



STOFFBILANZEN landwirtschaftlicher Böden
von ausgewählten Betrieben
BEI VERWENDUNG von **KLÄRSCHLAMM**
und **KOMPOST**

TEIL 1: ENDBERICHT



AMT DER O.Ö. LANDESREGIERUNG

STOFFBILANZEN landwirtschaftlicher Böden
von ausgewählten Betrieben
BEI VERWENDUNG von **KLÄRSCHLAMM** und
KOMPOST

TEIL 1: ENDBERICHT

IMPRESSUM:

Auftraggeber: Amt der o.ö. Landesregierung
Abteilung Umweltschutz
Unterabteilung Abfallwirtschaft

Auftragnehmer: TU Wien,
Institut für Wassergüte
und Abfallwirtschaft

Autoren: Iris Reiner
Christoph Lampert
Miriam Piterkova
Paul H. Brunner

Medieninhaber: Land Oberösterreich

Herausgeber: Amt der o.ö. Landesregierung
Abteilung Umweltschutz
Unterabteilung Abfallwirtschaft
Stockhofstraße 40, 4021 Linz

Hersteller: Eigenverlag

LINZ, JÄNNER 1997

Für nomenklatorische Zwecke ist diese Veröffentlichung wie folgt zu zitieren:

Reiner I., Lampert C., Piterkova M., Brunner P. (1996): Stoffbilanzen landwirtschaftlicher Böden von ausgewählten Betrieben bei Verwendung von Klärschlamm und Kompost.
Schriftenreihe der U-AW 01/97 Hrsg. Amt d. o.ö. Landesregierung; Linz 1997

TU Wien

Institut für Wassergüte und Abfallwirtschaft
o.Univ.Prof.Dr. Paul H. Brunner - A-1040 Wien



Abt. Abfallwirtschaft
Karlsplatz 13/226.4

Tel.: +43 1 58 801 3196
Fax: +43 1 504 22 34

email: aws@awsunix.tuwien.ac.at
www: <http://awsunix.tuwien.ac.at>

Stoffbilanzen landwirtschaftlicher Böden von ausgewählten Betriebstypen bei Verwendung von Klärschlamm und Kompost

BKKB 2 - ENDBERICHT

Ausgearbeitet von:

Iris Reiner
Christoph Lampert
Miriam Piterkova
Paul H. Brunner

Im Auftrag des
Amtes der Oberösterreichischen Landesregierung

Wien, Dezember 1996

Kurzfassung

Das Ziel der vorliegenden Arbeit war, zu beschreiben, welche Auswirkungen der Einsatz von Kompost und Klärschlamm auf die Nährstoff- und Schwermetallager des landwirtschaftlichen Bodens hat.

Dazu wurden für 24 Bauernhöfe Stoffbilanzen auf Betriebs- und auf Schlagebene erstellt. Die Betriebe gehören zu vier verschiedenen Betriebstypen und unterscheiden sich zusätzlich durch die verwendeten Düngerarten. Die ausgewählten Stoffe waren Stickstoff und Phosphor, Zink, Kupfer, Blei und Cadmium. Die Bilanzen wurden anhand des Güterumsatzes der einzelnen Landwirte ermittelt. Angaben über Stoffgehalte stammen aus der Literatur und Meßprotokollen über Kompost und Klärschlamm. Folgende Resultate wurden erhalten:

Der Stoffeintrag in den landwirtschaftlichen Boden ist größer als der Austrag. Das Bodenlager wächst jährlich an. Diese Aussage trifft für jeden Betrieb und alle vier Metalle, sowie für Phosphor bei 90% der Betriebe zu. Die Stickstoffbilanzen der Betriebe sind ebenfalls nicht ausgeglichen. Bei gleichbleibender Bewirtschaftung würde sich das Zink- und Kupferlager in 70-100 Jahren verdoppeln. Bei Blei und Cadmium dauert es 2-3 mal so lang. Die Überschüsse stellen eine potentielle Belastung für Wasser, Boden und die Atmosphäre dar.

Die jährliche Zunahme der betrachteten Stoffe ist sowohl in den Bilanzen über die gesamte landwirtschaftliche Nutzfläche des Betriebes, wie auch auf Schlagebene sichtbar. Auf Schlagebene beeinflusst die individuelle landwirtschaftliche Praxis das Ausmaß der Anreicherungen der Stoffe im Boden entscheidend.

Unabhängig davon, ob Kompost, Klärschlamm, Wirtschafts- oder Handelsdünger verwendet wird, wachsen die Schwermetallager der landwirtschaftlichen Böden. Auch die atmosphärische Deposition trägt zum Aufbau der Schwermetallager bei. In Betrieben, die Kompost anwenden, stammen rund 50-70% der Schwermetallmenge, die in den Boden eingetragen wird, aus Kompost. In Betrieben die Klärschlamm verwenden sind es rund 30-50%, die aus Klärschlamm stammen. In Wirtschaftsdüngerverwendenden Betrieben rühren rund 10 bis 60% aus Wirtschaftsdüngern her. Der Rest stammt vorwiegend aus der atmosphärischen Deposition und/oder aus Wirtschaftsdünger.

Die Untersuchung hat gezeigt, daß *generell* der Eintrag von Schwermetallen in den Boden zu hoch ist. Erste Priorität hat deshalb die Reduktion der Verwendung und der Emissionen von Schwermetallen in den vorgelagerten Bereichen, beginnend bei der Gestaltung von Produkten und Verfahren. Die Reduktion der Schwermetalleinträge in den Boden kann nicht erst beim Landwirt ansetzen. Trotz Einhaltung der gesetzlichen Normen von Seiten der Landwirte werden die Schwermetallager in den Böden vergrößert. Die Veränderung des Bodenlagers kann nur dann rechtzeitig erkannt werden, wenn die Summe der Ein- und Austräge des Bodens bekannt ist. Der zukünftige, vorsorgende Bodenschutz sollte sich deshalb zusätzlich zu den Grenz- und Richtwerten im Boden, Kompost oder Klärschlamm an den Gesamtfrachten orientieren



Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung	1
1.1 Zielsetzung.....	2
1.2 Fragestellung.....	3
1.3 Methodisches Vorgehen	3
2 Systemidentifikation.....	5
2.1 Systemgrenzen.....	5
2.1.1 Die zeitliche Grenze	5
2.1.2 Die räumliche Systemgrenze	6
2.2 Prozesse zur Erstellung landwirtschaftlicher Stoffbilanzen	6
2.2.1 Prozesse des Systems „landwirtschaftlicher Betrieb“	6
2.2.2 Prozesse des Systems „Schlag“	8
2.3 Wichtige Güter zur Erstellung landwirtschaftlicher Stoffbilanzen.....	9
2.3.1 Güter des Prozesses Tierhaltung.....	10
2.3.2 Güter des Prozesses Pflanzenbau	11
2.3.3 Güter der Prozesses landwirtschaftlicher Boden	12
3 Auswahl der Betriebe	15
3.1 Beschreibung der Praxisbetriebe	15
4 Berechnung der Güter- und Stoffflüsse.....	21
4.1 Güter- und Stoffflüsse des Prozesses Tierhaltung	21
4.2 Güter- und Stoffflüsse des Prozesses Pflanzenbau.....	23
4.3 Güter- und Stoffflüsse des Prozesses landwirtschaftlicher Boden	24
4.4 Der Spezialfall Wirtschaftsdünger - Berechnungen der Anfallsmengen und Stofffrachten.....	32
4.4.1 Variante 1 - Bilanzierung der Stofffrachten im Wirtschaftsdünger.....	33
4.4.2 Variante 2 - Berechnung der Stofffrachten im Wirtschaftsdünger mittels Literaturdaten	34
4.4.3 Variante 3 - Berechnung der Nährstofffrachten pro Tier.....	39
4.4.4 Vergleich der Varianten 2 und 3 zur Berechnung der Nährstofffrachten im Wirtschaftsdünger	39
4.4.5 Vergleich der Berechnung der Wirtschaftsdüngermengen (Variante 2) mit den Angaben der Landwirte.....	40
4.4.6 Vergleich der Varianten 1 und 2.....	41
4.4.7 Folgerungen aus den Ergebnissen der Berechnungsvarianten der Wirtschaftsdüngerstofffrachten.....	44

5 Stoffbilanzen der landwirtschaftlichen Betriebe	45
5.1 Ergebnisse der Betriebsbilanzen.....	45
5.1.1 Stickstoff.....	45
5.1.2 Phosphor	49
5.1.3 Zink.....	53
5.1.4 Kupfer.....	57
5.1.5 Blei.....	61
5.1.6 Cadmium	65
5.2 Ergebnisse der Schlagbilanzen	69
6 Der Beitrag von Kompost und Klärschlamm zu den Schadstoffbilanzen der landwirtschaftlichen Böden	71
6.1 Auswertung auf Betriebsebene	71
6.1.1 Kompost.....	71
6.1.2 Klärschlamm.....	72
6.1.3 Pflanzenschutzmittel.....	72
6.1.4 Handelsdünger.....	72
6.1.5 Wirtschaftsdünger.....	73
6.1.6 Deposition.....	74
6.2 Auswertung auf Schlagebene.....	77
6.2.1 Kompost.....	77
6.2.2 Klärschlamm.....	77
6.2.3 Pflanzenschutzmittel.....	78
6.2.4 Wirtschaftsdünger.....	78
6.2.5 Deposition.....	78
6.3 Vergleich der Ergebnisse der Betriebsbilanzen mit den Ergebnissen der Schlagbilanzen ⁸⁰	
6.3.1 Anteil der Inputgüter am Gesamtinput	80
7 Nettoeinträge der Schwermetalle in den landwirtschaftlichen Boden in Abhängigkeit der Düngerart.....	83
7.1 Ergebnisse der Betriebsbilanzen.....	83
7.2 Ergebnisse der Schlagbilanzen	86
7.3 Vergleich von Betriebsbilanzen und Schlagbilanzen der Kompost- und Klärschlammbetriebe	86
8 Lagerveränderung der Schwermetalle im Boden in Abhängigkeit der Düngerart.....	89
8.1 Ergebnisse der Schlagbilanzen	90
8.1.1 Auswertung für Zink.....	91
8.1.2 Auswertung für Kupfer.....	92
8.1.3 Auswertung von Blei.....	92
8.1.4 Auswertung von Cadmium.....	93
8.1.5 Zusammenfassung	94

9 Bewertung	95
9.1 Randbedingungen	95
9.2 Ergebnisse der Szenarien.....	95
9.2.1 Zink.....	95
9.2.2 Kupfer.....	96
9.2.3 Blei.....	97
9.2.4 Cadmium	97
9.2.5 Ergebnisse und Folgerungen aus den Szenarien.....	98
10 Nährstoffausnutzung der landwirtschaftlichen Betriebe	101
10.1 Ackerbau.....	102
10.2 Schweinehaltungsbetriebe	102
10.3 Rinderhaltungsbetriebe.....	102
10.4 gemischt wirtschaftende Betriebe.....	103
11 Die Gütererhebungstabellen	105
12 Zusammenfassung und Schlußfolgerungen	109
12.1 Methode	114
12.2 Datenerhebung und -verwaltung.....	115
12.3 Stoffbilanzen.....	109
12.4 Der Anteil verschiedener Güter am Gesamteintrag.....	109
12.5 Jährlicher Nettoeintrag in den Boden	110
12.6 Langfristige Veränderungen des Bodenlagers.....	112
12.7 Nährstoffausnutzung.....	114
12.8 Folgerungen	115
13 Literaturverzeichnis	117

Tabellen- und Abbildungsverzeichnis

Tabelle 2.1: Güter des Prozesses Tierhaltung.....	10
Tabelle 2.2: Güter des Prozesses Pflanzenbau	11
Tabelle 2.3: Güter des Prozesses landwirtschaftlicher Boden.....	12
Tabelle 3.1: Überblick der ausgewählten Betriebe.....	18
Tabelle 3.2: Kurzcharakteristik der Untersuchungsbetriebe.....	19
Tabelle 4.1: Richtwerte für Schwermetalle in Handelsdüngern (mit einen P ₂ O ₅ Gehalt < 5%) [DüngemittelVO 1994].....	25
Tabelle 4.2: Verhältnis NH ₄ : Gesamt-N in verschiedenen Wirtschaftsdüngern.....	28
Tabelle 4.3: Verweilzeiten verschiedener Tiere im Stall.....	34
Tabelle 4.4: physiologisch bedingte Transferkoeffizienten der Ausscheidung von Zink, Kupfer, Blei und Cadmium [eigene Annahmen nach Merian 1984]	38
Tabelle 5.1: Stickstoffbilanzen des landwirtschaftlichen Bodens von Betrieben, die Wirtschafts- und Handelsdünger aufbringen (Berechnung auf Betriebsebene).....	46
Tabelle 5.2: Stickstoffbilanzen des landwirtschaftlichen Bodens von Betrieben, die Kompost aufbringen (Berechnung auf Betriebsebene).....	47
Tabelle 5.3: Stickstoffbilanzen des landwirtschaftlichen Bodens von Betrieben, die Klärschlamm aufbringen (Berechnung auf Betriebsebene).....	48
Tabelle 5.4: Stickstoffbilanzen des landwirtschaftlichen Bodens von Betrieben, die Handelsdünger aufbringen (Berechnung auf Betriebsebene).....	49
Tabelle 5.5: Phosphorbilanzen des landwirtschaftlichen Bodens von Betrieben, die Wirtschafts- und Handelsdünger aufbringen (Berechnung auf Betriebsebene).....	50
Tabelle 5.6: Phosphorbilanzen des landwirtschaftlichen Bodens von Betrieben, die Kompost aufbringen (Berechnung auf Betriebsebene).....	51
Tabelle 5.7: Phosphorbilanzen des landwirtschaftlichen Bodens von Betrieben, die Klärschlamm aufbringen (Berechnung auf Betriebsebene).....	52
Tabelle 5.8: Phosphorbilanzen des landwirtschaftlichen Bodens von Betrieben, die Handelsdünger aufbringen (Berechnung auf Betriebsebene).....	53
Tabelle 5.9: Zinkbilanzen des landwirtschaftlichen Bodens von Betrieben, die Wirtschafts- und Handelsdünger aufbringen (Berechnung auf Betriebsebene).....	54
Tabelle 5.10: Zinkbilanzen des landwirtschaftlichen Bodens von Betrieben, die Kompost aufbringen (Berechnung auf Betriebsebene).....	55
Tabelle 5.11: Zinkbilanzen des landwirtschaftlichen Bodens von Betrieben, die Klärschlamm aufbringen (Berechnung auf Betriebsebene).....	56
Tabelle 5.12: Zinkbilanzen des landwirtschaftlichen Bodens von Betrieben, die Handelsdünger aufbringen (Berechnung auf Betriebsebene).....	57
Tabelle 5.13: Kupferbilanzen des landwirtschaftlichen Bodens von Betrieben, die Wirtschafts- und Handelsdünger aufbringen (Berechnung auf Betriebsebene).....	58
Tabelle 5.14: Kupferbilanzen des landwirtschaftlichen Bodens von Betrieben, die Kompost aufbringen (Berechnung auf Betriebsebene).....	59
Tabelle 5.15: Kupferbilanzen des landwirtschaftlichen Bodens von Betrieben, die Klärschlamm aufbringen (Berechnung auf Betriebsebene).....	60
Tabelle 5.16: Kupferbilanzen des landwirtschaftlichen Bodens von Betrieben, die Handelsdünger aufbringen (Berechnung auf Betriebsebene).....	61

Tabelle 5.17: Bleibilanzen des landwirtschaftlichen Bodens von Betrieben, die Wirtschafts- und Handelsdünger aufbringen (Berechnung auf Betriebsebene).....	62
Tabelle 5.18: Bleibilanzen des landwirtschaftlichen Bodens von Betrieben, die Kompost aufbringen (Berechnung auf Betriebsebene).....	63
Tabelle 5.19: Bleibilanzen des landwirtschaftlichen Bodens von Betrieben, die Klärschlamm aufbringen (Berechnung auf Betriebsebene).....	64
Tabelle 5.20: Bleibilanzen des landwirtschaftlichen Bodens von Betrieben, die Handelsdünger aufbringen (Berechnung auf Betriebsebene).....	65
Tabelle 5.21: Cadmiumbilanzen des landwirtschaftlichen Bodens von Betrieben, die Wirtschafts- und Handelsdünger aufbringen (Berechnung auf Betriebsebene).....	66
Tabelle 5.22: Cadmiumbilanzen des landwirtschaftlichen Bodens von Betrieben, die Kompost aufbringen (Berechnung auf Betriebsebene).....	67
Tabelle 5.23: Cadmiumbilanzen des landwirtschaftlichen Bodens von Betrieben, die Klärschlamm aufbringen (Berechnung auf Betriebsebene).....	68
Tabelle 5.24: Cadmiumbilanzen des landwirtschaftlichen Bodens von Betrieben, die Handelsdünger aufbringen (Berechnung auf Betriebsebene).....	69
Tabelle 7.1: Nettoeintrag der landwirtschaftlichen Böden von kompostaufbringenden Betrieben.....	83
Tabelle 7.2: Nettoeintrag der landwirtschaftlichen Böden von klärschlammaufbringenden Betrieben.....	84
Tabelle 7.3: Nettoeintrag der landwirtschaftlichen Böden von Betrieben, die Wirtschafts- und Handelsdünger aufbringen.....	84
Tabelle 7.4: Nettoeintrag der landwirtschaftlichen Böden von Betrieben, die Handelsdünger aufbringen.....	84
Tabelle 10.1: Die Nährstoffausnutzungen der betrachteten landwirtschaftlichen Betriebe.....	103
Abbildung 2.1: Systemidentifikation des landwirtschaftlichen Betriebes.....	8
Abbildung 2.2: Systemidentifikation des Schlages.....	9
Abbildung 4.1: Histogramm der Kupferkonzentrationswerte (Mittelwerte in ppmTS) in der Gülle von Mastschweinen [Berechnungen von Bauer 1996 nach Aichberger et al. 1995].....	37
Abbildung 4.2: Abweichung zwischen den Berechnungsvarianten 2 und 3.....	40
Abbildung 4.3: Vergleich der berechneten Wirtschaftsdüngermengen mit den von den Landwirten angegebenen Mengen, ausgedrückt als Quotient in %.....	41
Abbildung 4.4: Darstellung der Abweichungen der Stofffrachten im Wirtschaftsdünger zwischen Variante 1 und Variante 2, dargestellt als Mittelwert der betrieblichen Quotienten.....	42
Abbildung 4.5: Die Abweichungen der Einzelbetriebe nach Größen geordnet.....	43
Abbildung 6.1: Der Anteil verschiedener Inputgüter am Gesamteintrag der landwirtschaftlichen Böden der untersuchten Betriebe - Auswertung der Betriebsbilanzen.....	76
Abbildung 6.2 Anteile verschiedener Inputgüter in % des Gesamtinputs - Auswertung der Schlagbilanzen.....	79

Abbildung 6.3: Vergleich der Anteile verschiedener Inputgüter am Gesamtinput zwischen Betriebsbilanzen und Schlagbilanzen (vgl. Tabelle 2, Anhang F).....	81
Abbildung 7.1: Durchschnittlicher Nettoeintrag im Boden in Abhängigkeit der Düngerart in g/ha.a - Auswertung der Betriebsbilanzen.....	85
Abbildung 7.2 Vergleich des Nettoeintrages auf Betriebs- und auf Schlagebene bei Anwendung von Kompost, Klärschlamm, Wirtschafts- und Handelsdünger.....	87
Abbildung 8.1: Veränderung des Zinklagers in % des Bodenlagers/a	91
Abbildung 8.2: Veränderung des Kupferlagers in % des Bodenlagers/a.....	92
Abbildung 8.3: Veränderung des Bleilagers in % des Bodenlagers/a.....	93
Abbildung 8.4: Veränderung des Cadmiumlagers in % des Bodenlagers/a.....	94
Abbildung 9.1: Verdoppelungszeitraum des Zinklagers in Jahren.....	96
Abbildung 9.2: Verdoppelungszeitraum des Kupferlagers in Jahren.....	96
Abbildung 9.3: Verdoppelungszeitraum des Bleilagers in Jahren.....	97
Abbildung 9.4: Verdoppelungszeitraum des Cadmiumlagers in Jahren	98
Abbildung 12.1: Anteil der Güter am Gesamtinput.....	110
Abbildung 12.2: Vergleich des Nettoeintrages und der Lagerveränderung auf Betriebs- und auf Schlagebene	113

1 Einleitung

In Oberösterreich waren 1993 rund 47.000 Personen in landwirtschaftlichen Vollerwerbsbetrieben beschäftigt. Gemeinsam mit den Beschäftigten in 38.000 Zu- und Nebenerwerbsbetrieben erwirtschafteten sie rund 15,7 Mrd. ÖS Endrohertrag¹. Die landwirtschaftliche Produktion in Oberösterreich machte 1993 einen Anteil von ca. 25% des Endrohertrags der gesamtösterreichischen Landwirtschaft aus. In 220 Gemeinden Oberösterreichs erwirtschaftet die Landwirtschaft mehr als 50% des Gemeindeeinkommens, in 141 Gemeinden sogar mehr als 70% [Amt der OÖ Landesregierung 1994].

Die Oberösterreichische Landesregierung ist bestrebt, Maßnahmen für eine langfristige Erhaltung des Wirtschaftszweiges Landwirtschaft zu treffen. Durch die vorliegende Arbeit soll versucht werden, Verknüpfungen zwischen Landwirtschaft und Bodenschutz offensichtlich zu machen. Die Betrachtung soll helfen, eine Landwirtschaft zu etablieren, deren Bestand auch in Zukunft gesichert werden kann.

Die Stoffbilanzen landwirtschaftlich genutzter Böden unterscheiden sich in Abhängigkeit des landwirtschaftlichen Betriebstypes und der landwirtschaftlichen Praxis. Dies war u.a. ein Grund, die vorliegende Studie in Auftrag zu geben.

Der landwirtschaftlich genutzte Boden Oberösterreichs steht in keinem Fließgleichgewicht bezüglich der Schwermetalle Kupfer, Blei, Zink und Cadmium sowie der Nährstoffe Stickstoff und Phosphor [Kernbeis et al. 1995]. Der Eintrag dieser Stoffe in den Boden ist höher als der Austrag aus dem Boden über Ernteprodukte, Auswaschung, Erosion etc. Das Lager an Schwermetallen und an Phosphor wächst im Boden Oberösterreichs. Der aus der landwirtschaftlichen Praxis resultierende Stickstoffüberschuß kann teilweise im Boden organisch eingebunden werden (Humusaufbau), das Stickstofflager kann daher im Boden kurzfristig wachsen. Langfristig gesehen kann der Humusgehalt und mit ihm das Stickstofflager im Boden nur beschränkt zunehmen. Die Stickstoffüberschüsse werden dann in die Luft und über den Untergrund in das Grundwasser emittiert, und belasten die Umwelt. Das Anwachsen der Schwermetallager in den Böden bedeutet eine Verschlechterung des Bodenzustandes auf Kosten der nachfolgenden Generationen.

Die Tierhaltung ist ein wichtiges, wirtschaftliches Standbein der österreichischen Landwirtschaft. Gleichzeitig ist sie der ineffizienteste Prozeß des landwirtschaftlichen Betriebes hinsichtlich der Nährstoffausnutzung. Die Tierhaltung der deutschen Landwirtschaft hat eine Stickstoffeffizienz von 15 % und eine Phosphoreffizienz von 32% [Isermann 1994]. Die Effizienz der Stickstoffausnutzung bei Schweinehaltungsbetrieben im OÖ Kremstal [Reiner 1995], liegt im Durchschnitt bei 30%. Das heißt, daß von 100 Einheiten Stickstoff, die in

¹ Endrohertrag ist der Wert der agrarischen Produktion. Darunter ist der Geldwert aller Erzeugnisse ohne MwSt. zu verstehen, welche die Landwirtschaft über den Verkauf im In- und Ausland oder den Verbrauch im bäuerlichen Haushalt endgültig verlassen. Die betriebsinterne Verwertung von Futter scheint nicht im Endrohertrag auf.

Gütern aus dem Handel und aus der Umwelt in den Betrieb eingebracht werden, nur 30 Einheiten Stickstoff direkt in den tierischen landwirtschaftlichen Verkaufsprodukten enthalten sind. Die Differenz von 70 Einheiten gelangen in die Umwelt.

Zunehmend werden in der Landwirtschaft Kompost und Klärschlamm eingesetzt. Dies liegt u.a. daran, daß landwirtschaftliche Betriebe Abnehmer und Verwerter biogener Abfälle und Klärschlämme von Kommunen geworden sind. Die Qualität von Kompost und Klärschlamm, und die Mengen, die pro Betrieb auf den Boden aufgebracht werden, unterliegen großen Schwankungen. Die Stofflager im Boden können dementsprechend variieren.

1.1 Zielsetzung

Der Hauptaspekt dieser Arbeit ist es, abzuschätzen, welchen Einfluß der Einsatz von *Klärschlamm und Kompost aus biogenen Abfällen* auf die Stoffbilanzen landwirtschaftlicher Böden hat. Beide Güter können unterschiedlich hohe Schwermetallkonzentrationen aufweisen, deren Verwendung in der Landwirtschaft aus stofflicher Sicht ein Problem darstellen kann.

- Zum einen sollen parzellenscharfe Stoffbilanzen (im landwirtschaftlichen Jargon spricht man von Schlagbilanzen) landwirtschaftlicher Böden von ausgewählten Betrieben berechnet werden. Dabei soll untersucht werden, ob und wie hoch die Unterschiede der Bodenbilanzen einerseits durch die Verwendung der Düngerart (Klärschlamm, und/oder Kompost und/oder Wirtschaftsdünger und/oder Handelsdünger) sind. Die Bilanzen sollen für die Schwermetalle Zn, Cu, Cd und Pb berechnet werden.
- Ein weiteres Ziel dieser Arbeit geht über die isolierte Betrachtung des landwirtschaftlichen Bodens hinaus. Es sollen Stoffbilanzen auf betrieblicher Ebene erstellt werden. Betriebliche Stoffbilanzen beschreiben die Güter- und Stoffflüsse aller landwirtschaftlicher Aktivitäten auf dem gesamten Betrieb, während Schlagbilanzen nur einen Ausschnitt der landwirtschaftlichen Aktivitäten darstellen. Sie sind die Basis für die Beantwortung vieler Fragestellungen. Mit den Ergebnissen der Betriebsbilanz können z.B. Schlagbilanzen überprüft werden (Summe der Schlagbilanzen muß die Betriebsbilanz ergeben), die Effizienz der Betriebe hinsichtlich der Nährstoffausnutzung dargestellt werden, Schwachstellen in der landwirtschaftlichen Praxis frühzeitig erkannt und als Basis einer ökologisch orientierten Förderung herangezogen werden oder als Kontrollinstrument eingesetzt werden (z.B. Düngemittelverordnung in Deutschland). In dieser Studie werden Betriebsbilanzen zur Abschätzung der Nährstoffgehalte des Wirtschaftsdüngers und zur Berechnung der Effizienz der Betriebe, sowie zur groben Überprüfung der Schlagbilanzen verwendet.
- Es soll eine allgemeine und auf unterschiedliche Betriebstypen erweiterbare Gütererhebungstabelle zur Erstellung von Schlag- und Betriebsbilanzen entwickelt werden. Diese soll den Landwirten als Hilfsmittel sowohl für die Ersterhebung als auch für eine jährliche

Fortschreibung ihrer Güterflüsse zur Verfügung stehen und die Basis einer flächen-deckenden Bodenbilanzierung für die Nährstoffe N und P sowie für die Schwermetalle Zn, Cu, Cd und Pb darstellen.

1.2 Fragestellung

1. Nach welchen Kriterien sollen die zu bilanzierenden Betriebe ausgewählt werden?
2. Welches sind die wichtigsten Prozesse zur Erstellung landwirtschaftlicher Stoffbilanzen?
3. Welches sind die wichtigsten Güter zur Erstellung landwirtschaftlicher Stoffbilanzen?
4. Wie ermittelt man die Güterflüsse (quantitativ) und wie berechnet man daraus die Stoffflüsse?
5. Wie groß sind die in den ausgewählten Betrieben und den dazugehörigen Schlägen entstehenden Stoffflüsse?
6. Welchen Beitrag zur Schadstoffbilanz des Bodens liefern Klärschlamm und Biomüllkompost bei kurzfristiger und langfristiger Anwendung?
7. Wie verändert sich das Bodenlager in Abhängigkeit der Düngerart?
8. Welche Effizienz zeigen die Betriebe in der Stickstoff- und Phosphorbewirtschaftung?

1.3 Methodisches Vorgehen

Für die Berechnung der Stoffbilanzen wird die Methodik der Stoffflußanalyse verwendet [Baccini und Brunner 1991]. In einem weiteren Schritt werden die Betriebe ausgewählt. Aus der Fragestellung sind die Bereiche bekannt, für die Stoffbilanzen erstellt werden sollen. Im vorliegenden Fall sind es landwirtschaftliche Betriebe und landwirtschaftliche Schläge. Der erste Schritt ist die Systemidentifikation mit dem Ziel, den landwirtschaftlichen Betrieb soweit zu abstrahieren, daß seine Güter- und Stoffflüsse lückenlos nachvollzogen werden können. Dabei werden die realen Aktivitäten des landwirtschaftlichen Betriebes zu Prozessen abstrahiert und in definierten zeitlichen und räumlichen Grenzen betrachtet. Daran anschließend werden Stoffbilanzen für N, P, Zn, Cu, Pb und Cd auf der Ebene „landwirtschaftlicher Betrieb“ und Schwermetallbilanzen auf „Schlagebene“ erstellt.

2 Systemidentifikation

Voraussetzung für die Berechnung von Stoffbilanzen ist die Definition des zu untersuchenden Systems. In Abhängigkeit der Zielsetzung unterscheiden sich die Systemgrenzen, die zu *bilanzierenden Prozesse* und die zu *erhebenden Güter*.

Für die Berechnung von Stoffbilanzen des landwirtschaftlichen Bodens ist das System die landwirtschaftliche Nutzfläche des landwirtschaftlichen Betriebes. Deshalb muß die landwirtschaftliche Nutzfläche in die kleinsten Flächen einer einheitlichen Bewirtschaftung zerlegt werden. Man spricht von der *Stoffbilanzierung auf Schlagebene*.

Für die Berechnung der Betriebsbilanzen ist das System der gesamte landwirtschaftliche Betrieb inklusive seiner landwirtschaftlichen Nutzflächen. Man spricht von der *Stoffbilanzierung auf Betriebsebene*.

2.1 Systemgrenzen

2.1.1 Die zeitliche Grenze

Der gewählte Betrachtungszeitraum ist ein Jahr. Die Erstellung von landwirtschaftlichen Stoffbilanzen auf betrieblicher Ebene erfordert Daten, die zumeist in der Betriebsbuchhaltung erfaßt sind. Dies spräche für die Wahl des Kalenderjahreswechsel als Bilanzjahr. Viele Daten werden aber von den Bauern schlagspezifisch bzw. hauptfruchtbezogen vermerkt. Für die Erstellung von Bodenbilanzen ist es sinnvoll, alle der Hauptfrucht zugeordneten oder von ihr verursachten Güterflüsse zu berücksichtigen. Diese Daten sind kaum oder nur schwer auf den Kalenderjahreswechsel umzulegen. Die zeitliche Systemgrenze auf Schlagebene soll sich an der Hauptfrucht orientieren. Das Bilanzjahr beginnt nach der Ernte der Hauptfrucht des Vorjahres und endet nach der Ernte der nachgebauten Hauptfrucht. Die Zwischenfrucht zwischen Vor- und Hauptfrucht und alle damit verbundenen Stoffflüsse werden der Hauptfrucht zugerechnet. Die zeitlichen Systemgrenzen können somit innerhalb eines Betriebes in Abhängigkeit der Hauptfrucht, die auf den einzelnen Schlägen angebaut wird, variieren. Ein Bilanzzeitraum eines Schlages entspricht somit nicht immer einem tatsächlichen Jahr. Folgt auf eine späträumende Vorfrucht, wie z. B. Zuckerrübe, Körnermais oder Sojabohne, die zwischen September und November geerntet wird, eine frühäumende Hauptfrucht, z.B. Winterweizen oder Wintergerste, die zwischen Juli und August geerntet wird, so kann der Bilanzierungszeitraum nur 9-11 Monate betragen. Folgt umgekehrt auf eine frühäumende Vorfrucht eine späträumende Hauptfrucht, so kann der Bilanzierungszeitraum zwischen 13 und 15 Monate betragen.

Soll eine Betriebsbilanz zur Konsistenzprüfung der Schlagbilanzen dienen, so kann sich der Bilanzierungszeitraum auf betrieblicher Ebene von der Ernte der frühestäumenden Vorfrucht bis zur Ernte der spätestäumenden Hauptfrucht erstrecken und zwischen 9 und 15 Monaten betragen.

2.1.2 Die räumliche Systemgrenze

Hier wird zwischen der horizontalen und der vertikalen Begrenzung unterschieden. Die **horizontale Grenze** des landwirtschaftlichen Betriebes beginnt auf Betriebsebene mit dem Hoftor und umschließt die gesamte landwirtschaftliche Nutzfläche. Vorhandene Waldflächen werden als außerhalb des Systems liegende Flächen betrachtet. Für die Betrachtung auf Schlagebene ist die horizontale Grenze die flächige Ausdehnung des betrachteten Schlages.

Die Definition der **vertikalen Systemgrenze** ist notwendig, um die Stoffflüsse des landwirtschaftlichen Bodens vollständig beschreiben zu können. Wir nehmen als untere vertikale Grenze die Pflugschicht mit 30 cm Bodentiefe an, da die Pflugschicht der Teil des landwirtschaftlichen Bodens ist, der aktiv vom Landwirt beeinflusst wird. Der darunter liegende Unterboden wird als außerhalb des Systems liegend betrachtet. Die vertikale Obergrenze bildet der Übergang von der Boden- respektive Pflanzenoberfläche sowie den baulichen Einrichtungen zur Atmosphäre.

2.2 Prozesse zur Erstellung landwirtschaftlicher Stoffbilanzen

Landwirtschaftliche Aktivität können als Prozesse dargestellt werden. Prozesse sind die Transformation, der Transport oder die Lagerung von Gütern² und Stoffen³.

2.2.1 Prozesse des Systems „landwirtschaftlicher Betrieb“

Die wichtigsten Prozesse in der Landwirtschaft sind

- die *Tierhaltung* (Milchwirtschaft, Zucht und/oder Mast von Schweinen, Rindern, Pferden, Schafen, Ziegen, Geflügel und Mastgeflügel) und
- der *Pflanzenbau* (Getreidebau, Grünland- und Futterbau, Sämereivermehrung, Hopfenbau, Energieholz, Obstbau, Gemüsebau, Gartenbau und Almwirtschaft).
- Der *landwirtschaftliche Boden* ist Ziel- und Herkunftsort vieler Güter, die aus der Tierproduktion und dem Pflanzenbau stammen oder dorthin gelangen. Auf diesen Prozeß konzentrieren sich die Auswertungen der vorliegenden Arbeit.

