESEN IN DER LANDWIRTSCHAFT (KTBL) (2000): Taschenbuch Landwirtschaft 2000/01. - 269 S., Darmstadt.
- LANDESANSTALT FÜR PFLANZENBAU (LAP) FORCHHEIM & LANDESANSTALT FÜR ENTWICKLUNG DER LÄNDLICHEN RÄUME (LEL) SCHWÄBISCH GMÜND (1997): NAEBI Nährstoffbilanzprogramm – Version 1.0, Stand 08/1997. Forchheim, Schwäbisch Gmünd.

LANDESANSTALT FÜR UMWELTSCHUTZ BADEN-WÜRTTEMBERG (2000): Auszug aus der Bodendatenbank. – Karlsruhe.

LANDWIRTSCHAFTLICHE UNTERSUCHUNGS- UND FORSCHUNGSANSTALT (LUF) AUGUSTENBERG & LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFTLICHE CHEMIE STUTTGART-HOHENHEIM (2001): Schwermetallgehalte von Wirtschaftsdüngern in Baden-Württemberg. – Nicht veröffentlichte Daten, Karlsruhe und Stuttgart.

LERCH, A. (1997): Zum Spannungsfeld von Ökologie und Ökonomie am Beispiel des Bodens. – in: DEUTSCHES INSTITUT FÜR FERNSTUDIENFORSCHUNG AN DER UNIVERSITÄT TÜBINGEN (Hrsg.): Veränderung von Böden durch anthropogene Einflüsse 431 – 441, Berlin.

LRA GÖPPINGEN (1999): Freundl. mündliche Mitteilung.

MALBURG-GRAF, B. (2002): Überprüfung der Nachhaltigkeit landwirtschaftlicher Bodennutzung in der Region Stuttgart mit Hilfe einer Schwermetallbilanz. – Dissertation Universität Stuttgart, in Vorbereitung.

MALBURG-GRAF, B. (1998): Die Eignung von Schwermetallgehalten als Indikatoren für Schichtwechsel in Böden aus periglazialen Deckschichten im Stromberg-Gebiet (Baden-Württemberg). – in: BLÜMEL, W. D. (Hrsg.): Beiträge zur Physischen Geographie Südwestdeutschlands. Stuttgarter geographische Studien 128 : 66 – 88, Stuttgart.

MINISTERIUM FÜR UMWELT UND VERKEHR (Hrsg.) (1997): Immissions- und Wirkungsuntersuchungen im "Großraum Stuttgart 1996". - UMEG-Bericht 31-14/96 – Abschlußbericht : 66 S., Karlsruhe.

MINISTERIUM FÜR UMWELT UND VERKEHR BADEN-WÜRTTEMBERG (Hrsg.) (1998): Bodenzustandsbericht Großraum Stuttgart - Schadstoffgehalte der Böden. - 42 S. + Karten, Karlsruhe.

MÜLLER, C., F. PERETZKI & K. RUTZMOSE (1993): Schwermetalle in Wirtschaftsdüngern. – SuB 03/93, III-9 – III-13.

PODLESAK, W., B. MACHELETT, M. GRÜN & J. GARZ (1991): Über den Cadmiumeintrag aus mineralischen Phosphatdüngern in die Böden Ostdeutschlands. – VDLUFA-Schriftenreihe 32 (Kongreßband 1990) : 861 – 866.

PRETTY, J. (2000): Conditions for successful implementation of sustainable agriculture. - in: HÄRDTLEIN, M. et al. (Hrsg.): Nachhaltigkeit in der Landwirtschaft : 323- 343, Berlin.

QUADE, J. (1993): Faustzahlen für Landwirtschaft und Gartenbau. - 618 S., Münster-Hiltrup.

QUENNET-THIELEN, C. (1996): Nachhaltige Entwicklung – ein Begriff als Ressource der politischen Neuorientierung. – in: KASTENHOLZ, H. G., K.-H. ERDMANN & M. WOLFF (Hrsg.): Nachhaltige Entwicklung 9 – 22, Berlin.

REINHARD, P. (1997): Intensivlandwirtschaft. - in: DEUTSCHES INSTITUT FÜR FERNSTUDIENFORSCHUNG AN DER UNIVERSITÄT TÜBINGEN (Hrsg.): Veränderung von Böden durch anthropogene Einflüsse 197 – 261, Berlin.

SAUERBECK, D. & S. LÜBBEN (1991): Auswirkungen von Siedlungsabfällen auf Böden, Bodenorganismen und Pflanzen. – Berichte aus der ökologischen Forschung 6 : 416 S., Jülich.

SCHIMMING, (1992): Belastung mit Metallen. – in: BLUME, H.-P. (Hrsg.): Handbuch des Bodenschutzes 277 – 318, Landsberg.

SCHÜTZE, G. (1998): Methodik zur Beurteilung von flächenhaften Einträgen von Blei und Cadmium in Böden. In: ROSENKRANZ, D., G. BACHMANN, G. EINSELE & H.-M. HARREß (Hrsg.): Ergänzbare Handbuch Bodenschutz Nr. 5660, 27 S.

SCHÜTZE, G. & H.-D. NAGEL (1998): Kriterien für die Erarbeitung von Immissionsminderungszielen zum Schutz der Böden und Abschätzung der langfristigen räumlichen Auswirkungen anthropogener Stoffeinträge auf die Bodenfunktion. – UBA-Texte 19/98 : 251 S., Berlin.

SEVERIN, K., W. KÖSTER & Y. MATTER (1991): Zufuhr von anorganischen Schadstoffen in Agrarökosysteme mit mineralischen Düngemitteln, Wirtschaftsdüngern, Klärschlämmen und Komposten. – VDLUFA-Schriftenreihe 32 (Kongreßband 1990) : 387 – 391.

STATISTISCHES BUNDESAMT (1999): Düngemittelversorgung, Wirtschaftsjahr 1998/99. – Statistisches Bundesamt, Fachserie 4 (Produzierendes Gewerbe), Reihe 8.2 (Düngemittelversorgung), 22 S., Wiesbaden.

STATISTISCHES LANDESAMT BADEN-WÜRTTEMBERG (2001a): Sonderauswertung der Struktur- und Regionaldatenbank. Stuttgart.

STATISTISCHES LANDESAMT BADEN-WÜRTTEMBERG (2001b): Landwirtschaftszählung 1999. – Statistik von Baden-Württemberg 553 (1 – 3), Stuttgart.

STATISTISCHES LANDESAMT BADEN-WÜRTTEMBERG (1999): Die Land- und Forstwirtschaft 1998. – Statistik von Baden-Württemberg 545 : 140 S., Stuttgart.

STATISTISCHES LANDESAMT BADEN-WÜRTTEMBERG (1998): Agrarberichterstattung 1997 - Bodennutzung, Viehhaltung, Betriebssysteme, sozialökonomische Struktur, Besitz- und Arbeitsverhältnisse. - Statistik von Baden-Württemberg 537 : 93 S., Stuttgart.

STATISTISCHES LANDESAMT BADEN-WÜRTTEMBERG (1995): Agrarberichterstattung 1995 - Ergebnisse für landwirtschaftliche Vergleichsgebiete und Kreise. - Statistik von Baden-Württemberg 519 : 131 S., Stuttgart.

STATISTISCHES LANDESAMT BADEN-WÜRTTEMBERG (1993): Gemeindestatistik 1993 – Landwirtschaftszählung / Agrarberichterstattung 1991 - Betriebsgrößenstruktur, Bodennutzung und Viehhaltung. - Statistik von Baden-Württemberg 470 (2) : 135 S., Stuttgart.

UMEG (GESELLSCHAFT FÜR UMWELTMESSUNGEN UND UMWELTERHEBUNGEN) (2001): Freundliche mündl. Mitteilung. Karlsruhe.

UMWELTMINISTERIUM BADEN-WÜRTTEMBERG (1995): Immissions- und Wirkungsuntersuchungen im Filstal 1993/1994. – UMEG-Bericht UM-10-95, 216 S., Karlsruhe.

UMWELTMINISTERIUM BADEN-WÜRTTEMBERG (1993): Dritte Verwaltungsvorschrift des Umweltministeriums zum Bodenschutzgesetz über die Ermittlung und Einstufung von Gehalten anorganischer Schadstoffe im Boden (VwV Anorganische Schadstoffe) vom 24. August 1993. – Az. 44-8810.30-1/46, Stuttgart.

VERBAND REGION STUTTGART (VRS) (1999): Landschaftsrahmenplan Region Stuttgart. – 160 S., Stuttgart.

WEBSTER, J.P.G. (2000): Some possible economic consequences of sustainability in agriculture. - in: HÄRDTLEIN, M. et al. (Hrsg.): Nachhaltigkeit in der Landwirtschaft : 133 – 147, Berlin.

WERNER, W. (1994): Biotransfer von Schwermetallen in Abhängigkeit von standort- und kulturspezifischen Faktoren. – in : Recycling kommunaler und industrieller Abfälle in der Landwirtschaft. Bodennutzung und Bodenfruchtbarkeit 6 : 138 – 151 S., Münster-Hiltrup.

WESSELER, J. (1991): Schwermetallgehalte in Ackerböden und Nutzpflanzen Berlins sowie Aufnahmefähigkeit für Kulturgräser. - Landschaftsentwicklung und Umweltforschung 82 : 165 S., Berlin.

WILCKE, W. & H. DÖHLER (1995): Schwermetalle in der Landwirtschaft - Quellen, Flüsse, Verbleib. - Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (KTBL)-Arbeitspapier 217: 98 S., Darmstadt.

WILD, J. (2001): GIS-gestützte Modellierung einer Bodenkonzeptkarte unter besonderer Berücksichtigung der Bodenschätzung. – Unveröffentlichte Diplomarbeit Institut für Geographie der Universität Stuttgart, 80 S., Stuttgart.

ZAUNER, G. (1996): Schwermetallgehalte und –bindungsformen in Gesteinen und Böden aus südwestdeutschem Jura und Keuper. - Hohenheimer bodenkundliche Hefte 31 : 189 S., Stuttgart.

Tabelle A1: Schwermetallgehalte von Wirtschaftsdüngern nach Literaturlauswertung

Wirtschaftsdünger	Quelle	n	mg/kg TS				
			Cd	Cu	Ni	Pb	Zn
Rindergülle	1. Boysen (1992)	5	0,34	45,00	5,20	6,90	217,00
	2. Müller et al. (1993)	60	0,41	38,00	6,00	7,00	230,00
	3. LUFA Augustenberg (2001)	61	0,23	64,32	7,07	3,09	250,37
	Mittelwert (gew.) 1.-3.		0,32	51,02	6,49	5,10	239,35
	4. Rieß (1992) in WILCKE & DÖHLER (1995)	n.b.	0,50	50,00	6,00	9,10	230,00
5. Severin et al. (1991)	n.b.	0,46	45,00	3,80	10,90	222,00	
	Mittelwert 1.-5.		0,43	48,67	5,43	8,37	230,45
Rindermist	1. Müller et. al. (1993)	15	0,44	39,00	10,00	7,00	213,00
	2. LUFA Augustenberg (2001)	3	0,23	31,49	9,36	11,24	246,59
	Mittelwert(gew.) 1.-2.		0,41	37,67	9,90	7,70	218,67
Schweinegülle	1. Boysen (1992)	5	0,75	310,00	32,50	10,00	975,00
	2. Müller et al. (1993)	15	0,64	595,00	12,00	7,00	1187,00
	3. LUFA Augustenberg (2001)	36	0,27	311,04	13,50	2,62	1257,98
	Mittelwert (gew.) 1.-3.		0,41	387,01	14,79	4,45	1213,70
	4. Rieß (1992) in WILCKE & DÖHLER (1995)	n.b.	0,50	572,00	18,80	7,40	1081,00
5. Severin et al. (1991)	n.b.	0,82	294,00	11,00	11,00	896,00	
	Mittelwert 1.-5.		0,58	417,67	14,86	7,62	1063,57
Schweinemist	1. Müller et. al. (1993)	5	0,43	740,00	13,00	n.n.	1220,00
	2. LUFA Augustenberg (2001)	1	0,34	279,00	20,50	2,81	1080,00
	Mittelwert(gew.) 1.-2.		0,42	663,17	14,25	2,80	1196,67
Hühnergülle	1. Severin et al. (1991)	n.b.	0,30	78,00	7,10	8,40	456,00
	2. Rieß (1992)	n.b.	0,20	48,00	9,00	6,00	403,00
	Mittelwert 1.-2.		0,25	63,00	8,05	7,20	429,50
Hühnermist/kot	LUFA Augustenberg (2001)	7	0,18	55,50	8,85	3,92	486,48
Putenmist	LUFA Augustenberg (2001)	8	0,20	107,12	11,14	2,53	505,29

Tabelle A2: Schwermetallgehalte von Handelsdüngern nach Literaturlauswertung

Dünger	Quelle	N	Cd	Cu	Ni	Pb	Zn
N-Dünger							
Kalkammonsalpeter	1. BOYSEN (1992)	116	0,24	2,90	6,80	11,30	46,00
	2. SEVERIN et al. (1991)	n.b.	0,38	7,07	2,65	38,18	64,03
	Mittelwert 1. + 2.		0,31	4,99	4,73	24,74	55,02
Ammoniumnitrat-Harnstofflösung (AHL)	SEVERIN et al. (1991)	n.b.	0,03	6,33	0,30	0,20	2,30
	Harnstoff	1. BOYSEN (1992) n = 50	50	<0,10	0,80	<1,00	<1,00
	2. SEVERIN et al. (1991)	n.b.	0,10	0,56	0,76	0,52	4,00
	3. SAUERBECK in RIEß (1992) nach WILCKE & DÖHLER (1995)	n.b.	0,20	0,20	0,20	0,20	0,80
	Mittelwert 1., 2. + 3.		0,11	0,52	0,49	0,40	1,87
Ammonsulfatdünger	BOYSEN (1992)	9	<0,10	2,50	5,00	<1,00	2,10
P-Dünger							
Triplesuperphosphat	1. BOYSEN (1992)	96	30,60	23,00	31,00	<1,00	448,00
	2. SEVERIN et al. (1991)	n.b.	28,10	23,80	34,00	2,05	471,00
	3. PODLESÁK et al. (1991)	227	25,00	-	-	-	-
	4. SAUERBECK in RIEß (1992)	n.b.	10,00	-	-	-	-
	Mittelwert 1. - 4.		23,43	23,40	32,50	1,05	459,50
Thomasphosphat	1. BOYSEN (1992)	45	<0,10	33,00	6,00	5,60	67,00
	2. MUNK in BOYSEN (1992)	19	<0,10	13,00	13,00	13,00	6,00
	Mittelwert (gew.) 1. + 2.		<0,10	27,063	8,08	7,80	48,891
	3. BRODERSEN in BOYSEN (1992)	n.b.	0,10	45,00	-	10,50	60,00
	Mittelwert 1. - 3.		0,08	45,00	8,08	10,50	60,00
K-Dünger							
Kaliumchlorid	1. BOYSEN (1992) (60er Kali)	29	<0,10	2,90	1,10	<1,00	3,70
	2. SEVERIN et al. (1991) (40er Kali)	n.b.	0,09	3,80	1,40	0,25	5,30
	Mittelwert 1. + 2.		0,07	3,35	1,25	0,38	4,50
Mehrnährstoffdünger							
NP-Dünger	1. BOYSEN (1992)	66	11,80	22,00	25,40	<1,00	202,00
	2. BRODERSEN in BOYSEN (1992)	n.b.	12,50	28,00	15,00	1,90	152,00
	3. SAUERBECK in RIEß (1992)	n.b.	7,00	44,00	12,00	6,00	52,00
	4. KÖNEMANN (1994) (Diammonphosphat)	n.b.	9,60	5,20	16,00	1,30	57,00
	Mittelwert 1. - 4.		10,23	24,80	17,10	2,43	115,75
PK-Dünger	1. BOYSEN (1992)	229	3,60	20,80	22,80	2,30	107,00
	2. BRODERSEN in BOYSEN (1992)	n.b.	6,00	25,00	20,00	3,00	200,00
	Mittelwert 1. + 2.		4,80	22,90	21,40	2,65	153,50
NPK-Dünger	1. BOYSEN (1992)	155	4,90	13,40	10,90	2,10	100,00
	2. BRODERSEN in BOYSEN (1992)	n.b.	2,00	17,00	4,90	1,80	100,00
	3. SAUERBECK in RIEß (1992)	n.b.	0,20	5,00	11,00	32,00	176,00
	Mittelwert 1. - 3.		2,37	11,80	8,93	11,97	125,33

Tabelle A3: Nährstoffvergleich (Feld-Stall) für das Wirtschaftsjahr: 1991

für den Betrieb: Landkreis Göppingen
Betriebsgröße: 28.034 ha LF

Zufuhr Tierische Ausscheidungen (Tiere/Pl.)	Anzahl Tiere		pro Tier/Platz			Gesamtbetrieb					Nährstoffe Wirtschaftsdünger ¹			GV
	Gülle	Festmist	kg N	kg P ₂ O ₅	kg K ₂ O	kg N	kg P ₂ O ₅	kg K ₂ O	m ³ Gülle	dt Mist	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	MEKA
Milchkühe 6.000 kg Ackerbau + Grünl.	15.985,0		95	29	130	1.518.575	463.565	2.078.050	447.580		1.063.003	463.565	2.078.050	15985,0
Mutterkuh ohne Kalb	855,0		84	25	110	71.820	21.375	94.050	18.810		50.274	21.375	94.050	855,0
Kälber bis 1/2 Jahr (Platz)	6.471,0		22	8	16	142.362	51.768	103.536	19.413		99.653	51.768	103.536	1941,3
Rinder über 2 Jahre	2.432,0		59	24	80	143.488	58.368	194.560	41.344		100.442	58.368	194.560	2432,0
Jungvieh über 1/2 bis 1 Jahr (Platz)	4.603,0		28	16	32	128.884	73.648	147.296	36.824		90.219	73.648	147.296	2761,8
Jungvieh über 1 bis 2 Jahre Acker	5.841,0		42	19	60	245.322	110.979	350.460	64.251		204.435	110.979	350.460	3504,6
Mastbullen 1/2 bis 2 Jahre	7.237,0		50	23	58	361.850	166.451	419.746	94.081		253.295	166.451	419.746	4342,2
Zuchtsauen 18 Ferkel (30 kg)	2.053,0		41	22	18	84.173	45.166	36.954	12.318		58.921	45.166	36.954	615,9
10 Mastschweineplätze zweiphasig	1.229,6		101	43	56	124.190	52.873	68.858	23.362		86.933	52.873	68.858	1721,4
Mutterschaf		8.121,0	8	4	10	64.968	32.484	81.210		89.331	45.478	32.484	81.210	1218,2
Mastlämmer Weidemast		3.827,0	4	1	4	15.308	3.827	15.308		19.135	10.716	3.827	15.308	382,7
Pferde 450 kg LG		1.290,0	68	32	61	87.720	41.280	78.690		129.000	61.404	41.280	78.690	1290,0
100 Legehennenplätze		2.300,7	74	41	33	170.253	94.330	75.924		55.217	119.177	94.330	75.924	920,3
100 Junghennenplätze		124,7	28	16	18	3.492	1.995	2.245		1.247	2.444	1.995	2.245	24,9
100 Putenplätze		7,7	160	80	71	1.229	614	545		307	860	614	545	6,9
100 Masthühner		686,6	29	16	16	19.910	10.985	10.985		6.179	13.937	10.985	10.985	137,3
100 Enten		7,3	55	17	40	399	123	290		160	279	123	290	3,6
100 Mastgänse		7,1	80	20	100	568	142	710		135	398	142	710	6,4
Summe						3.184.511	1.229.973	3.759.416	757.983	300.711	2.261.867	1.229.973	3.759.416	38149,6
Zufuhr aus Wirtschaftsdünger in kg/ha						80	44	134						

Zufuhr Stickstoffbindung Leguminosen + Grünl.			ha			Gesamtbetrieb		
	ha	Ertrag (dtTS/ha)	kg N	kg P ₂ O ₅	kg K ₂ O	kg N	kg P ₂ O ₅	kg K ₂ O
Ackerbohnen								
Erbsen								
Luzerne								
Rotklee								
Klee gras (50:50)	1.435	70	95			135.608		
Grünland 30 kg N/ha (--> Ertrag = 1)	16.086	1	30			482.580		
Summe						2.847.345	1.229.973	3.759.416
Gesamtzufuhr in kg/ha						102	44	134

¹ N-Gehalte im Wirtschaftsdünger durch Lagerungs- und Ausbringungsverluste 30 % geringer als in der Gesamtmenge

Tabelle A4: Nährstoffvergleich (Feld-Stall) für das Wirtschaftsjahr: 1991

für den Betrieb: Landkreis Göppingen

Betriebsgröße: 28.368 ha LF

Abfuhr	Fläche in ha	Ertrag dt/ha	Gesamt dt	pro dt; m ³ ; ha; Stück			Gesamtbetrieb		
				kg N	kg P ₂ O ₅	kg K ₂ O	kg N	kg P ₂ O ₅	kg K ₂ O
Pflanzliche Produkte (dt)									
Kartoffeln (Knollen)	169	262	44.244	0,35	0,14	0,60	15.485	6.194	26.547
Zuckerrüben	8	497	3.976	0,18	0,10	0,25	716	398	994
Massenrüben	73	993	72.489	0,14	0,07	0,45	10.148	5.074	32.620
Weizen (86% TS) 14% RP	2.916	62	181.667	2,10	0,80	0,60	381.500	145.333	109.000
Winterroggen (86% TS)	224	49	11.043	1,50	0,80	0,60	16.565	8.835	6.626
Wintergerste (86% TS)	1.536	56	85.248	1,70	0,80	0,60	144.922	68.198	51.149
S. Futtergerste (86% TS)	1.698	49	83.881	1,70	0,80	0,60	142.598	67.105	50.329
Hafer (86% TS)	1.305	51	66.164	1,50	0,80	0,60	99.245	52.931	39.698
Raps (91% TS)	897	32	29.063	3,30	1,80	1,00	95.907	52.313	29.063
Silomais	1.579	130	204.638	1,40	0,59	1,67	286.494	120.737	341.746
Körnermais (86% TS)	65	74	4.817	1,50	0,80	0,50	7.225	3.853	2.408
Grünl. 3 Nut. günst. 75dt TS/ha	16.086	63	1.016.635	2,20	0,95	2,90	2.236.597	965.803	2.948.242
Ackerbohnen (86% TS)				4,10	1,20	1,40			
Erbsen (86% TS)				3,60	1,10	1,40			
Rotklee (100 dt TS/ha)				2,75	0,65	3,00			
Luzerne (100 dt TS/ha)				3,00	0,70	3,25			
Klee gras (50:50)	1.435	70	100.163	2,60	0,70	3,10	260.424	70.114	310.505
Durum (86% TS)				2,30	0,80	0,60			
Sonnenblumen	7	35	245	2,80	1,60	2,40	686	392	588
Dinkel (m. Spelz)				1,60	0,80	0,80			
Hanf (100-150 dt TS)	36	130	4.680	0,75	0,75	2,00	3.510	3.510	9.360
Sonstige Hülsenfrüchte	80	40	3.200	3,90	1,20	1,40	12.480	3.840	4.480
Sonstige Gartengewächse	73	367	26.791	0,29	0,42	0,34	7.769	11.252	9.109
Sonstige Futterpflanzen	181	130	23.530	1,70	0,50	2,05	40.001	11.765	48.237
Summe							3.762.273	1.597.648	4.020.700
Abfuhr in kg/ha							134	57	143

Saldo in kg (Betrieb) =	Zufuhr in kg - Abfuhr in kg	-914.928	-367.674	-261.284
Saldo in kg/ha =	Zufuhr in kg/ha - Abfuhr in kg/ha	-33	-13	-9

Tabelle A5: Nährstoffvergleich (Feld-Stall) für das Wirtschaftsjahr: 1995

für den Betrieb: Landkreis Göppingen
Betriebsgröße: 28.249 ha LF

Zufuhr Tierische Ausscheidungen (Tiere/Pl.)	Anzahl Tiere		pro Tier/Platz			Gesamtbetrieb					Nährstoffe Wirtschaftsdünger ¹			GV
	Gülle	Festmist	kg N	kg P ₂ O ₅	kg K ₂ O	kg N	kg P ₂ O ₅	kg K ₂ O	m ³ Gülle	dt Mist	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	MEKA
Milchkühe 6.000 kg Ackerbau + Grünl.	14.095,0		95	29	130	1.339.025	408.755	1.832.350	394.660		937.318	408.755	1.832.350	14095,0
Mutterkuh ohne Kalb	1.517,0		84	25	110	127.428	37.925	166.870	33.374		89.200	37.925	166.870	1517,0
Kälber bis 1/2 Jahr (Platz)	6.205,0		22	8	16	136.510	49.640	99.280	18.615		95.557	49.640	99.280	1861,5
Rinder über 2 Jahre	2.107,0		59	24	80	124.313	50.568	168.560	35.819		87.019	50.568	168.560	2107,0
Jungvieh über 1/2 bis 1 Jahr (Platz)	4.178,0		28	16	32	116.984	66.848	133.696	33.424		81.889	66.848	133.696	2506,8
Jungvieh über 1 bis 2 Jahre Acker	5.802,0		42	19	60	243.684	110.238	348.120	63.822		203.070	110.238	348.120	3481,2
Mastbullen 1/2 bis 2 Jahre	5.830,0		50	23	58	291.500	134.090	338.140	75.790		204.050	134.090	338.140	3498,0
Zuchtsauen 18 Ferkel (30 kg)	1.899,0		41	22	18	77.859	41.778	34.182	11.394		54.501	41.778	34.182	569,7
10 Mastschweineplätze zweiphasig	1.144,3		101	43	56	115.574	49.205	64.081	21.742		80.902	49.205	64.081	1602,0
Mutterschaf		8.735,0	8	4	10	69.880	34.940	87.350		96.085	48.916	34.940	87.350	1310,3
Mastlämmer Weidemast		4.140,0	4	1	4	16.560	4.140	16.560		20.700	11.592	4.140	16.560	414,0
Pferde 450 kg LG		1.737,0	68	32	61	118.116	55.584	105.957		173.700	82.681	55.584	105.957	1737,0
100 Legehennenplätze		2.064,0	74	41	33	152.737	84.625	68.113		49.536	106.916	84.625	68.113	825,6
100 Junghennenplätze		116,7	28	16	18	3.266	1.867	2.100		1.167	2.287	1.867	2.100	23,3
100 Putenplätze		5,9	160	80	71	938	469	416		234	656	469	416	5,3
100 Masthühner		583,4	29	16	16	16.919	9.335	9.335		5.251	11.843	9.335	9.335	116,7
100 Enten		5,2	55	17	40	287	89	209		115	201	89	209	2,6
100 Mastgänse		4,1	80	20	100	326	82	408		78	228	82	408	3,7
Summe						2.951.907	1.140.176	3.475.726	688.640	346.866	2.098.826	1.140.176	3.475.726	35676,6
Zufuhr aus Wirtschaftsdünger in kg/ha						73	40	123						

Zufuhr Stickstoffbindung Leguminosen + Grünl.	ha		ha			Gesamtbetrieb		
	ha	Ertrag (dtTS/ha)	kg N	kg P ₂ O ₅	kg K ₂ O	kg N	kg P ₂ O ₅	kg K ₂ O
Ackerbohnen	49	32	160			7.840		
Erbsen	40	33	145			5.808		
Luzerne	58	80	228			13.224		
Rotklee								
Klee gras (50:50)	1.284	83	112			143.872		
Grünland 30 kg N/ha (--> Ertrag = 1)	16.093	1	30			482.790		
Summe						2.719.869	1.140.176	3.475.726
Gesamtzufuhr in kg/ha			96	40	123			

¹ N-Gehalte im Wirtschaftsdünger durch Lagerungs- und Ausbringungsverluste 30 % geringer als in der Gesamtmenge