Ein weiterer Prozeß im landwirtschaftlichen Betrieb kann die Kompostierung sein. Da das Datenmaterial dazu in den untersuchten Betrieben für unsere Zwecke unzureichend war, wird

² Unter einem Gut versteht man eine handelbare Substanz, wie z.B. Handelsdünger, Mist, Gülle oder tierische Produkte.

³ Ein Stoff ist ein chemisches Element (N, Cd etc.) oder eine chemische Verbindung (z.B. Wasser).

sie als außerhalb der Systemgrenzen liegender Prozeß betrachtet und Kompost, wie Klärschlamm, als Importgut⁴ in das System geführt.

Die Güter- und Stoffflüsse des landwirtschaftlichen Betriebes können durch die Bilanzierung dieser drei innerbetrieblichen Prozesse (innerhalb der definierten Systemgrenzen) beschrieben werden. Jeder Güter- bzw. Stofffluß wird von seinem Herkunftsprozeß bis zu seinem Verbleib außerhalb der Systemgrenzen beschrieben. Man spricht von Herkunfts- und Zielprozessen von Gütern.

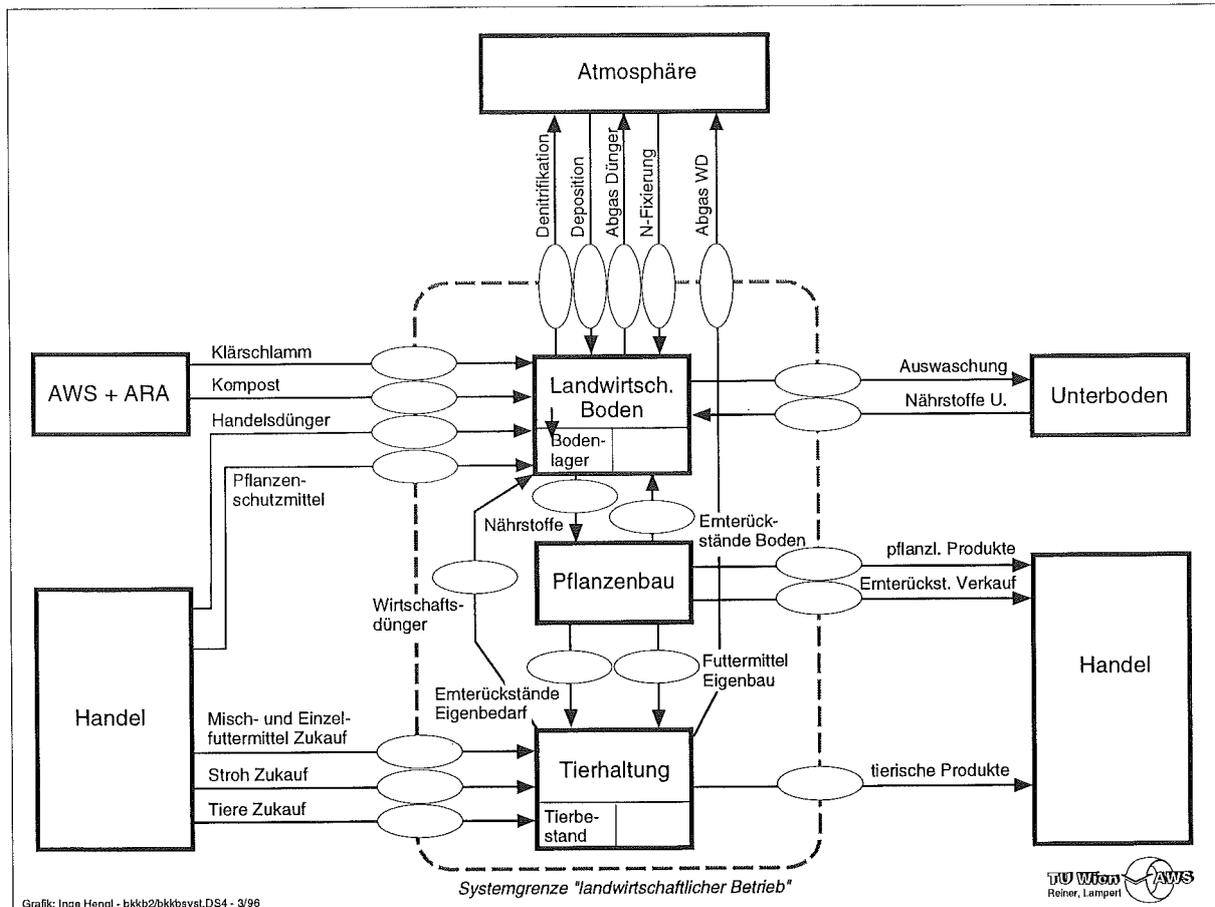
Externe Prozesse (außerhalb der Systemgrenze des landwirtschaftlichen Betriebes) sind im folgenden kurz beschrieben. Ein großer Teil der landwirtschaftlichen Güter stammt aus dem *Handel* (Einkauf von Handelsdünger, Futtermittel, Pflanzenschutzmittel etc.) und wird von den landwirtschaftlichen Betrieben an den Handel geliefert (Verkauf von landwirtschaftlichen Produkten). Ein anderer Herkunftsprozeß für Güter, die in der Landwirtschaft verwendet werden, ist die Abfall- und Abwasserwirtschaft (*AWS + ARA*), die Kompost und Klärschlamm liefert.

Zwei weitere externe Prozesse verbinden die Landwirtschaft mit der Umwelt. Die *Atmosphäre* ist ein wichtiger Prozeß als Quelle für Depositionen und als Senke für Emissionen. Der *Unterboden* ist die Senke für viele Schwermetalle aber auch eine Quelle von Emissionen in das Grundwasser.

Hauptaugenmerk wird in dieser Arbeit auf das Bodenlager, sowie dessen Veränderung im Bilanzierungszeitraum gelegt.

Die Abbildung 2.1 zeigt die Prozesse und Güterflüsse des landwirtschaftlichen Betriebes, mit denen die Stoffflüsse der vier landwirtschaftlichen Betriebstypen beschrieben werden können.

⁴ Ein Importgut stammt von einem Prozeß außerhalb der Systemgrenzen.



Abgas WD.....Abgas Wirtschaftsdünger
Nährstoffe U....Nährstoffe Unterboden

Abbildung 2.1: Systemidentifikation des landwirtschaftlichen Betriebes

2.2.2 Prozesse des Systems „Schlag“

Die Prozesse, die zur Beschreibung und Berechnung der Schlagbilanzen erforderlich sind, sind Bausteine des Systems „landwirtschaftlicher Betrieb“. Als Schlag wird die kleinste landwirtschaftliche Fläche verstanden, die einheitlich bewirtschaftet wird. Die Schlagbilanz unterscheidet sich von der Betriebsbilanz lediglich durch die Wahl anderer Systemgrenzen. Das hat zur Folge, daß der Prozeß Tierhaltung als Herkunftsprozeß von Wirtschaftsdünger und als Zielprozeß für eigenangebautes Futtermittel, das im Betrieb verfüttert wird, ein externer Prozeß ist und alle übrigen mit der Tierhaltung verbundenen Güterflüsse nicht weiter aufscheinen, da sie für die Schlagbilanz nicht relevant sind. Alle anderen Prozesse und Güter stimmen hinsichtlich der Bezeichnung mit der Systemidentifikation auf Betriebsebene überein.

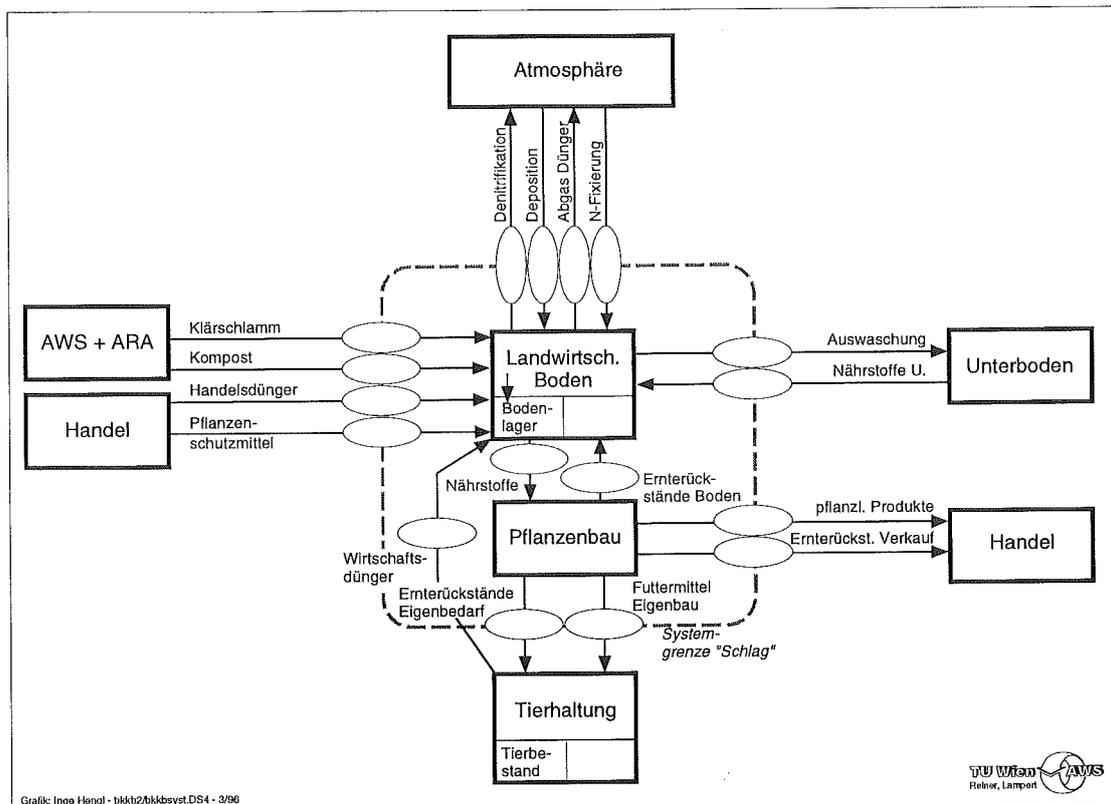


Abbildung 2.2: Systemidentifikation des Schlages

2.3 Wichtige Güter zur Erstellung landwirtschaftlicher Stoffbilanzen

Die Auswahl der Güter hängt von den Stoffen ab, die bilanziert werden sollen. Es sind alle großen Güterflüsse zu erheben, deren stoffliche Zusammensetzung für die Erstellung der Stoffbilanz relevant sind. Güter, die in sehr kleinen Mengen im landwirtschaftlichen Betrieb eingesetzt werden und aufgrund ihrer stofflichen Zusammensetzung die Stoffbilanzen nicht relevant verändern, werden nicht berücksichtigt (z.B. Saatgut oder jene Pflanzenschutzmittel, die keines der vier betrachteten Schwermetalle enthalten).

Da in dieser Studie Stoffbilanzen für zwei essentielle Nährstoffe (N und P) und 4 Schwermetalle (Cd, Cu, Pb, Zn) berechnet werden sollen, enthält die Auswahl der Güter die wichtigsten Güter des landwirtschaftlichen Betriebes.

Die Güterdefinitionen wurden an die in der Landwirtschaft üblichen Definitionen angelehnt, sie müssen jedoch nicht in allen Fällen mit diesen übereinstimmen.

2.3.1 Güter des Prozesses Tierhaltung

Der Prozeß Tierhaltung umfaßt die Produktion von tierischen Produkten, wie Fleisch, Milch und Eiern.

Tabelle 2.1: Güter des Prozesses Tierhaltung

Herkunftsprozeß	Inputgüter
Pflanzenbau	Futtermittel Eigenanbau
Handel	Misch- und Einzelfuttermittelzukauf
Handel	Tiere Zukauf
Pflanzenbau	Ernterückstände Eigenbedarf
Handel	Stroh Zukauf
Zielprozeß	Outputgüter
Handel	tierische Produkte
landwirtschaftlicher Boden	Wirtschaftsdünger
Atmosphäre	Abgas Wirtschaftsdünger
Lager	Tierbestand

Futtermittel Eigenanbau: alle im Betrieb eingesetzten betriebseigenen Futtermittel

Misch- und Einzelfuttermittel Zukauf: alle zugekauften Ernteprodukte, Misch- und Einzelfuttermittel, die in der Tierhaltung eingesetzt werden

Tiere Zukauf: alle Tiere, die innerhalb des Bilanzzeitraumes zugekauft werden

Ernterückstände Eigenbedarf: die Ernterückstände, die in der betriebseigenen Pflanzenproduktion anfallen und als Einstreu in der eigenen Tierhaltung verwendet werden

Stroh Zukauf: zugekaufte Ernterückstände, die in der Tierhaltung als Einstreu verwendet werden. Sie gelangen, mit dem Wirtschaftsdünger vermischt, auf den landwirtschaftlichen Boden.

Tierische Produkte: Milch und Eier, sowie die Tiere (Ganzkörper), die verkauft oder für den Eigenbedarf verwendet werden

Wirtschaftsdünger: die Gesamtmenge der tierischen Ausscheidungen in Form von Harn und/oder Kot nach Berücksichtigung gasförmiger Verluste von N-Verbindungen. Der feste Wirtschaftsdünger beinhaltet auch die Einstreu. Desweiteren wird angenommen, daß für alle betrachteten Elemente bei der Lagerung am Hof keine Verluste in den Untergrund erfolgen.

Abgas Wirtschaftsdünger: Verlust von im Wirtschaftsdünger enthaltenem Stickstoff aus der Stallhaltung und dem Wirtschaftsdüngerlager der Tierhaltung in die Atmosphäre. Es wird angenommen, daß bei der Lagerung keine Verluste von Phosphor und den Schwermetallen in die Atmosphäre erfolgen.

Lager: Das Lager in der Tierhaltung besteht aus den Tieren, deren Verweilzeit in der Tierhaltung mehr als ein Jahr beträgt.

2.3.2 Güter des Prozesses Pflanzenbau

Der Prozeß Pflanzenbau umfaßt die oberirdischen Pflanzenteile bzw. die unterirdischen Pflanzenteile, wenn diese geerntet werden. Die Stoffaufnahme erfolgt über den landwirtschaftlichen Boden. Der Pflanzenbau umschließt die Grünlandwirtschaft und den Ackerbau. In Tabelle 2.2 sind die In- und Outputgüter dieses Prozesses definiert.

Tabelle 2.2: Güter des Prozesses Pflanzenbau

Herkunftsprozeß	Inputgüter
landwirtschaftlicher Boden	Nährstoffe
Zielprozeß	Outputgüter
Handel	pflanzliche Produkte
Tierhaltung	Futtermittel Eigenanbau
Handel	Ernterückstände Verkauf
Tierhaltung	Ernterückstände Eigenbedarf
landwirtschaftlicher Boden	Ernterückstände Boden

Nährstoffe: umfassen die während der Vegetationsperiode aufgenommenen im Erntegut und in den Ernterückständen enthaltenen Nähr- und Schadstoffe. Nicht berücksichtigt werden die Nähr- und Schadstofffrachten in Stoppeln und Wurzeln.

Pflanzliche Produkte: alle Ernteprodukte, die verkauft werden

Futtermittel Eigenanbau: alle Futtermittel, die am Betrieb selbst erzeugt und in der Tierhaltung eingesetzt werden

Ernterückstände Verkauf: jene Ernterückstände, die geerntet und verkauft werden

Ernterückstände Eigenbedarf: jene betriebseigenen Ernterückstände, die in der Tierhaltung als Einstreu verwendet werden

Ernterückstände Boden: jene Ernterückstände, die nach der Ernte auf dem landwirtschaftlichen Boden verbleiben und eingearbeitet werden

2.3.3 Güter der Prozesses landwirtschaftlicher Boden

Der landwirtschaftliche Boden ist der Produktionsort des Pflanzenbaus bis in eine Tiefe von 30 cm (Pflugschicht). Für die Quantifizierung der Stoffflüsse des Prozesses Boden werden folgende Güter betrachtet:

Tabelle 2.3: Güter des Prozesses landwirtschaftlicher Boden

Herkunftsprozeß	Inputgüter
Tierhaltung	Wirtschaftsdünger
Pflanzenbau	Ernterückstände Boden
Handel	Handelsdünger
Handel	Pflanzenschutzmittel
AWS+ARA	Kompost
AWS+ARA	Klärschlamm
Atmosphäre	N-Fixierung
Atmosphäre	Deposition
Unterboden	Nährstoffe U.
Zielprozeß	Outputgüter
Pflanzenbau	Nährstoffe
Unterboden	Auswaschung
Atmosphäre	Denitrifikation
Atmosphäre	Abgas Dünger
Lager	Boden

Wirtschaftsdünger: siehe Kapitel 2.3.1

Ernterückstände Boden: siehe Kapitel 2.3.2

Handelsdünger: alle verwendeten mineralischen Düngemittel aus industrieller Produktion

Pflanzenschutzmittel: alle im Pflanzenbau eingesetzten Pflanzenschutzmittel

Kompost: die in den landwirtschaftlichen Betrieben eingesetzte Kompostmenge

Klärschlamm: die in den landwirtschaftlichen Betrieben eingesetzte Klärschlammmenge

N-Fixierung: Stickstoffbindung von frei (asymbiontisch) oder in Symbiose mit Kulturpflanzen lebenden Mikroorganismen

Deposition: die trockenen und nassen Einträge aus der Atmosphäre auf die Vegetation und den Boden. Es wird angenommen, daß durch die Niederschläge sämtliche Einträge durch die

Deposition von der Vegetation auf den landwirtschaftlichen Boden gelangen. Dies ist zulässig, da beim Stoffentzug durch die Erntegüter keine Unterscheidung gemacht wird, ob die Stoffe inkorporiert sind oder nur oberflächlich anhaften.

Nährstoffe U.: Nährstoffe, die aus dem Unterboden durch kapillaren Wasseraufstieg in den landwirtschaftlichen Boden rückverlagert werden bzw. durch tiefreichende Wurzeln aus Schichten unterhalb der Pflugschicht entzogen werden. Es wird angenommen, daß dieses Gut lediglich für die Nährstoffe, nicht jedoch für die Schwermetalle von Bedeutung ist.

Nährstoffe: siehe Kapitel 2.3.2

Auswaschung: beschreibt die Verlagerung von Stoffen aus dem landwirtschaftlichen Boden in den Untergrund.

Denitrifikation: die Umwandlung von Nitrat unter sauerstoffarmen oder -freien Bedingungen in elementaren Stickstoff oder Zwischenstufen der Umwandlung und deren Abgabe aus dem landwirtschaftlichen Boden in die Atmosphäre.

Abgas Dünger: Sowohl aus stickstoffhaltigen Handels- als auch aus Wirtschaftsdüngern gast Stickstoff nach der Aufbringung auf die Böden ab.

Lager: Das Lager wird durch die im landwirtschaftlichen Boden sowohl in organischer als auch anorganischer Bindung vorliegenden Elemente gebildet. Es wird nicht unterschieden, ob die einzelnen Elemente pflanzenverfügbar sind oder nicht.

2.3.3.1 Exkurs Erosion

Die Erosion kann für die Stoffbilanzen landwirtschaftlicher Böden bedeutend sein. Bilanziert man auf Schlagebene, so kann die Erosion sowohl Stoffeinträge von benachbarten, landwirtschaftlichen Flächen, als auch Stoffausträge in benachbarte Grundstücke verursachen.

Das Ausmaß der Erosion hängt von Faktoren wie Regenintensität, Bodenart, Hangneigung, Bodenbedeckung resp. Bepflanzung, Hanglänge, Bodenbearbeitung, angewendete Erosionsschutzmaßnahmen, Windgeschwindigkeit und anderen ab. Eine grobe Quantifizierung der abgetragenen Bodenmenge ist mit Kenntnis dieser Kriterien möglich. Es muß jedoch beachtet werden, daß allein anhand der abgetragenen Bodenmenge noch nicht auf die ausgetragenen Nährstoffmengen geschlossen werden kann (z. B. über den durchschnittlichen P-Gehalt in der obersten Bodenschicht). Dies deshalb nicht, da etwa Phosphor „selektiv“ erodiert wird. Phosphor liegt zu 35 bis 75% anorganisch im Boden vor. Ein Teil des anorganischen Phosphors liegt in wenig verwitterten Böden in Form von Apatit und in geringeren Mengen in Form von Silikaten vor, ein anderer Teil in Form von Neubildungen, die durch Verwitterung vorwiegend von Apatit und durch Umsetzung von Düngerphosphaten im Boden entstanden. Da diese Neubildungen in sehr feiner Korngröße vorliegen, ist der P-Gehalt der Tonfraktion meist höher als derjenige der gröbereren Fraktionen

[Scheffer & Schachtschabel 1992]. Bei Wind- und Regenereignissen werden allerdings die feineren Fraktionen leichter erodiert (wobei Schluff am leichtesten erodiert wird).

Im Rahmen der OÖ Bodenzustandsinventur wurden rund 55% der Ackerstandorte Oberösterreichs als nicht erosionsgefährdet eingestuft, 43% wurden als gefährdet und unter 2% der Ackerstandorte wurden als stark erosionsgefährdet eingestuft. Der überwiegende Teil der Grünlandstandorte wurde als nicht gefährdet eingestuft (ca. 94%). Als erosionsbegünstigt wurden landwirtschaftliche Flächen mit einer Hangneigung über 5%, Monokulturen, Brache-
flächen und schluffreiche, tonige Böden mit entsprechender Niederschlagsmenge pro Zeit definiert. Dies bedeutet jedoch nicht, daß etwa bei Flächen unter 5% Hangneigung keine Erosion stattfinden kann (eine größere Hangneigung bewirkt, daß früher ein oberflächlicher erosionswirksamer Abfluß mit einer höheren Geschwindigkeit entsteht). Die allgemeine Bodenabtragsformel [Wischmeier & Smith 1978] betrachtet jedoch auch Erosionsereignisse bei Flächen < 0,5%. Ohne Zweifel nimmt jedoch die Menge an abgetragenem Erdmaterial mit zunehmender Hangneigung zu. So steigt etwa die relative Erosion bei einer Änderung der Neigung von 5 auf 20% um etwa das 8-fache [Scheffer & Schachtschabel 1992].

Phosphorverluste durch Erosion können in hügeligen Ackerbaugebieten zwischen 0,6 und 1,3 kg P/ha.a liegen [Apschner 1991]. Die Stickstoffverluste durch Erosion werden in der Literatur von 1,5 kg N/ha.a, als Durchschnittswert für Gesamtdeutschland [Auerswald 1992] bis 11,5 kg N/ha.a [Strauss und Blum 1992] für extreme Hanglagen angegeben.

Im Rahmen dieser Studie wurde von Seiten der Landwirte die Hangneigung abgeschätzt. Der Großteil der untersuchten landwirtschaftlichen Ackerflächen hat eine geringere Neigung als 5%. Da nur wenige Faktoren, die die Erosion beeinflussen, erhoben wurden (Geländeneigung, Bodenbedeckung, Kulturart, Bodenart), konnte der Stoffeintrag bzw. -austrag durch die Erosion für die restlichen, erosionsgefährdeten Standorte nicht abgeschätzt werden. Für Flächen <5% ist die Erosion von geringer Bedeutung, der Stoffeintrag in den Boden wurde in derselben Größe angenommen, wie der Stoffaustrag durch Erosion aus dem Boden.

3 Auswahl der Betriebe

Die Auswahl der Betriebstypen erfolgte in Kooperation mit der OÖ-Landesregierung, Abteilung Umweltschutz, UAbt. Abfallwirtschaft und Gewässerschutz, Mitarbeitern der Landwirtschaftskammer Oberösterreich und Mitarbeitern der Abteilung Abfallwirtschaft der TU Wien.

Folgende Betriebstypen wurden als die vier wichtigsten in Oberösterreich identifiziert:

Betriebstyp	Charakteristika	Wichtig, weil
reiner Ackerbau	> 30 ha Ackerfläche	relativ wenige Betriebe große Flächen bewirtschaften.
Rinderhaltung	Milchwirtschaft bzw. Rinderzucht/ -mast 15 ha Grünland	50% des landwirtschaftlichen Rohertrages in OÖ von diesem Betriebstyp erwirtschaftet werden.
Schweinehaltung	Schweinemast, Schweinezucht 20-25 ha Getreideanbau	zwischen 20 und 25 % des landwirtschaftlichen Rohertrages erwirtschaftet werden.
gemischt wirtschaftender Betrieb	Milchwirtschaft, Schweinehaltung 15 ha Futterbau	dies ein häufiger Betriebstyp in OÖ ist.

Von den für das Land Oberösterreich charakteristischen Betriebstypen wurden 24 Betriebe ausgewählt, für die Stoffbilanzen der Stoffe Stickstoff, Phosphor, Zink, Kupfer, Blei und Cadmium erstellt werden. Da der Einfluß von Kompost und Klärschlamm auf die Bodenbilanzen berechnet werden soll, sollen von diesen Betrieben 1/3 kompost-, 1/3 klärschlamm- und 1/3 weder klärschlamm- noch kompostaufbringende Landwirte sein.

3.1 Beschreibung der Praxisbetriebe

Zu Projektbeginn standen 33 Betriebe zur Auswahl der 24 Untersuchungsbetriebe zur Verfügung. Im Zuge der Datenvorerhebung wurden die Praxisbetriebe so ausgewählt, daß die vier wichtigsten Betriebstypen Oberösterreichs abgedeckt werden können, und je ein Drittel der Landwirte der einzelnen Betriebstypen Klärschlamm, ein Drittel Kompost und ein Drittel hofeigenen Wirtschaftsdünger und/oder Handelsdünger aufbringt. Die Landwirte erhielten vorweg Gütererhebungstabellen um selbständig die nötigen Daten, die zur Erstellung einer Bilanz auf betrieblicher und auf schlagbezogener Ebene benötigt werden, zu erfassen (Die Datenblätter sind im Anhang C beigefügt). Sie sollten für das Betriebsjahr 1995 eine Gütererhebung durchführen und zusätzlich die schlagbezogene Bewirtschaftung beschreiben, indem sie den Einsatz von Pflanzenschutz- und Düngemitteln, sowie den Ernteertrag pro Schlag quantifizieren. Offene Fragen sollten bei einem Gespräch vorort, zu dem zwei Mitarbeiter des Projektes die Landwirte besuchten, geklärt werden.

Die Praxis zeigte, daß das selbständige Ausfüllen von Gütererhebungsblättern für ein vergangenes Jahr mit Schwierigkeiten verbunden ist. Die Schwierigkeiten für die Abschätzung vieler Güter liegen weniger im Vorhandensein brauchbarer Aufzeichnungen, sondern eher in der Abschreckung des scheinbar großen Arbeitsaufwandes, verbunden mit dem nicht offensichtlichen Nutzen dieses Aufwandes für den Landwirt.

Besonders mühsam erschien den Bauern die Aufteilung der Güter auf die einzelnen Schläge, da viele Landwirte eine große Anzahl von Schlägen bewirtschaften. Im gemeinsamen Gespräch erwies sich das Ausfüllen der Güterlisten für die meisten Güter als einfach. Zum Großteil werden Rechnungen über einge- und verkaufte Güter aufbewahrt. Auch die Zuteilung der Güter auf die einzelnen Schläge stellte sich als weniger aufwendig heraus, als von den Landwirten angenommen wurde, zumal Schläge, die gleich bewirtschaftet werden (gleiche Kultur, gleiche Düngung etc.) zu einem Schlag zusammengefaßt wurden. Viele Landwirte führen überdies im Zuge der Fruchtwechselplanung Aufzeichnungen über Ertrag, Dünge- und Pflanzenschutz aufwand, die sich auf die Größe eines Schlages beziehen. Diese Aufzeichnungen sind eine gute Basis für die Erstellung von Schlagbilanzen.

Die Quantifizierung des Wirtschaftsdünger aufwandes und teilweise auch seine Aufteilung auf die Schläge war schwierig bis nicht durchführbar. Hier konnten die Landwirte vielfach nur ungefähre Angaben machen. Es kam vor, daß die Schätzung des betrieblich anfallenden Wirtschaftsdüngers mit der Summe der geschätzten Wirtschaftsdünger menge pro Schlag nicht übereinstimmte.

Die Betriebe werden im folgenden zu Gruppen zusammengefaßt besprochen. Die Einteilung der Betriebe erfolgte nach vier Betriebstypen, denen die untersuchten Betriebe im weitesten Sinne zuordenbar waren. Die Erstellung von Stoffbilanzen für Betriebe aus vier Betriebstypen wurde aus zwei Gründen gefordert:

- zum einen sollten dadurch vollständige Gütererfassungstabellen, die alle Betriebstypen abdecken, erstellt werden können;
- zum anderen sollte untersucht werden, ob Unterschiede in den Bodenbilanzen aufgrund des Betriebstyps vorhanden sein können.

Die untersuchten Betriebe gehören zu folgenden vier Betriebstypen.

- Ackerbau mit 1 kompostaufbringenden und 2 klärschlammaufbringenden Betrieben sowie 3 Betriebe, die ausschließlich Handelsdünger verwenden;
- Schweinehaltung, mit 2 kompostaufbringenden und 2 klärschlammaufbringenden Betrieben und 4 Betrieben, die Handels- und Wirtschaftsdünger aufbringen;
- Rinderhaltung, 2 kompost- und 1 klärschlammaufbringender Betrieb, 2 Betriebe mit Handels- und Wirtschaftsdüngereinsatz;
- gemischt wirtschaftende Betriebe mit 3 Kompost und 1 Klärschlammaufbringer sowie 1 Betrieb mit Wirtschafts- und Handelsdüngereinsatz.

Im Verlauf der Datenerhebung hat sich gezeigt, daß selbst Betriebe innerhalb eines Betriebstypes sehr unterschiedlich geführt werden und miteinander nicht vergleichbar sind. Die Anzahl der Probebetriebe stellt keine repräsentative Stichprobenzahl für die gesamte Oberösterreichische Landwirtschaft dar. Die Ergebnisse gelten daher ausschließlich für die untersuchten Einzelbetriebe. Ableitbare Aussagen für den gesamten Betriebstyp können aufgrund der Heterogenität der einzelnen Betriebe innerhalb eines Betriebstypes nicht getroffen werden.

Neben dem Betriebstyp war das Kriterium der Düngeart entscheidend für die Auswahl der Betriebe. Pro Betriebstyp sollte ein Drittel der untersuchten Betriebe Klärschlamm, ein Drittel Kompost und ein Drittel Wirtschafts- und/oder Handelsdünger (bei den Ackerbaubetrieben nur Handelsdünger) aufbringen. Diese Dreiteilung konnte bei den Schweinehaltungsbetrieben und bei den Ackerbaubetrieben erhalten werden. Bei den übrigen Betriebstypen fehlte 1 Klärschlammmanwender (Rinderhalter und gemischt wirtschaftender Typ. Der Grund dafür lag in der schließlich doch mangelnden Bereitschaft zur Mitarbeit von Seiten der Betriebe.

gemischt wirtschaftende Betriebe

Der Tierbestand der untersuchten Betriebe des gemischt wirtschaftenden Types bestand aus Schweinen (sowohl Zucht- als auch Mast Schweine), Rindern (Milchkühen und auszumästende Kälber), und selten Hühnern, Pferden oder Ziegen. Die landwirtschaftlichen Nutzflächen sind im Durchschnitt 30 ha groß. Davon waren rund 29% Grünland (zwischen 0 und 10 ha) und 71 % Ackerland (zwischen 0 und 57 ha). Der durchschnittliche Bestand beträgt 35 GVE/Betrieb (zwischen 23 und 47). Der Betrieb mit dem größten Tierbestand pro Hektar exportiert den Großteil der anfallenden Gülle. Die Betriebe 1 und 7 brachten Kompost auf, der Betrieb 4 brachte Klärschlamm auf und die restlichen Betriebe 0 und 9 verwendeten ausschließlich Wirtschafts- und Handelsdünger zur Düngung der landwirtschaftlichen Flächen.

Rinderhaltende Betriebe

Die fünf Untersuchungsbetriebe des Typs Rinderhaltung teilten sich in 4 Milchviehbetriebe und einen Rindermastbetrieb. Die GVE Zahl lag zwischen 9 und 44 (im Schnitt 23). Die Milchviehbetriebe züchten den Nachwuchs in erster Linie zur betriebseigenen Remontierung. Alle nicht zur Aufzucht benötigten Kälber werden ausgemästet. Die Flächen der Rinderhaltungsbetriebe lagen zwischen 8 und 22 ha. Die durchschnittliche Größe betrug 18 ha. Davon waren 61 % Ackerland der Rest Grünland. Zwei Betriebe verwendeten Kompost (Betrieb 2 und 8), ein Betrieb Klärschlamm (Betrieb 3) und zwei Betriebe (5, 6) hofeigenen Wirtschaftsdünger und Handelsdünger zur Düngung ihrer Felder.

Ackerbaubetriebe

Die Betriebsgröße der untersuchten Betriebe der Gruppe Ackerbaubetriebe (Betriebe 18 bis 23) reicht von 6 ha bis 91 ha. Die durchschnittliche Fläche beträgt 41 ha. Einer der beiden Betriebe, die als Vertreter der Kompostanwender gewählt wurden, hat zum Zeitpunkt der Datenerhebung gerade erst mit der Kompostierung begonnen und im betrachteten Zeitraum noch keinen Kompost auf seine Felder aufgebracht, so daß er nicht als typischer Kompostierbetrieb betrachtet werden kann. Von den 6 Betrieben sind es somit drei Betriebe (18, 22, 23), die ausschließlich Handelsdünger verwendeten. Ein Betrieb verwendete Kompost (Nr. 20) und zwei Betriebe verwendeten Klärschlamm (Nr. 19 und 21) zur Düngung ihrer Felder. Ein klärschlammaufbringender Betrieb war kein typischer Betrieb (Nr. 19), da er im Nebenerwerb mit nur 5,6 ha Fläche bewirtschaftet wird. Er wird trotzdem als vollwertiger Betrieb berücksichtigt.

Schweinehaltende Betriebe

Von den untersuchten Betrieben der Gruppe Schweinehaltungsbetriebe waren zwei Betriebe Kompost- (11 und 13) und zwei Betriebe Klärschlammmanwender (10 und 14). Vier Betriebe

(12, 15, 16, 17) düngten ihre Felder mit hofeigenem Wirtschaftsdünger und Handelsdünger. Alle Untersuchungsbetriebe produzierten einen Teil des Futtermittelbedarfs am eigenen Betrieb. Die Anzahl der GVE lag zwischen 4 und 52, die durchschnittliche GVE-Zahl lag bei 23. 7 der 8 befragten Betriebe waren Zuchtbetriebe, die die am Betrieb erzeugten Ferkel entweder als Ferkel verkaufen oder sie am eigenen Betrieb zu Mastschweinen mästen und diese verkaufen. Ein Betrieb war ein reiner Mastbetrieb, der Ferkel einkauft und Mastschweine verkauft. Die durchschnittliche Gesamtfläche lag bei 30 ha (von 14 ha bis 45 ha).