Tabelle A6: Nährstoffvergleich (Feld-Stall) für das Wirtschaftsjahr: 1995

für den Betrieb: Landkreis Göppingen

Betriebsgröße: 28.442 ha LF

Abfuhr	Fläche	Ertrag	Gesamt	pro dt; m³; ha; Stück			Gesamtbetrieb		
	in ha	dt/ha	dt	kg N	kg P ₂ O ₅	kg K ₂ O	kg N	kg P ₂ O ₅	kg K ₂ O
Pflanzliche Produkte (dt)									
Kartoffeln (Knollen)	147	261	38.338	0,35	0,14	0,60	13.418	5.367	23.003
Zuckerrüben	8	573	4.584	0,18	0,10	0,25	825	458	1.146
Massenrüben	25	1.358	33.948	0,14	0,07	0,45	4.753	2.376	15.276
Weizen (86% TS) 14% RP	3.197	51	161.768	2,10	0,80	0,60	339.713	129.415	97.061
Winterroggen (86% TS)	222	45	9.946	1,50	0,80	0,60	14.918	7.956	5.967
Wintergerste (86% TS)	1.746	50	86.602	1,70	0,80	0,60	147.223	69.281	51.961
S. Futtergerste (86% TS)	1.444	37	53.861	1,70	0,80	0,60	91.564	43.089	32.317
Hafer (86% TS)	1.555	43	67.487	1,50	0,80	0,60	101.231	53.990	40.492
Raps (91% TS)	711	32	22.752	3,30	1,80	1,00	75.082	40.954	22.752
Silomais	1.493	124	185.431	1,40	0,59	1,67	259.603	109.404	309.669
Körnermais (86% TS)		104		1,50	0,80	0,50			
Grünl. 3 Nut. günst. 75dt TS/ha	16.093	73	1.178.008	2,20	0,95	2,90	2.591.617	1.119.107	3.416.222
Ackerbohnen (86% TS)	49	32	1.553	4,10	1,20	1,40	6.369	1.864	2.175
Erbsen (86% TS)	40	33	1.304	3,60	1,10	1,40	4.694	1.434	1.826
Rotklee (100 dt TS/ha)		100		2,75	0,65	3,00			
Luzerne (100 dt TS/ha)	58	80	4.646	3,00	0,70	3,25	13.937	3.252	15.099
Klee gras (50:50)	1.284	83	106.058	2,60	0,70	3,10	275.752	74.241	328.781
Triticale (86% TS)	171	51	8.653	1,80	0,80	0,60	15.575	6.922	5.192
Sonnenblumen	5	27	134	2,80	1,60	2,40	375	214	322
Öllein (Korn)	1	25	25	3,50	1,20	1,00	88	30	25
Weidelgras (100 dt TS/ha)	56	100	5.600	2,40	0,80	3,25	13.440	4.480	18.200
Sonstige Hülsenfrüchte	18	40	720	3,90	1,20	1,40	2.808	864	1.008
Sonstige Gartengewächse	75	367	27.525	0,29	0,42	0,34	7.982	11.561	9.359
Sonstige Futterpflanzen	44	130	5.720	1,70	0,50	2,05	9.724	2.860	11.726
Summe							3.990.690	1.689.120	4.409.577
Abfuhr in kg/ha							141	60	156

Tabelle A7: Nährstoffvergleich (Feld-Stall) für das Wirtschaftsjahr: 1999

für den Betrieb: Landkreis Göppingen
Betriebsgröße: 28.440 ha LF

Zufuhr Tierische Ausscheidungen (Tiere/Pl.)	Anzahl Tiere		pro Tier/Platz			Gesamtbetrieb					Nährstoffe Wirtschaftsdünger ¹			GV
	Gülle	Festmist	kg N	kg P ₂ O ₅	kg K ₂ O	kg N	kg P ₂ O ₅	kg K ₂ O	m ³ Gülle	dt Mist	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	MEKA
Milchkühe 6.000 kg Ackerbau + Grünl.	12.600,0		95	29	130	1.197.000	365.400	1.638.000	352.800		837.900	365.400	1.638.000	12600,0
Mutterkuh ohne Kalb	3.757,0		84	25	110	315.588	93.925	413.270	82.654		220.912	93.925	413.270	3757,0
Kälber bis 1/2 Jahr (Platz)	5.530,0		22	8	16	121.660	44.240	88.480	16.590		85.162	44.240	88.480	1659,0
Rinder über 2 Jahre	249,0		59	24	80	14.691	5.976	19.920	4.233		10.284	5.976	19.920	249,0
Jungvieh über 1/2 bis 1 Jahr (Platz)	3.940,0		28	16	32	110.320	63.040	126.080	31.520		77.224	63.040	126.080	2364,0
Jungvieh über 1 bis 2 Jahre Acker	4.936,0		42	19	60	207.312	93.784	296.160	54.296		172.760	93.784	296.160	2961,6
Mastbullen 1/2 bis 2 Jahre	5.108,0		50	23	58	255.400	117.484	296.264	66.404		178.780	117.484	296.264	3064,8
Zuchtsauen 18 Ferkel (30 kg)	2.101,0		41	22	18	86.141	46.222	37.818	12.606		60.299	46.222	37.818	630,3
10 Mastschweineplätze zweiphasig	1.005,1		101	43	56	101.515	43.219	56.286	19.097		71.061	43.219	56.286	1407,1
Mutterschaf		8.802,0	8	4	10	70.416	35.208	88.020		96.822	49.291	35.208	88.020	1320,3
Mastlämmer Weidemast		4.420,0	4	1	4	17.680	4.420	17.680		22.100	12.376	4.420	17.680	442,0
Pferde 450 kg LG		1.575,0	68	32	61	107.100	50.400	96.075		157.500	74.970	50.400	96.075	1575,0
100 Legehennenplätze		1.482,5	74	41	33	109.702	60.781	48.921		35.579	76.791	60.781	48.921	593,0
100 Junghennenplätze		63,3	28	16	18	1.772	1.012	1.139		633	1.240	1.012	1.139	12,7
100 Putenplätze		0,9	160	80	71	150	75	67		38	105	75	67	0,8
100 Masthühner		479,8	29	16	16	13.915	7.677	7.677		4.319	9.741	7.677	7.677	96,0
100 Enten		2,7	55	17	40	149	46	108		59	104	46	108	1,4
100 Mastgänse		1,4	80	20	100	111	28	139		26	78	28	139	1,3
Summe						2.730.622	1.032.938	3.232.104	640.200	317.076	1.939.077	1.032.938	3.232.104	32735,2
Zufuhr aus Wirtschaftsdünger in kg/ha						67	36	114						

Zufuhr Stickstoffbindung Leguminosen + Grünl.	ha		ha			Gesamtbetrieb		
	ha	Ertrag (dtTS/ha)	kg N	kg P ₂ O ₅	kg K ₂ O	kg N	kg P ₂ O ₅	kg K ₂ O
Ackerbohnen	54	36	180			9.720		
Erbsen	138	35	154			21.252		
Luzerne	48	80	228			10.944		
Rotklee								
Klee gras (50:50)	1.169	85	115			134.143		
Grünland 30 kg N/ha (--> Ertrag = 1)	16.365	1	30			490.950		
Summe						2.578.444	1.032.938	3.232.104
Gesamtzufuhr in kg/ha						91	36	114

¹ N-Gehalte im Wirtschaftsdünger durch Lagerungs- und Ausbringungsverluste 30 % geringer als in der Gesamtmenge

Tabelle A8: Nährstoffvergleich (Feld-Stall) für das Wirtschaftsjahr: 1999

für den Betrieb: Landkreis Göppingen

Betriebsgröße: 28.841 ha LF

Abfuhr Pflanzliche Produkte (dt)	Fläche	Ertrag	Gesamt	pro dt; m³; ha; Stück			Gesamtbetrieb		
	in ha	dt/ha	dt	kg N	kg P ₂ O ₅	kg K ₂ O	kg N	kg P ₂ O ₅	kg K ₂ O
Kartoffeln (Knollen)	116	306	35.496	0,35	0,14	0,60	12.424	4.969	21.298
Zuckerrüben	8	619	4.948	0,18	0,10	0,25	891	495	1.237
Massenrüben	12	1.340	16.080	0,14	0,07	0,45	2.251	1.126	7.236
Weizen (86% TS) 14% RP	2.929	62	181.305	2,10	0,80	0,60	380.741	145.044	108.783
Winterroggen (86% TS)	146	53	7.665	1,50	0,80	0,60	11.498	6.132	4.599
Wintergerste (86% TS)	1.801	54	97.434	1,70	0,80	0,60	165.638	77.947	58.460
S. Futtergerste (86% TS)	1.396	43	60.447	1,70	0,80	0,60	102.760	48.357	36.268
Hafer (86% TS)	1.197	49	58.653	1,50	0,80	0,60	87.980	46.922	35.192
Raps (91% TS)	1.068	38	40.050	3,30	1,80	1,00	132.165	72.090	40.050
Silomais	1.629	136	221.381	1,40	0,59	1,67	309.934	130.615	369.706
Körnermais (86% TS)	77	103	7.954	1,50	0,80	0,50	11.931	6.363	3.977
Grünl. 3 Nut. günst. 75dt TS/ha	16.365	73	1.197.918	2,20	0,95	2,90	2.635.420	1.138.022	3.473.962
Ackerbohnen (86% TS)	54	36	1.939	4,10	1,20	1,40	7.948	2.326	2.714
Erbsen (86% TS)	138	35	4.885	3,60	1,10	1,40	17.587	5.374	6.839
Rotklee (100 dt TS/ha)		100		2,75	0,65	3,00			
Luzerne (100 dt TS/ha)	48	80	3.840	3,00	0,70	3,25	11.520	2.688	12.480
Klee gras (50:50)	1.169	85	99.365	2,60	0,70	3,10	258.349	69.556	308.032
Triticale (86% TS)	284	58	16.529	1,80	0,80	0,60	29.752	13.223	9.917
Sonnenblumen		35		2,80	1,60	2,40			
Öllein (Korn)	3	25	75	3,50	1,20	1,00	263	90	75
Weidelgras (100 dt TS/ha)	34	100	3.400	2,40	0,80	3,25	8.160	2.720	11.050
Sonstige Hülsenfrüchte	2	40	80	3,90	1,20	1,40	312	96	112
Sonstige Gartengewächse	65	367	23.855	0,29	0,42	0,34	6.918	11.561	9.359
Sonstige Futterpflanzen	300	130	39.000	1,70	0,50	2,05	66.300	2.860	11.726
Summe							4.260.738	1.788.576	4.533.072
Abfuhr in kg/ha							150	63	159

Saldo in kg (Betrieb) =	Zufuhr in kg - Abfuhr in kg	-1.682.294	-755.638	-1.300.968
Saldo in kg/ha =	Zufuhr in kg/ha - Abfuhr in kg/ha	-59	-27	-46

Tabelle A9: Nährstoffvergleich (Feld-Stall) für das Wirtschaftsjahr: 1991

für den Betrieb: Landkreis Ludwigsburg

Betriebsgröße: 28.394 ha LF

Zufuhr	Anzahl Tiere		pro Tier/Platz			Gesamtbetrieb					Nährstoffe Wirtschaftsdünger ¹			GV
	Gülle	Festmist	kg N	kg P ₂ O ₅	kg K ₂ O	kg N	kg P ₂ O ₅	kg K ₂ O	m ³ Gülle	dt Mist	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	MEKA
Milchkühe 6.000 kg Ackerbau + Grünl.	9.086,0		95	29	130	863.170	263.494	1.181.180	254.408		604.219	263.494	1.181.180	9086,0
Mutterkuh ohne Kalb	526,0		84	25	110	44.184	13.150	57.860	11.572		30.929	13.150	57.860	526,0
Kälber bis 1/2 Jahr (Platz)	4.694,0		22	8	16	103.268	37.552	75.104	14.082		72.288	37.552	75.104	1408,2
Rinder über 2 Jahre	1.273,0		59	24	80	75.107	30.552	101.840	21.641		52.575	30.552	101.840	1273,0
Jungvieh über 1/2 bis 1 Jahr (Platz)	2.710,0		28	16	32	75.880	43.360	86.720	21.680		53.116	43.360	86.720	1626,0
Jungvieh über 1 bis 2 Jahre Acker	3.199,0		42	19	60	134.358	60.781	191.940	35.189		111.965	60.781	191.940	1919,4
Mastbullen 1/2 bis 2 Jahre	7.988,0		50	23	58	399.400	183.724	463.304	103.844		279.580	183.724	463.304	4792,8
Zuchtsauen 18 Ferkel (30 kg)	3.418,0		41	22	18	140.138	75.196	61.524	20.508		98.097	75.196	61.524	1025,4
10 Mastschweineplätze zweiphasig	2.024,2		101	43	56	204.444	87.041	113.355	38.460		143.111	87.041	113.355	2833,9
Mutterschaf		3.428,0	8	4	10	27.424	13.712	34.280		37.708	19.197	13.712	34.280	514,2
Mastlämmer Weidemast		1.451,0	4	1	4	5.804	1.451	5.804		7.255	4.063	1.451	5.804	145,1
Pferde 450 kg LG		2.121,0	68	32	61	144.228	67.872	129.381		212.100	100.960	67.872	129.381	2121,0
100 Legehennenplätze		1.329,8	74	41	33	98.404	54.521	43.883		31.915	68.883	54.521	43.883	531,9
100 Junghennenplätze		212,9	28	16	18	5.961	3.406	3.832		2.129	4.172	3.406	3.832	42,6
100 Putenplätze		16,7	160	80	71	2.670	1.335	1.185		668	1.869	1.335	1.185	15,0
100 Masthühner		132,2	29	16	16	3.833	2.115	2.115		1.190	2.683	2.115	2.115	26,4
100 Enten		7,3	55	17	40	400	124	291		160	280	124	291	3,6
100 Mastgänse		10,3	80	20	100	823	206	1029		196	576	206	1.029	9,3
Summe						2.329.497	939.592	2.554.627	521.384	293.319	1.648.562	939.592	2.554.627	27899,8
Zufuhr aus Wirtschaftsdünger in kg/ha						57	33	90						

Zufuhr			ha			Gesamtbetrieb		
	ha	Ertrag (dtTS/ha)	kg N	kg P ₂ O ₅	kg K ₂ O	kg N	kg P ₂ O ₅	kg K ₂ O
Stickstoffbindung Leguminosen + Grünl.								
Ackerbohnen								
Erbsen								
Luzerne								
Rotklee								
Kleegras (50:50)	520	70	95			49.140		
Grünland 30 kg N/ha (--> Ertrag = 1)	4.589	1	30			137.670		
Summe						1.817.458	939.592	2.554.627
Gesamtzufuhr in kg/ha						64	33	90

¹ N-Gehalte im Wirtschaftsdünger durch Lagerungs- und Ausbringungsverluste 30 % geringer als in der Gesamtmenge