Tabelle 3.1: Überblick der ausgewählten Betriebe

Betriebstyp	KO	KS	WD/HD
reine Ackerbaubetriebe, Betrieb 18 bis 23	1	2	3
Schweinehaltungsbetriebe, Betrieb 10 bis 17	2	2	4
Rinderhaltungsbetriebe, Betrieb 2,3,5,6,8	2	1	2
gemischt wirtschaftende Betriebe, Betrieb 0,1,4,7,9	2	1	2

KO.....Kompostanwender

KS.....Klärschlammanwender

WD/HD.....Wirtschafts- und/oder Handeldüngeranwender

Tabelle 3.2: Kurzcharakteristik der Untersuchungsbetriebe

Betriebstyp	Betrieb Nr.	Acker- fläche in ha	Grünland- fläche in ha	Gesamt- fläche in ha	GVE		Kompost (KO) Klärschlamm (KS)	
					/Betrieb	/ha	/Betrieb	%WG
gemischte Bewirtschaftung "GB"	Betrieb 0	23,2	10,4	33,6	30,0	0,9	ohne	
	Betrieb 1	14,9	10,0	24,9	38,8	1,6	KO 732 m ³	27
	Betrieb 4	57,5	0,0	57,5	47,1	0,8	KS 1325 t	95,6
	Betrieb 7	0,0	5,5	5,5	22,5	4,1	KO 150 m ³	43,9
	Betrieb 9	20,8	8,7	29,5	36,9	1,3	ohne	
Mittelwert "GB"		23,3	6,9	30,2	35,1	1,7		
Rinder- haltung "RH"	Betrieb 2	1,0	7,4	8,4	9,4	1,1	KO 122 t	41
	Betrieb 3	5,8	13,1	18,9	34,3	1,8	KS 6,8 t	0
	Betrieb 5	6,7	15,4	22,0	44,0	2,0	ohne	
	Betrieb 6	18,1	3,3	21,4	15,7	0,7	ohne	
	Betrieb 8	16,4	0,9	17,3	11,1	0,6	KO 65 m ³	n.b.
Mittelwert "RH"		9,6	8,0	17,6	22,9	1,3		
Schweine- haltung "SH"	Betrieb 10	14,2	0,0	14,2	15,4	1,1	KS 58 m ³	95
	Betrieb 11	17,6	0,0	17,6	4,1	0,2	KO 460 m ³	n.b.
	Betrieb 12	34,2	3,2	37,4	7,5	0,2	ohne	
	Betrieb 13	23,5	1,0	24,5	19,3	0,8	KO 80 t	43
	Betrieb 14	22,6	3,3	25,9	41,8	1,6	KS 176 m ³ / 60 m ³	95/ 60
	Betrieb 15	38,4	6,9	45,3	29,9	0,7	ohne	
	Betrieb 16	42,8	0,0	42,8	14,3	0,3	ohne	
Betrieb 17	29,9	2,5	32,4	51,8	1,6	ohne		
Mittelwert "SH"		27,9	2,1	30,0	23,0	0,8		
Ackerbau "AB"	Betrieb 18	38,6	0,0	38,6			ohne	
	Betrieb 19	4,5	1,2	5,6			KS 19 t	95,5
	Betrieb 20	42,3	0,0	42,3			KO 100 m ³	n.b.
	Betrieb 21	27,0	0,0	27,0			KS 40 t/ 235 m ³	60/ 95
	Betrieb 22	38,7	0,0	38,7			ohne	
	Betrieb 23	90,7	0,0	90,7			ohne	
Mittelwert "AB"		40,3	0,2	40,5				
Mittelwert gesamt		26,2	3,9	30,1	26,3	1,2		

4 Berechnung der Güter- und Stoffflüsse

Auf einem landwirtschaftlichen Betrieb liegt ein Großteil der Informationen über die Güterflüsse (Menge pro Zeit) auf. Die Ermittlung der Güterflüsse auf Betriebsebene und auf der Ebene des einzelnen Schlages ist eine der Kernfragen dieses Projektes. Mittels Gütererhebungstabellen sollen alle Daten, die beim Landwirt abgefragt werden können, erhoben werden. Aus den Güterdaten werden mit Hilfe von Stoffkonzentrationen die Stofffrachten berechnet.

Die betrieblichen Daten werden mit Güter- und Stoffdaten aus der Literatur ergänzt und zu Stoffbilanzen verknüpft.

In den folgenden Kapiteln wird die Ermittlung der Güter- und Stoffflüsse für die Stoffe N, P, Cd, Cu, Pb, und Zn dargestellt.

4.1 Güter- und Stoffflüsse des Prozesses Tierhaltung

Ernterückstände Eigenbedarf: siehe Kapitel 4.2

Futtermittel Eigenanbau: Die Menge der eigenangebauten Futtermittel ergibt sich als Differenz der Gesamternte und der geernteten pflanzlichen Produkte, die verkauft werden. Der Wassergehalt der Futtermittel wurde von den Landwirten gemessen oder geschätzt bzw., wenn keine Angaben gemacht wurden, mit Literaturwerten ergänzt. Die Stoffkonzentrationen entsprechen denen der Ernteprodukte und sind dort aufgelistet.

Misch- und Einzelfuttermittel Zukauf: Es handelt sich hierbei einerseits um Getreide, das aufgrund zu geringer Anbauflächen nicht selbst angebaut werden kann, oder aber aufgrund geringer Preise billiger zugekauft als selbst angebaut werden kann, nicht in die Fruchtfolge paßt, oder in diesen Breiten nicht angebaut werden kann. Zum anderen werden unter dieser Bezeichnung auch andere Einzelfuttermittel, z.B. Nebenprodukte industrieller Produktion erfaßt. Mischfuttermittel sind wichtige Produktionsmittel in einer modernen Tierhaltung mit dem Ziel einer leistungsfähigen und bedarfsgerechten Veredelungsproduktion. Man unterscheidet Alleinfutter, Ergänzungs- und Mineralfutter. Der Vorteil von Futtermischungen ist, daß z.B. Aminosäuren und Wirkstoffe in erforderlichen Mengen dosiert sind. Richtlinien im Futtermittelrecht regeln die Zusammensetzung und Kennzeichnung von Mischfuttermitteln.

Die Menge an zugekauften Einzel- und Mischfuttermitteln ist aus der landwirtschaftlichen Buchhaltung oder über Rechnungen erhebbar. Die Deklaration von Inhaltsstoffen ist - hinsichtlich der von uns ausgewählten Stoffe - oft nur unbefriedigend ausgeführt. In vielen Fällen war sie auf den Rohproteingehalt beschränkt. Bei der Erhebung der Gütermengen vor Ort wurden soweit vorhanden die Produktdeklarationsanhänger mitgenommen. So konnten teilweise die Stoffkonzentrationen den Produktdeklarationen entnommen werden. Sie wurden mit Auskünften von Futtermittelfirmen und Faustzahlen aus einschlägiger Literatur erweitert.

In Tabelle 1, Anhang A befinden sich alle Güter samt den Stoffkonzentrationen, die von den untersuchten Betrieben verwendet und zur Berechnung der Bilanzen verwendet wurden.

Stroh Zukauf: In der Tierhaltung wird Stroh bei allen Festmistverfahren als Einstreu verwendet. Die Menge an zugekauftem Stroh ist über Rechnungen erhebbar. Die Menge an eigenproduziertem Stroh wurde vom Landwirt abgeschätzt. Die Strohkonzentrationen werden der Literatur entnommen (Tabelle 4, Anhang A).

Tiere Zukauf: Die Menge der im Bilanzierungszeitraum zugekauften Tiere ist dem Landwirt bekannt und aus den betrieblichen Aufzeichnungen zu entnehmen. Zugekaufte Tiere, die Tiere aus dem Bestand ersetzen, werden beim Bestand mitgezählt. Für verkaufte Tiere, die älter als ein halbes Jahr waren, wurde eine Verweilzeit im Stall von sechs Monaten angenommen. Diese Annahme ist für die Berechnung des Wirtschaftsdüngeranfalls wichtig. Ein Beispiel: Im Berechnungszeitraum wurde eine Kuh verkauft. Dieser Verkauf könnte im Jänner oder aber im Dezember stattgefunden haben. Dementsprechend könnte der Wirtschaftsdüngeranfall des Betriebes um den Anfall einer Kuh schwanken. Mit obiger Anfall wird der Wirtschaftsdüngeranfall von sechs Monaten in der Bilanz berücksichtigt. Um Doppelzählungen der Tiere zu vermeiden, sollte künftig das Quartal, in dem das Tier ver- bzw. eingekauft wurde, notiert werden. Die Stofffrachten der Tiere werden mit Literaturdaten berechnet, die Stoffkonzentrationen sind in Tabelle 2, Anhang A angegeben.

Tierische Produkte: Die Menge der verkauften, tierischen Produkte ist dem Landwirt ebenfalls bekannt und aus der Betriebsbuchhaltung zu entnehmen. Die stoffliche Zusammensetzung (speziell die Schwermetallkonzentrationen) der tierischen Produkte hängt von den Futtermitteln und der art- und altersspezifischen Aufnahme- bzw. Speicherfähigkeit mit entsprechenden Aufenthaltszeiten der einzelnen Stoffe im Körper ab. Die höchsten Schwermetallkonzentrationen werden zumeist in Leber und Niere gefunden. Anhand der Konzentration in bestimmten Organen kann jedoch nicht unmittelbar auf die Fracht des gesamten Körpers geschlossen werden. Zusätzlich muß der Gewichtsanteil des entsprechenden Organs am Gesamtkörper bekannt sein, sowie der Anteil eines Stoffes an der Gesamtkörperfracht (total body burden). Als Beispiel: Blei wird in Leber, Niere und Knochen angereichert. 90% der gesamten im (menschlichen) Körper enthaltenen Bleimenge ist in den Knochen gespeichert [Merian 1984]. Phosphor wird überwiegend (zu ca. 90 %) in das Skelett eingebaut. Während sich Cadmium und Blei über die Jahre anreichern (Cadmium und Blei haben (beim Menschen) eine mittlere Verweildauer von 8 bis 14 respektive 20 (Pb in Knochen) Jahren), findet bei Cu und Zn eine „Plafondierung“ statt. Dies bedeutet, daß ab einer gewissen Konzentration dieser beiden Stoffe im Körper keine weitere Anreicherung mehr stattfindet. Dies kann durch die relativ kurze Verweilzeit im Körper von 12 bis 61 Stunden (Kupfer) und 162 bis 500 Tage (bei Zink) erklärt werden (wiederum bezogen auf den Menschen) [Fiedler&Rösler 1993].

Die Berechnung der Stofffrachten durch die Produktion von Milch und Eiern erfolgte ebenfalls über Literaturdaten (Tabelle 2, Anhang A).

Wirtschaftsdünger: Der Wirtschaftsdüngeranfall ist quantitativ und qualitativ schwer beurteil- und standardisierbar. Sowohl die anfallende Menge von Wirtschaftsdünger am Mistplatz oder

in der Güllegrube, als auch die stoffliche Zusammensetzung dieses Gutes hängt von verschiedenen Faktoren, wie der Menge an Einstreu oder Wasser aus der Stallwaschung, der Art der Aufstallung, der Größe des Lagers und damit dem Anteil an Regenwasser u.v.m. ab.

Der Berechnung der Stofffrachten im Wirtschaftsdünger ist ein eigenes Kapitel gewidmet, das zwei mögliche Berechnungsvarianten miteinander vergleicht (Siehe Kapitel 4.4)

Abgas Wirtschaftsdünger: Während der Lagerung tritt ein Verlust von Stickstoff aus dem Wirtschaftsdünger auf. In der Literatur sind Verluste aus dem Wirtschaftsdüngerlager und der Stallhaltung mit 10 und 40 % des Gesamtstickstoffs quantifiziert. Wir berechnen den N-Verlust mit einer Bandbreite von 15-20% des Gesamtstickstoffs aus der Lagerstätte (siehe weiters Abschätzung der gasförmigen Verluste aus Klärschlamm).

Lager: In der Tierhaltung werden alle Tiere, die zum fixen Tierbestand zählen, als Lager bezeichnet. Das sind v.a. Zuchttiere und Milchkühe. Der Bestand an Milchkühen und Zuchttieren wird im allgemeinen konstant gehalten. Wird ein Zuchttier verkauft, wird es üblicherweise nachbesetzt (z.B. eine Kalbin wird anstelle einer Milchkuh zugekauft, bzw. aus eigener Zucht nachbesetzt). Multipliziert man den Tierbestand mit der Stoffkonzentration pro Tier (Tabelle 2, Anhang A) erhält man das Stofflager der Tierhaltung. Wichtiger als für die Abschätzung des Stofflagers aber ist die Quantifizierung des Tierbestandes für die Berechnung des Wirtschaftsdüngeranfalls (s.o.). Die Lagerstätten für Wirtschaftsdünger werden nicht als Lager betrachtet, da sie üblicherweise jedes Jahr vollständig entleert werden und somit kein echtes Lager darstellen.

4.2 Güter- und Stoffflüsse des Prozesses Pflanzenbau

Nährstoffe: Die Nährstoffaufnahme wird über die Nährstoff- und Schwermetallkonzentrationen der Ernteprodukte und der Ernterückstände berechnet. Die Konzentrationen wurden der Literatur entnommen (siehe Tabelle 3 und 4 im Anhang A).

Pflanzliche Produkte: Die Menge der pflanzlichen Produkte, die verkauft oder im Haushalt des Betriebes verwendet werden, können über Lieferscheine oder aus der Buchhaltung eruiert werden. Die Stoffkonzentrationen sind der Literatur entnommen und in Tabelle 3, Anhang A aufgelistet. Der Wassergehalt der Ernteprodukte zum Erntezeitpunkt ist zu berücksichtigen. Wenn er nicht vom Landwirt angegeben werden konnte, wurde ein durchschnittlicher Wassergehalt aus der Literatur verwendet.

Futtermittel Eigenanbau: Der Teil der Ernteprodukte, der als Futtermittel im Betrieb verbleibt, ergibt sich aus der Differenz der gesamt geernteten Produkte und der verkauften Futtermittel.

Ernterückstände: Der Gesamtanfall von Ernterückständen kann über das Korn/Strohverhältnis berechnet werden. Der Wassergehalt ist für die Berechnung der Stoffgehalte zu

berücksichtigen. Die Stoffkonzentrationen der Ernterückstände sind in Tabelle 4, Anhang A aufgelistet.

Für die Nährstoffbilanzen landwirtschaftlicher Böden ist Stroh von zweitrangiger Bedeutung, da sein Nährstoffgehalt gering ist. Für die Humusbilanz ist der Verbleib des Strohs am Feld hingegen ein wichtiger Faktor zur Erhaltung des Humusanteiles. Ebenso wird durch das am Feld verbleibende Stroh die Bodenstruktur verbessert. Durch das weite C/N Verhältnis von Stroh findet die Mineralisierung verzögert statt. Die gebundenen Nährstoffe werden erst über einen längeren Zeitraum hin wieder pflanzenverfügbar.

Ernterückstände Eigenbedarf: Die Menge an Ernterückständen, die in der Tierhaltung als Einstreu verwendet werden, wurde bei den Betrieben erhoben. Die Einstreu wird gemeinsam mit dem Wirtschaftsdünger zumeist wieder auf die betriebseigenen Flächen aufgebracht.

Ernterückstände Verkauf: Die verkauften Ernterückstände bedeuten einen echten Stoffentzug für den landwirtschaftlichen Boden der Betriebe. Sie sind aus der Buchhaltung oder über Lieferscheine erhebbar.

Ernterückstände Boden: Die Menge kann über das Korn-Stroh-Verhältnis abzüglich der als Einstreu verwendeten und/oder verkauften Ernterückstände errechnet werden.

4.3 Güter- und Stoffflüsse des Prozesses landwirtschaftlicher Boden

Handelsdünger: Die eingekauften Handelsdüngermengen sind beim Landwirt über Rechnungen erhebbar. Während der Nährstoffgehalt der Handelsdünger deklariert ist, sind die Zn-, Cu-, Pb- und Cd-Konzentrationen aus der Literatur entnommen. Sie sind in der Tabelle 5, Anhang A aufgelistet. Es sei darauf hingewiesen, daß die hier benutzten Literaturwerte nicht mit den aktuellen Schwermetallgehalten der Dünger identisch sein müssen.

Die Cadmiumfracht mit Handelsdüngern kann je nach Ort der Phosphatlagerstätte stark schwanken. Je nach Weltmarktpreis wechselt das Herkunftsland des Phosphatgesteins (z.T. mehrmals jährlich). Der Cadmiumgehalt der P-hältigen Handelsdünger beträgt im Durchschnitt 38 bis 40 mg Cd je kg P_2O_5 [Agrolinz 1996]. Der Grenzwert für den Cadmiumgehalt liegt für mineralische Düngemittel (ab einem Gehalt von 5 % P_2O_5) bei 75 mg/kg P_2O_5 [Düngemittelverordnung 1994].

Für Zink, Kupfer, Blei und Cd (von <5 % P_2O_5) gibt es keine Grenzwerte, sondern Richtwerte. Werden die Richtwerte für Cu und Zn überschritten, ist der Name des Schwermetalls und dessen Gehalt in der Kennzeichnung anzugeben. Bei den übrigen Schwermetallen ist für den Fall einer Überschreitung des Richtwertes eine Kennzeichnung mit dem Satz „Erhöhter Schwermetallgehalt, empfohlene Aufwandmenge nicht überschreiten!“ (bei einer 5-fachen Überschreitung „Stark erhöhter Schwermetallgehalt, empfohlene Aufwandmenge nicht überschreiten!“) deutlich aufmerksam zu machen [Düngemittelverordnung 1994].

Tabelle 4.1: Richtwerte für Schwermetalle in Handelsdüngern (mit einem P_2O_5 Gehalt < 5%) [DüngemittelVO 1994]

Schwermetall	Richtwert (mg/kg TS)
Blei	100
Cadmium	1
Kupfer	100
Zink	300

Pflanzenschutzmittel: Der Einsatz von Pflanzenschutzmitteln ist in Oberösterreich sowohl für die Erstellung von regionalen Nährstoff- als auch regionalen Schwermetallbilanzen ohne Bedeutung [Kernbeis et al. 1995]. Wird schlagbezogen bilanziert, so ist der Nährstoffinput durch Pflanzenschutzmittel weiterhin aufgrund ihrer geringen Verwendungsmenge und Stoffkonzentration für die Nährstoffbilanz unerheblich. Hingegen kann der Schwermetalleintrag der Elemente Kupfer und Zink von Bedeutung sein. Blei- und Cadmiumverbindungen werden in Österreich nicht im Pflanzenschutz eingesetzt [pers. Mitteilung Institut f. Pflanzenschutz 1996].

95 % der von den bilanzierten Betrieben eingesetzten Pflanzenschutzwirkstoffe (83 verschiedene Präparate) konnten chemisch dargestellt werden [Amtliches Pflanzenschutzmittelverzeichnis 1994; Copping, L.G. 1995; Hassall & Kenneth 1990]. Nur drei Pflanzenschutzmittel enthielten die Schwermetalle Zink und Kupfer, die in dieser Arbeit bilanziert werden.

Außer einem einzigen Mittel („Ridomil“) ist keines der eingesetzten Mittel zinkhaltig. Ridomil besteht aus einem Gemisch der Wirkstoffe Mancozeb (640 g/kg) und Metalaxyl (80 g/kg), wobei Mancozeb Zink enthält. Zwei weitere Präparate enthalten Kupfer („Cupravit spezial“ (400 g Cu/kg) und „Cuproxat flüssig“ (190 g Cu/l).

Klärschlamm: Die Betriebe, die Klärschlamm aufbringen, besitzen für ihre Klärschlämme Klärschlammzeugnisse. Die Probenahme in den Kläranlagen erfolgte für die Klärschlämme der untersuchten Betriebe aus dem Faulturm (in dem rund 1/3 des jährlich anfallenden Klärschlammes gespeichert ist) der vor der Probenahme durchmischt wird und somit einen repräsentativen Mittelwert darstellen sollte (Kläranlage Oberes Kremstal/Wartberg 1995). Ob die Bauern ebenfalls eine durchmischte Charge bekommen wurde nicht abgeklärt. Dies ist jedoch in Bezug auf mögliche Aussagen auf Grund einer einmaligen (Pregarten) bzw. zweimaligen (Wartberg) Beprobung für die Betriebsbilanzen ohne Belang. Jahreszeitliche Schadstoffschwankungen können bei der derzeitigen Beprobung nicht abgeschätzt werden.

Die erlaubte Höchstmenge an Klärschlamm die aufgebracht werden kann, ist bundesländerweise verschieden. Das OÖ Bodenschutzgesetz [115. Landesgesetz f. Oberösterreich, 1991] gestattet eine Klärschlamm- oder Klärschlammkompostaufbringungsmenge von 10 t TS/ha innerhalb von drei Jahren, bei einem Mindesttrockensubstanzgehalt von 35% TS im Klärschlamm. Für Klärschlämme mit einem Trockensubstanzanteil unter 35% gilt eine jährliche Aufbringungsobergrenze von 2,5t TS Klärschlamm pro Jahr und 5 t TS/ha innerhalb

von drei Jahren. Begleitend dazu sind Klärschlamm- und Bodenuntersuchungen vorgeschrieben.

Die Tabelle 8, Anhang A gibt die Klärschlammanalyseergebnisse für Zink, Kupfer, Cadmium und Blei in ppm TS größenmäßig geordnet nach der Konzentration wieder.

Die Klärschlämme der Anlage Wartberg mit 94,6 % WG (Wartberg 1) bzw. 93,7% WG (Wartberg 2) sind auffallend hoch mit Zink belastet und liegen nur rund 10% unter dem Grenzwert für Klärschlämme. Ebenso liegt die Cu-Belastung dieser Anlage im Vergleich zu den Bezirksergebnissen relativ hoch, wobei insbesondere Wartberg 2 hervorzuheben ist. Eine Gefahr des Überschreitens des Cu-Grenzwertes scheint jedoch nicht gegeben zu sein.

Die Zinkbelastung des Klärschlammes aus der Anlage in Gallneukirchen ist gering, und liegt bei etwa einem Drittel des gesetzlich zulässigen Höchstgehaltes. Die Kupferwerte liegen jedoch in etwa im Landesdurchschnitt.

Die Zinkkonzentration in der Anlage Pregarten liegt etwa 25 % unter dem erlaubten Grenzwert von 1600 mg/kg TS. Im Vergleich zum Durchschnitt aus 13 Kärntner Kläranlagen im Jahre 1993 von 995 mg/kg TS ist jedoch auch dieser Klärschlamm in Bezug auf die Zinkkonzentration als stärker belastet anzusehen. Der Kupfergehalt des Klärschlammes ist einer der geringsten in OÖ. Allerdings liegt er in selber Höhe wie der Durchschnittswert in Kärnten.

Die Zink und Kupferkonzentrationen im abgepreßten Klärschlamm mit 57,7% WG liegen sehr niedrig. Dies ist mit der Kalkstabilisierung des Klärschlammes und der dadurch bedingten Verdünnung zu erklären.

Die Cadmiumwerte aller oberösterreichischer Klärschlämme sind im Vergleich mit Literaturwerten gering und liegen deutlich unter den höchstzulässigen Konzentrationen. Vier der fünf näher betrachteten Klärschlämme zählen zu den besonders gering belasteten. Der Klärschlamm Wartberg 2 weist jedoch die höchsten Konzentrationen der oberösterreichischen Anlagen auf.

Die Bleigehalte aller oberösterreichischen Klärschlämme sind im Vergleich zur Literatur niedrig. Die Konzentrationen der Schlämme der Anlage Wartberg, mit Ausnahme des Klärschlammes 2, und Gallneukirchen sind dabei äußerst niedrig, die Pb-Konzentrationen in Pregarten liegen im Mittelfeld. Alle Werte liegen deutlich unter der erlaubten Höchstkonzentration von 400 mg/kg TS.

Nährstoffe in Klärschlämmen: Je nach Ausstattung der Abwasserreinigungsanlagen und der Zusammensetzung des Rohabwassers können die Nährstoffgehalte im Klärschlamm stark schwanken. Während die N-Werte in den erhobenen Klärschlämmen beinahe ident sind, schwanken die P-Konzentrationen beinahe um einen Faktor 3. Da die Konzentrationen der Nährstoffe N und P auf Feuchtsubstanz bezogen sind, sind die Konzentrationen des Klärschlammes Wartberg 3, der 57,7 % WG aufweist mit Abstand am höchsten.

In Tabelle 7, Anhang A, sind die Stoffkonzentrationen der Klärschlämme, die in den untersuchten Betrieben aufgebracht wurden, nochmals zusammenfassend dargestellt.

Abschätzung der gasförmigen N-Verluste bei Klärschlammaufbringung

Stickstoff liegt im Klärschlamm überwiegend in organischer Form vor. Der gelöste Anteil besteht hauptsächlich aus Ammonium und kann im Flüssigschlamm bis zu 50 % der N-Fracht betragen [DLG-Merkblatt 1983]. Bei den in den untersuchten Betrieben aufgebrachten Klärschlämmen liegt der Anteil an Ammonium-Stickstoff am Gesamtstickstoff zwischen 19 und 27% (bei Wassergehalten zwischen 94,9 und 96,2%).

Wird der Klärschlamm entwässert, gehen die leichter löslichen Nährstoffe verloren. (Beim Klärschlamm mit 57,7% WG der Kläranlage Wartberg beträgt der Ammoniumanteil 4% der gesamten N-Fracht)

Die Intensität der NH_3 - Verflüchtigung ist neben der Form und der Aufbringung vom pH-Wert und Wassergehalt des Bodens und der Vegetationsrückstände, der Austauschkapazität, dem Redoxpotential, der Temperatur und dem Austausch mit der Atmosphäre abhängig. Größere Intensitäten sind dann zu erwarten, wenn der pH-Wert des ausgebrachten Klärschlammes oder des Bodens sich im basischen Bereich ($>\text{pH } 8$) befindet, da sich bei steigender OH^- Konzentration die Gleichung $\text{NH}_4^+ + \text{OH}^- = \text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O}$ nach rechts verschiebt. Der Anteil an NH_3 im Boden beträgt annähernd bezogen auf 20°C bei pH 6 0,1%, bei pH 7 1%, bei pH 8 10% und bei pH 9 rund 50% [Scheffer & Schachtschabel 1992]. Während „mäßig ausgefaulte“ Klärschlämme einen pH von 6,8 bis 7,3 aufweisen steigt der pH-Wert bei „gut“ und „sehr gut ausgefaulten“ Schlämmen auf 7,2 bis 7,5 respektive 7,4 bis 7,8 [Böhnke 1993]. Verwendet man viel Kalk zur Klärschlammstabilisierung (z.B. beim Einsatz von Kammerfilterpressen) können pH-Werte von bis zu 12 auftreten. In diesen Fällen ist mit bedeutenden NH_3 -Emissionen beim Abpressungsvorgang zu rechnen (20 bis 30 % des im Klärschlamm enthaltenen Stickstoffs). Bei der Entwässerung geht jedoch, wie erwähnt, ein Großteil des gelösten Stickstoffs verloren. Aus diesem Grunde sind die NH_3 -Emissionen aus derartigen Schlämmen (in denen N hauptsächlich noch in organisch gebundener Form vorliegt) bei der Aufbringung vernachlässigbar.

Auf den vorliegenden Klärschlammanalysen sind keine pH-Werte vermerkt. Unsererseits wurde nicht erhoben, ob der Klärschlamm „schlecht“, „mäßig“, „gut“ oder „sehr gut“ ausgefault war. Zur Abschätzung der möglichen Abgasung wird deshalb ein pH-Wert von 8 und damit ein Verhältnis $\text{NH}_3 : \text{NH}_4$ von 1 : 9 angenommen. Man erhält einen maximalen N-Verlust bei der Aufbringung von Klärschlamm von 2 bis 3% der Gesamtfracht. Durch das Abgasen von NH_3 stellt sich in der Reaktionsgleichung ein Ungleichgewicht ein, das durch eine Neubildung von NH_3 aus dem NH_4 -Anteil wiederum ausgeglichen wird. Aus obiger Reaktionsgleichung ergibt sich jedoch eine Abnahme der OH^- -Konzentration und damit eine Abnahme des pH-Wertes. Bei rascher Einarbeitung des aufgebrachten Klärschlammes kann jedoch angenommen werden, daß obig genannte maximale Abgasungsmenge von 2 bis 3% des Gesamtstickstoffs beibehalten werden kann. In weiterer Folge dieser Studie wird die Abgasung von Ammoniak aus Klärschlamm nicht weiter betrachtet.

Tabelle 4.2: Verhältnis NH_4 : Gesamt-N in verschiedenen Wirtschaftsdüngern

	Der fortschrittliche Landwirt	Fachbeirat f. Bodenfruchtbarkeit und -schutz
	NH_4 -Anteil am Gesamt-N in %	NH_4 -Anteil am Gesamt-N in %
Rinderjauche	91	90
Schweinejauche	67	o.A.
Rindergülle	55	50
Schweinegülle	74	65
Rindermist	11	15
Schweinemist	32	o.A.

In Jauche liegt N zum überwiegenden Teil in Ammoniumform vor. In Gülle liegt der Ammoniumanteil zwischen 50 und 75%, bei Mist zwischen 10 und 30%. Die pH-Werte von Gülle liegen wie der von Klärschlamm zwischen 7 und 8, die von Festmist zwischen 8 und 9 [Aichberger et al. 1995]. Jauche hat ebenfalls einen pH-Wert zwischen 8 und 9 [Schiller, Singule und Baumgartner 1953].

Kompost: Die Kompostierung ist ein eigener Prozeß mit Kompostrohmaterial als Inputgut und dem fertigen Kompost als Outputgut. Die Kompostierung wird als Prozeß, der außerhalb der Systemgrenzen liegt, betrachtet. Deshalb ist Kompost im System landwirtschaftlicher Betrieb ein Importgut. Rund ein Drittel der untersuchten Betriebe setzt Kompost auf ihren landwirtschaftlichen Flächen ein. Fast jeder dieser Betriebe hat mit der Kompostierung erst vor Kurzem begonnen und betreibt eine eigene oder eine Gemeinschaftskompostierungsanlage. Die Stofffrachten im Kompost werden mit Meßergebnissen der Kompostanalysen der verwendeten Komposte berechnet und mit Literaturzahlen (der Pgesamt-Gehalt wurde in keinem Fall gemessen) ergänzt [Buwal 1985].

Wird bei den Nährstoffbilanzen des landwirtschaftlichen Bodens (über ein Jahr gerechnet) die gesamte Nährstofffracht angerechnet, so verbleiben hohe Überschüsse im Boden. Für die Stickstoffauswaschung und die Denitrifikation, berechnet als jeweils 50% des N-Überschusses im Boden, würde eine 100%ige Anrechnung der Nährstoffgehalte hohe Frachten in die Umwelt zeigen. Dieses Bild ist dann falsch, wenn die Kompostgaben jährlich variieren oder erst seit kurzem mit der Kompostaufbringung begonnen wurde. Findet nicht jährlich derselbe Komposteintrag statt, so liegt der nicht im ersten Jahr mineralisierte Stickstoff organisch gebunden vor und kann nur wenig ausgewaschen und denitrifiziert werden. Für die Berechnung der Stickstoffauswaschung und Denitrifikation von Betrieben, die Kompost auf ihre Felder ausbringen, wird daher nicht der Gesamtstickstoffgehalt des Kompostes, sondern nur der im ersten Jahr verfügbare Stickstoff herangezogen.

Die Stickstoffmineralisierung von Kompost hängt von der Menge der leicht verwertbaren Kohlenstoffverbindungen für Mikroorganismen und dem C/N-Verhältnis ab. Reife Komposte setzen Stickstoff frei, der direkt pflanzenverfügbar ist, während unreife Komposte und Komposte mit hohem Kohlenstoffüberschuß einen Teil des mineralisierten Stickstoffs erneut organisch einbinden. Die Mineralisierungsleistung hängt vom Ausgangsmaterial ab und beeinflusst stark die pflanzenverfügbare Freisetzung von Stickstoff. In Untersuchungen wurde gezeigt,

daß die Mineralisierung über einen Zeitraum von 28 Wochen nach Aufbringung des Kompostes zwischen 0 und 50% des Gesamtstickstoffs betragen kann [Berner B. und Bieri M. 1991]. In einem anderen Versuch wurde die Nährstoffwirksamkeit von Kompost mit durchschnittlich 5,8% angegeben [Del Zan et al. 1986 in Berner und Bieri 1991]. Durch Mineralstickstoffgaben kann die Mineralisierung zusätzlich angeregt werden. Die jährliche Stickstoffverfügbarkeit im Kompost wird mit einer Bandbreite von 5 bis 20% des Gesamtstickstoffs berechnet. Für eine jährliche Stickstoffbilanzierung muß die jährliche Stickstofffreisetzung aus Kompost als Inputgut berücksichtigt werden.

Die Gesamtgehalte an Pflanzennährstoffen im Kompost sind, wie bereits erwähnt im Anwendungsjahr nicht vollständig pflanzenverfügbar. Für Phosphor kann jedoch auf längere Sicht (3 bis 5 Folgejahre) eine Verfügbarkeit von 100% angenommen werden. Im Anwendungsjahr kann beim pflanzenverfügbaren P-Anteil zusätzlich zwischen dem verfügbaren Gehalt zum Anwendungszeitpunkt und dem verfügbaren Gehalt im Anwendungsjahr unterschieden werden. Für den Anwendungszeitpunkt können 14 bis 39 % (P_{CAL}) des Gesamtgehaltes [Schaaf H. 1993] bzw. 30 % [LAGA Merkblatt M 10 1995] angesetzt werden. Bei der Bilanzierung über einen Zeitraum von einem Jahr ist jedoch die Verfügbarkeit zum Anwendungszeitpunkt nicht ausreichend. Für die Verfügbarkeit im Anwendungsjahr kann 30 bis 60% [Vogtmann 1991 et al.] bzw. 50% [LAGA Merkblatt M10 1995] angenommen werden.

Die Nährstoff- und Schwermetallkonzentrationen der Komposte der Untersuchungsbetriebe sind in der Tabelle 9, Anhang A zusammengefaßt.

Deposition: Die Deposition ist ein vom Bauern nicht beeinflussbarer Faktor, der vor allem für die Schwermetalle, aber auch für die Stickstoffbilanz eine wesentliche Rolle spielt. Die verwendeten Daten (Tabelle 10, Anhang A) stammen aus Depositionsmessungen in Oberösterreich, die bereits in BKKB 1 [Kernbeis et al. 1995] verwendet wurden.

N-Fixierung: Bei der Stickstofffixierung unterscheidet man zwischen der

- asymbiotischen Fixierung (rund 10 bis 30 kg N/ha.a) und
- der symbiotischen Stickstofffixierung, die auf bestimmte Pflanzen (Leguminosen) beschränkt ist. Die symbiotische N-Fixierungsleistung wird kulturspezifisch berücksichtigt. Falls eine stickstofffixierende Zwischenfrucht angebaut wurde, wurde diese bei der Erstellung der Stoffbilanzen ebenfalls berücksichtigt (Tabelle 11, Anhang A).