Tabelle A10: Nährstoffvergleich (Feld-Stall) für das Wirtschaftsjahr: 1991

für den Betrieb: Landkreis Ludwigsburg

Betriebsgröße: 29.463 ha LF

Abfuhr Pflanzliche Produkte (dt)	Fläche	Ertrag	Gesamt	pro dt; m³; ha; Stück			Gesamtbetrieb		
	in ha	dt/ha	dt	kg N	kg P ₂ O ₅	kg K ₂ O	kg N	kg P ₂ O ₅	kg K ₂ O
Kartoffeln (Knollen)	475	291	138.415	0,35	0,14	0,60	48.445	19.378	83.049
Zuckerrüben	3.135	514	1.611.704	0,18	0,10	0,25	290.107	161.170	402.926
Massenrüben	241	993	239.313	0,14	0,07	0,45	33.504	16.752	107.691
Weizen (86% TS) 14% RP	7.558	72	542.664	2,10	0,80	0,60	1.139.595	434.132	325.599
Winterroggen (86% TS)	148	55	8.184	1,50	0,80	0,60	12.277	6.548	4.911
Wintergerste (86% TS)	1.785	61	109.242	1,70	0,80	0,60	185.711	87.394	65.545
S. Futtergerste (86% TS)	3.994	56	222.466	1,70	0,80	0,60	378.192	177.973	133.479
Hafer (86% TS)	868	56	48.521	1,50	0,80	0,60	72.782	38.817	29.113
Raps (91% TS)	897	31	28.166	3,30	1,80	1,00	92.947	50.698	28.166
Silomais	2.416	140	337.032	1,40	0,59	1,67	471.845	198.849	562.843
Körnermais (86% TS)	609	75	45.371	1,50	0,80	0,50	68.056	36.296	22.685
Grünl. 3 Nut. günst. 75dt TS/ha	4.589	63	290.025	2,20	0,95	2,90	638.055	275.524	841.072
Ackerbohnen (86% TS)				4,10	1,20	1,40			
Erbsen (86% TS)				3,60	1,10	1,40			
Rotklee (100 dt TS/ha)				2,75	0,65	3,00			
Luzerne (100 dt TS/ha)				3,00	0,70	3,25			
Kleegras (50:50)	520	70	36.556	2,60	0,70	3,10	95.046	25.589	113.324
Durum (86% TS)				2,30	0,80	0,60			
Sonnenblumen	1.159	35	40.565	2,80	1,60	2,40	113.582	64.904	97.356
Dinkel (m. Spelz)				1,60	0,80	0,80			
Hanf (100-150 dt TS)	35	130	4.550	0,75	0,75	2,00	3.413	3.413	9.100
Sonstige Hülsenfrüchte	85	40	3.400	3,90	1,20	1,40	13.260	4.080	4.760
Sonstige Gartengewächse	489	367	179.463	0,29	0,42	0,34	52.044	75.374	61.017
Sonstige Futterpflanzen	460	130	59.800	1,70	0,50	2,05	101.660	29.900	122.590
Summe							3.810.519	1.706.790	3.015.226
Abfuhr in kg/ha							134	60	106

Saldo in kg (Betrieb) =	Zufuhr in kg - Abfuhr in kg	-1.993.061	-767.199	-460.599
Saldo in kg/ha =	Zufuhr in kg/ha - Abfuhr in kg/ha	-70	-27	-16

Tabelle A11: Nährstoffvergleich (Feld-Stall) für das Wirtschaftsjahr: 1995

für den Betrieb: Landkreis Ludwigsburg
Betriebsgröße: 27.761 ha LF

Zufuhr	Anzahl Tiere		pro Tier/Platz			Gesamtbetrieb					Nährstoffe Wirtschaftsdünger ¹			GV
	Gülle	Festmist	kg N	kg P ₂ O ₅	kg K ₂ O	kg N	kg P ₂ O ₅	kg K ₂ O	m ³ Gülle	dt Mist	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	MEKA
Milchkühe 6.000 kg Ackerbau + Grünl.	7.470,0		95	29	130	709.650	216.630	971.100	209.160		496.755	216.630	971.100	7470,0
Mutterkuh ohne Kalb	325,0		84	25	110	27.300	8.125	35.750	7.150		19.110	8.125	35.750	325,0
Kälber bis 1/2 Jahr (Platz)	3.799,0		22	8	16	83.578	30.392	60.784	11.397		58.505	30.392	60.784	1139,7
Rinder über 2 Jahre	941,0		59	24	80	55.519	22.584	75.280	15.997		38.863	22.584	75.280	941,0
Jungvieh über 1/2 bis 1 Jahr (Platz)	2.461,0		28	16	32	68.908	39.376	78.752	19.688		48.236	39.376	78.752	1476,6
Jungvieh über 1 bis 2 Jahre Acker	3.067,0		42	19	60	128.814	58.273	184.020	33.737		107.345	58.273	184.020	1840,2
Mastbullen 1/2 bis 2 Jahre	5.552,0		50	23	58	277.600	127.696	322.016	72.176		194.320	127.696	322.016	3331,2
Zuchtsauen 18 Ferkel (30 kg)	3.346,0		41	22	18	137.186	73.612	60.228	20.076		96.030	73.612	60.228	1003,8
10 Mastschweineplätze zweiphasig	2.068,3		101	43	56	208.898	88.937	115.825	39.298		146.229	88.937	115.825	2895,6
Mutterschaf		3.588,0	8	4	10	28.704	14.352	35.880		39.468	20.093	14.352	35.880	538,2
Mastlämmer Weidemast		1.477,0	4	1	4	5.908	1.477	5.908		7.385	4.136	1.477	5.908	147,7
Pferde 450 kg LG		2.621,0	68	32	61	178.228	83.872	159.881		262.100	124.760	83.872	159.881	2621,0
100 Legehennenplätze		1.258,2	74	41	33	93.105	51.585	41.520		30.196	65.173	51.585	41.520	503,3
100 Junghennenplätze		273,3	28	16	18	7.651	4.372	4.919		2.733	5.356	4.372	4.919	54,7
100 Putenplätze		21,2	160	80	71	3.395	1.698	1.507		849	2.377	1.698	1.507	19,1
100 Masthühner		451,7	29	16	16	13.100	7.227	7.227		4.065	9.170	7.227	7.227	90,3
100 Enten		5,4	55	17	40	295	91	214		118	206	91	214	2,7
100 Mastgänse		15,1	80	20	100	1.210	303	1.513		287	847	303	1.513	13,6
Summe						2.029.049	830.602	2.162.323	428.679	347.201	1.437.510	830.602	2.162.323	24413,7
Zufuhr aus Wirtschaftsdünger in kg/ha						51	30	78						

Zufuhr			ha			Gesamtbetrieb		
	ha	Ertrag (dtTS/ha)	kg N	kg P ₂ O ₅	kg K ₂ O	kg N	kg P ₂ O ₅	kg K ₂ O
Stickstoffbindung Leguminosen + Grünl.								
Ackerbohnen	10	31	154			1.535		
Erbsen	12	33	143			1.721		
Luzerne	205	80	228			46.798		
Rotklee								
Kleegras (50:50)	444	83	112			49.510		
Grünland 30 kg N/ha (--> Ertrag = 1)	4.808	1	30			144.240		
Summe						1.664.140	830.602	2.162.323
Gesamtzufuhr in kg/ha						60	30	78

¹ N-Gehalte im Wirtschaftsdünger durch Lagerungs- und Ausbringungsverluste 30 % geringer als in der Gesamtmenge

Tabelle A12: Nährstoffvergleich (Feld-Stall) für das Wirtschaftsjahr: 1995

für den Betrieb: Landkreis Ludwigsburg

Betriebsgröße: 28.452 ha LF

Abfuhr Pflanzliche Produkte (dt)	Fläche	Ertrag	Gesamt	pro dt; m³; ha; Stück			Gesamtbetrieb		
	in ha	dt/ha	dt	kg N	kg P ₂ O ₅	kg K ₂ O	kg N	kg P ₂ O ₅	kg K ₂ O
Kartoffeln (Knollen)	476	312	148.512	0,35	0,14	0,60	51.979	20.792	89.107
Zuckerrüben	3.090	585	1.808.886	0,18	0,10	0,25	325.599	180.889	452.222
Massenrüben	141	1.440	203.026	0,14	0,07	0,45	28.424	14.212	91.362
Weizen (86% TS) 14% RP	7.991	59	471.469	2,10	0,80	0,60	990.085	377.175	282.881
Winterroggen (86% TS)	137	50	6.891	1,50	0,80	0,60	10.337	5.513	4.135
Wintergerste (86% TS)	1.851	58	106.803	1,70	0,80	0,60	181.565	85.442	64.082
S. Futtergerste (86% TS)	3.694	46	169.185	1,70	0,80	0,60	287.615	135.348	101.511
Hafer (86% TS)	782	50	39.022	1,50	0,80	0,60	58.533	31.217	23.413
Raps (91% TS)	428	30	12.968	3,30	1,80	1,00	42.796	23.343	12.968
Silomais	2.170	147	319.641	1,40	0,59	1,67	447.497	188.588	533.800
Körnermais (86% TS)	1.049	87	91.473	1,50	0,80	0,50	137.209	73.178	45.736
Grünl. 3 Nut. günst. 75dt TS/ha	4.808	73	351.946	2,20	0,95	2,90	774.280	334.348	1.020.642
Ackerbohnen (86% TS)	10	31	307	4,10	1,20	1,40	1.259	368	430
Erbsen (86% TS)	12	33	391	3,60	1,10	1,40	1.408	430	548
Rotklee (100 dt TS/ha)				2,75	0,65	3,00			
Luzerne (100 dt TS/ha)	205	80	16.421	3,00	0,70	3,25	49.262	11.494	53.367
Klee gras (50:50)	444	83	36.674	2,60	0,70	3,10	95.353	25.672	113.691
Durum (86% TS)				2,30	0,80	0,60			
Sonnenblumen	473	35	16.555	2,80	1,60	2,40	46.354	26.488	39.732
Dinkel (m. Spelz)				1,60	0,80	0,80			
Weidelgras (100 dt TS/ha)	41	100	4.100	2,40	0,80	3,25	9.840	3.280	13.325
Sonstige Hülsenfrüchte	9	40	360	3,90	1,20	1,40	1.404	432	504
Sonstige Gartengewächse	593	367	217.631	0,29	0,42	0,34	63.113	91.405	73.995
Sonstige Futterpflanzen	48	130	6.240	1,70	0,50	2,05	10.608	3.120	12.792
Summe							3.614.520	1.632.736	3.030.242
Abfuhr in kg/ha							130	59	109

Saldo in kg (Betrieb) =	Zufuhr in kg - Abfuhr in kg	-1.950.380	-802.134	-867.919
Saldo in kg/ha =	Zufuhr in kg/ha - Abfuhr in kg/ha	-70	-29	-31

Tabelle A13: Nährstoffvergleich (Feld-Stall) für das Wirtschaftsjahr: 1999

für den Betrieb: Landkreis Ludwigsburg

Betriebsgröße: 28.792 ha LF

Zufuhr	Anzahl Tiere		pro Tier/Platz			Gesamtbetrieb					Nährstoffe Wirtschaftsdünger ¹			GV
	Gülle	Festmist	kg N	kg P ₂ O ₅	kg K ₂ O	kg N	kg P ₂ O ₅	kg K ₂ O	m ³ Gülle	dt Mist	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	MEKA
Milchkühe 6.000 kg Ackerbau + Grünl.	6.222,0		95	29	130	591.090	180.438	808.860	174.216		413.763	180.438	808.860	6222,0
Mutterkuh ohne Kalb	1.328,0		84	25	110	111.552	33.200	146.080	29.216		78.086	33.200	146.080	1328,0
Kälber bis 1/2 Jahr (Platz)	3.150,0		22	8	16	69.300	25.200	50.400	9.450		48.510	25.200	50.400	945,0
Rinder über 2 Jahre	107,0		59	24	80	6.313	2.568	8.560	1.819		4.419	2.568	8.560	107,0
Jungvieh über 1/2 bis 1 Jahr (Platz)	2.069,0		28	16	32	57.932	33.104	66.208	16.552		40.552	33.104	66.208	1241,4
Jungvieh über 1 bis 2 Jahre Acker	2.686,0		42	19	60	112.812	51.034	161.160	29.546		94.010	51.034	161.160	1611,6
Mastbullen 1/2 bis 2 Jahre	4.351,0		50	23	58	217.550	100.073	252.358	56.563		152.285	100.073	252.358	2610,6
Zuchtsauen 18 Ferkel (30 kg)	3.651,0		41	22	18	149.691	80.322	65.718	21.906		104.784	80.322	65.718	1095,3
10 Mastschweineplätze zweiphasig	1.969,0		101	43	56	198.869	84.667	110.264	37.411		139.208	84.667	110.264	2756,6
Mutterschaf		2.272,0	8	4	10	18.176	9.088	22.720		24.992	12.723	9.088	22.720	340,8
Mastlämmer Weidemast		740,0	4	1	4	2.960	740	2.960		3.700	2.072	740	2.960	74,0
Pferde 450 kg LG		3.000,0	68	32	61	204.000	96.000	183.000		300.000	142.800	96.000	183.000	3000,0
100 Legehennenplätze		1.270,9	74	41	33	94.044	52.105	41.938		30.501	65.831	52.105	41.938	508,3
100 Junghennenplätze		80,1	28	16	18	2.242	1.281	1.441		801	1.570	1.281	1.441	16,0
100 Putenplätze		61,4	160	80	71	9.824	4.912	4.359		2.456	6.877	4.912	4.359	55,3
100 Masthühner		334,5	29	16	16	9.700	5.352	5.352		3.010	6.790	5.352	5.352	66,9
100 Enten		2,6	55	17	40	145	45	106		58	102	45	106	1,3
100 Mastgänse		5,0	80	20	100	397	99	496		94	278	99	496	4,5
Summe						1.856.597	760.228	1.931.981	376.679	365.612	1.314.660	760.228	1.931.981	21984,6
Zufuhr aus Wirtschaftsdünger in kg/ha						45	26	67						

Zufuhr			ha			Gesamtbetrieb		
	ha	Ertrag (dtTS/ha)	kg N	kg P ₂ O ₅	kg K ₂ O	kg N	kg P ₂ O ₅	kg K ₂ O
Stickstoffbindung Leguminosen + Grünl.								
Ackerbohnen	18	36	180			3.240		
Erbsen	39	35	154			6.006		
Luzerne	126	80	228			28.728		
Rotklee								
Kleegras (50:50)	355	85	115			40.736		
Grünland 30 kg N/ha (--> Ertrag = 1)	5.248	1	30			157.440		
Summe						1.535.768	760.228	1.931.981
Gesamtzufuhr in kg/ha						53	26	67

¹ N-Gehalte im Wirtschaftsdünger durch Lagerungs- und Ausbringungsverluste 30 % geringer als in der Gesamtmenge

Tabelle A14: Nährstoffvergleich (Feld-Stall) für das Wirtschaftsjahr: 1999

für den Betrieb: Landkreis Ludwigsburg

Betriebsgröße: 29.632 ha LF

Abfuhr Pflanzliche Produkte (dt)	Fläche	Ertrag	Gesamt	pro dt; m³; ha; Stück			Gesamtbetrieb		
	in ha	dt/ha	dt	kg N	kg P ₂ O ₅	kg K ₂ O	kg N	kg P ₂ O ₅	kg K ₂ O
Kartoffeln (Knollen)	405	323	130.694	0,35	0,14	0,60	45.743	18.297	78.416
Zuckerrüben	3.070	693	2.127.510	0,18	0,10	0,25	382.952	212.751	531.878
Massenrüben	40	1.442	57.676	0,14	0,07	0,45	8.075	4.037	25.954
Weizen (86% TS) 14% RP	7.732	66	512.632	2,10	0,80	0,60	1.076.526	410.105	307.579
Winterroggen (86% TS)	61	53	3.215	1,50	0,80	0,60	4.822	2.572	1.929
Wintergerste (86% TS)	1.863	61	113.084	1,70	0,80	0,60	192.243	90.467	67.850
S. Futtergerste (86% TS)	4.098	53	216.374	1,70	0,80	0,60	367.836	173.100	129.825
Hafer (86% TS)	609	54	32.947	1,50	0,80	0,60	49.420	26.358	19.768
Raps (91% TS)	764	36	27.657	3,30	1,80	1,00	91.267	49.782	27.657
Silomais	2.183	146	317.627	1,40	0,59	1,67	444.677	187.400	530.436
Körnermais (86% TS)	1.516	104	157.816	1,50	0,80	0,50	236.723	126.252	78.908
Grünl. 3 Nut. günst. 75dt TS/ha	5.248	76	398.848	2,20	0,95	2,90	877.466	378.906	1.156.659
Ackerbohnen (86% TS)	18	36	648	4,10	1,20	1,40	2.657	778	907
Erbsen (86% TS)	39	35	1.365	3,60	1,10	1,40	4.914	1.502	1.911
Rotklee (100 dt TS/ha)				2,75	0,65	3,00			
Luzerne (100 dt TS/ha)	126	80	10.080	3,00	0,70	3,25	30.240	7.056	32.760
Kleegras (50:50)	355	85	30.175	2,60	0,70	3,10	78.455	21.123	93.543
Durum (86% TS)				2,30	0,80	0,60			
Sonnenblumen	634	35	22.190	2,80	1,60	2,40	62.132	35.504	53.256
Dinkel (m. Spelz)				1,60	0,80	0,80			
Triticale (86% TS)	27	60	1.620	1,80	0,80	0,60	2.916	1.296	972
Öllein (Korn)	4	25	100	3,50	1,20	1,00	350	120	100
Weidelgras (100 dt TS/ha)	40	100	4.000	2,40	0,80	3,25	9.600	3.200	13.000
Sonstige Hülsenfrüchte	1	40	40	3,90	1,20	1,40	156	48	56
Sonstige Gartengewächse	678	367	248.826	0,29	0,42	0,34	72.160	104.507	84.601
Sonstige Futterpflanzen	121	130	15.730	1,70	0,50	2,05	26.741	7.865	32.247
Summe							4.068.071	1.863.024	3.270.211
Abfuhr in kg/ha							141	65	114

Saldo in kg (Betrieb) =	Zufuhr in kg - Abfuhr in kg	-2.532.303	-1.102.796	-1.338.230
Saldo in kg/ha =	Zufuhr in kg/ha - Abfuhr in kg/ha	-88	-38	-46

Tabelle A15: Ackerfläche A1 (GP): Bodenphysikalische und bodenchemische Analysenwerte (42 Einzelproben aus dem Ap-Horizont, Probenahmeraster 20 x 20 m)

Probe	Bodenart	Tongehalt (Gew.-%)	Trockenroh-dichte (g/cm ³)	Skelett-gehalt (Gew.-%)	Corg. (Gew.-% lutro Feinboden)	Ccarb. (Gew.-% lutro Feinboden)
1	Ut4	22,85	n.b.	24,10	2,04	0
2		n.b.	n.b.	13,20	1,78	0
3	Ut4	23,64	n.b.	15,20	1,89	0
4		n.b.	0,83	14,10	1,93	0
5	Ut4	23,06	n.b.	21,80	1,84	0
6		n.b.	n.b.	10,20	1,78	0
7	Ut4	24,03	0,88	13,00	2,02	0
8		n.b.	n.b.	11,70	1,95	0
9	Ut4	22,96	n.b.	14,00	2,00	0
10		n.b.	n.b.	9,40	1,94	0
11	Ut4	20,62	1,15	13,10	1,80	0
12		n.b.	1,17	9,30	1,76	0
13	Ut4	21,91	n.b.	15,60	1,81	0
14		n.b.	n.b.	20,10	1,84	0
15	Ut4	22,27	n.b.	22,10	1,96	0
16		n.b.	1,15	21,10	1,94	0
17	Ut4	21,18	n.b.	10,90	1,83	0
18		n.b.	n.b.	13,60	1,96	0
19	Ut4	21,45	0,90	11,90	1,84	0
20		n.b.	n.b.	9,60	1,82	0
21	Ut4	21,87	1,09	12,20	1,78	0
22		n.b.	n.b.	17,20	1,85	0
23	Ut4	22,93	n.b.	17,50	1,77	0
24		n.b.	1,16	10,50	1,82	0
25	Ut4	23,09	n.b.	17,80	1,29	0
26		n.b.	n.b.	18,70	1,40	0
27	Ut4	23,99	n.b.	7,10	1,66	0
28		n.b.	0,90	10,00	1,79	0
29	Ut4	23,69	n.b.	12,30	1,71	0
30		n.b.	n.b.	14,50	1,96	0
31	Ut4	24,39	n.b.	14,70	1,71	0
32		n.b.	1,10	13,20	1,76	0
33	Ut4	21,62	n.b.	7,30	1,84	0
34		n.b.	1,13	10,90	1,91	0
35	Ut4	23,08	n.b.	12,60	2,12	0
36		n.b.	n.b.	18,80	2,04	0
37	Ut4	24,16	n.b.	13,50	2,18	0
38		n.b.	0,99	13,40	1,91	0
39	Ut4	21,30	n.b.	13,10	1,91	0
40		n.b.	n.b.	11,70	2,20	0
41	Ut4	??	n.b.	9,80	2,15	0
42			n.b.	12,00	1,99	0
Arithmet. Mittel		22,7	1,04	13,88	1,87	
Standard-Abweichung		1,1	0,13	4,04	0,17	
Maximum		24,4	1,17	24,1	2,20	
Minimum		20,6	0,83	7,1	1,29	

Tabelle A16: Ackerfläche A1 (GP): Schwermetallgesamtgehalte, mobile Cd- und Zn-Gehalte und pH-Werte (42 Proben aus Ap-Horizont, Probenahmeraster 20 x 20 m)

Probe	Gesamtgehalte (mg/kg TS)					Mobile Gehalte (mg/kg TS)		pH
	Cd ges.	Cu ges.	Ni ges.	Pb ges.	Zn ges.	Cd mob.	Zn mob.	
1	0,3	14	28	34	63	0,003	<0,08	6,5
2	0,3	13	27	34	59	0,016	0,30	5,5
3	0,3	14	28	32	60	0,038	1,03	5,1
4	0,2	13	27	28	59	0,035	0,82	5,1
5	0,3	13	28	32	60	0,045	1,10	5,0
6	0,3	16	30	32	67	0,038	1,10	5,1
7	0,3	13	27	29	64	0,009	0,13	5,8
8	0,2	12	24	27	63	0,022	0,56	5,3
9	0,3	12	26	27	63	0,044	1,17	5,1
10	0,3	11	26	31	64	0,028	0,62	5,3
11	0,3	11	26	28	67	0,025	0,51	5,3
12	0,3	12	28	29	67	0,033	0,67	5,2
13	0,3	12	27	31	68	0,023	0,56	5,3
14	0,3	12	26	28	65	0,007	0,08	6,1
15	0,4	12	25	31	64	0,003	0,08	6,7
16	0,4	11	24	28	62	0,026	0,52	5,3
17	0,3	12	25	32	61	0,046	1,45	4,9
18	0,3	12	24	27	61	0,011	0,19	5,8
19	0,3	13	24	28	63	0,031	0,74	5,2
20	0,2	13	25	26	60	0,018	0,31	5,5
21	0,4	12	27	30	60	0,028	0,74	5,2
22	0,5	13	29	29	61	0,016	0,38	5,5
23	0,4	11	23	26	48	0,025	0,68	5,2
24	0,4	13	29	33	63	0,004	0,09	6,1
25	0,3	12	29	25	56	0,011	0,18	5,7
26	0,3	12	32	23	53	0,005	<0,08	6,1
27	0,4	13	28	29	58	0,032	0,48	5,2
28	0,4	12	27	30	61	0,039	0,54	5,2
29	0,5	13	29	27	57	0,008	0,08	6,0
30	0,5	13	28	29	60	0,020	0,30	5,5
31	0,4	13	27	28	57	0,021	0,27	5,2
32	0,4	13	27	29	60	0,036	0,56	5,3
33	0,4	13	27	34	59	0,015	0,14	5,8
34	0,5	12	25	30	58	0,012	0,08	5,8
35	0,5	13	24	33	64	0,020	0,13	5,8
36	0,5	13	25	32	63	0,005	<0,08	6,8
37	0,5	12	23	32	63	0,012	<0,08	6,2
38	0,6	11	24	30	64	0,007	<0,08	6,1
39	0,6	11	25	31	65	0,025	0,20	5,5
40	0,5	11	25	32	110	0,018	0,14	5,7
41	0,5	12	24	31	67	0,013	0,11	5,9
42	0,5	12	26	31	70	0,003	<0,08	6,2
Arithmet. Mittel	0,4	12	26	30	63	0,021	0,47	5,6
Standard- Abweichung	0,1	1	2	2	9	0,01	0,37	0,5
Maximum	0,6	16	32	34	110	0,046	1,45	6,8
Minimum	0,2	11	23	23	48	0,0	0,08	4,9

Tabelle A17: Ackerfläche A2 (GP): Bodenphysikalische und bodenchemische Analysenwerte (26 Einzelproben aus dem Ap-Horizont, Probenahmeraster 20 x 20 m)

Probe	Bodenart	Tongehalt (Gew.-%)	Trockenroh- dichte (g/cm ³)	Skelett- gehalt (Gew.-%)	Corg. (Gew.-% lutro Feinboden)	Ccarb. (Gew.-% lutro Feinboden)
56	Ut4	22,73	1,10	8,90	1,90	0
57	Ut4	23,65	1,04	9,20	2,00	0
58	Ut4	24,54	1,12	11,60	2,20	0
59	Ut4	24,44	1,03	11,30	2,51	0
60	Ut4	23,56	1,02	8,30	2,51	0
61	Ut4	22,34	1,16	10,20	2,06	0
62	Ut4	22,01	1,17	7,70	2,13	0
63	Ut4	22,87	n.b.	11,60	2,33	0
64	Ut4	21,64	n.b.	8,90	2,00	0
65	Ut4	22,27	n.b.	12,00	2,27	0
66	Ut4	21,08	n.b.	14,50	2,11	0
67	Ut4	22,62	n.b.	13,70	2,10	0
68	Ut4	23,21	n.b.	10,80	1,99	0
69	Ut4	22,15	1,09	14,10	2,03	0
70	Ut4	21,73	1,10	13,00	2,22	0
71	Ut4	21,46	1,05	17,20	1,84	0
72	Ut4	22,33	0,95	13,60	2,25	0
73	Ut4	23,31	0,95	6,30	2,18	0
74	Ut4	22,47	n.b.	9,10	1,96	0
75	Ut4	21,43	0,99	11,30	1,87	0
76	Ut4	23,29	0,82	17,50	2,03	0
77	Ut4	23,10	n.b.	22,10	1,97	0
78	Ut4	24,31	0,94	19,80	2,16	0
79	Ut4	22,29	1,01	13,60	2,24	0
80	Ut4	22,45	0,87	7,80	2,02	0
81	Ut4	24,45	0,95	8,00	1,90	0
Arithmet. Mittel		22,76	1,02	12,00	2,11	
Standard- Abweichung		0,98	0,10	3,90	0,18	
Maximum		24,54	1,17	22,10	2,51	
Minimum		21,08	0,82	6,30	1,84	

Tabelle A18: Ackerfläche A2 (GP): Schwermetallgesamtgehalte, mobile Cd- und Zn-Gehalte und pH-Werte (26 Proben aus dem Ap-Horizont, Probenahmeraster 20 x 20 m)

Probe	Gesamtgehalte (mg/kg TS)					Mobile Gehalte (mg/kg TS)		pH
	Cd ges.	Cu ges.	Ni ges.	Pb ges.	Zn ges.	Cd mob.	Zn mob.	
56	0,4	12	24	32	57	0,036	0,38	5,3
57	0,4	15	25	33	62	0,041	0,60	5,2
58	0,5	13	25	35	63	0,019	0,20	5,6
59	0,4	12	25	30	63	0,008	0,10	5,9
60	0,4	12	24	30	65	0,018	0,30	5,5
61	0,4	12	26	30	64	0,030	0,54	5,2
62	0,4	12	25	32	65	0,043	0,93	5,0
63	0,4	12	22	30	66	0,028	0,94	5,1
64	0,4	13	23	32	66	0,037	0,86	5,1
65	0,4	12	23	33	68	0,009	0,35	5,5
66	0,4	12	23	30	68	0,037	0,29	5,6
67	0,4	11	26	31	73	0,049	1,12	5,0
68	0,4	12	24	31	73	0,008	0,54	5,3
69	0,4	11	23	32	71	0,015	0,27	5,5
70	0,4	12	24	33	74	0,028	0,35	5,5
71	0,4	12	24	31	71	0,037	0,54	5,2
72	0,5	11	23	30	68	0,015	0,18	5,7
73	0,4	13	24	32	67	0,019	0,39	5,5
74	0,5	12	23	37	62	0,039	0,61	5,1
75	0,4	12	24	29	62	0,042	1,00	5,0
76	0,4	12	24	30	63	0,047	0,73	5,1
77	0,4	13	25	31	64	0,051	0,91	5,0
78	0,4	13	25	30	67	0,051	0,27	5,5
79	0,4	12	23	31	66	0,020	0,28	5,6
80	0,4	14	25	40	60	0,014	0,29	5,5
81	0,4	13	26	32	59	0,023	0,64	5,1
Arithmet. Mittel	0,4	12	24	32	66	0,029	0,52	5,3
Standard- Abweichung	0,0	1	1	2	4	0,01	0,29	0,3
Maximum	0,5	15	26	40	74	0,1	1,12	5,9
Minimum	0,4	11	22	29	57	0,0	0,10	5,0

Tabelle A19: Ackerflächen A3 bis A6 im Teiluntersuchungsgebiet Göppingen, von denen Mischproben untersucht wurden: Bodenphysikalische und bodenchemische Analysenwerte (jeweils Mischproben aus dem Ap-Horizont)

Probe	Bodenart	Tongehalt (Gew.-%)	Trockenroh- dichte (g/cm ³)	Skelett- gehalt (Gew.-%)	Corg. (Gew.-% lutro Feinboden)	Ccarb. (Gew.-% lutro Feinboden)
A3						
83	Tu3	31,41	1,19	15,40	2,05	0,00
84	Tu3	31,80	1,19	15,00	2,11	0,00
Arithmet. Mittel		31,61	1,19	15,20	2,08	0,00
Standard- Abweichung		0,28	0,00	0,28	0,04	0,00
A4						
85	Tu3	34,28	1,26	6,10	1,85	0,00
86	Tu3	34,22	1,18	6,50	2,00	0,00
87	Tu3	32,36	1,18	9,65	2,05	0,00
Arithmet. Mittel		33,30	1,20	7,98	1,99	0,00
Standard- Abweichung		1,12	0,04	2,01	0,09	0,00
A5						
88	Tu4	25,89	1,18	18,30	1,80	0,00
89	Lu	26,04	1,17	25,90	1,90	0,00
90	Lu	26,52	1,20	20,70	1,90	0,00
Arithmet. Mittel		26,15	1,18	21,63	1,87	0,00
Standard- Abweichung		0,33	0,02	3,89	0,06	0,00
A6						
130	Tu3	30,28	0,92	43,10	3,78	0,00
131	Tu4	29,07	0,97	35,90	3,36	0,00
132	Lu	29,04	0,89	27,60	3,51	0,00
Arithmet. Mittel		29,46	0,93	35,53	3,55	0,00
Standard- Abweichung		0,71	0,04	7,76	0,21	0,00