Nährstoffe U: Phosphor ist im Boden sehr unbeweglich. Der P-Transport über den kapillaren Aufstieg kann vernachlässigt werden, da nur ein geringer Anteil des Phosphors über den Massenfluß aufgenommen wird [Gisi U. 1990]. Die Hauptnährstoffaufnahme erfolgt über Diffusion. Die Quantifizierung des Phosphorentzuges aus dem Unterboden erfolgte anhand von Literaturdaten [Öhmichen J. 1983, Scheffer und Schachtschabel 1992]. Es wurde angenommen, daß 10 bis 30 % des von den Pflanzen benötigten Phosphors aus dem Untergrund aufgenommen werden.

Für Stickstoff war es nicht möglich befriedigende Daten über den Nährstoffentzug aus dem Untergrund bzw. den kapillaren Aufstieg von Bodenwasser zu finden und diese mit Daten

über Nährstoffverlagerungen aus der Pflugschicht in den Unterboden zu verknüpfen. Es wird angenommen, daß sich der Nährstoffentzug aus tieferen Bodenschichten sowie der N-Transport durch den kapillaren Aufstieg der N-Verlagerung durch Auswaschung in den Unterboden die Waage halten.

Wirtschaftsdünger: siehe Kapitel 4.4

Nährstoffe: siehe Kapitel 4.2

Auswaschung: Die Auswaschung von Schwermetallen und Phosphor in den Untergrund ist gering. Sie wurde analog zu BKKB 1 [Kernbeis et al. 1995] berechnet.

Für die Stickstoffbilanz landwirtschaftlicher Böden spielt die Auswaschung eine wichtige Rolle. Die Quantifizierung der Stickstoffauswaschung hängt von verschiedenen Faktoren ab. In dieser Studie wurde der Ansatz von [Wendtland 1993] verfolgt, der die Auswaschung mit 50% des Stickstoffüberschusses im Boden quantifiziert. Diese Annahme mag für viele Böden nicht zutreffen. Sie soll in erster Linie aufzeigen, in welcher Größenordnung sich N-Auswaschungen befinden können. Die Auswaschungsmengen der sechs Elemente sind in Tabelle 12, Anhang A beschrieben.

Denitrifikation: Das Ausmaß der Denitrifikation hängt wie die Auswaschung von verschiedenen Faktoren wie Temperatur, Sauerstoffgehalt des Bodens, Wassergehalt des Bodens etc. ab. Die Denitrifikation wird mit 50% des im Boden verbleibenden N-Überschuß quantifiziert [Wendtland 1993]. In wassergesättigten Böden werden die N-Verluste als Emission in die Atmosphäre dominieren, während auf leichten Böden die Auswaschung die dominante Verlustquelle ist.

Abgas Dünger: Aus dem ausgebrachten Wirtschafts- und Handelsdünger gibt es gasförmige Stickstoffverluste in die Luft. Die Menge hängt u.a. von der Ausbringungsart und vom Wetter (Temperatur, Austausch mit der Atmosphäre) zum Zeitpunkt der Aufbringung ab. Durchschnittliche N-Verluste aus Wirtschaftsdüngern vom Feld werden zwischen 10 und 30 % des Gesamtstickstoffs angegeben. Die Ammoniakverluste aus Handelsdüngern sind wesentlich geringer. Sie liegen zwischen 1 und 3 % des Stickstoffgehalts. Bei Düngestickstoff, Harnstoff und Ammonsulfat liegt der N-Verlust zwischen 10 und 15 %. Wir rechnen für das Gut *Abgas Dünger* mit einer Bandbreite von 15 bis 20% des Gesamtstickstoffgehaltes von Wirtschafts- und 1 und 3 % von Handelsdüngern. Die Abgasungen aus Klärschlamm bleiben aus bereits genannten Gründen unberücksichtigt (siehe Kapitel Klärschlamm).

Bodenlager: Das betrachtete Bodenlager bezieht sich auf eine Tiefe von 30 cm. Das ist der Bereich, der am stärksten der anthropogenen Beeinflussung unterliegt. In diesem Sinne kann der Stoffgehalt des Bodenlagers Auskunft über vergangene Belastungen geben. Dies trifft nicht für alle Stoffe zu. Am wenigsten trifft diese Aussage für Stickstoff zu, da Stickstoff ein sehr mobiles Element ist.

Stabilisierte Ökosysteme bilden für organischen Stickstoff ein Gleichgewicht, bei dem sich N-Zufuhr und die Verluste die Waage halten [Scheffer und Schachtschabel 1992]. Für Böden mit konstanter Bewirtschaftung und Vegetation gilt ebenfalls, daß der sich einstellende N-Gehalt

v.a. durch Klima, Vegetation, Düngung und Bodenbearbeitung bestimmt wird. Ändert sich die Vegetation oder Bodennutzung, so kann ein Teil des Stickstoffs im Boden beim Abbau der organischen Stoffe kurzfristig mikrobiell festgelegt werden. Ein anderer Teil kann aber auch langfristig in resistente organische Verbindungen (Humus) eingebaut werden, wenn der N (org.) Gehalt geringer ist, als es dem Gleichgewicht des Bodens entspricht. Dies ist z.B. bei der Vertiefung der Ackerkrume der Fall. Der Humusgehalt landwirtschaftlicher Böden kann zwischen >2 und $< 20\%$ liegen. Diese Werte sind jedoch als Extremwerte landwirtschaftlicher Böden zu verstehen. Als „ausreichender“ Humusgehalt, der sich „normal“ auf die Stickstoffdynamik des Bodens auswirkt, wird ein Humusgehalt von 2-5% angegeben [Walther et al. 1994]. Je höher der Humusgehalt des Bodens ist, desto mehr Stickstoff kann zu günstigen Witterungsverhältnissen mineralisiert (und wenn das Stickstoffangebot den Pflanzenbedarf übersteigt auch ausgewaschen oder denitrifiziert) werden. Daher werden für Böden mit Humusgehalten $> 3\%$ Abschlagswerte für die Stickstoffnormdüngung empfohlen, die beispielsweise für Böden mit 3-5% Humus bei 20 kg N/ha.a betragen und für humusreiche Böden mit einem Humusgehalt $> 20\%$ bis 180 kgN/ha.a erreichen können [Walther et al. 1994]. D.h. je humusreicher ein Boden ist, desto geringer soll die Stickstoffdüngung sein. Die Stickstoffzufuhr soll mit der Stickstoffabfuhr übereinstimmen, der Humusgehalt konstant bleiben. Wenn der Betrachtungszeitraum nur ein Jahr beträgt, wie es bei der betrieblichen Bilanzierung sinnvoll ist, ist es daher möglich, daß der Stickstoffüberschuß nicht im selben Jahr in Wasser oder Luft emittiert, sondern im Bodenlager bleibt. Über sehr lange Zeiträume betrachtet bleibt der N-Gehalt des Bodens bei gleicher Bodennutzung und Vegetation jedoch in etwa konstant (N-Gleichgewicht).

Der Humusgehalt des landwirtschaftlichen Bodens ist mit maximal 20% begrenzt (sonst kann man nicht mehr von landwirtschaftlichen Böden sprechen), die darüberhinausgehenden Stickstoffüberschüsse müssen dem Boden verloren gehen. Durch seine chemische Umwandlungsfähigkeit entweicht ein Teil des Stickstoffüberschusses im Boden in die Luft und über den Untergrund in das Grundwasser. Die kurzfristige Anreicherung des Bodens mit Stickstoff, die mit Hilfe der Stoffbilanzierung erkennbar und quantifizierbar ist, gibt deshalb Aufschluß über potentielle Umweltbelastungen durch Stickstoffverbindungen.

Phosphor liegt in der Ackerkrume von Mineralböden zu 25 bis 65 % in organisch gebundener Form vor [Scheffer&Schachtschabel 1992]. Somit ist der P-Gehalt von Böden auch vom Anteil der organischen Substanz in Böden abhängig. Böden von Dauergrünland enthalten meist mehr organische Substanz als benachbarte Ackerböden, weil mehr Streu anfällt. Zusätzlich hat die Menge an Wurzelrückständen, die im Boden belassen werden, einen großen Einfluß auf den Humusgehalt. Der Anbau von Klee gras, Rotklee, Landsberger Gemenge etc. ist ein wirksames Mittel, den Anteil an organischer Substanz im Boden zu erhöhen. Es ist jedoch zu beachten, daß Phosphor im Boden eine deutlich unterschiedliche Dynamik zu Corg. oder Stickstoff aufweist. Eine Abnahme des organischen Bodenanteils hat zwar Verluste an Corg. (als CO_2 , etc.) als auch an N (NO_3 -Auswaschung, etc.) zur Folge, P hingegen wird kaum ausgewaschen, noch wird es in gasförmige Verbindungen umgewandelt. Der P-Gesamtgehalt von Böden wird in der Bodenzustandsinventur des Landes Oberösterreich nicht erhoben. Anhand des in der Inventur erhobenen pflanzenverfügbaren Phosphates kann nicht auf den P-Gesamtgehalt umgerechnet werden. Aus diesem Grunde wurden zur Bestimmung des P-Lagers

in Acker- und Wiesenböden Werte aus vergleichbaren Gebieten übernommen [Glenck et al. 1995].

Werden N und P-Gehalte in 10 cm Bodentiefe aus einer schweizerischen Untersuchung [von Steiger & Baccini 1990] gegenübergestellt, so erkennt man, daß zunehmende N-Gehalte auch zunehmende P-Gehalte zur Folge haben, wobei jedoch die Zunahme des P-Gehaltes erwartungsgemäß wesentlich geringer ist als jene des Stickstoffs. Es gibt somit einen Zusammenhang zwischen der N-Konzentration und der P-Konzentration.

Aus bereits genannter Tatsache, daß in Grünlandböden höhere Gehalte an organischer Substanz und Stickstoff vorliegen kann somit auch angenommen werden, daß höhere P-Gehalte vorliegen.

Die Schwermetalle verlagern sich unterschiedlich schlecht aus den landwirtschaftlichen Böden in den Unterboden und geben gute Auskunft über die Bewirtschaftung der letzten Jahre (Jahrzehnte). Die Stabilität der metallorganischen Bindungen nimmt in der Reihenfolge $Zn \ll Cd \ll Pb \ll Cu$ zu und ist u.a. von der Kationenaustauscherkapazität und dem pH-Wert abhängig. Während Kupfer erst bei einem pH-Wert $< 4,5$ mobil wird, ist dies bei Zink bereits bei einem pH-Wert < 6 der Fall [Amt der OÖ Landesregierung 1993].

In Tabelle 13, Anhang A sind die Stoffkonzentrationen der landwirtschaftlichen Böden angeführt. Sie entstammen der Oberösterreichischen Bodenzustandsinventur 1993 und wurden mit Daten aus der Literatur ergänzt.

Das Bodenlager wurde für die ersten 30 cm des Bodens berechnet. Die Dichte des Bodens wurde mit 1,5 kg/l angenommen.

4.4 Der Spezialfall Wirtschaftsdünger - Berechnungen der Anfallsmengen und Stofffrachten

Die Berechnung des Wirtschaftsdüngeranfalls und seiner Stofffrachten ist für die Stoffbilanzierung landwirtschaftlicher Betriebe von großer Wichtigkeit. Wirtschaftsdünger ist in der Menge, Art und Zusammensetzung von der betrieblichen Praxis abhängig. Der hofeigene Wirtschaftsdünger ist jedoch vom Landwirt quantitativ und qualitativ - wenn keine Analysen vorliegen - schwer abzuschätzen. Eine häufig gebrauchte Möglichkeit zur Abschätzung der Wirtschaftsdüngermenge von Seiten der Landwirte ist die Rückrechnung der ausgebrachten Fuhren Gülle oder Mist, die teilweise in Schlagkarteien aufgezeichnet sind, auf den jährlichen Anfall. Eine andere gebräuchliche Abschätzung des jährlichen Wirtschaftsdüngeranfalls ist die Hochrechnung durchschnittlicher Aufbringungsmengen von Mist und/ oder Gülle pro Kultur. Beide Abschätzungen können über die Dimension der Lagerstätten und die Anzahl der jährlichen Entleerungen gegengerechnet und überprüft werden.

Gülle und Jauche werden meistens in ein gemeinsames Lager geleitet, in das oft zusätzlich Wasser aus der Stallreinigung, die Hausabwässer und teilweise auch Kompost- oder Regenwasser gelangt, die die Menge an flüssigem Wirtschaftsdünger erhöhen und seine Stoffkonzentrationen verändern können. Die Nährstoffkonzentrationen im Wirtschaftsdünger

hängen eng mit der Fütterung zusammen. Die betriebsspezifische Tierhaltung hat also den größten Einfluß auf die Qualität des Wirtschaftsdünger hinsichtlich der Nährstoffe Stickstoff und Phosphor. Ein wesentlicher Faktor für die Veränderung der Nährstoffkonzentrationen von Wirtschaftsdüngern ist seine Verdünnung durch Stallwaschwässer, Einstreu oder ihre Behandlung wie Belüftung, etc. Dementsprechend können Analyseergebnisse von Wirtschaftsdüngern verschiedener Betriebe untereinander stark schwanken.

Eine Berechnung der Stofffrachten im Wirtschaftsdünger über die Angaben der Landwirte, die häufig nur Schätzwerte darstellen, und den unbekanntem Verdünnungsfaktoren und Trockensubstanzgehalten ist daher mit großen Unsicherheiten behaftet. Da betriebseigene Wirtschaftsdüngeranalysen nur selten vorzufinden sind, und diese auch nur eine Momentaufnahme darstellen, werden in diesem Kapitel drei Varianten zur Berechnung der anfallenden Wirtschaftsdüngermengen und der darin enthaltenen Stofffrachten diskutiert.

1. Bei der Variante 1 gelangt man über die Bilanzierung der Input- und Outputgüter der Tierhaltung zu den Stofffrachten im Wirtschaftsdünger.
2. Bei der Variante 2 werden die Wirtschaftsdüngermengen und die darin enthaltenen Stofffrachten über Literaturangaben berechnet.
3. In Variante 3 werden die Nährstofffrachten im Wirtschaftsdünger über die Tierzahl berechnet.

4.4.1 Variante 1 - Bilanzierung der Stofffrachten im Wirtschaftsdünger

Die Abschätzung der Stofffrachten im Wirtschaftsdünger erfolgt über die Bilanzierung der verbrauchten Futtermittel, der verwendeten Einstreu und des Entzuges durch die tierischen Produkte.

Bilanziert man den landwirtschaftlichen Betrieb auf Betriebsebene, könnte das von betriebseigenen Feldern stammende Stroh unberücksichtigt bleiben, da es über den Umweg Tierhaltung wieder auf die Felder gelangt. Bei der Bilanzierung auf Schlagebene müssen alle aus der Einstreu resultierenden Stofffrachten berücksichtigt werden, da jene Flächen auf denen das Stroh geerntet wurde nicht mit jenen Flächen ident sein müssen, auf welche Wirtschaftsdünger aufgebracht wird. In der vorliegenden Studie wird das Stroh als Einstreu für die Berechnung der Stofffrachten im Wirtschaftsdünger sowohl auf Betriebs- als auch auf Schlagebene berücksichtigt.

Die Berechnung der Stofffrachten (F) im Wirtschaftsdünger (WD) erfolgte für jeden Untersuchungsbetrieb über die Stofffrachten in den Futtermitteln (FM), im Stroh (S), in den verkauften Tieren und tierischen Produkten (TV).

$$F_{WD} = F_{FM} + F_S - F_{TV}$$

4.4.2 Variante 2 - Berechnung der Stofffrachten im Wirtschaftsdünger mittels Literaturdaten

Die Berechnungsgrundlage der Variante 2 basiert v.a. auf Literaturdaten. Von den Landwirten stammen lediglich Angaben über die Anzahl der Tiere und die aus der Art der Stallhaltung resultierende Wirtschaftsdüngerart. Werden Zuchtschweine z.B. auf Stroh gehalten, fällt Festmist und Jauche an, werden Mastschweine auf Spaltenböden gehalten, fällt Gülle an usw..

a) Berechnung des Wirtschaftsdüngeranfalls

Der erste Schritt der Variante 2 ist die Berechnung des Wirtschaftsdüngeranfalls aller Tiere, die im betrachteten Zeitraum im Stall waren. Dies ist notwendig, da die Abschätzung der Wirtschaftsdüngermengen bei den Landwirten nur in ungenügender Genauigkeit vorliegen. Vor allem sind Angaben über Trockensubstanzgehalt und Verdünnung unbekannt, die zur Berechnung der Stofffrachten bekannt sein müssen, da die Stoffkonzentrationen im Wirtschaftsdünger an seinen Trockensubstanzgehalt gekoppelt sind.

Der jährliche Tierbestand wird in die einzelnen Tierarten unterteilt. Unter dem Tierbestand werden hier alle Tiere verstanden, die innerhalb eines Jahres im Stall gestanden sind. Innerhalb einer Tierart werden verschiedene Altersstufen unterschieden, da der Wirtschaftsdüngeranfall altersabhängig ist.

Der berechnete Wirtschaftsdüngeranfall bezieht sich auf die Aufenthaltsdauer eines Tieres innerhalb eines Jahres. (Wenn z.B. ein Mastschwein bei drei Umtrieben 120 Tage im Stall gehalten wird, so bezieht sich die berechnete Wirtschaftsdüngermenge auf diesen Zeitraum. Literaturangaben, die als Bezugsgröße einen Mastschweinplatz angeben, und damit eigentlich den Wirtschaftsdüngeranfall von drei Mastschweinen pro Jahr beschreiben, wurden auf ein Tier/Jahr umgerechnet.)

Folgende Annahmen über die Verweilzeiten pro Tier im Stall wurden getroffen:

Tabelle 4.3: Verweilzeiten verschiedener Tiere im Stall

Tierart	Verweilzeit im Stall
1 Kalb 0-6 Monate	½ Jahr
1 Jungvieh, 0,5-1 Jahr	½ Jahr
1 Mastkalb	75 Tage
1 Mastschwein	120 Tage
1 Zuchtsau inkl. 18-22 Ferkel	1 Jahr
1 Mastrind, 1 Milchkuh, 1 Pferd	1 Jahr

Für die Berechnung des Wirtschaftsdüngeranfalls pro Betrieb wurden Literaturdaten für den Anfall von unverdünntem Wirtschaftsdünger verwendet. Der Trockensubstanzgehalt der Gülle wurde mit 10%, der von Mist mit 22% und der von Jauche mit 6% angenommen. Die aus der Literatur herangezogenen Wirtschaftsdüngermengen wurden auf eine einheitliche Trockensubstanz bezogen. Die Anfallsmengen wurden dementsprechend erhöht, bzw. gesenkt. Als Berechnungsgrundlage des betriebsspezifischen Wirtschaftsdüngeranfalls wurde der Median aus den in der Literatur gefundenen Wirtschaftsdüngermengen verwendet.

$$WDA_{/TB.a} = \sum N_{T/a} \cdot WDA_{/T.a}$$

$WDA_{/TB.a}$ Wirtschaftsdüngeranfall/ Tierbestand und Jahr

$N_{T/a}$ Tieranzahl/Tierart und Jahr

$WDA_{/T.a}$...spezifische Wirtschaftsdüngeranfall/Tierart und Jahr

In Tabelle 15, Anhang A befinden sich die Bandbreiten sowie der sich daraus berechnende Median der Literaturdaten. Die Basisdaten zu dieser Tabelle befindet sich im Anhang A, Tabelle 16.

b) Stoffkonzentrationen im Wirtschaftsdünger

Der nächste Schritt ist die Auswahl von Stoffkonzentrationen verschiedener Wirtschaftsdüngerarten. Analog zu a) wurden Stoffkonzentrationen für Gülle, Mist und Jauche der verschiedenen Tierarten gesucht und auf dieselbe Trockensubstanz pro Wirtschaftsdüngerart (Gülle, Jauche, Mist) bezogen ausgewertet. Den anfallenden Wirtschaftsdüngermengen in den Betrieben werden tierspezifische Stoffkonzentrationen in Wirtschaftsdüngern zugeordnet und damit die Stofffrachten im Wirtschaftsdünger berechnet. Für die Stofffrachten, die aus der Einstreu resultieren, wird angenommen, daß sie bereits in den Literaturzitate inkludiert sind.

$$SF_{WD/T.a} = WDA_{/T.a} \cdot SK_{WD/T}$$

$SF_{WD/T.a}$Stofffracht im Wirtschaftsdünger pro Tierart

$WDA_{/T.a}$spezifische Wirtschaftsdüngeranfall/Tierart und Jahr

$SK_{WD/T}$Stoffkonzentration im Wirtschaftsdünger in Abhängigkeit der Tierart

Während in der Literatur die Nährstoffkonzentrationen im Wirtschaftsdünger gut beschrieben sind, fehlen die Schwermetalle größtenteils. Für die vorliegende Arbeit wurden die Rohdaten der Messergebnisse einer Untersuchung von 200 Wirtschaftsdüngerproben oberösterreichischer Betriebe, durchgeführt vom Bundesamt für Agrarbiologie Linz [Aichberger et al. 1995] statistisch ausgewertet. In dieser Untersuchung wurden Gülle- und Festmistproben von

Milchvieh, Mastrindern, Mastschweinen, Zuchtschweinen, Legehennen und Mastgeflügel analysiert.

Ziel der statistischen Auswertung ist es, Bereiche anzugeben, bei denen man mit hoher Wahrscheinlichkeit vermuten kann, daß der mittlere Stoffkonzentrationswert eines Stoffes in der Gülle bzw. im Mist des zu beschreibenden Betriebes darin enthalten ist. Geht man von der Annahme aus, daß (1) es sich bei den angegebenen Wirtschaftsdüngerkonzentrationen jeweils um Betriebsmittelwerte für Stoffkonzentrationen handelt und (2) die Werte aus einer Grundgesamtheit mit bekannter Verteilung entstammen, so wäre die Angabe von sogenannten α -Quantilen⁵ zielführend.

Da die Verteilung der Meßwerte ein asymmetrisches Verhalten (siehe folgende Abbildung) zeigen, kann nicht davon ausgegangen werden, daß die Meßreihen einer normalverteilten Grundgesamtheit entstammen. Zusätzlich müssen die Parameter der Verteilung aus den Meßreihen geschätzt werden. Um näherungsweise zu Quantilen zu kommen, wird den Daten eine Lognormalverteilung zugrunde gelegt. Aus den logarithmierten Daten werden (1) Mittelwert und Standardabweichung geschätzt, (2) damit näherungsweise die 0,05- und 0,95 Quantile der transformierten Daten bestimmt und (3) diese rücktransformiert. Damit ergeben sich Intervalle die näherungsweise einen Bereich überdecken, der, unter den angenommenen Voraussetzungen⁶, mit einer Wahrscheinlichkeit von 0,9 den mittleren Stoffkonzentrationswert eines aus der Grundgesamtheit zufällig ausgewählten Betriebes überdeckt.

Die Auswertung der Meßdaten nach der o.e. Annahme führt zu Intervallen, die sehr groß sind. Dies hat folgende Gründe: (1) Es handelt sich bei den gemessenen Werten um keine Mittelwerte (Mittel aus mehreren Messungen) sondern um Einzelmessungen von Betrieben (betrieblichen Wirtschaftsdüngern), (2) es kann angenommen werden, daß die Streuung von Einzelmessungen von Betrieben auf Grund der Inhomogenität des zu untersuchenden Gutes viel größer ist, als die Streuung von Mittelwerten zwischen den verschiedenen Betrieben. Da auf Grund fehlender Mehrfachbestimmungen auf den einzelnen Betrieben, eine Quantifizierung der verschiedenen Streuungen⁷ nicht möglich ist, kann nur die Summe der beiden Streukomponenten herangezogen werden. Letzteres stellt einen Worst-case dar.

⁵ Wahrscheinlichkeit, daß ein Wert aus der Grundgesamtheit größer als dieser Wert ist = α .

⁶ Lognormalverteilung, hohe Stichproben

⁷ Eine Spezifizierung von Betrieben mit einem hohen mittleren Stoffkonzentrationswert in Wirtschaftsdüngern ist daher ebenfalls nicht möglich.

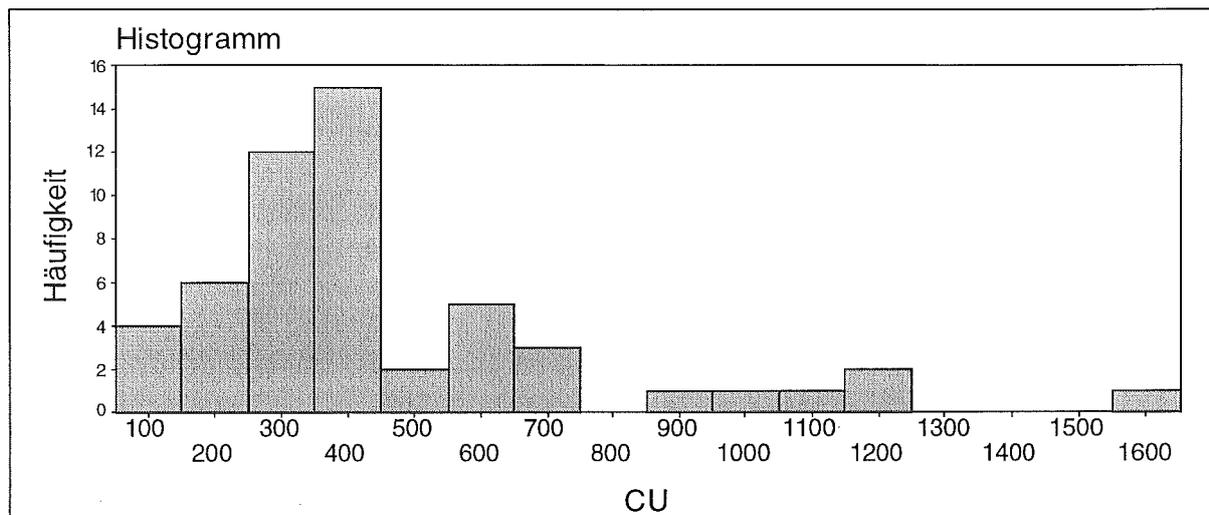


Abbildung 4.1: Histogramm der Kupferkonzentrationswerte (Mittelwerte in ppmTS) in der Gülle von Mastschweinen [Berechnungen von Bauer 1996 nach Aichberger et al. 1995]

Da in der o.e. Studie nur Mist und Gülle analysiert wurden, mußten die Schwermetallgehalte in Jauche auf andere Art abgeschätzt werden. Da keine Literatur zu Schwermetallkonzentrationen in Jauche gefunden werden konnte, wurden diese über physiologische Transferkoeffizienten, die das Verhältnis der Schwermetallaufnahme zur Ausscheidung, getrennt nach Ausscheidung über Harn und Kot beschreiben, für jedes der vier betrachteten Schwermetalle getrennt abgeschätzt [Merian, 1984].

Zink: Zink wird hauptsächlich über den Stuhl ausgeschieden. In der Literatur finden sich Werte von 75-90% des Zinks in Stuhl und 10-25% in Harn.

Kupfer: Kupfer wird ebenfalls zum überwiegenden Teil über den Stuhl ausgeschieden. Es wurden die selben Transferkoeffizienten wie für Cadmium angenommen.

Blei: Die Aufnahme von Blei erfolgt hauptsächlich über Futtermittel (90% orale Aufnahme), nur rund 10% werden über die Atmung aufgenommen. Rund 5-10% des oral aufgenommenen Bleis werden im Magen/Darmtrakt resorbiert. Der Rest wird über den Stuhl ausgeschieden. Für Blei wurde daher angenommen, daß 80-90% des Bleis mit Kot und 10-20% mit Harn ausgeschieden werden.

Cadmium: Als Hauptaufnahmekategorie gelten in unbelasteten Gebieten die Futtermittel. Die Resorptionsrate von aufgenommenem Cadmium ist sehr gering (rund 6%). Resorbiertes Cadmium wird mit dem Harn ausgeschieden, der Rest mit dem Stuhl. Für Cadmium wurde angenommen, daß rund 5-10% mit dem Harn und 90 bis 95% mit dem Stuhl ausgeschieden werden.

Tabelle 4.4: physiologisch bedingte Transferkoeffizienten der Ausscheidung von Zink, Kupfer, Blei und Cadmium [eigene Annahmen nach Merian 1984]

	Zink	Kupfer	Blei	Cadmium
Stuhl	75-90%	90-95%	80-90%	90-95%
Harn	10-25%	5-10%	10-20%	5-10%

Die Stoffkonzentrationen in der Jauche (=Harn) wurden über die Gülle, die ein Gemisch aus Kot und Harn ist, berechnet. Dazu wurde für jedes Tier unabhängig von der tatsächlich anfallenden Wirtschaftsdüngerart, die theoretisch anfallende Güllemenge berechnet. Diese wurde mit dem Transferkoeffizienten für Harn multipliziert, woraus sich die Stoffkonzentrationen in der Jauche ergaben.

Der Vergleich der Mittelwerte der oberösterreichischen Analyseergebnisse zeigte gute Übereinstimmungen mit anderen Untersuchungsergebnissen [Wilcke und Döhler 1995], [Richner und Moos 1989] und [Von Steiger und Baccini 1990] und wurde deshalb zur Berechnung der Schwermetallfrachten in Wirtschaftsdüngern nach Variante 2 verwendet.

In den Tabellen 17 und 21, Anhang A sind die verwendeten Konzentrationen zur Berechnung der Variante 2 aufgelistet. Die zugehörige Basistabelle dazu befindet sich im Anhang A, Tabelle 18.

c) Berechnung der betrieblichen Stofffrachten im Wirtschaftsdünger

Durch die Multiplikation der Tierzahl mit dem tierspezifischen Wirtschaftsdüngeranfall und den spezifischen Stoffkonzentrationen werden die Stofffrachten im Wirtschaftsdünger berechnet. Mit der Information über die Stallhaltung von Seiten des Landwirts wird so für jede Tierart der Anfall der sechs Elemente in Gülle oder Mist und Jauche berechnet.

$$SF_{WD/T.a} = N_{T/a} \cdot WDA_{T.a} \cdot SK_{WD/T}$$

$SF_{WD/T.a}$ Stofffracht im Wirtschaftsdünger pro Tierart

$N_{T/a}$Anzahl der Tiere pro Tierart und Jahr

$WDA_{T.a}$ Wirtschaftsdüngeranfall pro Tierart und Jahr

$SK_{WD/T}$Stoffkonzentration im Wirtschaftsdünger in Abhängigkeit der Tierart

Die Summe der einzelnen Stofffrachten pro Tierart ergibt die jährlich anfallende Stofffracht in unverdünnter Gülle, Mist und Jauche bei einem vorgegebenen TS-Gehalt der gesamten Tierhaltung im Betrieb ohne Berücksichtigung von Verlusten (Abgasung von Stickstoff im Stall).

$$SF_{WD/TB.a} = \sum SF_{WD/T}$$

$SF_{WD/TB.a}$ Stofffracht im Wirtschaftsdünger des Tierbestandes pro Jahr

4.4.3 Variante 3 - Berechnung der Nährstofffrachten pro Tier

Eine weitere Möglichkeit zur Berechnung des jährlichen Nährstoffanfalls im Wirtschaftsdünger ist die Multiplikation der Tierzahl mit dem Nährstoffanfall pro Tier. Der Tierbestand wird hier ebenfalls nach Altersstufen und Tierarten unterschieden. Die Nährstofffrachten können mit dieser Berechnung nicht auf die Wirtschaftsdüngerarten Mist, Gülle und Jauche aufgeteilt werden.

$$NSF_{WD/TB,a} = \sum N_{T/a} \cdot NSF_{WD/T,a}$$

$NSF_{WD/TB,a}$ Nährstofffracht im Wirtschaftsdünger des Tierbestandes pro Jahr

$N_{T/a}$ Anzahl der Tiere pro Tierart und Jahr

$NSF_{WD/T,a}$ Stofffracht im Wirtschaftsdünger pro Tierart.a

In der Tabelle 19, Anhang A sind die Frachten/Tier angegeben.

4.4.4 Vergleich der Varianten 2 und 3 zur Berechnung der Nährstofffrachten im Wirtschaftsdünger

Die Ergebnisse der Berechnung der Nährstofffrachten über die Variante 2 und die Variante 3 zeigten sehr gute Übereinstimmungen bei den beiden Nährstoffen Stickstoff und Phosphor. Bei 15 von 18 untersuchten Betriebe stimmen die Stickstofffrachten zwischen den beiden Berechnungsvarianten mit Abweichungen von +/- 20 % überein. Bei drei Betrieben liegt die Abweichung knapp darüber. Bei Phosphor sind die Abweichungen etwas höher; bei 7 Betrieben liegen sie bei 20%, bei den restlichen 11 Betrieben liegen sie zwischen 20 und 50%. Die Berechnungen der einzelnen Betriebe sind im Anhang B Tabellen 1a und 3 wiedergegeben.

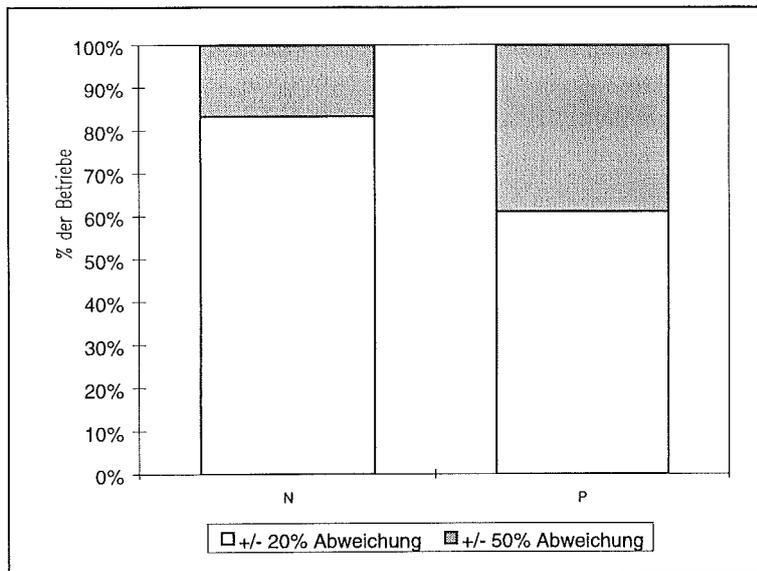


Abbildung 4.2: Abweichung zwischen den Berechnungsvarianten 2 und 3.

4.4.5 Vergleich der Berechnung der Wirtschaftsdüngermengen (Variante 2) mit den Angaben der Landwirte

Der Vergleich der von den Landwirten angegebenen Wirtschaftsdüngermengen mit den berechneten Wirtschaftsdüngermengen (Var. 2) erfolgt anhand von Faktoren, um die Betriebe miteinander vergleichen zu können. Der Faktor ist definiert als Quotient aus angegebener WD-Menge und berechneter WD-Menge. Die angegebene Menge wurde als 1 betrachtet, die berechnete Menge wurde als das Verhältnis zu 1 ausgedrückt. Faktor 1 bedeutet somit, daß die berechneten Mengen gleich groß sind wie die angegebenen, der Faktor 2, daß die berechneten 2 mal größer sind als die angegebenen, der Faktor 0,5, daß die berechneten Mengen nur halb so groß sind, wie die angegebenen usw.

Die einzelbetriebliche Auswertung befindet sich im Anhang B, Tabelle 2.