Tabelle A20: Ackerflächen A3 bis A6 im Teiluntersuchungsgebiet Göppingen, von denen Mischproben untersucht wurden: Schwermetallgesamtgehalte, mobile Cd- und Zn-Gehalte und pH-Werte (Jeweils Mischproben aus Ap-Horizont)

Probe	Gesamtgehalte (mg/kg TS)					Mobile Gehalte (mg/kg TS)		pH
	Cd ges.	Cu ges.	Ni ges.	Pb ges.	Zn ges.	Cd mob.	Zn mob.	
A3								
83	0,5	18	38	37	61	0,058	1,48	4,8
84	0,5	18	42	37	63	0,015	0,27	5,6
Arithmet. Mittel	0,5	18	40	37	62	0,037	0,87	5,2
Standard- Abweichung	0,0	0	3	0	1	0,030	0,86	0,6
A4								
85	0,5	15	37	29	63	0,018	0,21	5,6
86	0,5	14	33	31	62	0,008	0,09	6,0
87	0,5	15	33	30	66	0,007	0,18	5,9
Arithmet. Mittel	0,5	15	34	30	64	0,010	0,16	5,9
Standard- Abweichung	0,0	1	2	1	2	0,006	0,07	0,2
A5								
88	0,4	15	30	33	61	0,019	0,54	5,3
89	0,5	16	32	34	63	0,020	0,62	5,3
90	0,4	17	37	33	63	0,008	0,76	5,2
Arithmet. Mittel	0,4	16	33	33	62	0,016	0,64	5,3
Standard- Abweichung	0,1	1	4	1	1	0,007	0,11	0,1
A6								
130	0,4	16	19	38	75	0,017	0,49	5,2
131	0,4	14	21	34	75	0,018	0,42	5,2
132	0,4	15	21	36	74	0,020	0,58	5,1
Arithmet. Mittel	0,4	15	20	36	75	0,018	0,49	5,2
Standard- Abweichung	0,0	1	1	2	1	0,002	0,08	0,1

Tabelle A21: Grünlandfläche G1 (GP): Bodenphysikalische und bodenchemische Analysenwerte (10 Einzelproben aus dem Ah-Horizont)

Probe	Bodenart	Tongehalt (Gew.-%)	Trockenroh-dichte (g/cm ³)	Skelett-gehalt (Gew.-%)	Corg. (Gew.-% lutro Feinboden)	Ccarb. (Gew.-% lutro Feinboden)
165	Tu3	43,64	0,92	2,20	4,10	0,00
166		n.b.	0,98	1,00	4,91	0,00
167	Tu2	45,60	0,97	0,30	5,17	0,00
168		n.b.	1,00	1,30	4,48	0,00
169	Tu3	42,74	1,21	1,00	3,54	0,00
170		n.b.	1,15	0,40	4,23	0,00
171	Tu3	32,38	1,05	1,10	3,84	0,00
172		n.b.	0,97	2,90	2,79	0,00
173	Tu3	32,40	1,08	1,90	2,91	0,00
174		n.b.	1,06	4,00	3,10	0,00
Arithmet. Mittel		39,35	1,04	1,61	3,91	0,00
Standard-Abweichung		6,44	0,09	1,16	0,82	0,00
Maximum		45,60	1,21	4,00	5,17	0,00
Minimum		32,38	0,92	0,30	2,79	0,00

Tabelle A22: Grünlandfläche G1 (GP): Schwermetallgesamtgehalte, mobile Cd- und Zn-Gehalte und pH-Werte (10 Proben aus dem Ah-Horizont)

Probe	Gesamtgehalte (mg/kg TS)					Mobile Gehalte (mg/kg TS)		pH
	Cd ges.	Cu ges.	Ni ges.	Pb ges.	Zn ges.	Cd mob.	Zn mob.	
165	1,0	23	42	42	97	0,019	0,29	5,6
166	0,7	23	45	32	99	0,019	0,50	5,4
167	1,0	26	46	41	110	0,032	0,46	5,4
168	0,9	23	45	33	98	0,016	0,48	5,3
169	0,8	23	44	34	93	0,038	0,39	5,3
170	0,5	18	34	30	79	0,042	1,87	4,7
171	0,6	18	36	34	88	0,020	1,26	4,9
172	0,5	16	33	30	77	0,030	0,39	5,2
173	0,6	18	38	36	83	0,021	0,66	5,0
174	0,6	18	38	37	84	0,031	0,46	5,1
Arithmet. Mittel	0,7	21	40	35	91		0,68	5,2
Standard-Abweichung	0,2	3	5	4	10	0,049	0,50	0,3
Maximum	1,0	26	46	41	110	0,180	1,87	5,6
Minimum	0,5	16	33	30	77	0,016	0,29	4,7

Tabelle A23: Grünlandfläche G2 (GP): Bodenphysikalische und bodenchemische Analysenwerte (12 Einzelproben aus dem Ah-Horizont)

Probe	Bodenart	Tongehalt (Gew.-%)	Trockenroh-dichte (g/cm)	Skelett-gehalt (Gew.-%)	Corg. (Gew.-% lutro Feinboden)	Ccarb. (Gew.-% lutro Feinboden)
175	Lu	28,40	0,97	4,70	4,46	0,0
176		n.b.	1,04	6,10	3,67	0,0
177	Tu3	30,40	0,93	6,70	4,09	0,0
178		n.b.	0,95	15,90	4,19	0,0
179	Tu3	36,20	1,00	5,70	4,27	0,0
180		n.b.	1,04	3,10	3,79	0,0
181	Lu	26,30	0,77	7,60	3,64	0,0
182		n.b.	1,06	4,60	4,47	0,0
183	Tu3	31,20	1,06	4,50	3,77	0,0
184		n.b.	1,05	7,90	3,56	0,0
185	Lu	26,90	1,01	9,90	4,50	0,0
186		n.b.	0,84	15,00	4,06	0,0
Arithmet. Mittel		29,88	0,98	7,64	4,03	0,0
Standard-Abweichung		3,62	0,09	4,08	0,33	0,0
Maximum		36,16	1,06	15,90	4,50	0,0
Minimum		26,33	0,77	3,10	3,56	0,0

Tabelle A24: Grünlandfläche G2 (GP): Schwermetallgesamtgehalte, mobile Cd- und Zn-Gehalte und pH-Werte (12 Proben aus dem Ah-Horizont)

Probe	Gesamtgehalte (mg/kg TS)					Mobile Gehalte (mg/kg TS)		pH
	Cd ges.	Cu ges.	Ni ges.	Pb ges.	Zn ges.	Cd mob.	Zn mob.	
175	0,6	16	29	46	89	0,006	0,19	5,7
176	0,4	17	31	53	91	0,005	0,13	5,6
177	0,3	15	28	44	88	0,035	0,72	5,1
178	0,1	20	37	51	94	0,004	0,62	5,1
179	0,9	20	36	41	102	0,031	0,85	5,1
180	0,5	18	30	46	93	0,003	0,95	5,0
181	0,1	15	30	49	87	0,009	0,38	5,4
182	0,1	18	31	47	93	0,022	1,04	5,0
183	0,7	19	35	45	100	0,018	0,64	5,1
184	0,3	15	28	43	83	0,015	0,32	5,3
185	0,0	19	35	50	111	0,028	0,53	5,3
186	0,0	19	37	48	108	0,025	1,08	4,9
Arithmet. Mittel	0,3	18	32	47	95	0,019	0,62	5,2
Standard-Abweichung	0,3	2	3	3	9	0,011	0,32	0,3
Maximum	0,9	20	37	53	111	0,035	1,08	5,7
Minimum	0,0	15	28	41	83	0,003	0,13	4,9

Tabelle A25: Grünlandfläche G3 (GP): Bodenphysikalische und bodenchemische Analysenwerte (10 Einzelproben aus dem Ah-Horizont)

Probe	Bodenart	Tongehalt (Gew.-%)	Trockenroh-dichte (g/cm ³)	Skelett-gehalt (Gew.-%)	Corg. (Gew.-% lutro Feinboden)	Ccarb. (Gew.-% lutro Feinboden)
187	Lu	27,85	0,95	0,30	3,78	0,0
188		n.b.	0,78	0,10	4,53	0,0
189	Tu3	32,73	0,85	0,70	4,29	0,0
190		n.b.	0,98	0,70	4,03	0,0
191	Tu3	33,57	1,07	0,10	4,07	0,0
192		n.b.	0,95	0,20	4,92	0,0
193	Tu3	33,00	1,01	0,80	3,64	0,0
194		n.b.	0,84	1,50	3,90	0,0
195	Tu3	31,90	1,02	0,60	3,66	0,0
196		n.b.	0,93	1,40	3,98	0,0
Arithmet. Mittel		31,81	0,94	0,64	4,08	0,0
Standard-Abweichung		2,29	0,09	0,50	0,40	0,0
Maximum		33,57	1,07	1,50	4,92	0,0
Minimum		27,85	0,78	0,10	3,64	0,0

Tabelle A26: Grünlandfläche G3 (GP): Schwermetallgesamtgehalte, mobile Cd- und Zn-Gehalte und pH-Werte (10 Proben aus dem Ah-Horizont)

Probe	Gesamtgehalte (mg/kg TS)					Mobile Gehalte (mg/kg TS)		pH
	Cd ges.	Cu ges.	Ni ges.	Pb ges.	Zn ges.	Cd mob.	Zn mob.	
187	0,1	15	28	38	60	0,040	1,58	4,6
188	0,1	16	32	40	63	0,043	2,20	4,5
189	n.n.b.	15	35	41	66	0,025	2,62	4,5
190	n.n.b.	15	31	37	59	0,037	1,34	4,6
191	0,1	24	37	53	65	0,062	3,10	4,5
192	0,1	21	43	39	67	0,040	1,90	4,5
193	0,1	20	40	45	67	0,079	3,05	4,4
194	0,1	15	32	39	66	0,048	1,78	4,5
195	n.n.b.	21	38	39	67	0,054	1,87	4,6
196	n.n.b.	17	35	39	67	0,058	1,86	4,5
Arithmet. Mittel		18	35	41	65	0,049	2,13	4,5
Standard-Abweichung		3	5	5	3	0,015	0,60	0,1
Maximum		24	43	53	67	0,025	3,10	4,6
Minimum		15	28	37	59	0,079	1,34	4,4

n.n.b.: noch nicht bestimmt

Tabelle A27: Grünlandfläche G4 (GP): Bodenphysikalische und bodenchemische Analysenwerte (10 Einzelproben aus dem Ah-Horizont)

Probe	Bodenart	Tongehalt (Gew.-%)	Trockenroh-dichte (g/cm ³)	Skelett-gehalt (Gew.-%)	Corg. (Gew.-% lutro Feinboden)	Ccarb. (Gew.-% lutro Feinboden)
197	Lu	29,94	0,79	25,00	6,31	0,0
198			0,86	47,20	6,79	0,0
199	Tu3	31,70	0,94	7,50	5,70	0,0
200			0,83	15,50	6,40	0,0
201	Tu3	32,68	0,88	15,50	5,92	0,0
202			0,83	23,80	4,89	0,0
203	Tu3	32,34	0,93	17,55	5,60	0,0
204			0,94	5,60	5,78	0,0
205	Tu3	31,89	0,93	8,03	5,08	0,0
206			0,94	6,70	5,36	0,0
Arithmet. Mittel		31,71	0,89	17,24	5,78	0,0
Standard-Abweichung		1,06	0,06	12,62	0,60	0,0
Maximum		32,68	0,94	47,20	6,79	0,0
Minimum		29,94	0,79	5,60	4,89	0,0

Tabelle A28: Grünlandfläche G4 (GP): Schwermetallgesamtgehalte, mobile Cd- und Zn-Gehalte und pH-Werte (10 Proben aus dem Ah-Horizont)

Probe	Gesamtgehalte (mg/kg TS)					Mobile Gehalte (mg/kg TS)		pH
	Cd ges.	Cu ges.	Ni ges.	Pb ges.	Zn ges.	Cd mob.	Zn mob.	
197	n.n.b.	14	20	39	78	0,022	0,61	5,1
198	n.n.b.	12	15	44	67	0,022	1,04	4,9
199	n.n.b.	13	23	35	79	0,016	0,53	5,1
200	n.n.b.	15	19	47	79	0,018	0,58	5,1
201	n.n.b.	13	22	34	78	0,012	0,59	5,0
202	n.n.b.	13	22	33	73	0,034	0,35	5,2
203	n.n.b.	13	23	33	75	0,016	0,75	4,8
204	n.n.b.	12	19	36	71	0,032	0,38	5,2
205	n.n.b.	13	25	35	78	0,009	0,39	5,1
206	n.n.b.	12	20	38	70	0,024	0,28	5,1
Arithmet. Mittel		13	21	37	75	0,021	0,55	5,1
Standard-Abweichung		1	3	5	4	0,008	0,22	0,1
Maximum		15	25	47	79	0,034	1,04	5,2
Minimum		12	15	33	67	0,009	0,28	4,8

n.n.b. = noch nicht bestimmt

Tabelle A29: Grünlandfläche G5 (GP): Bodenphysikalische und bodenchemische Analysenwerte (10 Einzelproben aus dem Ah-Horizont)

Probe	Bodenart	Tongehalt (Gew.-%)	Trockenroh-dichte (g/cm ³)	Skelett-gehalt (Gew.-%)	Corg. (Gew.-% lutro Feinboden)	Ccarb. (Gew.-% lutro Feinboden)
207	Tu4	29,77	0,91	1,90	4,97	0,0
208			0,71	0,40	6,04	0,0
209	Tu4	30,26	0,84	6,80	4,77	0,0
210			0,84	4,70	5,22	0,0
211	Tu4	30,91	0,68	0,26	6,74	0,0
212			0,68	2,00	7,47	0,0
213	Tu4	29,80	0,81	10,03	4,95	0,0
214			0,67	5,30	6,67	0,0
215	Tu4	30,70	0,61	4,10	6,17	0,0
216			0,68	1,40	7,72	0,0
Arithmet. Mittel		30,29	0,74	3,69	6,07	0,0
Standard-Abweichung		0,52	0,10	3,12	1,07	0,0
Maximum		30,91	0,91	10,03	7,72	0,0
Minimum		29,77	0,61	0,26	4,77	0,0

Tabelle A30: Grünlandfläche G5 (GP): Schwermetallgesamtgehalte, mobile Cd- und Zn-Gehalte und pH-Werte (10 Proben aus dem Ah-Horizont)

Probe	Gesamtgehalte (mg/kg TS)					Mobile Gehalte (mg/kg TS)		pH
	Cd ges.	Cu ges.	Ni ges.	Pb ges.	Zn ges.	Cd mob.	Zn mob.	
207	n.n.b.	11	21	32	63	0,009	0,40	5,0
208	n.n.b.	11	21	31	70	0,030	0,52	5,0
209	n.n.b.	10	21	30	63	0,011	0,40	5,0
210	n.n.b.	11	21	34	63	0,020	0,24	5,1
211	0,3	11	20	39	68	0,008	0,56	4,9
212	0,2	9	18	37	63	0,029	0,92	4,7
213	0,2	11	22	38	66	0,007	0,27	5,1
214	0,2	11	19	44	68	0,021	0,33	5,1
215	0,2	10	19	41	64	0,044	0,60	4,8
216	0,3	10	18	38	67	0,025	0,71	5,0
Arithmet. Mittel		11	20	36	66	0,020	0,50	5,0
Standard-Abweichung		1	1	5	3	0,012	0,21	0,1
Maximum		11	22	44	70	0,044	0,92	5,1
Minimum		9	18	30	63	0,007	0,24	4,7

n.n.b. = noch nicht bestimmt

Tabelle A31: Ackerfläche A12 (LB): Bodenphysikalische und bodenchemische Analysenwerte (18 Einzelproben aus dem Ap-Horizont, Probenahmeraster 20 x 20 m)

Probe	Bodenart	Tongehalt (Gew.-%)	Trockenroh-dichte (g/cm ³)	Skelett-gehalt (Gew.-%)	Corg. (Gew.-% lutro Feinboden)	Ccarb. (Gew.-% lutro Feinboden)
249	Tu4	27,85	1,49	2,80	1,25	1,02
250	Tu4	29,12	1,62	1,20	1,34	0,90
251	Lu	28,22	1,50	0,90	1,46	0,15
252	Tu4	28,54	1,56	0,90	1,13	0,09
253	Lu/Tu3	30,00	1,56	0,80	1,33	0,22
254	Lu	29,91	1,44	1,20	1,54	0,03
255	Tu4	27,32	1,59	0,90	1,21	0,04
256	Lu	29,57	1,56	1,70	1,59	0,03
257	Tu3	30,38	1,57	0,80	1,46	0,07
258	Lu	27,78	1,43	0,50	1,35	0,18
259	Lu	27,55	1,37	0,70	1,46	0,05
260	Lu	28,92	1,45	0,60	1,32	0,04
261	Lu	27,53	1,53	0,90	1,22	0,20
262	Tu3	31,44	1,43	0,90	1,49	0,06
263	Tu3	35,26	1,43	1,90	1,40	0,08
264	Lu	29,71	1,62	1,70	1,31	0,14
265	Tu3	31,09	1,39	2,70	1,50	0,15
266	Lt2	32,85	1,57	3,90	1,42	0,00
Arith. Mittel		29,61	1,51	1,39	1,38	0,19
Standardabw.		2,07	0,08	0,92	0,12	0,29
Maximum		35,26	1,62	3,90	1,59	1,02
Minimum		27,32	1,37	0,50	1,13	0,00

Tabelle A32: Ackerfläche A12 (LB): Schwermetallgesamtgehalte, mobile Cd- und Zn-Gehalte und pH-Werte (18 Proben aus dem Ap-Horizont, Probenahmeraster 20 x 20 m)

Probe	Gesamtgehalte (mg/kg TS)					Mobile Gehalte (mg/kg TS)		pH
	Cd ges.	Cu ges.	Ni ges.	Pb ges.	Zn ges.	Cd mob.	Zn mob.	
249	0,1	20	30	28	62	n.b.	n.b.	7,6
250	0,1	20	31	32	63	n.b.	n.b.	7,6
251	0,1	20	31	31	63	n.b.	n.b.	7,3
252	0,1	19	32	22	57	n.b.	n.b.	7,4
253	0,1	22	32	33	60	n.b.	n.b.	7,0
254	0,1	21	31	33	63	<0,002	<0,02	6,6
255	0,1	20	32	26	57	n.b.	n.b.	7,2
256	0,1	22	30	31	60	n.b.	n.b.	7,0
257	0,1	20	31	30	60	0,002	<0,02	6,5
258	0,1	20	31	25	60	n.b.	n.b.	7,2
259	0,1	21	31	29	60	0,002	<0,02	6,8
260	0,1	20	31	29	60	n.b.	n.b.	7,0
261	0,1	20	31	27	60	n.b.	n.b.	7,3
262	0,1	22	31	32	63	n.b.	n.b.	7,0
263	0,1	20	31	27	60	n.b.	n.b.	7,2
264	0,1	21	30	27	62	n.b.	n.b.	7,3
265	0,1	21	30	30	62	n.b.	n.b.	7,2
266	0,0	19	29	26	58	n.b.	n.b.	7,0
Arith. Mittel	0,1	20,40	30,66	28,82	60,54			7,1
Standardabw.	0,02	0,88	0,80	2,87	1,91			0,3
Maximum	0,1	22,15	31,80	32,90	62,90			7,6
Minimum	0,0	19,25	28,50	22,40	57,10			6,5

Tabelle A33: Ackerflächen A7 bis A15 (ohne A12) im Teiluntersuchungsgebiet Ludwigsburg, von denen Mischproben untersucht wurden: Bodenphysikalische und bodenchemische Analysenwerte (Jeweils Mischproben aus dem Ap-Horizont)

Probe	Bodenart	Tongehalt (Gew.-%)	Trockenroh- dichte (g/cm ³)	Skelett- gehalt (Gew.-%)	Corg. (Gew.-% lutro Feinboden)	Ccarb. (Gew.-% lutro Feinboden)
A7						
227	Tu4	28,2	1,41	0,1	1,43	0,13
228	Tu4	29,9	1,41	0,8	1,56	0,32
A14						
229	Tu4	32,4	1,45	0,6	1,10	0,92
230	Tu4	32,5	1,41	0,1	1,16	0,53
A8						
231	Tu4	28,8	1,41	0,3	1,71	1,41
232	Tu4	25,9	1,41	0,9	1,65	2,32
A9						
233	Ut4	22,2	1,45	0,7	1,27	0,23
234	Tu4	27,5	1,50	0,2	1,36	0,03
235	Tu4	27,2	1,57	0,2	1,28	0,04
236	Tu4	28,3	1,49	0,2	1,40	0,10
237	Tu4	28,2	1,56	0,5	1,41	0,04
Arith. Mittel		26,7	1,51	0,36	1,34	0,09
Standardabw.		2,6	0,05	0,23	0,07	0,08
A11						
238	Ut4	23,6	1,41	0,1	1,21	0,05
239	Tu4	28,9	1,41	2,4	1,21	0,06
A15						
240	Tu4	25,7	1,44	0,4	1,25	0,55
241	Tu4	26,7	1,43	0,6	1,36	0,41
A13						
242	Tu4	25,0	1,40	<0,1	1,22	0,12
243	Tu4	29,5	1,40	0,1	1,40	0,03
244	Tu4	33,0	1,46	0,2	1,61	0,00
A10						
247	Tu3	33,9	1,39	1,3	1,37	0,29
248	Tu3	34,5	1,44	0,2	1,30	0,06

Tabelle A34: Ackerflächen A7 bis A15 (ohne A12) im Teiluntersuchungsgebiet Ludwigsburg, von denen Mischproben untersucht wurden: Schwermetallgesamtgehalte, mobile Cd- und Zn-Gehalte und pH-Werte (Jeweils Mischproben aus dem Ap-Horizont)

Probe	Gesamtgehalte (mg/kg TS)					Mobile Gehalte (mg/kg TS)		pH
	Cd ges.	Cu ges.	Ni ges.	Pb ges.	Zn ges.	Cd mob.	Zn mob.	
A7								
227	0,2	23	29	21	67	0,002	<0,02	6,7
228	0,2	25	34	24	72	n.b.	n.b.	7,3
A14								
229	0,2	21	35	21	61	n.b.	n.b.	7,5
230	0,2	21	37	22	62	n.b.	n.b.	7,4
A8								
231	0,7	29	33	30	119	n.b.	n.b.	7,3
232	0,6	26	31	28	108	n.b.	n.b.	7,3
A9								
233	0,2	22	27	23	57	0,003	<0,02	7,4
234	0,2	26	30	25	61	0,002	<0,02	6,5
235	0,1	25	30	23	61	0,003	<0,02	6,5
236	0,1	29	31	25	67	0,002	<0,02	6,5
237	0,1	27	31	26	63	0,003	<0,02	6,6
Arith. Mittel	0,1	26	30	24	62	0,003	--	6,7
Standardabw.	0,05	2,6	1,6	1,3	3,6	0,000	--	0,4
A11								
238	0,1	19	29	21	63	0,002	<0,02	6,6
239	0,1	20	32	21	64	n.b.	n.b.	7,1
A15								
240	0,1	19	29	21	61	n.b.	n.b.	7,5
241	0,1	19	31	23	62	n.b.	n.b.	7,6
A13								
242	0,1	17	29	23	57	0,003	<0,02	6,6
243	0,1	19	31	23	61	0,006	<0,02	6,5
244	0,1	21	36	22	68	n.b.	n.b.	7,3
A10								
247		23	37	25	69	n.b.	n.b.	7,5
248		23	39	25	70	n.b.	n.b.	7,3

Tabelle A36: Düngemittelmengen und Schwermetalleinträge bei Ackerfläche A2 (GP)

		Wirtschaftsdünger						Handelsdünger									
		Flüssigmist/Rind (7,5 % TS)			Festmist/Rind (25 % TS)			NPK 15-15-15			KAS (27% N)			Rekaphos			
		(t TS / ha)	(kg N / ha)		(t TS / ha)	(kg N / ha)		(kg / ha)	(kg N / ha)		(kg / ha)	(kg N / ha)		(kg / ha)	(kg N / ha)		
1995 Sommerklee	Frühjahr							200			30						
	Herbst																
	g / ha							Cd	Cu	Zn							
	Frühjahr							0,47			2,36			25			
	Herbst																
1996 Gerste	Frühjahr							500			75						
	Herbst	6,25															
	g / ha							Cd	Cu	Zn	Cd	Cu	Zn				
	Frühjahr							1,19			5,9			62,7			
	Herbst	2,6						270	1404								
1997 Mais	Frühjahr	2,1			6,25			300			45			150	40,5		
	Herbst																
	g / ha	Cd	Cu	Zn	Cd	Cu	Zn	Cd	Cu	Zn	Cd	Cu	Zn				
	Frühjahr	0,9	91	472	2,6	270	1404	0,71	3,54	37,6	0,05	0,75	8,25				
	Herbst																
1998 Tetragras Mischung	Frühjahr										150			40,5			350
	Herbst																
	g / ha										Cd	Cu	Zn	Cd	Cu	Zn	
	Frühjahr										0,05	0,75	8,25	1,68	8,02	53,7	
	Herbst																
1999 Tetragras- Mischung	Frühjahr										150			40,5			350
	Herbst	6,25															
	g / ha							Cd	Cu	Zn	Cd	Cu	Zn	Cd	Cu	Zn	
	Frühjahr										0,05	0,75	8,25	1,68	8,02	53,7	
	Herbst	2,6						270	1404								
2000 Hafer	Frühjahr							400			60						
	Herbst	2,1															
	g / ha	Cd	Cu	Zn				Cd	Cu	Zn							
	Frühjahr							0,95			4,72			50,1			
	Herbst	0,9	91	472													

Tabelle A39: Düngemittelmengen und Schwermetalleinträge bei Ackerfläche A5 (GP) 1995 bis 2000

		Wirtschaftsdünger				Handelsdünger					
		Flüssigmist Rinder (7,5 % TS)		Festmist Rinder (25 % TS)		NPK 15-15-15		KAS (27% N)			
		(t TS / ha)	(kg N / ha)	(t TS / ha)	(kg N / ha)	(kg/ha)	(kg N / ha)	(kg / ha)	(kg N / ha)		
1995 Mais	Frühjahr	1,8				300	45	200	54		
	Herbst										
	g / ha	Cd	Cu	Zn		Cd	Cu	Zn	Cd	Cu	Zn
	Frühjahr	0,8	78	404		0,71	3,54	37,6	0,06	1	11
	Herbst										
1996 Winter- weizen	Frühjahr					400	60	200	54		
	Herbst	1,4									
	g / ha	Cd	Cu	Zn		Cd	Cu	Zn	Cd	Cu	Zn
	Frühjahr					0,95	4,72	50,1	0,06	1	11
	Herbst	0,6	58	303							
1997 Sommer- gerste	Frühjahr					600	90				
	Herbst										
	g / ha					Cd	Cu	Zn			
	Frühjahr					1,42	7,08	75,2			
	Herbst										
1998 Mais	Frühjahr	1,8				300	45	200	54		
	Herbst										
	g / ha	Cd	Cu	Zn		Cd	Cu	Zn	Cd	Cu	Zn
	Frühjahr	0,8	78	404		0,71	3,54	37,6	0,06	1	11
	Herbst										
1999 Winter- weizen	Frühjahr					400	60	200	54		
	Herbst	1,4									
	g / ha	Cd	Cu	Zn		Cd	Cu	Zn	Cd	Cu	Zn
	Frühjahr					0,95	4,72	50,1	0,06	1	11
	Herbst	0,6	58	303							
2000 Sommer- gerste	Frühjahr					600	90				
	Herbst										
	g / ha					Cd	Cu	Zn			
	Frühjahr					1,42	7,08	75,2			
	Herbst										

Tabelle A41: Düngemittelmengen und Schwermetalleinträge bei Ackerfläche A7 (LB) 1995 bis 2000