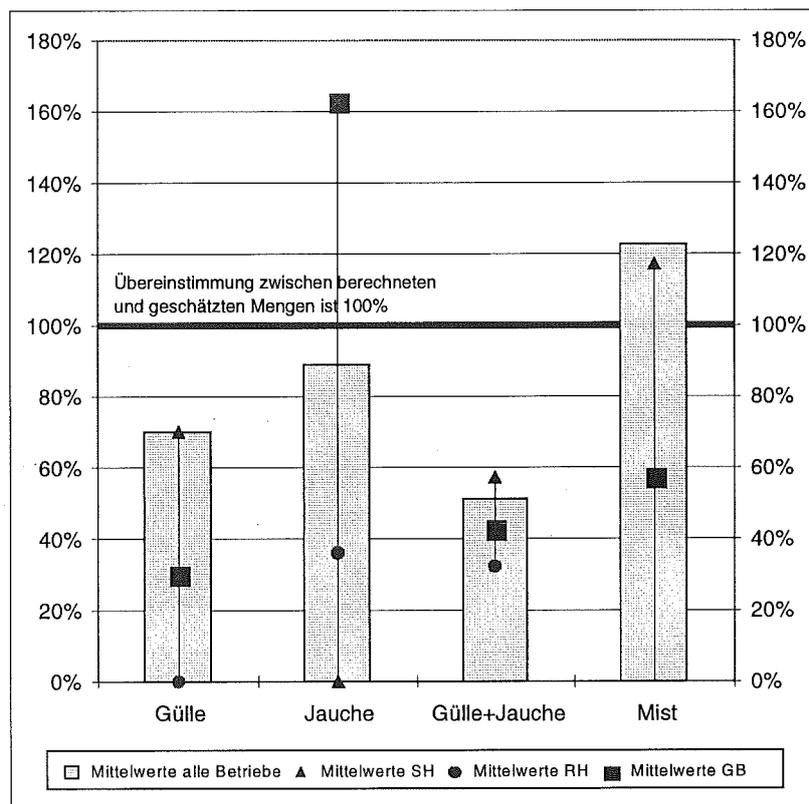
Gülle: bei allen Betrieben ist die berechnete Güllemenge geringer, als die von den Landwirten geschätzte, betriebliche Anfallsmenge. Die geschätzten Anfallsmengen liegen im Schnitt der Betriebe (berechnet als Mittelwert) bei 70% der berechneten, unverdünnten Güllemenge des Tierbestandes. Die Differenz ist mit der o.e. unbekanntem Verdünnungsmenge erklärbar.

Jauche: Die geschätzten Jauchemengen liegen im Schnitt aller Betriebe bei 90% der berechneten Mengen. Ein Vergleich der Auswertung der Gesamtmengen von

Gülle und Jauche zeigte, daß die berechneten Mengen bei rund 50% der geschätzten Mengen liegen. D.h., daß die Landwirte einen viel höheren Anfall von Gülle und Jauche messen, was wiederum mit dem Verdünnungspotential zusammenhängen dürfte.

Mist: Die Abschätzungen des Festmistanfalles zeigen gute Übereinstimmungen mit den berechneten Mengen. Bei allen Betrieben betragen die Abweichungen der berechneten Mengen im Vergleich zu den geschätzten Mengen nur rund 20%.

In der folgenden Abbildung sind die Mittelwerte der Quotienten (Abweichungen der angegebenen Mengen von den berechneten Mengen) der vier Betriebstypen im Vergleich zu den Quotienten aus allen Betrieben, dargestellt.



alle...Mittelwerte aller Betriebe
 SH....Schweinehaltende Betriebe
 RH...Rinderhaltende Betriebe
 GB....gemischt wirtschaftende Betriebe

Abbildung 4.3: Vergleich der berechneten Wirtschaftsdüngermengen mit den von den Landwirten angegebenen Mengen, ausgedrückt als Quotient in %.

4.4.6 Vergleich der Varianten 1 und 2

Die Ergebnisse beider Berechnungsvarianten liegen als Bandbreite vor. Aus dieser Bandbreite wird der Mittelwert berechnet. Die Abweichungen zwischen Ergebnissen der Berechnungsvariante 1 und der Variante 2 sind wie beim Vergleich des Wirtschaftsdüngeranfalls als

Quotient aus Var.1 und Var.2 angegeben. Die einzelbetriebliche Gegenüberstellung beider Varianten befindet sich im Anhang B, Tabelle 3.

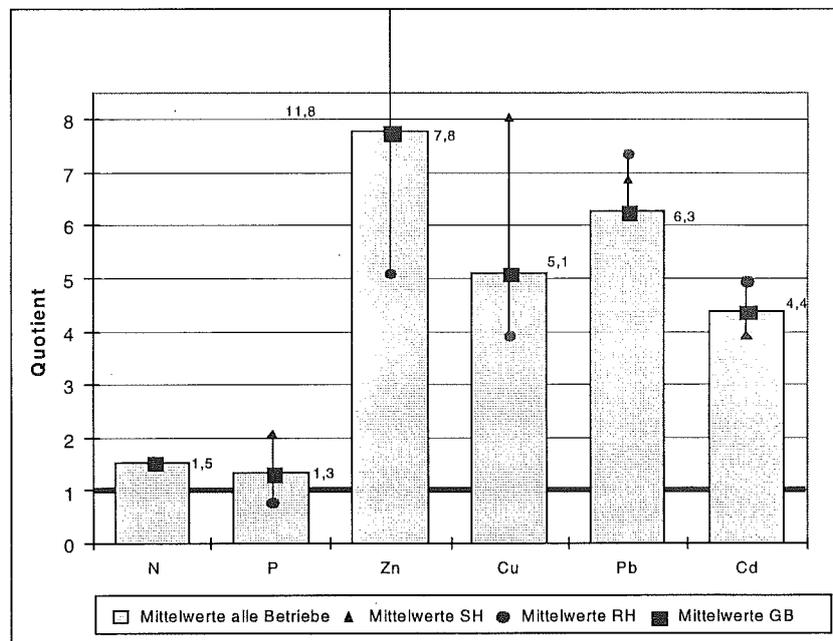


Abbildung 4.4: Darstellung der Abweichungen der Stofffrachten im Wirtschaftsdünger zwischen Variante 1 und Variante 2, dargestellt als Mittelwert der betrieblichen Quotienten.

Die Nährstoffe N und P:

Im Durchschnitt aller Betriebe (Mittelwert) weichen die Ergebnisse der Variante 1 von den Ergebnissen der Variante 2 zwischen 30 und 50% ab.

Die Stickstofffrachten der Variante 2 sind um rund 50% höher als der Variante 1, bei den einzelnen Betriebstypen liegen die Abweichungen durchschnittlich zwischen 20 und 60%.

Bei Phosphor liegen die Ergebnisse aus beiden Berechnungsvarianten enger beieinander. Der Mittelwert der P-Frachten von Variante 2 liegt um den Faktor 1,3 über den Frachten aller Betriebe berechnet nach Variante 1. Bei den einzelnen Betriebstypen gibt es Abweichungen der Frachten nach Variante 2, die zwischen 20% unter und 110% über den Frachten nach Variante 1 liegen.

Die großen einzelbetrieblichen Schwankungen wirken sich direkt auf den Mittelwert aus. Wenn man den Median, als Größe, die extreme Ausreißer vernachlässigt, zur Beschreibung der Quotienten heranzieht, so ist das Ergebnis wesentlich besser. Die Abweichungen der Stickstofffrachten liegen zwischen 0 und 30%, für Phosphor zwischen 20 und 40%.

Die Schwermetalle Zn, Cu, Pb und Cd

Für alle Schwermetalle gilt, daß die Abweichungen der Mittelwerte zwischen den Berechnungsvarianten im Wirtschaftsdünger größer als 100% sind. Die berechneten Frachten aus

Variante 2 sind, wenn man alle Betriebe unabhängig vom Betriebstyp betrachtet, zwischen 4 (Cd) und 8 (Zn) mal größer als die Frachten, berechnet nach Variante 1. Die einzigen in der Bilanzierung aufscheinenden Kupfer- und Zinkquellen des Wirtschaftsdüngers sind in der Tierhaltung eingesetzte spurenelementhaltige Futtermittel, sowie die Frachten aus der Einstreu und dem betriebseigenen Futtermitteln. Die Bleieinträge nach Variante 2 sind um den Faktor 6 höher, als die berechneten Frachten nach Variante 1.

Die einzelbetriebliche Auswertung (Tabelle 4 im Anhang B) erfolgte nach sechs größenmäßigen Abstufungen der Abweichungen. Die Stufe 1 bedeutet eine Abweichung zwischen Variante 1 und Variante 2 um den Faktor 0-0,5, die weiteren Stufen bedeuten Abweichungen um den Faktor 0,5-2 (Stufe 2), Abweichungen um den Faktor 2-3 (3.Stufe), Abweichungen um den Faktor 3-5 (4. Stufe), den Faktor 5-10 (5. Stufe) und Abweichungen, die größer als der Faktor 10 sind (6. Stufe). In der folgenden Tabelle und Abbildung sind die Ergebnisse der einzelbetrieblichen Auswertung dargestellt.

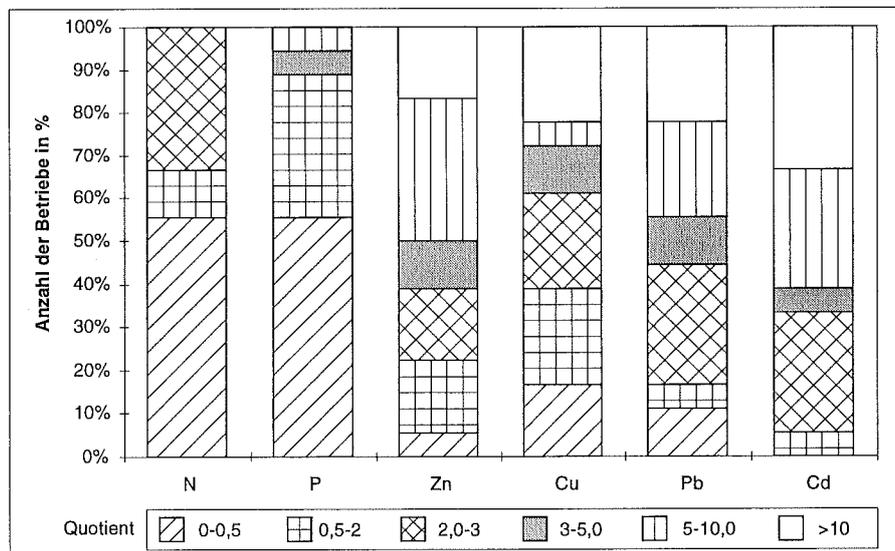


Abbildung 4.5: Die Abweichungen der Einzelbetriebe nach Größen geordnet

Die einzelbetriebliche Auswertung zeigt, daß die Abweichungen auf Betriebsebene z.T. deutlich vom Mittelwert aller Betriebe abweichen können. Bei Stickstoff und Phosphor liegen jeweils zehn Betriebe in der niedrigsten Abweichungsstufe von 0-0,5. Die Abweichungen der verbleibenden Betriebe liegen bei Stickstoff liegen zwischen 0,5 und dem Faktor 3. Bei Phosphor liegen die gemessenen Frachten für 6 Betriebe zwischen Faktor 0,5 und 2 höher als die bilanzierten. Für je einen Betrieb liegen sie um 3-5 bzw. 5-10 mal höher.

Bei den Schwermetallen verschiebt sich das Bild hin zu höheren Stufen. Die gemessenen Zink-, Blei- und Cadmiumfrachten der Hälfte der Betriebe liegt um einen Faktor größer 5 über den bilanzierten Frachten.

4.4.7 Folgerungen aus den Ergebnissen der Berechnungsvarianten der Wirtschaftsdüngerstofffrachten

Die Auswertung zeigt, daß die Bilanzierung der Nährstoffe (Variante 1) Ergebnisse liefert, die mit Ergebnissen aus der Berechnung der Nährstofffrachten im Wirtschaftsdünger über die Tieranzahl (Variante 2 und Variante 3) vergleichbar sind. Sie ist daher als Methode zur Nährstoffabschätzung in Wirtschaftsdünger geeignet. Auf einzelbetrieblicher Ebene hat die Bilanzierung den Vorteil, daß bei der Berechnung der Stofffrachten im Wirtschaftsdünger auf die betriebspezifischen Bedingungen eingegangen werden kann. Die unterschiedlichen Fütterungspraktiken der Betriebe kommen zum Vorschein. Der Nachteil der Bilanzierungsmethode ist die Abhängigkeit der Schwankungsbreiten von der Deklaration der Stoffkonzentrationen in Gütern, die für die Bilanzierungsvariante benötigt werden. Für die Nährstoffe N und P sind diese Rohdaten vielfach in guter Qualität vorhanden.

Die Ergebnisse der Abschätzung der Schwermetallfrachten im Wirtschaftsdünger über die Methode der Bilanzierung weichen derzeit noch stark von den Ergebnissen der Berechnungsvariante über typische Schwermetallkonzentrationen in Wirtschaftsdüngern ab. Die Bilanzierung wird erschwert durch Mängel in der Qualität der Rohdaten. Dort wo Zink und Kupfer gezielt als Spurenelement in der Fütterung eingesetzt werden, sind die Konzentrationen in den Futtermitteln deklariert. In allen anderen Fällen fehlen diese Deklarationen. Für Schwermetallfrachten in Wirtschaftsdünger kann es aber auch andere Quellen, die in der Bilanzierung des Prozesses Tierhaltung nicht betrachtet wurden, geben. Dies könnten Stallabrieb als Quelle für Zink- und Cadmumeinträge oder Dach- und Hofabwässer die in Lagerstätten münden, als Blei-, Zink-, Kupfer- und Cadmiumquellen sein. Da die Schwermetallkonzentrationen aus den Wirtschaftsdüngeranalysen ebenfalls in weiten Bereichen schwanken, sollten alle Quellen der Schwermetalle im Wirtschaftsdünger eruiert werden, um Schwermetallfrachten im Wirtschaftsdünger einzelbetrieblich berechnen zu können.

Für die Abschätzung der Stofffrachten in Wirtschaftsdüngern kann gesagt werden, daß

1. die Nährstofffrachten über die Bilanzierung ermittelt werden können, da die Ergebnisse von den beiden Berechnungsvarianten gut übereinstimmen (die Abweichungen liegen bei 20-50%) und die Bilanzierung zugleich die betriebliche Praxis berücksichtigt.
2. die Schwermetallfrachten über die Berechnung bei alleiniger Berücksichtigung von Futtermitteln, Einstreu und dem Entzug der tierischen Produkte noch stark von in Wirtschaftsdüngeranalysen gemessenen Frachten abweichen.

5 Stoffbilanzen der landwirtschaftlichen Betriebe

5.1 Ergebnisse der Betriebsbilanzen

Die Betriebe sind nach der Art der verwendeten Inputgüter Kompost, Klärschlamm, Wirtschaftsdünger und Handelsdünger gruppiert. Die Ergebnisse der betrieblichen Stoffbilanzen werden nach Stoffen geordnet dargestellt. Die einzelbetrieblich angegebenen Zahlen stellen die Mittelwerte aus Bandbreiten dar, die sich durch die Verwendung verschiedener Literaturquellen ergeben, dar. Die Intervalle wurden aus Gründen der Übersichtlichkeit nicht angegeben. Die Auswertung der Betriebsbilanzen konzentriert sich auf den landwirtschaftlichen Boden. Alle betrieblich eingesetzten Gütermengen werden auf die gesamte landwirtschaftliche Nutzfläche des Betriebes bezogen und auf ein Hektar landwirtschaftliche Nutzfläche umgerechnet, um die einzelnen Betriebe miteinander vergleichen zu können. Die Lageränderung beschreibt den Nettoeintrag der Stoffe in den landwirtschaftlichen Boden (=Input-Output-Differenz) ohne den Massenzuwachs durch die organische Substanz der Güter zu berücksichtigen (vgl. Kapitel 8, Lagerveränderung).

Die Gruppe der

- kompostaufbringenden Betriebe (Kompostanwendungsbetriebe) umfaßt 1 Ackerbau, 2 Schweine- und 2 Rinderhaltungsbetriebe und 2 gemischt wirtschaftende Betriebe. Alle kompostanwendenden Betriebe verwenden zusätzlich Wirtschafts- und Handelsdünger.
- Die klärschlammaufbringende Gruppe (Klärschlammmanwender) besteht aus je 2 Acker- und Schweinehaltungsbetrieben und 1 Rinderhalter sowie 1 gemischt wirtschaftenden Betrieb. Alle klärschlammmanwendenden Betriebe verwenden zusätzlich Wirtschafts- und Handelsdünger.
- Reine handelsdüngeraufbringende Betriebe sind 3 Ackerbaubetriebe (Handelsdüngermanwender).
- Zu den Betrieben, die hofeigenen Wirtschaftsdünger einsetzen (Wirtschaftsdüngermanwender) zählen 4 Schweinehalter, 2 Rinderhalter und 1 gemischt wirtschaftender Betrieb. Zusätzlich wird teilweise Handelsdünger verwendet.

5.1.1 Stickstoff

5.1.1.1 Wirtschaftsdüngermanwendungsbetriebe

Die Stickstoffbilanz der landwirtschaftlichen Böden ist durch hohe Verluste in die Hydrosphäre und in die Atmosphäre gekennzeichnet.

Der Stickstoffeintrag über Düngemittel (Handelsdünger und Wirtschaftsdünger) liegt zwischen 80 und 190 kgN/ha.a. Die durchschnittlich auf Felder gebrachte Stickstoffmenge liegt in OÖ bei knapp 130 kgN/ha.a. Im Schnitt stammen rund 60% des gesamten Stickstoffs aus Wirtschafts- und Handelsdüngern. Im selben Bereich bewegt sich der Stickstoffentzug der

Pflanzen. Würde man also nur den Eintrag von Düngemitteln dem Pflanzenentzug gegenüberstellen, würden die Stickstoffbilanzen der landwirtschaftlichen Böden ausgeglichen ausfallen. Da aber neben Düngemitteln Einträge in Form von Deposition und Fixierung von molekularem Stickstoff erfolgen, zeigt sich erst bei Betrachtung aller relevanten Einträge das tatsächliche Risikopotential landwirtschaftlicher Praxis für die Umwelt. Dieses Beispiel zeigt aber auch, daß die Einhaltung der gesetzlich vorgeschriebenen Grenzwerte beträchtliche Umweltbelastungen hervorrufen kann.

Tabelle 5.1: Stickstoffbilanzen des landwirtschaftlichen Bodens von Betrieben, die Wirtschafts- und Handelsdünger aufbringen (Berechnung auf Betriebsebene)

Betrieb	G	G	R	R	S	S	S	S	WD+HD		
	O	9	5	6	12	15	16	17	von	bis	MW
N in kg/ha											
Input											
Ernterückstände Boden	12	2		23	59	26	64	42	2	64	33
Wirtschaftsdünger	25	40	137	76	20	25	19	74	19	137	52
Handelsdünger	55	76	17	95	98	51	167	38	17	167	75
Eintrag Deposition	28	28	28	28	27	27	28	27	27	28	27
N-Fixierung symbiontisch	14	23		12	43		6	28	6	43	21
N-Fixierung asymbiontisch	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
Summe Input	153	188	202	254	268	149	303	229	149	303	218
Anteil HD in %	36	40	9	38	37	34	55	16	9	55	33
Anteil WD in %	16	21	68	30	7	17	6	32	6	68	25
Anteil Deposition in %	18	15	14	11	10	18	9	12	9	18	13
Output											
Nährstoffe	76	75	129	180	118	88	169	133	75	180	121
Auswaschung	35	53	25	30	74	29	65	38	25	74	44
N- Denitrifikation	35	53	25	30	74	29	65	38	25	74	44
Abgas Dünger	6	7	23	13	3	4	5	19	3	23	10
Summe Output	153	188	202	254	268	149	303	229	149	303	218
Anteil Nährstoffe in %	50	40	64	71	44	59	56	58	40	71	55
Anteil Auswaschung in %	23	28	12	12	27	19	21	17	12	28	20
Lageränderung	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

5.1.1.2 Kompostanwendungsbetriebe

Der Stickstoffinput über Düngemittel (eingeschlossen GesamtkompostN) liegt zwischen 100 und 360 kgN/ha.a. Ein Großteil des Stickstoffs ist organisch im Kompost gebunden und im ersten Jahr nicht verfügbar. Der im ersten Jahr verfügbare Stickstoffeintrag aus Düngemitteln liegt zwischen 50 und 160 kgN/ha. Der durchschnittliche Stickstoffeintrag mit Düngemitteln liegt bei 110 kgN/ha.a. Der größte Beitrag stammt bei drei Betrieben aus Wirtschaftsdünger, bei weiteren drei Betrieben aus Handelsdünger und bei einem Betrieb aus Kompost und Deposition.

Der Pflanzenentzug liegt zwischen 90 und 210 kgN/ha. Der Bilanzüberschuß, der die Hydrosphäre und die Atmosphäre belastet, liegt bei durchschnittlich 50 kgN/ha.a.

Das Stickstofflager des Bodens wird bei den Kompostbetrieben innerhalb eines Jahres um rund 20-110 kg/ha aufgebaut.

Tabelle 5.2: Stickstoffbilanzen des landwirtschaftlichen Bodens von Betrieben, die Kompost aufbringen (Berechnung auf Betriebsebene)

Betrieb	G	G	R	R	S	S	A	Kompost		
	1	7	2	8	11	13	20	von	bis	MW
N in kg/ha										
Input										
Ernterückstände Boden	50		1	30	34	33	24	1	50	29
Wirtschaftsdünger	127	63	87	18	11	33		11	127	56
Kompost	217	179	79	28	197	120	18	18	217	120
anrechenbarer KompostN des ersten Jahres	27	22	10	4	25	15	2	2	27	15
Handelsdünger	12			68	16	96	81	12	96	55
Klärschlamm										
Eintrag Deposition	28	28	28	28	28	28	27	27	28	27
N-Fixierung symbiontisch	22		48	16				16	48	29
N-Fixierung asymbiontisch	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
Summe Input	476	290	262	208	305	329	171	171	476	354
Summe Input mit anrechenbarem KompostN	286	133	193	183	133	224	155	133	286	187
Anteil WD in %	44	47	45	10	8	15	0	0	47	24
Anteil GesamtKO in %	46	62	30	14	65	36	10	10	65	38
Anteil anrechenbarer KO in %	9	17	5	2	19	7	1	1	19	9
Anteil HD in %	4	0	0	37	12	43	52	0	52	21
Anteil Deposition in %	10	21	14	15	21	12	18	21	15	
Output										
Nährstoffe	212	103	92	107	100	161	104	92	212	126
Auswaschung mit anrechenbarem KompostN	27	10	44	37	16	29	25	10	44	25
N-Denitrifikation mit anrechenbarem KompostN	27	10	44	37	16	29	25	10	44	25
Abgas Dünger	21	11	13	2	0	5		0	21	8
Summe Output mit anrechenbarem KompostN	286	133	193	183	133	224	155	133	286	182
Anteil Nährstoffe in %	74	77	48	59	76	72	48	48	77	65
Anteil Auswaschung in %	9	8	23	20	12	13	8	8	23	13
Lageränderung bei anrechenbarem KompostN	190	157	69	25	172	105	16	16	190	105

5.1.1.3 Klärschlammmanwendungsbetriebe

Die Hauptquellen des N-Eintrages in die Böden stellen der betriebseigene Wirtschaftsdünger und der Handelsdünger mit einem Anteil von zusammen 40% am Gesamtinput dar. Im Durchschnitt gelangen durch beide Güter 121 kgN/ha.a (14 bis 266 kg N/ha.a) auf die Felder. Der Anteil des Klärschlammes am Gesamtinput liegt im Durchschnitt bei 14%.

Der Stickstoffentzug der Ernteprodukte liegt zwischen 90 und 160 kgN/ha.a. Der Stickstoffüberschuß wird mit 40 bis 300 kgN/ha.a berechnet.

Tabelle 5.3: Stickstoffbilanzen des landwirtschaftlichen Bodens von Betrieben, die Klärschlamm aufbringen (Berechnung auf Betriebsebene)

Betrieb	G	R	S	S	A	A	Klärschlamm		
	4	3	10	14	19	21	von	bis	MW
N in kg/ha									
Input									
Ernterückstände Boden	58	5	43	72	11	54	5	72	40
Wirtschaftsdünger	123	71	105	104			71	123	101
Handelsdünger	143	6	41	60	14	61	6	143	54
Klärschlamm	79	46	14	49	3	47	3	79	40
Eintrag Deposition	28	28	27	27	28	27	27	28	27
N-Fixierung symbiontisch	24	32	23	4			4	32	21
N-Fixierung asymbiontisch	20	20	20	20	20	20	20	20	20
Summe Input	474	207	272	337	77	210	77	474	263
Anteil WD in %	26	34	38	31	0	0	0	38	22
Anteil KS in %	17	22	5	15	4	23	4	23	14
Anteil HD in %	30	3	15	18	19	29	3	30	19
Anteil Deposition in %	6	13	10	8	36	13	6	36	14
Output									
Nährstoffe	144	91	163	156	35	154	35	163	124
Auswaschung	155	52	46	82	21	28	21	155	64
N- Denitrifikation	155	52	46	82	21	28	21	155	64
Abgas Dünger	21	12	18	17			12	21	17
Summe Output	474	207	272	337	77	210	77	474	263
Anteil Nährstoffe in %	30	44	60	46	45	74	30	74	50
Anteil Auswaschung in %	33	25	17	24	27	13	13	33	23
Lageränderung	0	0	0	0	0	0	0	0	0

5.1.1.4 Handelsdüngeranwendungsbetriebe

Der wichtigste Stickstoffbeitrag wird durch den Handelsdünger geliefert. Er liegt zwischen 140 und 170 kgN/ha und Jahr. Dieselbe Stickstoffmenge wird von den Pflanzen aufgenommen. Der Stickstoffüberschuß liegt dennoch zwischen 80 und 160 kgN/ha.a, da aus der Deposition, der N-Fixierung, den auf dem Boden verbleibenden Ernterückständen Stickstoffeinträge in dieser Höhe resultieren.

Tabelle 5.4: Stickstoffbilanzen des landwirtschaftlichen Bodens von Betrieben, die Handelsdünger aufbringen (Berechnung auf Betriebsebene)

Betrieb	A	A	A	Handelsdünger		
	18	22	23	von	bis	MW
Input						
Ernterückstände Boden	49	43	61	43	61	51
Handelsdünger	139	143	167	139	167	150
Eintrag Deposition	28	28	28	28	28	28
N-Fixierung symbiontisch			78	78	78	78
N-Fixierung asymbiontisch	20	20	20	20	20	20
Summe Input	236	234	354	234	354	274
Anteil HD in %	59	61	47	47	61	56
Anteil Deposition in %	12	12	8	8	12	10
Output						
Nährstoffe	156	150	177	150	177	161
Auswaschung	40	42	89	40	89	57
N- Denitrifikation	40	42	89	40	89	57
Summe Output	236	234	354	234	354	274
Anteil Nährstoffe in %	66	64	50	50	66	60
Anteil Auswaschung in %	17	18	25	17	25	20
Lageränderung	0	0	0	0	0	0

5.1.2 Phosphor

5.1.2.1 Wirtschaftsdüngeranwendungsbetriebe

Phosphor spielt wie Stickstoff als essentieller Pflanzennährstoff für alle Betriebe eine wichtige Rolle. Die wichtigsten Inputgüter sind dementsprechend die Düngemittel, die zusammen 70% des Gesamtinputs ausmachen. Davon stammen rund 50% mit Handelsdüngern und 50% aus Wirtschaftsdüngern.

Der wichtigste Phosphorflux aus dem Boden ist die Nährstoffaufnahme der Pflanzen. Im Schnitt werden rund 75% des Gesamtphosphorinputs von den Pflanzen aufgenommen. Die übrigen 25% (10-30 kgP/ha.a) werden zum größten Teil im Boden gelagert, geringe Mengen werden ausgewaschen.

Tabelle 5.5: Phosphorbilanzen des landwirtschaftlichen Bodens von Betrieben, die Wirtschafts- und Handelsdünger aufbringen (Berechnung auf Betriebsebene)

Betrieb	G	G	R	R	S	S	S	S	WD+HD		
	O	9	5	6	12	15	16	17	von	bis	MW
P in kg/ha											
Input											
Ernterückstände Boden	3	1		2	18	5	12	11	-1	18	7
Wirtschaftsdünger	23	19	57	9	11	2	9	18	2	57	19
Handelsdünger	8	29	5	27	20	6	30	6	5	30	16
Eintrag Deposition	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Nährstoffe U	5	4	11	7	6	4	10	6	4	11	7
Summe Input	39	53	74	46	56	17	61	41	17	74	48
Anteil HD in %	21	55	7	58	36	33	49	15	7	58	34
Anteil WD in %	59	35	78	20	20	15	15	44	15	78	36
Anteil Deposition in %	1	1	0	1	1	2	1	1	0	2	1
Output											
Nährstoffe	24	19	58	38	32	19	50	31	19	58	34
Auswaschung	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Summe Output	25	20	59	39	33	20	50	32	20	59	35
Anteil Nährstoffe in %	61	36	79	82	57	114	81	76	36	114	73
Anteil Auswaschung in %	2	2	1	2	1	5	1	2	1	5	2
Anteil Lagerzuwachs in %	37	62	20	16	42	-18	17	22	-18	62	25
Lageränderung	14	33	15	7	23	-3	11	9	-3	33	13

5.1.2.2 Kompostanwendungsbetriebe

Die höchsten Phosphorfrachten stammen aus dem Kompost. Sie liegen zwischen 10 und 160 kgP/ha.a. Betrachtet man jedoch nur den anrechenbaren P-Anteil des Kompostes im Bilanzierungsjahr, so ist die P-Fracht aus Kompost mit 5 und 60 kgP/ha.a wesentlich geringer, bei den untersuchten Kompostanwendern aber immer noch das wichtigste Inputgut. Der P-Eintrag über die hofeigenen Dünger liegt zwischen 5 und 40 kgP/ha.a, über Handelsdünger zwischen 4 und 10 kgP/ha.a.

Rund 65% des eingesetzten Phosphors gehen in das Bodenlager über. Nur rund 35% werden von den Pflanzen aufgenommen. Der Phosphor Nettoeintrag im Boden liegt zwischen 10 und 170 kgP/ha.a.

Tabelle 5.6: Phosphorbilanzen des landwirtschaftlichen Bodens von Betrieben, die Kompost aufbringen (Berechnung auf Betriebsebene)

Betrieb	G	G	R	R	S	S	A	Kompost		
	1	7	2	8	11	13	20	von	bis	MW
P in kg/ha										
Input										
Ernterückstände Boden	14		0	4	11	8	4	0	14	7
Wirtschaftsdünger	43	4	32	6	21	26		4	43	22
Kompost	155	115	66	17	120	86	11	11	155	81
anrechenbarer KompostP des ersten Jahres	62	46	26	7	48	35	4	4	62	33
Handelsdünger	0			0	6	4	11	0	11	4
Eintrag Deposition	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Nährstoffe U	11	3	6	5	5	4	4	3	11	5
Summe Input	223	123	104	33	163	128	30	30	223	115
Summe Input mit anrechenbarem KompostP	130	54	65	22	91	77	24	22	130	66
Anteil WD in %	19	3	31	19	13	21	0	0	31	15
Anteil anrechenbarer KO in %	28	37	25	21	29	27	14	14	37	26
Anteil GesamtKO in %	69	93	63	53	74	67	36	36	93	65
Anteil HD in %	0	0	0	0	4	3	35	0	35	6
Anteil Deposition in %	0	0	0	1	0	0	1	1	0	
Output										
Nährstoffe	57	18	29	26	26	19	22	18	57	28
Auswaschung	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Summe Output	58	19	30	27	27	19	23	19	58	29
Anteil Nährstoffe in %	26	15	28	80	16	15	74	15	80	36
Anteil Auswaschung in %	0	1	1	2	1	0	3	0	3	1
Anteil Lagerzuwachs in %	74	85	72	17	83	85	23	17	85	63
Lageränderung	165	104	75	6	136	109	7	6	165	86

5.1.2.3 Klärschlammanwendungsbetriebe

Der größte P-Eintrag in die Böden findet durch den Einsatz von Wirtschaftsdünger statt (rund 20-60% des Gesamteintrages). Dieser ist mit 20 - 40 kg P/ha.a doppelt so hoch wie derjenige durch den Zukauf von Handelsdüngern (0 bis 30 kg P/ha.a). Drei von sechs Bauern verwenden überhaupt keinen P-hältigen Handelsdünger. Der Beitrag des Klärschlammes liegt zwischen dem des Wirtschafts- und des Handelsdüngers. Der P-Eintrag in die betrieblichen Flächen durch Klärschlamm kann einzelbetrieblich betrachtet zwischen 10 und 50% des Gesamt-P-Eintrages betragen.

Der P-Eintrag übersteigt den P-Entzug durch die Ernteprodukte um 2 bis 60 kgP/ha.a. Ein Betrieb (19) weist einen höheren P-Entzug als Austrag aus (3 kg/ha.a).

Tabelle 5.7: Phosphorbilanzen des landwirtschaftlichen Bodens von Betrieben, die Klärschlamm aufbringen (Berechnung auf Betriebsebene)

Betrieb	G	R	S	S	A	A	Klärschlamm		
	4	3	10	14	19	21	von	bis	MW
P in kg/ha									
Input									
Ernterückstände Boden	13	1	9	21	3	13	1	21	10
Wirtschaftsdünger	26	30	37	23			23	37	29
Handelsdünger	19	0	8	27	0	0	0	27	9
Klärschlamm	12	11	4	21	1	19	1	21	11
Eintrag Deposition	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Nährstoffe U	9	5	8	8	2	7	2	9	7
Summe Input	79	48	67	99	6	39	6	99	56
Anteil WD in %	33	62	55	23	0	0	0	62	29
Anteil KS in %	15	23	6	21	14	49	6	49	21
Anteil HD in %	23	0	13	27	0	0	0	27	11
Anteil Deposition in %	0	1	1	0	6	1	0	6	1
Output									
Nährstoffe	48	34	43	41	8	36	8	48	35
Auswaschung	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Summe Output	49	35	44	41	9	36	9	49	36
Anteil Nährstoffe in %	61	71	64	41	138	92	41	138	78
Anteil Auswaschung in %	1	2	1	1	10	2	1	10	3
Anteil Lagerzuwachs in %	38	27	35	58	-48	6	-48	58	19
Lageränderung	30	13	23	58	-3	2	-3	58	21

5.1.2.4 Handelsdüngeranwendungsbetriebe

Die Betriebe, die ausschließlich Handelsdünger als Düngemittel verwenden, sind drei reine Ackerbaubetriebe. Die hier betrachteten Ackerbaubetriebe weisen auf betrieblicher Ebene einen geringfügig höheren Phosphorflux aus dem Boden, als Phosphoreintrag in den Boden aus bzw. weisen einen nur geringen Lageraufbau aus. Als Grund dafür vermuten wir die gute Phosphorversorgung der landwirtschaftlichen Böden in Oberösterreich, die die Landwirte kennen. Sie stammt aus einer Zeit, in der man annahm, daß überschüssiger Phosphor im Boden für immer immobilisiert wird. In dieser Zeit düngten die Landwirte ihre landwirtschaftlichen Flächen stark mit Phosphor. Heute weiß man, daß der im Boden gebundene Phosphor wieder rückgelöst wird. Dieser Tatsache tragen die Landwirte mit verringerter Phosphordüngung Rechnung.