		Wirtschaftsdünger			Handelsdünger		
		Festmist Schweine (25% TS)			KAS (27% N)		
		(t TS / ha)	(kg N / ha)		(kg / ha)	(kg N / ha)	
1995 Zucker- rüben	Frühjahr				166,67	45	
	Herbst						
	g / ha				Cd	Cu	Zn
	Frühjahr				0,05	0,83	9,17
	Herbst						
1996 Winter- weizen	Frühjahr				444,44	120	
	Herbst						
	g / ha				Cd	Cu	Zn
	Frühjahr				0,14	2,22	24,5
	Herbst						
1997 Winter- gerste	Frühjahr				333,33	90	
	Herbst	3,75					
	g / ha	Cd	Cu	Zn	Cd	Cu	Zn
	Frühjahr				0,1	1,66	18,3
	Herbst	1,88	2027	4238			
1998 Zucker- rüben	Frühjahr				148,15	40	
	Herbst						
	g / ha				Cd	Cu	Zn
	Frühjahr				0,05	0,74	8,15
	Herbst						
1999 Winter- weizen	Frühjahr				518,52	140	
	Herbst						
	g / ha				Cd	Cu	Zn
	Frühjahr				0,16	2,59	28,5
	Herbst						
2000 Winter- gerste	Frühjahr				333,33	90	
	Herbst						
	g / ha				Cd	Cu	Zn
	Frühjahr				0,1	1,66	18,3
	Herbst						

Tabelle A42: Düngemittelmengen und Schwermetalleinträge bei Fläche A8 (LB) 1995 bis 2000

		Wirtschaftsdünger			Handelsdünger							
		Flüssigmist Rinder (7,5 % TS)			NPK 15-15-15		KAS (27% N)			Borammon- sulfatsalpeter		
		(t TS/ ha)	(kg N / ha)		(kg/ ha)	(kg N / ha)	(kg / ha)	(kg N / ha)	(kg / ha)	(kg N / ha)		
1995 Hafer, Kartoffeln	Frühjahr						222,22		60			
	Herbst											
	g / ha						Cd	Cu	Zn			
	Frühjahr						0,07	1,11	12,2			
	Herbst											
1996 Winter- weizen	Frühjahr	1,5		51			444,44		120			
	Herbst	2,25										
	g / ha	Cd	Cu	Zn			Cd	Cu	Zn			
	Frühjahr	0,6	65	337			0,14	2,22	24,5			
	Herbst	0,9	97	505								
1997 Zucker- rüben	Frühjahr									346,2	90	
	Herbst											
	g / ha									Cd	Cu	Zn
	Frühjahr									0,02	0,87	0,73
	Herbst											
1998 Winter- weizen	Frühjahr	1,5					481,48		130			
	Herbst											
	g / ha	Cd	Cu	Zn			Cd	Cu	Zn			
	Frühjahr	0,6	65	337			0,15	2,4	26,5			
	Herbst											
1999 Silomais	Frühjahr	2,25					370,37		100			
	Herbst	1,5										
	g / ha	Cd	Cu	Zn			Cd	Cu	Zn			
	Frühjahr	0,9	97	505			0,11	1,85	20,4			
	Herbst	0,6	65	337								
2000 Winter- weizen	Frühjahr	1,5			518,52	140						
	Herbst											
	g / ha	Cd	Cu	Zn	Cd	Cu	Zn					
	Frühjahr	0,6	65	337	0,16	2,59	28,5					
	Herbst											

Tabelle A43: Düngemittelmengen und Schwermetalleinträge bei Fläche A9 (LB) 1995 bis 2000

		Wirtschaftsdünger						Handelsdünger				
		Flüssigmist Rinder (7,5 % TS)			Festmist Rinder (25 % TS)			NPK 14-10-20		KAS (27% N)		
		(t TS / ha)	(kg N / ha)		(t TS / ha)	(kg N / ha)		(kg/ha)	(kg N / ha)	(kg / ha)	(kg N / ha)	
1995 Sommer- gerste	Frühjahr								259,26	70		
	Herbst	2,25										
	g / ha	Cd	Cu	Zn					Cd	Cu	Zn	
	Frühjahr								0,08	1,29	14,3	
	Herbst	0,95	97,1	505								
1996 Silomais	Frühjahr	2,25							444,44	120		
	Herbst											
	g / ha	Cd	Cu	Zn					Cd	Cu	Zn	
	Frühjahr	0,95	97,1	505					0,14	2,22	24,5	
	Herbst											
1997 Winter- weizen	Frühjahr								481,48	130		
	Herbst	2,25			7,9							
	g / ha	Cd	Cu	Zn	Cd	Cu	Zn		Cd	Cu	Zn	
	Frühjahr								0,15	2,4	26,5	
	Herbst	0,95	97,1	505	3,3	340	1768					
1998 Kartoffeln	Frühjahr						560	78,4	185,19	50		
	Herbst											
	g / ha						Cd	Cu	Zn	Cd	Cu	Zn
	Frühjahr						1,33	6,61	70,2	0,06	0,92	10,2
	Herbst											
1999 Zucker- rüben	Frühjahr	2,25							444,44	120		
	Herbst											
	g / ha	Cd	Cu	Zn					Cd	Cu	Zn	
	Frühjahr	0,95	97,1	505					0,14	2,22	24,5	
	Herbst											
2000 Winter- weizen	Frühjahr								444,44	120		
	Herbst				9,8							
	g / ha				Cd	Cu	Zn		Cd	Cu	Zn	
	Frühjahr								0,14	2,22	24,5	
	Herbst				4,1	425	2210					

Tabelle A44: Düngemittelmengen und Schwermetalleinträge bei Fläche A10 (LB) 1995 bis 2000

		Wirtschaftsdünger			Handelsdünger			
		Festmist Rinder (25 % TS)		NPK (Blaukorn)		KAS (27% N)		
		(t TS / ha)	(kg N / ha)	(kg/ha)	(kg N / ha)	(kg / ha)	(kg N / ha)	
1995 Winter- weizen / Senf	Frühjahr					481,48	130	
	Herbst							
	g / ha					Cd	Cu	Zn
	Frühjahr					0,15	2,4	26,5
	Herbst							
1996 Sommer- gerste	Frühjahr					148,2	40	
	Herbst	6,25						
	g / ha	Cd	Cu	Zn		Cd	Cu	Zn
	Frühjahr					0,05	0,74	8,15
	Herbst	2,6	270	1404				
1997 Kartoffeln	Frühjahr			266,7	40			
	Herbst							
	g / ha			Cd	Cu	Zn		
	Frühjahr			0,63	3,15	33,4		
	Herbst							
1998 Winter- weizen	Frühjahr					444,44	120	
	Herbst							
	g / ha					Cd	Cu	Zn
	Frühjahr					0,14	2,22	24,5
	Herbst							
1999 Sommer- gerste	Frühjahr					148,15	40	
	Herbst							
	g / ha					Cd	Cu	Zn
	Frühjahr					0,05	0,74	8,15
	Herbst							
2000 Silomais	Frühjahr					370,37	100	
	Herbst							
	g / ha					Cd	Cu	Zn
	Frühjahr					0,11	1,85	20,4
	Herbst							

Tabelle A45: Düngemittelmengen und Schwermetalleinträge bei Fläche A11 (LB) 1995 bis 2000

		Handelsdünger							
		NPK			KAS (27% N)				
		(kg/ha)	(kg N / ha)		(kg / ha)	(kg N / ha)			
1995 Zucker- rüben	Frühjahr	636		63,6		273		74	
	Herbst								
	g / ha	Cd	Cu	Zn	Cd	Cu	Zn		
	Frühjahr	1,51	7,51	79,8	0,08	1,36	15		
	Herbst								
1996 Winter- weizen	Frühjahr	409		53,2		364		98	
	Herbst								
	g / ha	Cd	Cu	Zn	Cd	Cu	Zn		
	Frühjahr	0,97	4,83	51,3	0,11	1,81	20		
	Herbst								
1997 Sommer- gerste	Frühjahr	500		70					
	Herbst								
	g / ha	Cd	Cu	Zn					
	Frühjahr	1,19	5,9	62,7					
	Herbst								
1998 Hafer	Frühjahr	364		50,9					
	Herbst								
	g / ha	Cd	Cu	Zn					
	Frühjahr	0,86	4,29	45,6					
	Herbst								
1999 Winter- weizen	Frühjahr	364		54,5		409		110	
	Herbst								
	g / ha	Cd	Cu	Zn	Cd	Cu	Zn		
	Frühjahr	0,86	4,29	45,6	0,13	2,04	22,5		
	Herbst								
2000 Sommer- gerste	Frühjahr	500		75					
	Herbst								
	g / ha	Cd	Cu	Zn					
	Frühjahr	1,19	5,9	62,7					
	Herbst								

Tabelle A46: Düngemittelmengen und Schwermetalleinträge bei Fläche A12 (LB) 1995 bis 2000

		Wirtschaftsdünger			Handelsdünger											
		Festmist Rinder (25% TS)			KAS (27% N)			PK 15/20	Harnstoff 46			PK 14/24				
		(t TS / ha)	(kg N / ha)		(kg / ha)	(kg N / ha)		(kg / ha)	(kg / ha)	(kg N / ha)		(kg / ha)				
1995 Winter- weizen	Frühjahr				630	170,1					200	92		450		
	Herbst															
	g / ha				Cd	Cu	Zn				Cd	Cu	Zn	Cd	Cu	Zn
	Frühjahr				0,2	3,14	34,7				0,01	0,16	0,16	2,16	10,3	69
	Herbst															
1996 Sommer- gerste	Frühjahr				220	59,4										
	Herbst	9														
	g / ha	Cd	Cu	Zn	Cd	Cu	Zn									
	Frühjahr				0,07	1,1	12,1									
	Herbst	3,8	389	2021												
1997 Zucker- rüben	Frühjahr				370	99,9										
	Herbst															
	g / ha				Cd	Cu	Zn									
	Frühjahr				0,11	1,85	20,4									
	Herbst															
1998 Winter- weizen	Frühjahr				630	170,1		450								
	Herbst															
	g / ha				Cd	Cu	Zn	Cd	Cu	Zn						
	Frühjahr				0,2	3,14	34,7	2,16	10,3	69						
	Herbst															
1999 Sommer- gerste	Frühjahr				220	59,4										
	Herbst	9														
	g / ha	Cd	Cu	Zn	Cd	Cu	Zn									
	Frühjahr				0,07	1,1	12,1									
	Herbst	3,8	389	2021												
2000 Zucker- rüben	Frühjahr				330	89,1										
	Herbst															
	g / ha				Cd	Cu	Zn									
	Frühjahr				0,1	1,65	18,2									
	Herbst															

Tabelle A47: Düngemittelmengen und Schwermetalleinträge bei Fläche A13 (LB) 1995 bis 2000

		Handelsdünger					
		KAS (27% N)			PK		
		(kg / ha)	(kg N / ha)		(kg / ha)		
1995 Gerste	Frühjahr	250		67,5			
	Herbst						
	g / ha	Cd	Cu	Zn			
	Frühjahr	0,08	1,25	13,8			
	Herbst						
1996 Zucker- rüben	Frühjahr	800		216			
	Herbst						
	g / ha	Cd	Cu	Zn			
	Frühjahr	0,25	3,99	44			
	Herbst						
1997 Weizen	Frühjahr	600		162			
	Herbst					450	
	g / ha	Cd	Cu	Zn	Cd	Cu	Zn
	Frühjahr	0,19	2,99	33			
	Herbst				2,16	10,3	69
1998 Gerste	Frühjahr	250		67,5			
	Herbst						
	g / ha	Cd	Cu	Zn			
	Frühjahr	0,08	1,25	13,8			
	Herbst						
1999 Zucker- rüben	Frühjahr	800		216			
	Herbst						
	g / ha	Cd	Cu	Zn			
	Frühjahr	0,25	3,99	44			
	Herbst						
2000 Weizen	Frühjahr	600		162			
	Herbst					450	
	g / ha	Cd	Cu	Zn	Cd	Cu	Zn
	Frühjahr	0,19	2,99	33			
	Herbst				2,16	10,3	69

Tabelle A48: Düngemittelmengen und Schwermetalleinträge bei Fläche A14 (LB) 1995 bis 2000

		Kompost			Handelsdünger					
		Häckselgut-Kompost (53% TS)			KAS (27% N)			AHL		
		(kg / ha)	(kg N / ha)		(kg / ha)	(kg N / ha)		(kg / ha)	(kg N / ha)	
1995 Zucker- rüben	Frühjahr				370		99,9			
	Herbst									
	g / ha				Cd	Cu	Zn			
	Frühjahr				0,11	1,85	20,4			
	Herbst									
1996 Winter- weizen	Frühjahr				670		180,9			
	Herbst									
	g / ha				Cd	Cu	Zn			
	Frühjahr				0,21	3,34	36,9			
	Herbst									
1997 Sommer- gerste	Frühjahr				190		51,3	130	36,4	
	Herbst									
	g / ha				Cd	Cu	Zn	Cd	Cu	Zn
	Frühjahr				0,06	0,95	10,5	0	0,82	0,3
	Herbst									
1998 Zucker- rüben	Frühjahr				450		121,5			
	Herbst									
	g / ha				Cd	Cu	Zn			
	Frühjahr				0,14	2,25	24,8			
	Herbst									
1999 Winter- weizen	Frühjahr	5,3			670		180,9			
	Herbst	6,4								
	g / ha	Cd	Cu	Zn	Cd	Cu	Zn			
	Frühjahr	1,6	95,4	403	0,21	3,34	36,9			
	Herbst	1,9	114	483						
2000 Sommer- gerste	Frühjahr	4,2			300		81			
	Herbst									
	g / ha	Cd	Cu	Zn	Cd	Cu	Zn			
	Frühjahr	1,3	76	322	0,09	1,5	16,5			
	Herbst									

Tabelle A49: Düngemittelmengen und Schwermetalleinträge bei Fläche A15 (LB) 1995 bis 2000

		Wirtschaftsdünger			Handelsdünger			
		Flüssigmist Schweine (7,5 % TS)			KAS (27% N)			
		(t TS / ha)	(kg N / ha)		(kg / ha)	(kg N / ha)		
1995 Winter- weizen	Frühjahr							
	Herbst	2,4						
	g / ha	Cd	Cu	Zn				
	Frühjahr							
	Herbst	1,2	1283	2683				
1996 Zucker- rüben	Frühjahr				222,22	60		
	Herbst							
	g / ha				Cd	Cu	Zn	
	Frühjahr				0,07	1,11	12,2	
	Herbst							
1997 Winter- weizen	Frühjahr	2,4			666,67			180
	Herbst							
	g / ha	Cd	Cu	Zn	Cd	Cu	Zn	
	Frühjahr	1,2	1283	2683	0,21	3,33	36,7	
	Herbst							
1998 Winter- weizen	Frühjahr	2,4			666,67			180
	Herbst	2,4						
	g / ha	Cd	Cu	Zn	Cd	Cu	Zn	
	Frühjahr	1,2	1283	2682	0,21	3,33	36,7	
	Herbst	1,2	1283	2682				
1999 Zucker- rüben	Frühjahr				222,22	60		
	Herbst							
	g / ha				Cd	Cu	Zn	
	Frühjahr				0,07	1,11	12,2	
	Herbst							
2000 Winter- weizen	Frühjahr				814,81	220		
	Herbst							
	g / ha				Cd	Cu	Zn	
	Frühjahr				0,25	4,07	44,8	
	Herbst							