Der wichtigste Phosphorflux aus dem Boden ist die Nährstoffaufnahme der Pflanzen.

Tabelle 5.8: Phosphorbilanzen des landwirtschaftlichen Bodens von Betrieben, die Handelsdünger aufbringen (Berechnung auf Betriebsebene)

Betrieb	A	A	A	Handelsdünger		
	18	22	23	von	bis	MW
P in kg/ha						
Input						
Ernterückstände Boden	8	6	11	6	11	8
Handelsdünger	25	16	36	16	36	26
Eintrag Deposition	0	0	0	0	0	0
Nährstoffe U	9	8	10	8	10	9
Summe Input	43	31	58	31	58	44
Anteil HD in %	59	52	63	52	63	58
Anteil Deposition in %	1	1	1	1	1	1
Output						
Nährstoffe	47	44	53	44	53	48
Auswaschung	1	1	1	1	1	1
Summe Output	48	44	53	44	53	49
Anteil Nährstoffe in %	110	142	91	91	142	114
Anteil Auswaschung in %	2	3	1	1	3	2
Anteil Lagerzuwachs in %	-11	-44	7	-44	7	-16
Lageränderung	-5	-14	4	-14	4	-5

5.1.3 Zink

5.1.3.1 Wirtschaftsdüngeranwendungsbetriebe

Die Zinkbilanzen der landwirtschaftlichen Böden von Wirtschaftsdüngeranwendungsbetrieben werden geprägt durch den Wirtschaftsdünger und die Deposition.

Der Gesamteintrag liegt zwischen einem und zwei kg Zink/ha und Jahr. 20-80% des gesamten Zinkeintrages in landwirtschaftliche Böden erfolgt bei den untersuchten Betrieben mit dem Wirtschaftsdünger. Bei fünf Betrieben ist er die wichtigste Quelle. Bei den restlichen drei Betrieben dieser Gruppe ist die Deposition die größte Zinkquelle. Ihr Anteil an der Gesamtfracht liegt zwischen 20 und 60% des Gesamteintrags.

Zwischen 50 und 90% des Gesamtinputs verbleiben im Boden und reichern sein Zinklager an. Das Zinklager wächst jährlich um 0,7-1,8 kg Zn. Im Schnitt werden ca. 20% des Inputs von den Pflanzen aufgenommen.

Tabelle 5.9: Zinkbilanzen des landwirtschaftlichen Bodens von Betrieben, die Wirtschafts- und Handelsdünger aufbringen (Berechnung auf Betriebsebene)

Betrieb	G	G	R	R	S	S	S	S	WD+HD		
	O	9	5	6	12	15	16	17	von	bis	MW
Zn in g/ha											
Input											
Ernterückstände Boden	17	9		196	73	42	332	48	9	332	111
Wirtschaftsdünger	886	1.313	1.222	461	213	856	534	2.426	213	1.313	784
Handelsdünger	64	101	20	128	88	14	177	23	14	177	85
Eintrag Deposition	625	625	625	625	625	625	625	625	625	625	625
Summe Input	1.592	2.048	1.867	1.410	998	1.537	1.669	3.122	998	3.122	1.589
Anteil HD in %	4	5	1	9	9	1	11	1	1	11	5
Anteil WD in %	56	64	65	33	21	56	32	78	21	78	51
Anteil Deposition in %	39	31	33	44	63	41	37	20	20	63	39
Output											
Nährstoffe	146	103	281	533	187	133	705	182	103	705	298
Auswaschung	103	102	102	102	101	101	102	101	101	103	102
Summe Output	248	204	382	634	289	235	806	284	204	806	400
Anteil Nährstoffe in %	9	5	15	38	19	9	42	6	5	42	18
Anteil Auswaschung in %	6	5	5	7	10	7	6	3	3	10	6
Anteil Lagerzuwachs in %	84	90	80	55	71	85	52	91	52	91	76
Lageränderung	1.343	1.844	1.485	775	709	1.302	862	2.838	709	2.838	1.189

5.1.3.2 Kompostanwendungsbetriebe

Die Zinkbilanzen der Kompostanwender sind geprägt durch die Verwendung von Kompost. Sein Beitrag zur Gesamtfracht liegt zwischen 20 und 80%. Bei vier der untersuchten Betriebe ist er das dominante Inputgut. Bei zwei Betrieben dominiert der Wirtschaftsdünger, bei zwei weiteren die Deposition den Gesamtinput. Der jährliche Zinkeintrag liegt zwischen 1,4 und 4,3 kgZn/ha.a. Davon werden durchschnittlich nur rund 5% von den Pflanzen aufgenommen. Der größte Teil der eingebrachten Zinkfracht verbleibt im Boden. Das Zinklager wuchs im betrachteten Jahr um 1 bis 4 kg/ha. Das sind rund 1,2% des gesamten Bodenlagers. Durchschnittlich wird jährlich rund 15 mal mehr Zink im Boden akkumuliert, als dem Boden über die Pflanzen entzogen wird.

Tabelle 5.10: Zinkbilanzen des landwirtschaftlichen Bodens von Betrieben, die Kompost aufbringen (Berechnung auf Betriebsebene)

Betrieb	G	G	R	R	S	S	A	Kompost		
	1	7	2	8	11	13	20	von	bis	MW
Zn in g/ha										
Input										
Ernterückstände Boden	66		2	42	46	33	42	2	66	38
Wirtschaftsdünger	1.099	319	706	401	332	1.609		319	1.609	827
Kompost	2.482	2.754	879	317	2.202	1.582	199	317	2.754	1.703
Handelsdünger	3			22	4	3	66	3	22	8
Klärschlamm										
Eintrag Deposition	625	625	625	625	625	625	624	625	625	625
Summe Input	4.275	3.698	2.211	1.407	2.876	3.851	931	931	4.275	3.053
Anteil WD in %	26	9	32	29	12	42	0	0	42	21
Anteil KO in %	58	74	40	23	77	41	21	21	77	48
Anteil HD in %	0	0	0	2	0	0	7	0	7	1
Anteil Deposition in %	15	17	28	44	22	16	67	15	67	30
Output										
Nährstoffe	274	179	106	167	161	116	160	106	274	167
Auswaschung	102	102	102	102	102	73	101	73	102	97
Summe Output	375	281	207	269	263	189	261	189	375	264
Anteil Nährstoffe in %	6	5	5	12	6	3	17	3	17	8
Anteil Auswaschung in %	2	3	5	7	4	2	11	2	11	5
Anteil Lagerzuwachs in %	91	92	91	81	91	95	72	72	95	88
Lageränderung	3.900	3.417	2.004	1.138	2.614	3.662	670	670	3.900	2.789

5.1.3.3 Klärschlammanwendungsbetriebe

Klärschlamm, Wirtschaftsdünger und Deposition liefern im Schnitt aller Betriebe dieser Gruppe je rund 30% des Gesamtinputs. Dieser liegt zwischen 0,7 und 4,7 kg Zn/ha.a.

Nur zwischen 5 und 20% des Inputs werden von den Pflanzen aufgenommen. Der Großteil verbleibt im Boden. Der jährliche Nettoeintrag beträgt 0,5 bis 4,3 kg Zn/ha.a. Das sind zwischen 60 und 90% des gesamten Eintrages.

Tabelle 5.11: Zinkbilanzen des landwirtschaftlichen Bodens von Betrieben, die Klärschlamm aufbringen (Berechnung auf Betriebsebene)

Betrieb	G	R	S	S	A	A	Klärschlamm		
	4	3	10	14	19	21	von	bis	MW
Zn in g/ha									
Input									
Ernterückstände Boden	64	10	51	91	139	421	10	139	71
Wirtschaftsdünger	601	1.165	2.755	2.256			601	2.755	1.694
Handelsdünger	121	2	30	84	5	19	2	121	48
Klärschlamm	726	785	318	1.609	0	1.446	0	1.609	688
Eintrag Deposition	625	625	623	624	626	624	623	626	625
Summe Input	2.136	2.587	3.777	4.663	769	2.511	769	4.663	2.786
Anteil WD in %	28	45	73	48	0	0	0	73	32
Anteil KS in %	34	30	8	34	0	58	0	58	27
Anteil HD in %	6	0	1	2	1	1	0	6	2
Anteil Deposition in %	29	24	16	13	81	25	13	81	32
Output									
Nährstoffe	244	229	188	244	172	555	172	244	215
Auswaschung	102	102	101	101	102	101	101	102	101
Summe Output	345	330	289	345	273	656	273	656	317
Anteil Nährstoffe in %	11	9	5	5	22	22	5	22	12
Anteil Auswaschung in %	5	4	3	2	13	4	2	13	5
Anteil Lagerzuwachs in %	84	87	92	93	64	74	64	93	82
Lageränderung	1.791	2.257	3.488	4.318	496	1.854	496	4.318	2.470

5.1.3.4 Handelsdüngeranwendungsbetriebe

Der Zinkinput wird zu rund 60% durch die Deposition geprägt. Im Gegensatz zu den vorangegangenen Gruppen werden bei den Handelsdüngeranwendern rund 70 % des Zinkinputs dem Boden durch die Pflanzen entzogen. Der Grund dafür ist der viel geringere Gesamtinput in den Boden, der bei rund 1 kgZn/ha.a liegt. Die Auswaschung ist mit rund 10% gering. Das Lager der landwirtschaftlichen Böden wird mit Zink angereichert. Rund 20% des Zinkeintrages werden im Boden gespeichert.

Tabelle 5.12: Zinkbilanzen des landwirtschaftlichen Bodens von Betrieben, die Handelsdünger aufbringen (Berechnung auf Betriebsebene)

Betrieb	A	A	A	Handelsdünger		
	18	22	23	von	bis	MW
Zn in g/ha						
Input						
Ernterückstände Boden	400	298	503	298	503	401
Wirtschaftsdünger				0	0	
Handelsdünger	90	130	152	90	152	124
Eintrag Deposition	625	627	625	625	627	626
Summe Input	1.116	1.056	1.280	1.056	1.280	1.150
Anteil HD in %	8	12	12	8	12	11
Anteil Deposition in %	56	59	49	49	59	55
Output						
Nährstoffe	783	656	929	656	929	789
Auswaschung	102	102	102	102	102	102
Summe Output	884	758	1.031	758	1.031	891
Anteil Nährstoffe in %	70	62	73	62	73	68
Anteil Auswaschung in %	9	10	8	8	10	9
Anteil Lagerzuwachs in %	21	28	19	19	28	23
Lageränderung	231	298	249	231	298	259

5.1.4 Kupfer

Kupfer ist ebenfalls ein wichtiges Spurenelement. Durch aktive Prozesse zur Eliminierung bzw. Bindung an spezifische Proteine kommt es selten zu Kupfervergiftungen. In Böden reguliert sich der Kupferhaushalt durch die Fähigkeit der leichten Komplexbildung selbst, sodaß es nicht schnell zu Schädigungen kommt. Kupfer wird in der Landwirtschaft in Futtermitteln und in Pflanzenschutzmitteln eingesetzt.

5.1.4.1 Wirtschaftsdüngeranwendungsbetriebe

Der Kupfereintrag in die landwirtschaftlichen Böden liegt zwischen 0,2 und 0,7 kg/ha.a. Rund 50% stammen aus dem Wirtschaftsdünger, rund 40% aus der Deposition. Der Kupferentzug der Pflanzen beträgt durchschnittlich nur ca. 20%. Rund 70% verbleiben im Boden als Nettoeintrag. Der Nettoeintrag im Boden beträgt 0,1 bis 0,5 kg/ha.a.

Tabelle 5.13: Kupferbilanzen des landwirtschaftlichen Bodens von Betrieben, die Wirtschafts- und Handelsdünger aufbringen (Berechnung auf Betriebsebene)

Betrieb	G O	G 9	R 5	R 6	S 12	S 15	S 16	S 17	WD+HD		
Cu in g/ha									von	bis	MW
Input											
Ernterückstände Boden	10	3		20	6	11	367	34	3	367	70
Wirtschaftsdünger	223	337	244	91	74	274	170	910	74	910	202
Handelsdünger	6	18	3	17	12	1	23	2	1	23	11
Eintrag Deposition	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
Summe Input	389	508	397	278	242	436	710	1.096	242	1.096	423
Anteil HD in %	1	4	1	6	5	0	3	0	0	6	3
Anteil WD in %	57	66	61	33	31	63	24	83	24	83	52
Anteil Deposition in %	39	30	38	54	62	34	21	14	14	62	36
Output											
Nährstoffe	40	21	68	110	68	32	118	59	21	118	65
Auswaschung	59	59	59	59	58	58	59	59	58	59	59
Summe Output	99	80	126	168	127	90	177	117	80	177	124
Anteil Nährstoffe in %	10	4	17	39	28	7	17	5	4	39	16
Anteil Auswaschung in %	15	12	15	21	24	13	8	5	5	24	14
Anteil Lagerzuwachs in %	75	84	68	39	48	79	75	89	39	89	70
Lageränderung	290	429	271	110	115	346	533	979	110	979	299

5.1.4.2 Kompostanwendungsbetriebe

Bei der Betrachtung der Durchschnittswerte ergibt sich folgendes Bild: Der Hauptflux ist durch den Kompost (40% am Gesamtinput) bedingt. Ihm folgt die atmosphärischen Depositionen (30% des Gesamtinputs) und der Wirtschaftsdünger (20% des Gesamtinputs). Einzelbetrieblich beträgt der Kompostanteil bis zu 80%, der Depositionsanteil bis zu 70% und der Anteil des Wirtschaftsdüngers an der Gesamtfracht bis zu 50%. Der Kupfereintrag in die landwirtschaftlichen Böden der Kompostanwender liegt zwischen 0,3 und 2 kg Cu/ha.a. Davon werden je 10% von den Pflanzen aufgenommen und ausgewaschen. 80% verbleiben als Nettoeintrag im Boden. Der durchschnittliche Nettoeintrag beträgt rund 0,6 kgCu/ha.a.

Tabelle 5.14: Kupferbilanzen des landwirtschaftlichen Bodens von Betrieben, die Kompost aufbringen (Berechnung auf Betriebsebene)

Betrieb	G	G	R	R	S	S	A	Kompost		
	1	7	2	8	11	13	20	von	bis	MW
Cu in g/ha										
Input										
Ernterückstände Boden	41		1	17	33	24	19	1	41	23
Wirtschaftsdünger	244	36	138	78	98	500		36	500	182
Kompost	372	581	193	70	488	351	44	44	581	343
Handelsdünger	0			2	0	0	8	0	8	1
Eintrag Deposition	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
Summe Input	808	767	482	317	770	1.025	221	221	1.025	695
Anteil WD in %	30	5	29	25	13	49	0	0	49	21
Anteil KO in %	46	76	40	22	63	34	20	20	76	43
Anteil HD in %	0	0	0	0	0	0	4	0	4	1
Anteil Deposition in %	19	20	31	47	19	15	68	15	68	31
Output										
Nährstoffe	81	41	28	42	51	37	37	28	81	47
Auswaschung	59	59	59	59	58	42	59	42	59	56
Summe Output	140	99	87	100	109	79	95	79	140	102
Anteil Nährstoffe in %	10	5	6	13	7	4	17	4	17	9
Anteil Auswaschung in %	7	8	12	18	8	4	27	4	27	12
Anteil Lagerzuwachs in %	83	87	82	68	86	92	57	57	92	79
Lageränderung	668	668	395	217	660	946	126	126	946	592

5.1.4.3 Klärschlammanwendungsbetriebe

Wie schon bei Zink teilt sich die Kupfergesamtfracht durchschnittlich zu je 30% auf die drei Güter Klärschlamm, Wirtschaftsdünger und Deposition. Einzelbetrieblich können die Beiträge abweichen. So beträgt der Anteil des Wirtschaftsdüngers bei zwei Betrieben mehr als 60% des Gesamtinputs. Bei einem Betrieb dominiert die Deposition mit 80% den Input. Bei zwei Betrieben liegt der Anteil des Klärschlammes an der Deposition zwischen 40 und 60% der Gesamtinputfracht. Der Kupfereintrag in den landwirtschaftlichen Boden liegt zwischen 0,2 und 1,5 kg Cu/ha.a. Davon werden rund 10% von den Pflanzen aufgenommen und zwischen 5 und 30% ausgewaschen. Der restliche Kupfereintrag, rund 0,1 bis 1,4 kg Cu /ha verbleiben jährlich als Nettoeintrag im landwirtschaftlichen Boden.

Tabelle 5.15: Kupferbilanzen des landwirtschaftlichen Bodens von Betrieben, die Klärschlamm aufbringen (Berechnung auf Betriebsebene)

Betrieb	G	R	S	S	A	A	Klärschlamm		
	4	3	10	14	19	21	von	bis	MW
Cu in g/ha									
Input									
Ernterückstände Boden	38	5	438	60	10	37	5	438	110
Wirtschaftsdünger	174	230	880	755			174	880	510
Handelsdünger	15	0	4	12	0	1	0	15	6
Klärschlamm	293	109	53	289	13	267	13	293	151
Eintrag Deposition	150	150	149	150	150	150	149	150	150
Summe Input	671	493	1.524	1.266	174	456	174	1.524	825
Anteil WD in %	26	47	58	60	0	0	0	60	32
Anteil KS in %	44	22	3	23	7	59	3	59	26
Anteil HD in %	2	0	0	1	0	0	0	2	1
Anteil Deposition in %	22	30	10	12	87	33	10	87	32
Output									
Nährstoffe	70	69	55	83	15	57	15	83	58
Auswaschung	59	59	58	58	59	58	58	59	58
Summe Output	128	127	114	141	73	115	73	141	117
Anteil Nährstoffe in %	10	14	4	7	9	12	4	14	9
Anteil Auswaschung in %	9	12	4	5	34	13	4	34	13
Anteil Lagerzuwachs in %	81	74	93	89	58	75	58	93	78
Lageränderung	542	366	1.410	1.125	100	341	100	1.410	709

5.1.4.4 Handelsdüngeranwendungsbetriebe

Handelsdünger und Pflanzenschutzmittel der untersuchten Betriebe stellen für den Kupfereintrag in den landwirtschaftlichen Boden keine relevante Quelle dar. Der Cu-Eintrag durch Handelsdüngern liegt bei rund 20 g/ha.a. Die Deposition von Kupfer ist bei den Ackerbaubetriebe dieser Gruppe der größte Inputfaktor. Sie liegt zwischen 60 und 240 g/ha.a, das sind im Schnitt ca. 70% des Gesamtinputs.

Rund 50% des Kupfereintrages werden von den Pflanzen entzogen. Vom verbleibenden Zinkinput werden rund 30% ausgewaschen, 20% oder rund 40 gCu/ha.a verbleiben im Boden.

Tabelle 5.16: Kupferbilanzen des landwirtschaftlichen Bodens von Betrieben, die Handelsdünger aufbringen (Berechnung auf Betriebsebene)

Betrieb	A	A	A	Handelsdünger		
	18	22	23	von	bis	MW
Cu in g/ha						
Input						
Ernterückstände Boden	43	36	52	36	52	44
Handelsdünger	12	25	20	12	25	19
Eintrag Deposition	150	151	150	150	151	150
Summe Input	205	212	222	205	222	213
Anteil HD in %	6	12	9	6	12	9
Anteil Deposition in %	73	71	67	67	73	71
Output						
Nährstoffe	113	100	128	100	128	113
Auswaschung	58	59	59	58	59	59
Summe Output	171	159	186	159	186	172
Anteil Nährstoffe in %	55	47	57	47	57	53
Anteil Auswaschung in %	28	28	26	26	28	27
Anteil Lagerzuwachs in %	17	25	16	16	25	19
Lageränderung	34	53	36	34	53	41

5.1.5 Blei

5.1.5.1 Wirtschaftsdüngeranwendungsbetriebe

Der landwirtschaftliche Boden in Oberösterreich ist eine Senke für Blei. Diese Aussage kann generell getroffen werden, da die Bleibilanz der landwirtschaftlichen Böden eindeutig durch den Eintrag von Bleidepositionen dominiert wird. Sie liegen in Oberösterreich zwischen 90 und 130 g/ha.a.

Rund 90% des Bleis stammen aus der Deposition. Der Bleieintrag in landwirtschaftlichen Böden beträgt ca. 0,2 kg/ha.a. Davon werden mehr als 90% im Boden abgelagert. Der Pflanzenentzug und die Auswaschung sind in Summe kleiner als 10%.

Tabelle 5.17: Bleibilanzen des landwirtschaftlichen Bodens von Betrieben, die Wirtschafts- und Handelsdünger aufbringen (Berechnung auf Betriebsebene)

Betrieb	G	G	R	R	S	S	S	S	WD+HD		
	O	9	5	6	12	15	16	17	von	bis	MW
Pb in g/ha											
Input											
Ernterückstände Boden	1	1		11	4	3	19	3	1	19	6
Wirtschaftsdünger	16	23	33	13	1	3	3	13	1	33	13
Handelsdünger	10	8	1	5	3	4	7	10	1	10	5
Eintrag Deposition	159	159	159	159	159	159	160	159	159	160	159
Summe Input	187	191	193	188	167	168	188	185	167	193	183
Anteil HD in %	5	4	0	3	2	2	4	5	0	5	3
Anteil WD in %	9	12	17	7	0	2	1	7	0	17	7
Anteil Deposition in %	85	84	83	85	95	95	85	86	83	95	87
Output											
Nährstoffe	6	2	21	19	5	3	22	5	2	22	11
Auswaschung	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Summe Output	9	5	24	22	8	6	25	8	5	25	14
Anteil Nährstoffe in %	3	1	11	10	3	2	12	3	1	12	6
Anteil Auswaschung in %	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Anteil Lagerzuwachs in %	95	97	87	89	95	96	86	96	86	97	93
Lageränderung	178	185	169	167	159	162	163	177	159	185	169

5.1.5.2 Kompostanwendungsbetriebe

Die Bleibilanzen der landwirtschaftlichen Böden der Kompostanwendungsbetriebe sind geprägt durch zwei Güter - durch die atmosphärische Deposition und den Kompost.

Die höchste Bleifracht stammt aus dem Kompost. Sie beträgt rund 0,5 kgPb/ha.a und ist mehr als dreimal so hoch wie der Eintrag durch die Deposition, der mit rund 160g/ha.a um einen Faktor 10 höher ist, als der Eintrag über andere Güter. Handelsdünger und Wirtschaftsdünger spielen für die Bleibilanzen landwirtschaftlicher Böden dieser Gruppe eine untergeordnete Rolle. Die jährliche Bleieintrag liegt zwischen 0,2 und 0,7 kg/ha.a. Davon werden zwischen 1 und 3% von den Pflanzen entzogen. Rund 96 bis 99% des Bleiinputs verbleiben im Bodenlager. Der jährliche Nettoeintrag liegt zwischen 0,2 und 0,6 kgPb/ha.a.

Tabelle 5.18: Bleibilanzen des landwirtschaftlichen Bodens von Betrieben, die Kompost aufbringen (Berechnung auf Betriebsebene)

Betrieb	G	G	R	R	S	S	A	Kompost		
	1	7	2	8	11	13	20	von	bis	MW
Pb in g/ha										
Input										
Ernterückstände Boden	4		0	3	3	2	3	0	4	2
Wirtschaftsdünger	25	3	19	11	2	13		2	25	12
Kompost	352	490	105	55	384	276	35	35	490	277
Handelsdünger	1			6	1	1	4	1	6	2
Klärschlamm										
Eintrag Deposition	159	159	159	159	159	159	160	159	159	159
Summe Input	541	653	284	234	550	451	201	201	652	452
Anteil WD in %	5	0	7	5	0	3	0	0	7	3
Anteil KO in %	65	75	37	24	70	61	17	17	75	50
Anteil HD in %	0	0	0	2	0	0	2	0	2	1
Anteil Deposition in %	29	24	56	68	29	35	79	24	79	46
Output										
Nährstoffe	13	21	8	4	4	3	3	3	21	9
Auswaschung	3	1	3	3	3	2	3	1	3	3
Summe Output	16	22	11	7	7	5	6	4	22	11
Anteil Nährstoffe in %	2	3	3	2	1	1	2	1	3	2
Anteil Auswaschung in %	1	0	1	1	1	0	1	0	1	1
Anteil Lagerzuwachs in %	97	97	96	97	99	99	97	96	99	97
Lageränderung	525	629	273	227	543	446	195	195	629	441

5.1.5.3 Klärschlammanwendungsbetriebe

Die Pb-Einträge werden dominiert durch die Depositionen. Auch in den einzelbetrieblichen Auswertungen beträgt der Anteil der Depositionen mehr als 60 %. Durch Klärschlamm kann in Einzelbetrieben bis zu 80 g Pb/ha eingetragen werden. Das sind maximal 30% des Gesamteintrags.

Der Entzug durch die Erntegüter ist gering; im Durchschnitt 10 g Pb/ha.a oder 3% des Inputs. Handels- (max. 3% des Gesamteintrages) und Wirtschaftsdünger (max. 12% des Gesamteintrages) stellen untergeordnete Quellen dar.

Der jährliche Bleieintrag in landwirtschaftliche Böden dieser Gruppe liegt um 0,2 kg Pb/ha.a. Davon verbleiben rund 96% als Nettoeintrag im Boden.

Tabelle 5.19: Bleibilanzen des landwirtschaftlichen Bodens von Betrieben, die Klärschlamm aufbringen (Berechnung auf Betriebsebene)

Betrieb	G	R	S	S	A	A	Klärschlamm		
	4	3	10	14	19	21	von	bis	MW
Pb in g/ha									
Input									
Ernterückstände Boden	4	1	3	5	1	4	1	5	3
Wirtschaftsdünger	5	32	18	13			5	32	17
Handelsdünger	7	0	3	3	1	5	0	7	3
Klärschlamm	51	64	13	78	3	76	3	78	42
Eintrag Deposition	159	159	159	159	160	159	159	160	159
Summe Input	227	257	196	259	165	244	165	259	221
Anteil WD in %	2	12	9	5	0	0	0	12	5
Anteil KS in %	23	25	6	30	2	31	2	31	20
Anteil HD in %	3	0	2	1	1	2	0	3	1
Anteil Deposition in %	70	62	81	61	97	65	61	97	73
Output									
Nährstoffe	10	13	5	7	1	5	1	13	7
Auswaschung	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Summe Output	13	16	8	10	4	8	4	16	10
Anteil Nährstoffe in %	4	5	2	3	1	2	1	5	3
Anteil Auswaschung in %	1	1	2	1	2	1	1	2	1
Anteil Lagerzuwachs in %	94	94	96	96	97	97	94	97	96
Lageränderung	214	240	188	249	161	236	161	249	210

5.1.5.4 Handelsdüngeranwendungsbetriebe

Auch hier stellen die Depositionen mit rund 90% die Hauptquelle des Gesamtinputs dar. Der Gesamtinput beträgt im Schnitt ca. 0,2 kgPb/ha.a. Davon rund 90% im Boden, der Rest wird von den Pflanzen entzogen und ein geringer Teil wird ausgewaschen.

Tabelle 5.20: Bleibilanzen des landwirtschaftlichen Bodens von Betrieben, die Handelsdünger aufbringen (Berechnung auf Betriebsebene)

Betrieb	A	A	A	Handelsdünger		
	18	22	23	von	bis	MW
Pb in g/ha						
Input						
Ernterückstände Boden	19	17	21	17	21	19
Handelsdünger	3	17	6	3	17	8
Eintrag Deposition	159	160	159	159	160	160
Summe Input	181	193	186	181	193	187
Anteil HD in %	1	9	3	1	9	4
Anteil Deposition in %	88	83	86	83	88	85
Output						
Nährstoffe	22	20	25	20	25	23
Auswaschung	3	3	3	3	3	3
Summe Output	25	23	28	23	28	26
Anteil Nährstoffe in %	12	10	14	10	14	12
Anteil Auswaschung in %	2	2	2	2	2	2
Anteil Lagerzuwachs in %	86	88	85	85	88	86
Lageränderung	155	170	158	155	170	161

5.1.6 Cadmium

5.1.6.1 Wirtschaftsdüngeranwendungsbetriebe

Die Cadmиеinträge der Wirtschaftsdüngeranwender resultieren zu durchschnittlich 55% aus der Deposition. Jeweils rund 17% stammen aus Wirtschafts- und aus Handelsdüngern. Der Gesamtinput liegt bei 6 bis 11 g Cd/ha.a. Davon werden zwischen 5 und 50% von den Pflanzen aufgenommen und 10 bis 20% ausgewaschen. Der Nettoeintrag im Boden liegt bei den untersuchten Betrieben zwischen 4 und 7 g/ha und Jahr.

Tabelle 5.21: Cadmiumbilanzen des landwirtschaftlichen Bodens von Betrieben, die Wirtschafts- und Handelsdünger aufbringen (Berechnung auf Betriebsebene)

Betrieb	G	G	R	R	S	S	S	S	WD+HD		
	O	9	5	6	12	15	16	17	von	bis	MW
Cd in g/ha											
Input											
Ernterückstände Boden	0,35	0,18		1,89	1,23	0,86	3,48	0,83	0,18	3,48	1,33
Wirtschaftsdünger	1,34	1,90	2,73	1,03	0,11	0,46	0,33	1,57	0,11	2,73	1,13
Handelsdünger	0,86	1,89	0,45	2,49	1,83	0,59	2,75	0,59	0,45	2,75	1,55
Eintrag Deposition	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,01	4,01	4,00	4,00	4,01	4,00
Summe Input	6,55	7,97	7,18	9,41	7,17	5,92	10,56	6,99	5,92	10,56	7,82
Anteil HD in %	13	24	6	26	26	10	26	8	6	26	17
Anteil WD in %	20	24	38	11	2	8	3	22	2	38	16
Anteil Deposition in %	61	50	56	42	56	68	38	57	38	68	54
Output											
Nährstoffe	0,60	0,36	0,71	3,35	1,44	1,04	5,04	1,12	0,36	5,04	1,79
Auswaschung	1,06	1,05	1,05	1,05	1,04	1,05	1,05	1,05	1,04	1,06	1,05
Summe Output	1,66	1,41	1,76	4,40	2,49	2,09	6,09	2,17	1,41	6,09	2,84
Anteil Nährstoffe in %	9	5	10	36	20	18	48	16	5	48	20
Anteil Auswaschung in %	16	13	15	11	15	18	10	15	10	18	14
Anteil Lagerzuwachs in %	75	82	75	53	65	65	42	69	42	82	66
Lageränderung	4,88	6,56	5,42	5,01	4,68	3,83	4,48	4,82	3,83	6,56	4,98

5.1.6.2 Kompostanwendungsbetriebe

Die Cadmiumbilanzen der Kompostanwendungsbetriebe werden geprägt durch die Deposition und den Kompost. Der Beitrag des Kompostes an der Gesamtinputfracht beträgt zwischen 10 und 60%, der der Deposition zwischen 40 und 60%. Alle anderen Güter sind im Vergleich dazu zu vernachlässigen. Jährlich werden bei den Betrieben dieser Gruppe zwischen 7 und 11 gCd/ha aufgebracht. Davon werden je 10% von den Pflanzen aufgenommen und ausgewaschen. Der Rest verbleibt als Nettoeintrag im Boden. Dieser beträgt jährlich zwischen 4 und 9 g Cd/ha.

Tabelle 5.22: Cadmiumbilanzen des landwirtschaftlichen Bodens von Betrieben, die Kompost aufbringen (Berechnung auf Betriebsebene)

Betrieb	G	G	R	R	S	S	A	Kompost		
	1	7	2	8	11	13	20	von	bis	MW
Cd in g/ha										
Input										
Ernterückstände Boden	1,21		0,03	0,86	0,77	0,55	0,81	0,03	1,21	0,68
Wirtschaftsdünger	0,63	0,18	1,55	0,87	0,23	1,14		0,18	1,55	0,77
Kompost	5,58	6,43	3,95	0,83	5,74	4,12	0,52	0,52	6,43	4,44
Handelsdünger	0,02			0,14	0,54	0,39	1,02	0,02	1,02	0,27
Klärschlamm										
Eintrag Deposition	4,00	4,00	4,00	4,00	4,01	4,00	4,02	4,00	4,01	4,00
Summe Input	11,44	10,61	9,53	6,70	11,28	10,20	6	6,00	11,44	9,96
Anteil WD in %	6	2	16	13	2	11	0	0	16	7
Anteil KO in %	49	61	41	12	51	40	8	8	61	38
Anteil HD in %	0	0	0	2	5	4	16	0	16	4
Anteil Deposition in %	35	38	42	60	36	39	63	35	63	45
Output										
Nährstoffe	1,60	0,49	0,29	1,14	0,97	0,69	2,13	0,29	2,13	0,86
Auswaschung	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	0,76	1,04	0,76	1,05	1,00
Summe Output	2,65	1,54	1,34	2,19	2,02	1,45	3	1,34	2,65	1,86
Anteil Nährstoffe in %	14	5	3	17	9	7	34	3	34	13
Anteil Auswaschung in %	9	10	11	16	9	7	16	7	16	11
Anteil Lagerzuwachs in %	77	86	86	67	82	86	50	50	86	76
Lageränderung	8,80	9,07	8,20	4,50	9,26	8,75	3,19	3,19	9,26	8,10

5.1.6.3 Klärschlammmanwendungsbetriebe

Der Haupteintrag an Cd stammt aus der Deposition. Sie macht zwischen 35 und 80% der Gesamtinputfracht aus. Die Beiträge von Klärschlamm und Wirtschaftsdünger liegen im Schnitt bei 10%. Insgesamt gelangen jährlich rund 8 g Cd auf ein Hektar landwirtschaftliche Nutzfläche. Davon werden rund 20% von den Pflanzen aufgenommen, ca. 10% ausgewaschen und zwischen 50 und 80% im Boden gespeichert. Der Nettoeintrag beträgt pro Jahr zwischen 3 und 9 g Cd.

Tabelle 5.23: Cadmiumbilanzen des landwirtschaftlichen Bodens von Betrieben, die Klärschlamm aufbringen (Berechnung auf Betriebsebene)

Betrieb	G	R	S	S	A	A	Klärschlamm		
	4	3	10	14	19	21	von	bis	MW
Cd in g/ha									
Input									
Ernterückstände Boden	1,18	0,20	0,92	1,58	0,89	2,96	0,20	2,96	0,95
Wirtschaftsdünger	0,63	2,65	1,69	1,31			0,63	2,65	1,57
Handelsdünger	1,79	0,01	0,85	2,45	0,04	0,11	0,01	2,45	1,03
Klärschlamm	1,46	0,80	0,35	2,08	0,07	1,93	0,07	2,08	0,95
Eintrag Deposition	4,00	4,00	3,98	4,00	4,02	4,00	3,98	4,02	4,00
Summe Input	9,05	7,66	7,78	11,43	5,02	9,00	5,02	11,43	8,19
Anteil WD in %	7	35	22	11	0	0	0	35	12
Anteil KS in %	16	10	5	18	1	21	1	21	12
Anteil HD in %	20	0	11	21	1	1	0	21	9
Anteil Deposition in %	44	52	51	35	80	44	35	80	51
Output									
Nährstoffe	1,53	0,43	1,13	1,83	0,89	3,13	0,43	3,13	1,16
Auswaschung	1,05	1,05	1,02	1,06	0,98	1,04	0,98	1,06	1,03
Summe Output	2,58	1,48	2,15	2,90	1,88	4,17	1,42	4,17	2,20
Anteil Nährstoffe in %	17	6	14	16	18	35	6	35	18
Anteil Auswaschung in %	12	14	13	9	20	12	9	20	13
Anteil Lagerzuwachs in %	72	81	72	75	63	54	54	81	69
Lageränderung	6,47	6,18	5,63	8,53	3,14	4,83	3,14	8,53	5,99

5.1.6.4 Handelsdüngeranwendungsbetriebe

Auch hier stammt der Haupteintrag an Cadmium aus der Deposition. Sie liefert zwischen 30 und 50% des Gesamtinputs. Der Handelsdünger liefert zwischen 20 und 30%. Durch ihn werden bis zu 3 g Cd/ha.a eingebracht. Insgesamt beträgt der Cadmumeintrag in die landwirtschaftlichen Flächen zwischen 9 und 13 g Cd/ha.a. davon werden zwischen 30 und 50% von den Pflanzen entzogen, rund 10% ausgewaschen und zwischen 40 und 60% im Bodenlager abgespeichert.

Tabelle 5.24: Cadmiumbilanzen des landwirtschaftlichen Bodens von Betrieben, die Handelsdünger aufbringen (Berechnung auf Betriebsebene)

Betrieb	A	A	A	Handelsdünger		
	18	22	23	von	bis	MW
Input						
Ernterückstände Boden	3,71	3,04	4,50	3,04	4,50	3,75
Handelsdünger	2,28	1,55	3,32	1,55	3,32	2,39
Eintrag Deposition	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00
Summe Input	9,99	8,60	11,82	8,60	11,82	10,14
Anteil HD in %	23	18	28	18	28	23
Anteil Deposition in %	40	47	34	34	47	40
Output						
Nährstoffe	2,90	4,47	6,31	2,90	6,31	4,56
Auswaschung	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05
Summe Output	3,95	5,52	7,35	3,95	7,35	5,61
Anteil Nährstoffe in %	29	52	53	29	53	45
Anteil Auswaschung in %	10	12	9	9	12	11
Anteil Lagerzuwachs in %	60	36	38	36	60	45
Lageränderung	6,04	3,08	4,47	3,08	6,04	4,53

5.2 Ergebnisse der Schlagbilanzen

Für alle Schläge der 24 landwirtschaftlichen Betriebe wurden Schlagbilanzen für die Schwermetalle Zink, Kupfer, Blei und Cadmium erstellt. Insgesamt wurden 220 Schläge bilanziert. Schläge eines Betriebes, die gleich bewirtschaftet wurden, wurden zu einem Schlag zusammengefaßt. Für die Auswertung der Schlagbilanzen wurden die Schläge nach der Art des aufgebrauchten Wirtschaftsdüngertypes gruppiert. Diese Gruppierung soll einen Vergleich mit den Ergebnissen der Betriebsbilanzen, die für den landwirtschaftlichen Boden ausgewertet wurden, ermöglichen.

Die größte Gruppe umfaßt 171 Schläge. Das sind jene Schläge, auf die Wirtschaftsdünger und/oder Handelsdünger und/oder kein Dünger aufgebracht wurde. Diese Gruppe wurde weiter unterteilt in Schläge, auf die Wirtschaftsdünger aufgebracht wurde, und in Schläge, auf die entweder Handelsdünger und/oder kein Dünger aufgebracht wurde. Die Gruppe der Wirtschaftsdüngerschläge enthält 72 Schläge. Die Gruppe Handelsdüngerschläge und der Schläge, die nicht gedüngt wurden enthält 99 Schläge. Zwei weitere Gruppen enthalten Schläge, auf die Kompost aufgebracht wurde (26 Schläge), sowie Schläge, die mit Klärschlamm gedüngt wurden (23 Schläge).

Die Auswertung der Schlagbilanzen erfolgt in den anschließenden Kapitel.

6 Der Beitrag von Kompost und Klärschlamm zu den Schadstoffbilanzen der landwirtschaftlichen Böden

6.1 Auswertung auf Betriebsebene

In diesem Kapitel wird der Anteil von Stofffrachten in Kompost und Klärschlamm am gesamten Stoffeintrag diskutiert. Zusätzlich wird der Beitrag der Pflanzenschutzmittel, Handelsdünger, Wirtschaftsdünger und Deposition an den Gesamtfrachten der Bodenbilanzen diskutiert.

6.1.1 Kompost

Ein Drittel der untersuchten Betriebe verwendete Kompost als Düngemittel. Die Kompostmengen, die auf die landwirtschaftlichen Flächen aufgebracht wurden betragen bis 51t TS/ha.a. Da der Großteil der kompostaufbringenden Betriebe sich erst seit kurzer Zeit mit der Kompostaufbringung beschäftigt, nicht jährlich Kompost auf seine Böden ausbringt und noch Schwierigkeiten bei der Abschätzung der vorjährig eingesetzten Kompostmenge und Qualität hatte, wurde die aus dem vorjährigen Kompost freiwerdende Nährstofffracht in dieser Arbeit nicht als zusätzliches Inputgut berücksichtigt. Bei einer eingeführten Kompostwirtschaft sind sowohl die Nährstoffnachlieferungen aus alten Komposten, als auch die verfügbare Nährstoffmenge des im betrachteten Zeitraum aufgebrachten Kompostes zu berücksichtigen. Der Vollständigkeit halber ist aber zu bemerken, daß die N- und P-Frachten, die durch den Kompost auf die Felder aufgebracht werden, die Nährstofffluxe aller Düngemittel dominieren. Für die Nährstoffe wurde nur ein Teil der aufgebrachten Frachten als im ersten Jahr verfügbar kalkuliert. Für die Schwermetalle im Kompost ist die Verfügbarkeit weniger wichtig, sie verbleiben auf jeden Fall über lange bis sehr lange Zeit im Boden.

Für die Schwermetallbilanzen landwirtschaftlicher Böden ist der Kompost ein wichtiges Inputgut. Dies liegt weniger an der Qualität der Komposte, als an der Menge, in der sie aufgebracht wurden. Kompost ist hinsichtlich seines Stoffeintrages in den landwirtschaftlichen Boden sowohl für die Zink-, Kupfer-, Blei- und auch für die Cadmiumbilanzen das wichtigste der vier Düngemittel (vgl. Tabelle 1, Anhang F).

Der höchste durchschnittliche Zinkinput beträgt 2,8 kg Zn/ha.a und stammt aus der Kompostaufbringung. Die Anteile der Zinkfrachten aus Kompost aller Betriebe liegen zwischen 20 und 80% (im Durchschnitt 50%) an ihrem Gesamteintrag.

Der Kupfereintrag aus Kompost liegt zwischen 0,04 und 0,6 kg Cu/ha.a. Der Anteil am Gesamtinput ist vergleichbar mit dem von Zink. Er liegt ebenfalls zwischen 20 und 80%. Sein durchschnittlicher Beitrag liegt bei rund 40% und ist damit vergleichbar mit dem Kupferbeitrag aus Wirtschaftsdünger.

Der höchste Bleieintrag stammt ebenfalls aus der Kompostaufbringung. Er liegt zwischen 0,05 und 0,5 kg/ha.a in derselben Größenordnung wie Kupfer. Im Vergleich zum Wirtschaftsdünger ist der Bleieintrag aus Kompost rund 20mals höher.

Die Cadmumeinträge aus Kompost liegen zwischen 0,5 und 6 g/ha.a. Einzelbetrieblich kann der Kompostbeitrag zur Cadmiumbodenbilanz bis zu 60% betragen. Im Schnitt liegt er bei 40%.

6.1.2 Klärschlamm

Die Menge des aufzubringen erlaubten Klärschlammes ist gesetzlich geregelt. Die untersuchten Landwirte (6 von 24) hielten sich an diese Regelung oder brachten weniger auf.

Für die Nährstoffbilanzen ist der Beitrag durch Klärschlamm gering. Der Stickstoffanteil aus Klärschlamm liegt zwischen 5 und 20% am Gesamtstickstoffeintrag. Zum Phosphorinput liefert er zwischen 5 und 50%, durchschnittlich 20%.

Auffallend ist, daß der Beitrag des Klärschlammes am Schwermetallnettoeintrag des landwirtschaftlichen Bodens im Durchschnitt nur zwischen 10 und 30% beträgt. Bei den Betrieben mit den höchsten Lagerzuwächsen dominiert der Beitrag des Wirtschaftsdünger den Nettoeintrag. Der Zinkeintrag durch Klärschlamm liegt zwischen 0,3 und 1,6 kgZn/ha.a. Der Kupfereintrag durch Klärschlamm liegt zwischen 0,01 und 0,3 kg Cu/ha.a. Der Klärschlammanteil an der Gesamtinputfracht liegt im Durchschnitt bei Zink und Kupfer bei rund 30%, kann einzelbetrieblich betrachtet jedoch bis zu 60% betragen.

Mit 10 bis 80 g Pb/ha.a liegen die Bleifrachten aus Klärschlamm hinter den Kompostbleifrachten. 2 bis 30% des Gesamtbleiinputs stammen aus dem Klärschlamm.

Die Cadmiumfrachten liegen mit 0,3 bis 2 g/ha.a und im Bereich von Handelsdüngern, aber nur halb so hoch wie der Beitrag aus Kompost. Der Klärschlammanteil am Cd-Eintrag in landwirtschaftliche Böden beträgt rund 10% (Anhang F, Tabelle 1).

6.1.3 Pflanzenschutzmittel

Die zwei eingesetzten Kupferpräparate („Cupravit“ spezial und „Cuproxtat“ flüssig) sowie das verwendete zinkhaltige Pestizid „Ridomil“ zeigen keine Auswirkungen auf die Zink- und Kupferbilanzen der landwirtschaftlichen Betriebsflächen. Ihre Zink- und Kupferfrachten sind im Vergleich zu den anderen Inputfrachten so gering, daß sie, aufgerechnet auf den gesamten landwirtschaftlichen Boden eines Betriebes mengenmäßig nicht mehr aufscheinen. Ihre Bedeutung wird bei der Berechnung der Zink- und Kupferbilanzen auf Schlagebene nochmals diskutiert werden.

6.1.4 Handelsdünger

Von den 24 Betrieben verwenden 21 Betriebe Handelsdünger, 3 Betriebe verzichten auf den Einsatz von Handelsdüngern.

Mit durchschnittlich 50 bis 170 kgN/ha.a ist der N-Eintrag aus Handelsdünger ein wichtiges Inputgut der Stickstoffbilanz landwirtschaftlicher Betriebe. Die durchschnittlich höchsten Mengen werden bei den Ackerbauern eingesetzt, da sie den Nährstoffbedarf der Pflanzen hauptsächlich durch Handelsdünger zu decken versuchen. Der Höchstwert von rund 170kgN/ha wurde allerdings bei einem Schweinehaltungsbetrieb aufgebracht, der zusätzlich zum betrieblichen Wirtschaftsdünger große Mengen an Handelsdünger einsetzt und so einen N-Überschuß nach der Ernte im Boden von rund 130 kg N/ha verursacht. Durchschnittlich werden 30% des Gesamtinputs durch Handelsdünger eingebracht. Der Anteil steigt bei den Ackerbaubetrieben bis auf 60%.

Hinsichtlich der Schwermetallbilanzen kann Handelsdünger durch seine potentiell hohen Cadmiumfrachten bedeutend sein. Die durchschnittlichen P-Mengen in Handelsdüngern betragen zwischen 8 und 15 kgP/ha.a und liegen hinter dem P-Eintrag durch Wirtschaftsdünger. Der P-Anteil am Gesamteintrag aus Handelsdüngern beträgt im Mittel rund 20 %. Die Cadmiumeinträge liegen zwischen 0,8 und 1,4 g/ha.a. Die Cadmiumfrachten sind im Durchschnitt ähnlich hoch wie die Cd-Frachten aus Kompost.

Im Schnitt stammen 10% der Cadmiumeinträge in die landwirtschaftlichen Böden aus der Handelsdüngeranwendung. Bei einzelnen Betrieben steigt der Beitrag des Handelsdüngers auf bis zu 30%.

Für die Kupfer-, Blei- und Zinkbilanzen liegt der Beitrag des Handelsdüngers unter 5% des Gesamtinputs und stellt somit kein wichtiges Inputgut dar. (Anhang F, Tabelle 1)

6.1.5 Wirtschaftsdünger

Der Wirtschaftsdünger ist das wichtigste Inputgut für die Phosphorbilanz des Bodens. Jährlich werden bei den untersuchten Betrieben zwischen 5 und 60 kgP/ha aufgebracht. Das sind zwischen 5 und 30% des Gesamtphosphorinputs. In derselben Höhe liegt der Anteil des Wirtschaftsdüngers am Stickstoffgesamteintrag. Die jährlich mit Wirtschaftsdünger aufbrachten Stickstofffrachten liegen zwischen 20 und 140 kgN/ha.a.

Die Bedeutung des Wirtschaftsdüngers für die Kupfer- und Zinkbilanzen des Bodens können einzelbetrieblich stark variieren. Mit Wirtschaftsdünger werden jährlich zwischen 0,3 und 2,4 kg Zn/ha auf landwirtschaftliche Flächen gebracht. Der Kupfereintrag durch Wirtschaftsdünger liegt zwischen 0,04 und 0,9 kg/ha.a. Das entspricht je nach Betrieb einem Anteil von 5 - 85% am Gesamteintrag. Durchschnittlich liegt der Beitrag des Wirtschaftsdüngers am Gesamtkupfer- sowie am Gesamtzinkeintrag bei 40%.

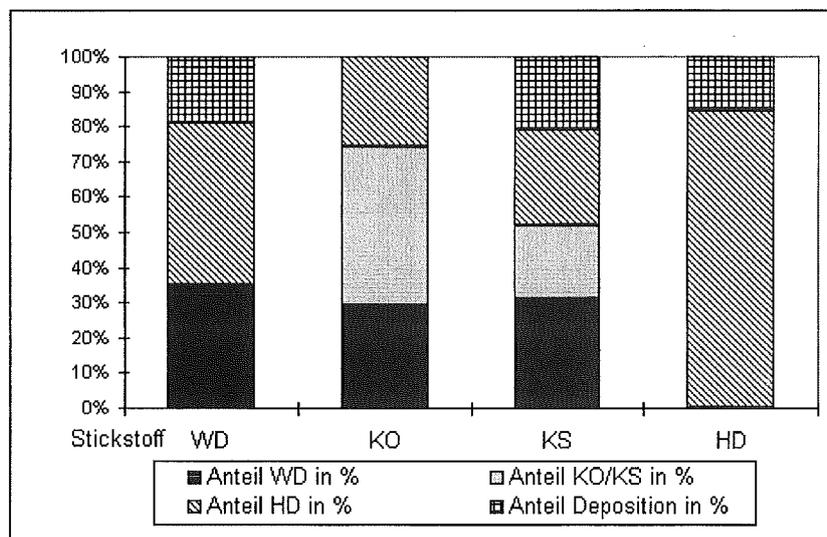
Für die Cadmium- und Bleibilanzen spielt der Wirtschaftsdünger eine untergeordnete Rolle. Sein Beitrag ist mit rund 5% des Gesamteintrages gering. (Anhang F, Tabelle 1)

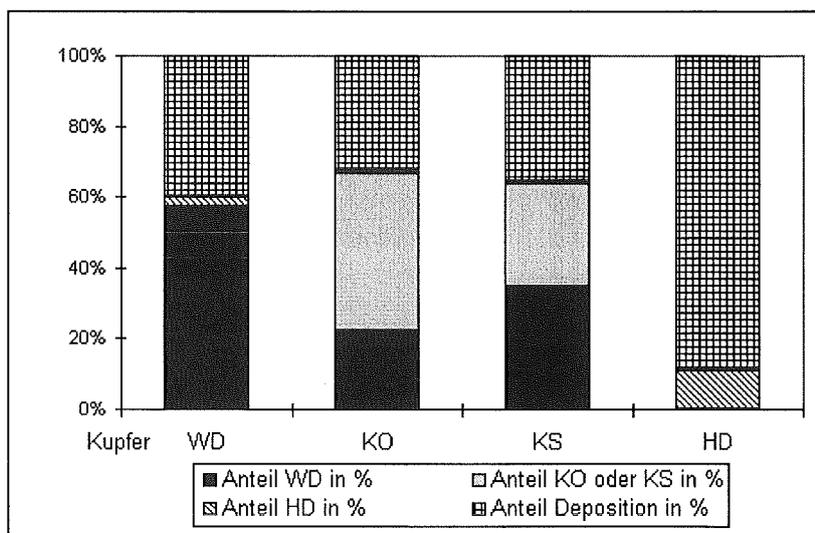
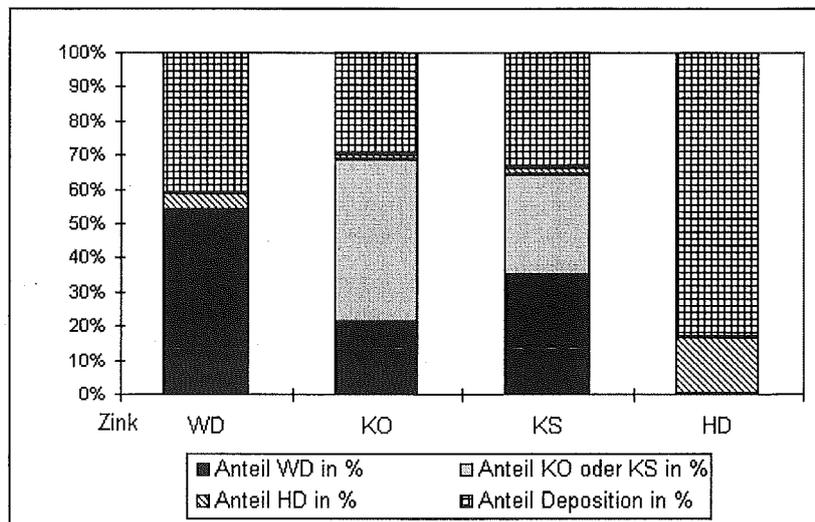
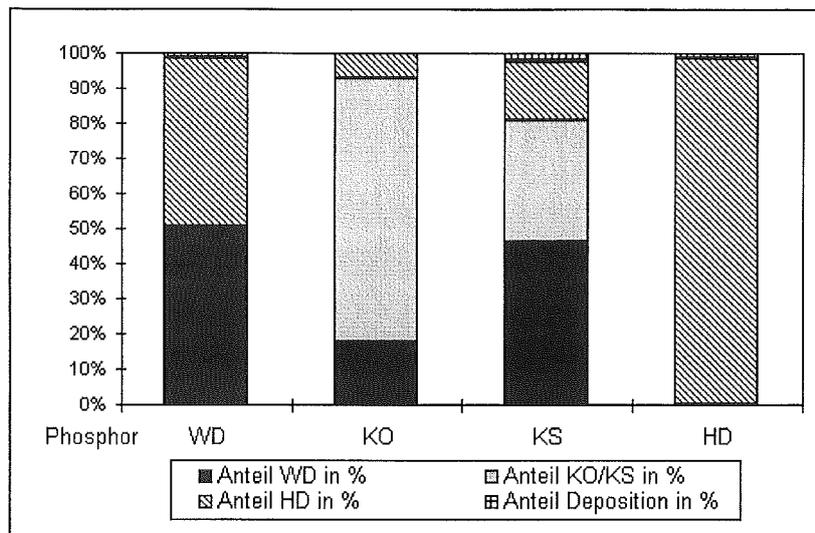
6.1.6 Deposition

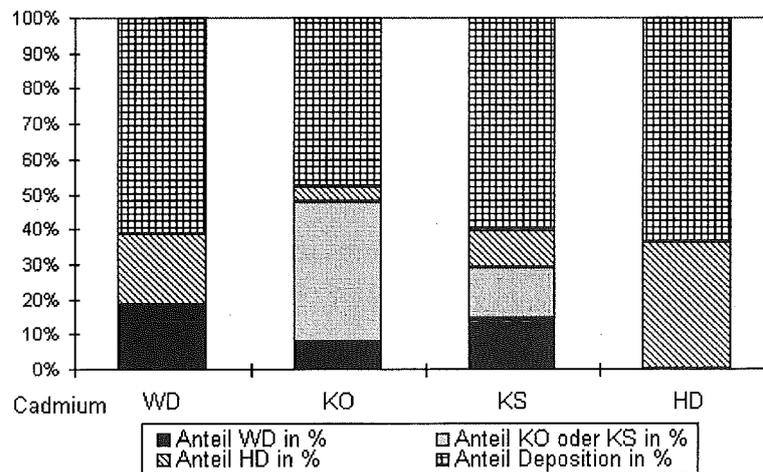
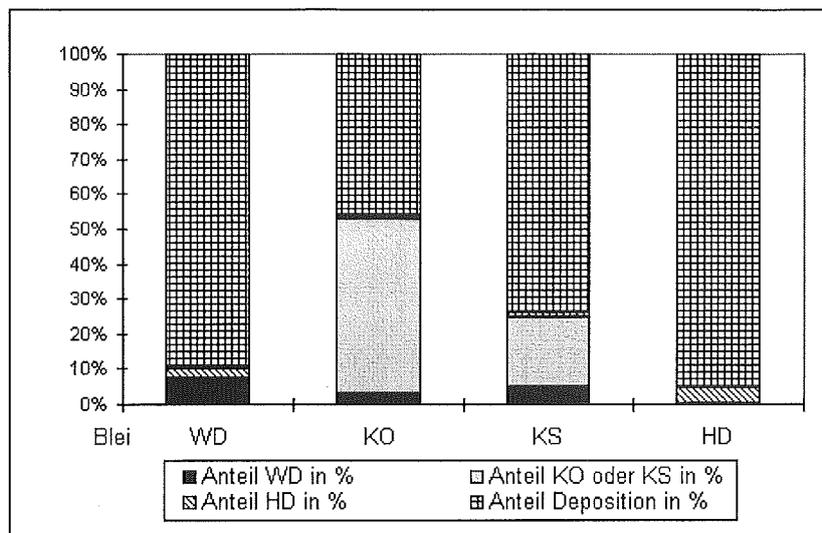
Wie in der folgenden Abbildung erkennbar ist, spielt die Deposition vor allem für die Schwermetallbilanzen landwirtschaftlicher Böden eine wichtige Rolle. Für die Blei- und Cadmiumbilanzen ist die Deposition das wichtigste Inputgut. Der Anteil der Bleideposition an der Gesamtfracht dominiert bei 20 von 24 Betrieben alle anderen Inputgüter. Lediglich bei vier Betrieben (aber immerhin 50% der Kompostbetriebe) überwiegt die Bleifracht aus Kompost die der Deposition. Ähnlich verhält sich die Deposition in den Cadmiumbilanzen. Bei 20 der 24 Betriebe dominiert die Deposition mit einem Anteil von rund 50% alle anderen Inputgüter. Bei vier Kompostbetrieben dominiert wieder Kompost den Input. Für die Zink- und Kupferbilanzen überwiegt die Depositionsfracht bei einem Viertel bis einem Fünftel der Betriebe den Gesamtinput.

Die Phosphordepositionen sind sehr gering und wirken sich kaum auf die Phosphorbilanzen des Bodens aus. Die Stickstoffdeposition ist mit 15 bis 40 kgN/ha.a sehr hoch. Sie wird jedoch durch den hohen Düngereinsatz übertroffen.

In der folgenden Abbildung sind für alle sechs Stoffe die dominanten Inputgüter der 24 Betriebe dargestellt. Die Inputgüter sind als prozentueller Anteil am Gesamtinput dargestellt. Der Gesamtinput wurde als Summe der Mengen von Wirtschaftsdünger, Handelsdünger, Klärschlamm, Kompost und Deposition berechnet. Andere Inputgüter werden in dieser Darstellung nicht berücksichtigt.







Abkürzungen:

WD... Betriebe, die Wirtschafts- und/oder Handelsdünger aufbringen

KO ... Betriebe, die Kompost aufbringen

KS... Betriebe, die Klärschlamm aufbringen

HD... Betriebe, die ausschließlich Handelsdünger aufbringen

Abbildung 6.1: Der Anteil verschiedener Inputgüter am Gesamteintrag der landwirtschaftlichen Böden der untersuchten Betriebe - Auswertung der Betriebsbilanzen

6.2 Auswertung auf Schlagebene

Wie auf Betriebsebene soll auch auf Schlagebene der Anteil von den Inputgütern Wirtschaftsdünger, Kompost, Klärschlamm, Deposition sowie der Pflanzenschutzmittel am Gesamtinput diskutiert werden. Auf Schlagebene wurden nur mehr die Schwermetalle Zink, Kupfer, Blei und Cadmium bilanziert. Auf die Beschreibung des Anteils der Handelsdünger wurde verzichtet, da diese im Vergleich zu den anderen Gütern einen wesentlich geringeren Einfluß auf die Schwermetallbilanzen der Schlagebene haben.

6.2.1 Kompost

Der Kompost ist bei allen vier Schwermetallen das wichtigste Inputgut der Kompostschläge.

Zink und Kupfer

Sein Anteil liegt bei den Zink- und Kupferbilanzen zwischen 60 und 65% an der Gesamtinputfracht. Die niedrigsten Beiträge liegen bei 40%, die höchsten bei 90%.

Blei

Rund 70% des Bleiinputs stammen aus dem Kompost. Der Mindesteintrag lag bei 50%, der höchste bei 80%.

Cadmium

Bei den Cadmiumbilanzen liegen die Beiträge aus dem Kompost bei durchschnittlich 50%. Die Mindest- und Maximumbeiträge liegen ähnlich den drei anderen Stoffbilanzen zwischen 30 und 80%.

6.2.2 Klärschlamm

Zink und Kupfer

Der Beitrag des Klärschlamm am Gesamtinput liegt mit durchschnittlich 50% etwas unter dem des Kompostes. Sein Beitrag dominiert die Kupfer- und Zinkbilanzen. Die Mindestbeiträge liegen mit rund 10% sehr niedrig.

Blei

Der Anteil des Klärschlamm am Bleiinput liegt deutlich unter dem des Kompostes. Er liegt zwischen 2 und 54%, durchschnittlich bei rund 40%.

Cadmium

Rund 30% des Cadmiuminputs stammen aus dem Klärschlamm. Maximal sind es rund 40%, am geringsten ist sein Beitrag mit rund 1%.

6.2.3 Pflanzenschutzmittel

Die zwei kupferhaltigen Mittel „Cupravit“ und „Cuproxtat“, sowie das zinkhaltige Ridomil wurden auf sieben Schläge aufgebracht. Der Beitrag der zinkhaltigen Pflanzenschutzmittel am Gesamtzinkeintrag der Schläge lag zwischen 3 und 14%. Im Vergleich zu den übrigen Beiträgen war ihr Anteil gering. Die kupferhaltigen Pflanzenschutzmittel betragen 6 bis 38% des Gesamtkupfereintrags. Mit durchschnittlich 18% liegt auch ihr Anteil hinter dem des Wirtschaftsdüngers und der Deposition.

6.2.4 Wirtschaftsdünger

Zink und Kupfer

Der Anteil der Wirtschaftsdüngerstofffrachten dominiert die Zink- und Kupfereinträge der Wirtschaftsdüngerschläge mit einem durchschnittlichen Beitrag von 60%, mit Abweichungen vom Durchschnitt, die zwischen 2 und 98% liegen. Bei den Kompostschlägen, auf die zum Kompost zusätzlich Wirtschaftsdünger aufgebracht wird, liegt sein Anteil bei rund 25%. Allerdings gibt es auch hier einzelnen Schläge, bei denen der Wirtschaftsdünger den Stoffeintrag mit rund 85% des Gesamteintrags von Zink und Kupfer dominiert. Am geringsten ist der Anteil des Wirtschaftsdüngers am Gesamtinput bei den Klärschlammschlägen. Er beträgt rund 20%, mit einem maximalen Beitrag von 70%.

Blei

Der Anteil an der Bleifracht ist bei Wirtschaftsdüngerschlägen mit rund 13% am höchsten. Bei den Kompost- und Klärschlammschlägen liegt er bei durchschnittlich 3%, maximal bei 17%.

Cadmium

Rund 23% des Gesamtcadmiuminputs stammen bei den Wirtschaftsdüngerschlägen aus dem Wirtschaftsdünger. Bei den Kompost- und Klärschlammschlägen sind es rund 10%.

6.2.5 Deposition

Zink und Kupfer

Der Beitrag der Deposition an den Gesamtbilanzen der Schläge, die mit organischen Düngern gedüngt werden (Wirtschaftsdünger, Kompost, Klärschlamm) liegt unter 50%. Bei Wirtschaftsdüngerschlägen liegt die Deposition bei rund 35%, bei Kompostschlägen bei rund 20% und bei Klärschlammschlägen bei rund 30%. Bei den Schlägen die mit Handelsdüngern bzw. gar nicht gedüngt werden dominiert sie den Input mit durchschnittlich 80 bis 85%.

Blei

Die Deposition ist das wichtigste Inputgut der Wirtschaftsdüngerschläge, der Klärschlammschläge und der Handelsdüngerschläge. Bei den Wirtschaftsdüngerschlägen dominiert sie die Bilanzen mit einem Anteil von durchschnittlich 85%. Bei den Klärschlammschlägen beträgt

ihr Anteil durchschnittlich 60%. Bei den Handelsdüngerschlägen beträgt ihr Anteil am Gesamtinput rund 90%.

Bei den Kompostschlägen bleibt das dominierende Inputgut der Kompost. Der Depositionsanteil macht durchschnittlich nur rund 30% des Inputs aus. Das sind rund 50% des Kompostbeitrags.

Cadmium

Die Bedeutung der Deposition an den Cadmiumbilanzen ist ähnlich der, der Bleibilanzen. Bei den Wirtschaftsdüngerschlägen dominiert ihr Anteil mit durchschnittlich 60% den Input. Mit 60% Anteil an den Klärschlammschlägen ist ihr Anteil rund doppelt so hoch wie der des Klärschlammes. Bei den Kompostschlägen machen die Depositionen rund 36% des Gesamtinputs aus.

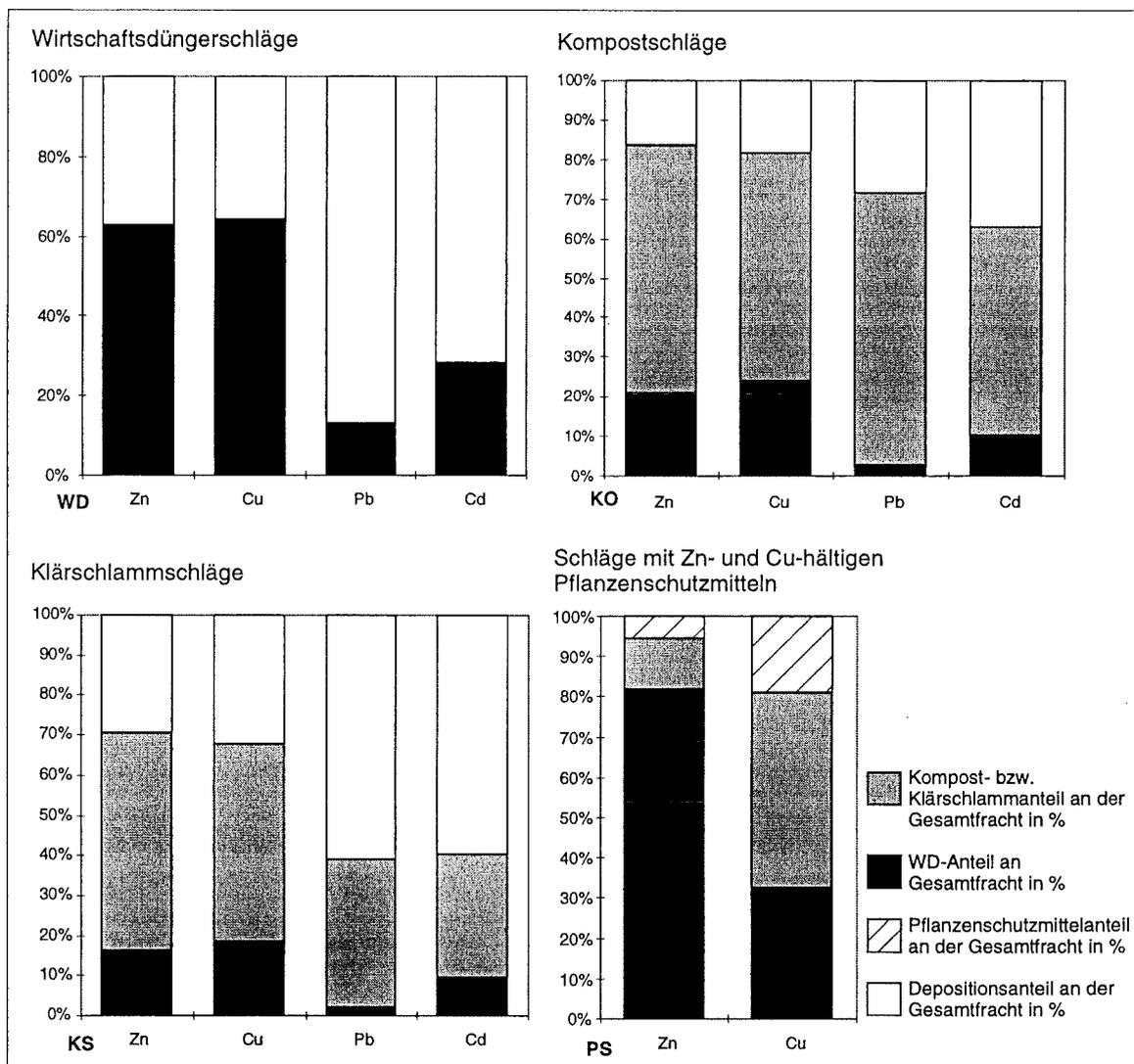


Abbildung 6.2 Anteile verschiedener Inputgüter in % des Gesamtinputs - Auswertung der Schlagbilanzen

6.3 Vergleich der Ergebnisse der Betriebsbilanzen mit den Ergebnissen der Schlagbilanzen

6.3.1 Anteil der Inputgüter am Gesamtinput

Bei der gesamtbetrieblichen Auswertung werden alle Güter- und Stoffflüsse als gleichmäßig auf die gesamte landwirtschaftliche Nutzfläche verteilt angenommen. Die Bewirtschaftung einzelner Schläge weicht im allgemeinen von dieser Annahme ab. Wie groß diese Abweichungen tatsächlich sind, wird im folgenden durch den Vergleich der Anteile der verschiedenen Inputgüter auf Betriebs- und auf Schlagebene diskutiert.

Die Abweichungen zwischen den Betriebsbilanzergebnissen sind dort gering, wo die Deposition das dominante Inputgut darstellt. Dies ist die Folge der Annahme einer gleichmäßigen Deposition über alle Schläge eines Betriebes. Abweichungen sind dort zu erwarten, wo Einzelschläge unterschiedlich bewirtschaftet werden.

Vergleich der Kompostbetriebe mit den Kompostschlägen

Nicht alle Schläge der Kompostanwendungsbetriebe werden mit Kompost befrachtet. Dies ist der Grund dafür, warum die Ergebnisse der Anteile von Kompost, Wirtschaftsdünger und Deposition auf Betriebs- und Schlagebene nicht übereinstimmen. Der Anteil der Kompostfracht am Gesamtinput der Schlagbilanzen ist bei allen vier Schwermetallen höher, als ihr Anteil am Gesamtinput der Betriebsbilanzen. Die Differenz beträgt durchschnittlich 15%. Der Wirtschaftsdüngeranteil ist auf Schlag- und auf Betriebsebene ungefähr gleich hoch. Die Abweichungen sind mit 3-4% gering (auch der Wirtschaftsdüngeranteil ist um diesen geringen Prozentsatz auf Schlagebene höher). Die Deposition verliert auf Schlagebene an Bedeutung. Ihr Anteil liegt um 10-20% unter dem auf Betriebsebene.

Vergleich der Klärschlambetriebe mit den Klärschlammschlägen

Der Unterschied der Anteile einzelner Inputgüter auf Betriebs- und auf Schlagebene ist bei Betrieben, die Klärschlamm anwenden noch größer, als bei den Kompostbetrieben/-schlägen. Der Anteil des Klärschlamm an der Zink- und Kupferbilanz nimmt auf Schlagebene gegenüber der Betriebsebene um rund 25% zu. Dafür nimmt der Anteil des Wirtschaftsdüngers um 10-15% ab.

Bei den Blei- und Cadmiumbilanzen ist die Zunahme des Klärschlammanteils nicht so groß. Sie liegt bei 16%. Der Wirtschaftsdüngeranteil ist um 3% gesunken.

Der Depositionsanteil ist bei allen vier Schwermetallen gesunken. Bei Kupfer, Zink und Blei um durchschnittlich 13%, bei Cadmium um 6%.

Vergleich der Wirtschaftsdüngerbetriebe mit den Wirtschaftsdüngerschlägen

Der Wirtschaftsdüngeranteil auf Schlagenebene ist zwischen 4 - 13% höher als der Wirtschaftsdüngeranteil der betrieblichen Auswertung. Am geringsten sind sie bei Zink, Blei und Kupfer (durchschnittlich 4 bzw. 6 bzw. 8%). Die geringen Abweichungen kommen dadurch zustande, weil Wirtschaftsdünger nahezu gleichmäßig auf alle Schläge aufgebracht wird.

Etwas höher sind die Abweichungen bei Cadmium (13%).

Die Änderungen der Anteile der Deposition an der Gesamtfracht der Schläge sind gering. Sie liegen für alle vier Schwermetalle zwischen 1 und 5%.

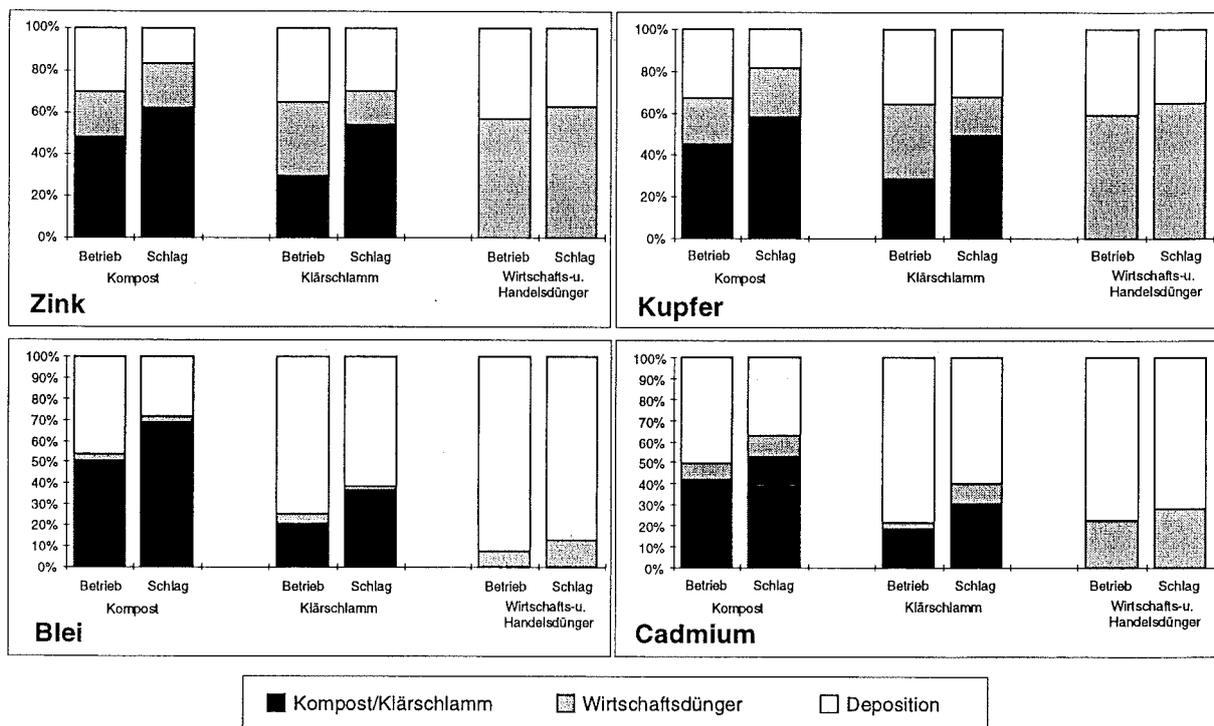


Abbildung 6.3: Vergleich der Anteile verschiedener Inputgüter am Gesamtinput zwischen Betriebsbilanzen und Schlagbilanzen (vgl. Tabelle 2, Anhang F)

7 Nettoeinträge der Schwermetalle in den landwirtschaftlichen Böden in Abhängigkeit der Düngerart

Eine Fragestellung dieser Arbeit war, zu vergleichen, wie stark die Ergebnisse der flächenbezogenen Stoffbilanzierung auf betrieblicher Ebene von der Stoffbilanzierung auf Schlagenebene abweichen. Die Ergebnisse der Betriebsbilanz können auf verschiedene Einheiten bezogen präsentiert werden. Ergebnisse, die auf die Einheit Betrieb bezogen sind, geben zwar dem Landwirt Auskunft über seinen Betrieb, können jedoch nur für spezielle Auswertungen herangezogen werden, da aufgrund der Heterogenität der landwirtschaftlichen Betriebe diese nicht miteinander verglichen werden können. Üblich sind Größen, die sich auf den Tierbestand (z.B. GVE) oder auf 1 ha landwirtschaftliche Nutzfläche beziehen. Der Bezug 1 ha landwirtschaftliche Nutzfläche wurde auch für die vorliegende Arbeit gewählt. Bei der Betriebsbilanz werden somit alle Güter auf 1 ha Nutzfläche bezogen. Dies führt bei ungleichmäßiger Bewirtschaftung der Einzelflächen zu einer „Verdünnung“ der Güter- und Stoffflüsse, in jenen Schlägen die hohe Güter- und Stoffeinträge aufweisen, sowie zu einer „Aufkonzentrierung“ in Schlägen mit geringen Einträgen. Für den Bodenschutz ist jedoch oft die tatsächliche Belastung einzelner Flächen bedeutsam. Dies trifft vor allem für Flächen zu, die mit schwermetallhaltigen Gütern, z.B. Kompost und Klärschlamm, befrachtet werden. Diese Ergebnisse erhält man bei der Schlagbilanzierung. Durch Vergleiche der Ergebnisse beider Berechnungen (Betrieb und Schlag) am Ende jedes Kapitels sieht man, welche Folgerungen für den Betrieb auch für den Schlag richtig sind und vice versa.

7.1 Ergebnisse der Betriebsbilanzen

Unter Nettoeintrag ist die im Boden verbleibende Differenz zwischen Input und Output in einem Jahr zu verstehen. Der Massenzuwachs durch organische Substanz bleibt dabei unberücksichtigt.

Die Auswertung zeigt, daß bei drei der vier untersuchten Schwermetalle die *kompostaufbringenden Betriebe* die höchsten jährlichen Schwermetallfrachten im Boden hinterlassen. Das gilt für Zink, Blei und Cadmium. Die Kompostaufbringer weisen von allen Betrieben bei allen vier Schwermetallen die höchsten Minimumwerte und bei Blei und Cadmium auch die höchsten Maximumwerte der pro Hektar im Boden verbleibenden Schwermetallfrachten auf.

Tabelle 7.1: Nettoeintrag der landwirtschaftlichen Böden von kompostaufbringenden Betrieben

	von	bis	MW
Zink in kg/ha.a	1,1	3,9	2,8
Kupfer in kg/ha.a	0,2	1	0,6
Blei in g/ha.a	230	630	440
Cadmium in g/ha.a	4	9	8

Die *klärschlammaufbringenden Betriebe* belasten die Böden vor allem mit Zink und Kupfer. Für beide Elemente wurde der höchste jährliche Nettoeintrag bei klärschlammaufbringenden Betrieben beobachtet. Bei Kupfer ist auch der durchschnittliche Nettoeintrag von allen Betrieben am höchsten bei der Gruppe der Klärschlammanwender. Bei Cadmium und Blei liegen die Lagerzuwächse im Bereich der wirtschafts- und handelsdüngeraufbringenden Betriebe.

Tabelle 7.2: Nettoeintrag der landwirtschaftlichen Böden von klärschlammaufbringenden Betrieben

	von	bis	MW
Zink in kg/ha.a	0,5	4,3	2,5
Kupfer in kg/ha.a	0,1	1,4	0,7
Blei in g/ha.a	170	250	210
Cadmium in g/ha.a	3	9	6

Die durchschnittlichen Lagerzuwächse der Betriebe der *Kategorie Aufbringung von Wirtschafts- und Handelsdüngern* liegen bei allen Elementen an dritter Stelle hinter den Kompost- und Klärschlammanwendern.

Tabelle 7.3: Nettoeintrag der landwirtschaftlichen Böden von Betrieben, die Wirtschafts- und Handelsdünger aufbringen

	von	bis	MW
Zink in kg/ha.a	0,7	1,8	1,2
Kupfer in kg/ha.a	0,1	0,5	0,3
Blei in kg/ha.a	160	185	170
Cadmium in g/ha.a	4	7	5

Der *reine Handelsdüngereinsatz* der drei Ackerbaubetriebe zeigt für alle Elemente den geringsten Nettoeintrag aller Betriebe. Bei Zink beträgt er rund 1/10 des Betrages, der durchschnittlich von den Kompostbetrieben im Boden verbleibt, bei Kupfer rund 1/15.

Tabelle 7.4: Nettoeintrag der landwirtschaftlichen Böden von Betrieben, die Handelsdünger aufbringen

	von	bis	MW
Zink in kg/ha.a	0,2	0,3	0,3
Kupfer in kg/ha.a	0,03	0,05	0,04
Blei in g/ha.a	160	170	160
Cadmium in g/ha.a	3	6	4,5

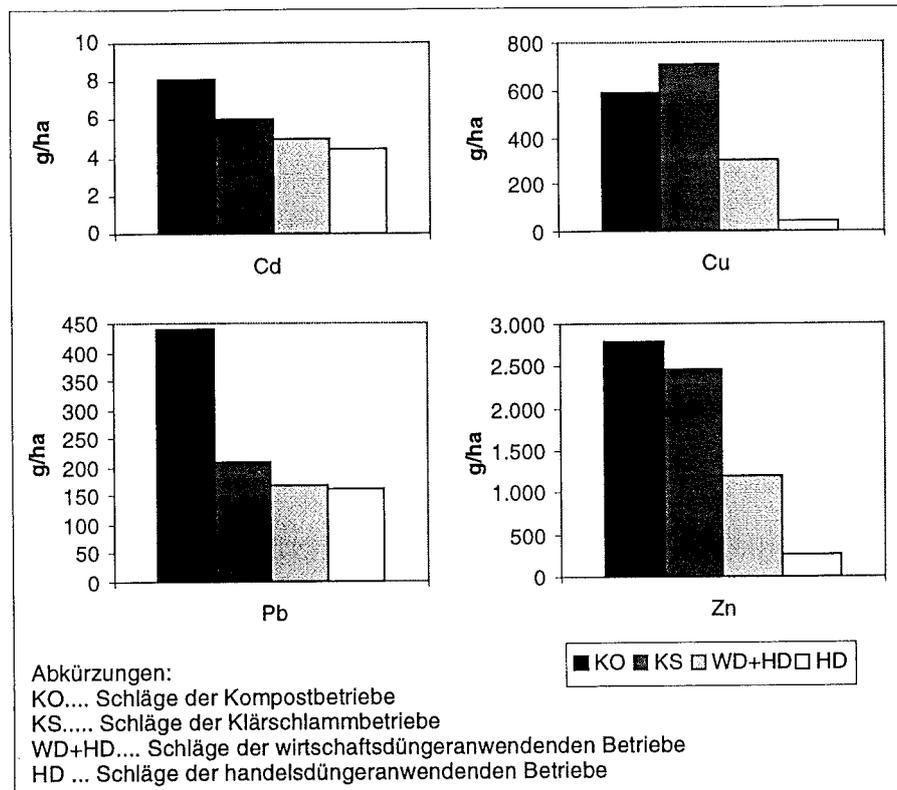


Abbildung 7.1: Durchschnittlicher Nettoeintrag im Boden in Abhängigkeit der Düngerart in g/ha.a - Auswertung der Betriebsbilanzen.

7.2 Ergebnisse der Schlagbilanzen

Bei den Schlagbilanzen wurde für die 4 Schlaggruppen Kompost-, Klärschlamm-, Wirtschaftsdünger-, Handelsdüngerschläge (vgl. Kapitel 5.2) jeweils der Mittelwert der Differenzen von Input- und Outputfrachten des landwirtschaftlichen Bodens berechnet.

Bei den Kompostschlägen sind für alle vier Schwermetalle die deutlich höchsten Stoffeinträge in die Böden zu verzeichnen. (4 kg Zn/ha, 0,9 kg Cu/ha, 0,6 kg Pb/ha sowie 10 g Cd/ha).

Auf den Klärschlammschlägen wird am zweitmeisten Zink (3,1 kg) und Blei (0,6 kg Pb/ha) eingetragen. Bei den Elementen Kupfer und Cadmium liegen die Klärschlammschläge an der dritten Stelle der genannten Schlaggruppen (0,6 kg Cu/ha, 6 g Cd/ha).

Auf die Wirtschaftsdüngerschläge wird am zweitmeisten Kupfer und Cadmium je Hektar Bodenfläche eingetragen (0,75 kg Cu/ha, 6,3 g Cd/ha). Die Zink- und Bleieinträge sind die dritthöchsten (2,8 kg Zn/ha, 0,2 kg Pb/ha).

Zusammenfassend kann gesagt werden:

- Die Differenz zwischen In- und Output für *Zink* ist bei den Kompostschlägen am höchsten, die der Klärschlamm- und Wirtschaftsdüngerschläge ist in etwa gleich und um 25 bis 30% geringer als die der Kompostschläge. Die Einträge in die Handelsdüngerschläge sind etwa 6-fach kleiner als jene in die Kompostschläge.
- Die *Kupfer*einträge sind bei den Kompost-, Klärschlamm-, und Wirtschaftsdüngerschlägen ähnlich hoch, bei den Handelsdüngern etwa 4 bis 6 mal niedriger als auf den Kompostschlägen.
- Der *Bleieintrag* ist bei allen 4 Schlaggruppen in etwa gleich hoch.
- Der höchste *Cadmium*eintrag ist auf den Kompostschlägen zu verzeichnen. Die Einträge in die anderen Schläge sind vergleichbar hoch und liegen etwa 40 % unter dem Eintrag in die Kompostschläge.

7.3 Vergleich von Betriebsbilanzen und Schlagbilanzen der Kompost- und Klärschlammbetriebe

Bei der Gruppe der Kompostschläge sind die Differenzen aus Input und Output der Stoffflüsse höher, als jene auf der Betriebsebene der Kompostbetriebe. Die Zink-, Kupfer- und Bleieinträge auf Betriebsebene betragen 70 bis 75 %, die Cadmiumeinträge etwa 90% jener der Schlagebene.

Die Unterschiede stammen aus der unterschiedlichen Bedeutung der jeweiligen Inputgüter für die Bodenbilanzen (vgl. Kap. 6.1 und 6.2).

Anders zeigt sich die Situation bei den Klärschlammbetrieben. Hier sind auf Schlagebene die Zink- (+ 20%) und Bleieinträge (+ 25%) höher, Cadmumeinträge gleich und die Kupfereinträge niedriger (- 15%). Der höhere Kupfereintrag auf Betriebsebene ist damit zu erklären, daß der Hauptinput an Kupfer bei diesen Betrieben über die Wirtschaftsdünger erfolgt, gleichzeitig aber die Klärschlammschläge weniger stark als die anderen Schläge mit Gülle beaufschlagt werden.

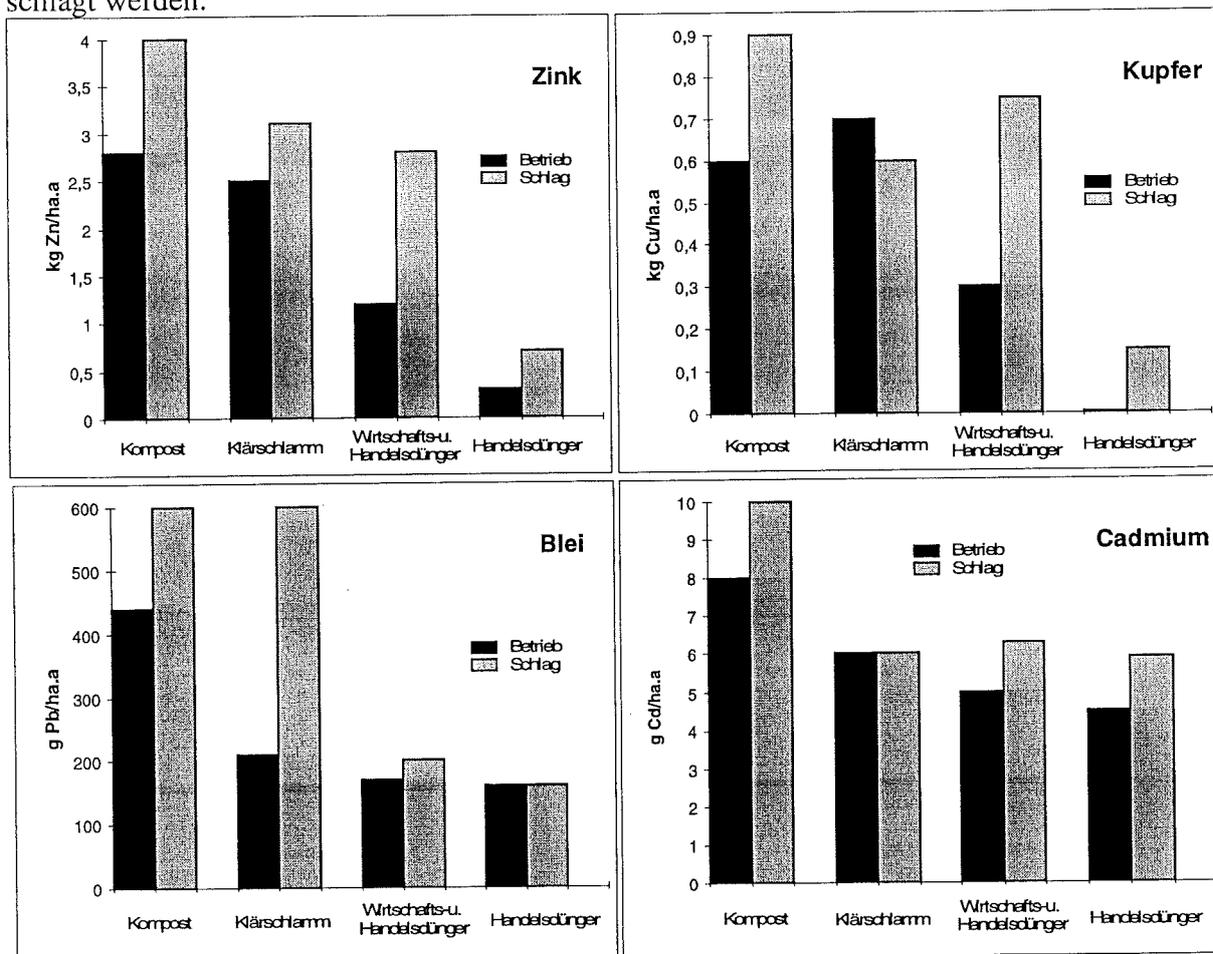


Abbildung 7.2 Vergleich des Nettoeintrages auf Betriebs- und auf Schlagebene bei Anwendung von Kompost, Klärschlamm, Wirtschafts- und Handelsdünger

8 Lagerveränderung der Schwermetalle im Boden in Abhängigkeit der Düngerart

Den bisher dargestellten Ergebnissen der Input-Output-Bilanzen (= Nettoeintrag) wird in diesem Kapitel die Lagerveränderung in den Böden gegenübergestellt. Diese Auswertung erfolgt nur mehr für die Schlagbilanzen. Die Lagerveränderung unterscheidet sich von den Ergebnissen der Input-Output-Bilanzen darin, daß die Lagerveränderung auf die obersten 30 cm Bodenschicht bezogen wird und nicht nur die im Bilanzierungsjahr eingetragene Stoffmenge berücksichtigt, sondern zusätzlich den „Bodeneintrag“ durch die eingebrachten Güter berücksichtigt.

Bei der Berechnung der Lagerveränderung wurde der zusätzliche Bodeneintrag durch die Inputgüter Kompost und Klärschlamm berücksichtigt. Dabei war es notwendig, Annahmen zu treffen, inwieweit die organische Substanz im Aufbringungsjahr abgebaut wird. Der nicht abgebaute organische Anteil bildet gemeinsam mit dem anorganischen Anteil einen „Bodenzuwachs“.

Für den Bodenzuwachs wurden folgende Annahmen getroffen:

- organischer Anteil: Kompost: 30 % organischer Anteil in der Trockensubstanz
Klärschlamm: 50% organischer Anteil in der Trockensubstanz
- Abbau im Bilanzjahr:
Minimalwerte: 100% der organischen Substanz werden abgebaut
Maximalwerte: die organische Substanz wird nicht abgebaut
Mittelwert: 50% der organischen Substanz werden abgebaut

Bei der Berechnung der jährlichen Lagerveränderung wird angenommen, daß in der landwirtschaftlichen Praxis alle drei Jahre die selbe Kompostmenge aufgebracht wird. Es wird deshalb im ersten Jahr nur ein Drittel der ausgebrachten Kompostmenge berücksichtigt.

Die größten Mengen an Trockensubstanz werden bei den Kompostschlägen (im Schnitt 7 t TS je ha) eingetragen. Der organische Anteil in der Komposttrockenmasse beträgt zwischen 20 und 30% [BMLF 1993], der verbleibende Teil ist anorganisch. Ein Teil des organischen Anteil wird im Laufe der Jahre mineralisiert, ein Teil wird in Dauerhumus festgelegt. Der mineralisierte Teil ist somit von der eingebrachten organischen Trockensubstanz abzurechnen.

Nimmt man an, daß 7 t Komposttrockensubstanz je ha und Jahr aufgebracht werden, so bedeutet dies bei 30 cm Bodentiefe bei einer Bodendichte von 1,5 kg TS/dm³ einen relativen Bodeneintrag von 0,15 Prozent, damit 15 % in 100 Jahren. Bei gleichmäßiger Verteilung des aufgetragenen Kompostes (7 t TS/ha) ist die aufgetragene Kompostschicht 0,5 mm dick (unter der Annahme das 100 % der Trockensubstanz erhalten bleibt). Nach hundert Jahren wäre die Schicht maximal 5 cm dick.

Da die Lagerveränderung auf eine Bodentiefe von 30 cm berechnet wird (Pflugschicht), muß konsequenterweise der aufgetragenen Bodenschicht eine wegfallende Bodenschicht gegen-

überstehen. Die wegfallenden Bodenschichten haben eine geringere Konzentration als die darüber liegenden Schichten.

Die Konzentrationen im Kompost sind bei Zink und Kupfer etwa 3-fach, bei Blei etwa 1,5-fach und bei Cadmium 2-fach höher als im Oberboden. Bei einer Abnahme der organischen Substanz des aufgebrauchten Kompostes findet eine Aufkonzentrierung der Schwermetalle statt.

Aus gesagtem ergibt sich: Wird der Trockensubstanzanteil des aufgebrauchten Kompostes nicht berücksichtigt, so wird der Zeitraum der Verdoppelung des Bodenlagers (Boden bis 30 cm Tiefe) als zu kurz berechnet.

Bei Klärschlamm gilt ähnliches. Allerdings ist der organische Anteil im Klärschlamm höher, die mineralisierbaren Anteile damit höher. Zusätzlich wird weniger TS je ha aufgebracht (im Schnitt 1,4 t TS), als bei Kompost.

Der Trockensubstanzeintrag durch Wirtschaftsdünger ist geringer als der von Klärschlamm., Abhängig von der Düngerart sind im Wirtschaftsdünger zwischen 0,9 und 2 t TS/GVE [Aichberger et al. 1995] enthalten. Der durchschnittliche Tierbesatz der untersuchten Wirtschaftsdüngerbetriebe liegt bei 0,7 GVE/ha. Daraus ergibt sich ein Trockensubstanzanfall zwischen 0,6 und 1,4 t TS/ha. Der organische Anteil ist darin mit durchschnittlich 70% höher als im Klärschlamm und im Kompost. In 100 Jahren wäre bei gleichmäßiger Verteilung von 1 t Trockensubstanz/ha eine Bodenschicht zwischen 7 mm (wenn die gesamte TS erhalten bleibt) und 2 mm (wenn die organische Substanz der TS zu 100 % abgebaut wird) entstanden. Die Lagerveränderung nähert sich durch diese Fakten an die berechneten Nettoeinträge an. Für die Wirtschaftsdüngerschläge werden daher im folgenden Vergleich die Nettoeinträge herangezogen.

8.1 Ergebnisse der Schlagbilanzen

Insgesamt wurden 199 Schläge in Hinblick auf die jährliche Lagerveränderung der 4 Schwermetalle in den Böden ausgewertet. Anhand der Lagerveränderung kann die Verdoppelungszeit der Elementkonzentration der Böden berechnet werden. Folgende 4 Kategorien wurden gebildet:

- Klärschlammschläge: Auf diese Schläge wird Klärschlamm ausgebracht. Ebenso ist es möglich, daß im Bilanzzeitraum auch Handelsdünger oder Wirtschaftsdünger ausgebracht wurde.
- Kompostschläge: Schläge auf die Kompost ausgebracht wird. Wie bei den Klärschlammschlägen ist auch hier ein zusätzlicher anthropogener Stoffeintrag durch Handels- und Wirtschaftsdünger möglich.

- Wirtschaftsdüngerschläge: Schläge, auf die ausschließlich Wirtschaftsdünger ausgebracht wird.
- Handelsdüngerschläge: Schläge, auf die ausschließlich Handelsdünger ausgebracht wird.

Von den 199 Schlägen sind 23 Klärschlamm-, 28 Kompost-, 77 Wirtschaftsdünger- und 71 Handelsdüngerschläge. Auf insgesamt 19 Schläge wurde entweder Wirtschafts- und Handelsdünger, oder nichts aufgebracht.

Für jeden einzelnen Schlag wurde für jeden Stoff eine minimale, eine maximale und eine mittlere Lagerveränderung berechnet. Anschließend wurde für jede der genannten 4 Kategorien ein mittlerer Minimalwert, ein mittlerer Maximalwert sowie ein mittlerer Mittelwert berechnet.

Die Anreicherung im Boden wird als die relative Lagerveränderung der von-, bis- und Mittelwerte, angegeben in % des Bodenlagers, dargestellt.

8.1.1 Auswertung für Zink

Auf den Klärschlammschlägen werden im Bilanzierungsjahr zwischen 2,2 und 4,2 (im Mittel 3,0) kg Zn/ha.a eingetragen. In der selben Größenordnung liegen die Einträge bei den Wirtschaftsdüngerschlägen. Allerdings ist dort die Schwankungsbreite mit 1,3 bis 6,2 kg Zn /ha.a größer; das Mittel (2,7 kg/ha.a) liegt jedoch unter jenem der Klärschlammschläge. Bei den Kompostschlägen reichern sich unter genannten Annahmen zwischen 0,9 und 3,4 (Mittel 1,9) kg Zn/ha an. Betrachtet man nur ein Einzeljahr, so sind die Zn-Einträge in die Kompostschläge deutlich höher und liegen bei 1,6 bis 4 (Mittel 2,5) kg Zn/ha. Bei den Handelsdüngerschlägen wurde der geringste Zinkeintrag (0,3 bis 1,3, Mittel 0,7 kgZn/ha.a) erhoben.

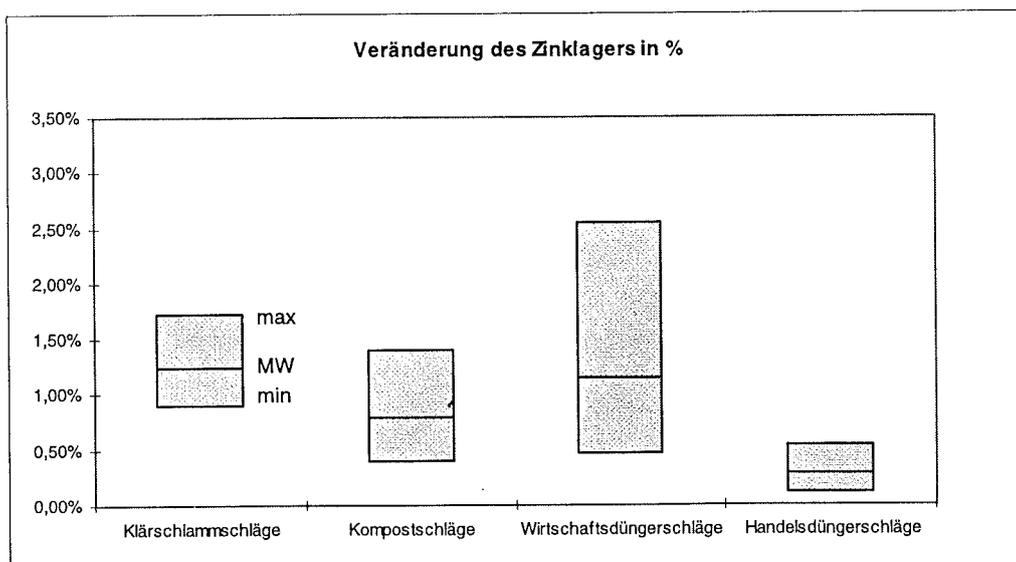


Abbildung 8.1: Veränderung des Zinklagers in % des Bodenlagers/a

8.1.2 Auswertung für Kupfer

Ähnlich wie beim Zink zeigt sich die Situation bei Kupfer. Allerdings sind die mittleren Einträge je Hektar durch die Wirtschaftsdünger am höchsten. Wiederum sind die Stoffeinträge auf den Handelsdüngerschlügen am geringsten.

Durch Wirtschaftsdünger gelangen zwischen 0,3 und 1,7 (im Mittel 0,8) kg Cu/ha.a auf die Schlüge. Durch Klärschlamm gelangen 0,4 bis 0,9 (im Mittel 0,6) kg Kupfer auf ein Hektar des entsprechenden Schlages. Auf den Kompostschlügen gelangen 0,2 bis 0,9 (im Mittel 0,5) kg Cu/ha.a bzw. wird nur ein einzelnes Jahr betrachtet (siehe Annahmen oben), 0,3 bis 1,0 (im Mittel 0,6) kg Cu/ha.a. Die Cu-Anreicherung in den Handelsdüngerschlügen liegt zwischen 0,04 und 0,3 kg (im Mittel 0,15) Cu/ha.a.

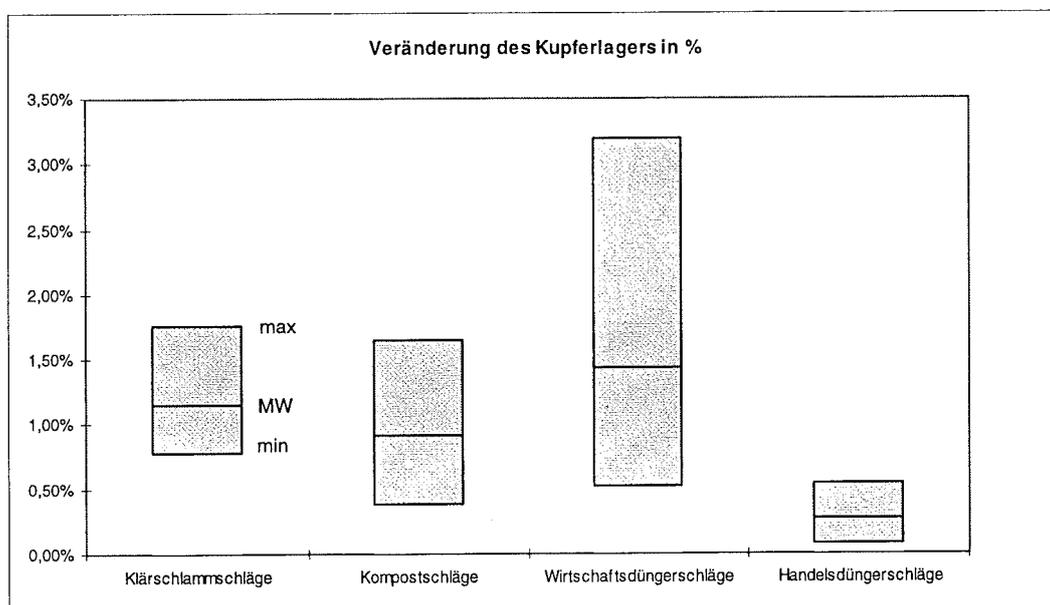


Abbildung 8.2: Veränderung des Kupferlagers in % des Bodenlagers/a

8.1.3 Auswertung von Blei

Die Lagerveränderungen in den Klärschlamm-, Wirtschaftsdünger- und Kompostschlügen sind in etwa gleich groß. Die Mittelwerte liegen zwischen 0,22 und 0,26 kg/ha.a. Die Bandbreite reicht dabei bei den Klärschlamm Schlügen von 0,2 bis 0,35 (Mittel 0,26), bei den Wirtschaftsdüngerschlügen von 0,13 und 0,32 (im Mittel 0,22) kg/ha. In den Kompostschlügen werden zwischen 0,12 und 0,31 (im Schnitt 0,22) kg Blei je ha mehr zugeführt als entzogen oder verlagert wird. Betrachtet man die gesamte im Betrachtungszeitraum aufgebrauchte Kompostmenge, so erhöht sich die Pb-Lagerveränderung auf 0,24 bis 0,43 (im Schnitt 0,33) je Hektar. Auf den Handelsdüngerschlügen beträgt die Pb-Anreicherung 0,09 bis 0,24 (im Mittel 0,16) kg/ha.

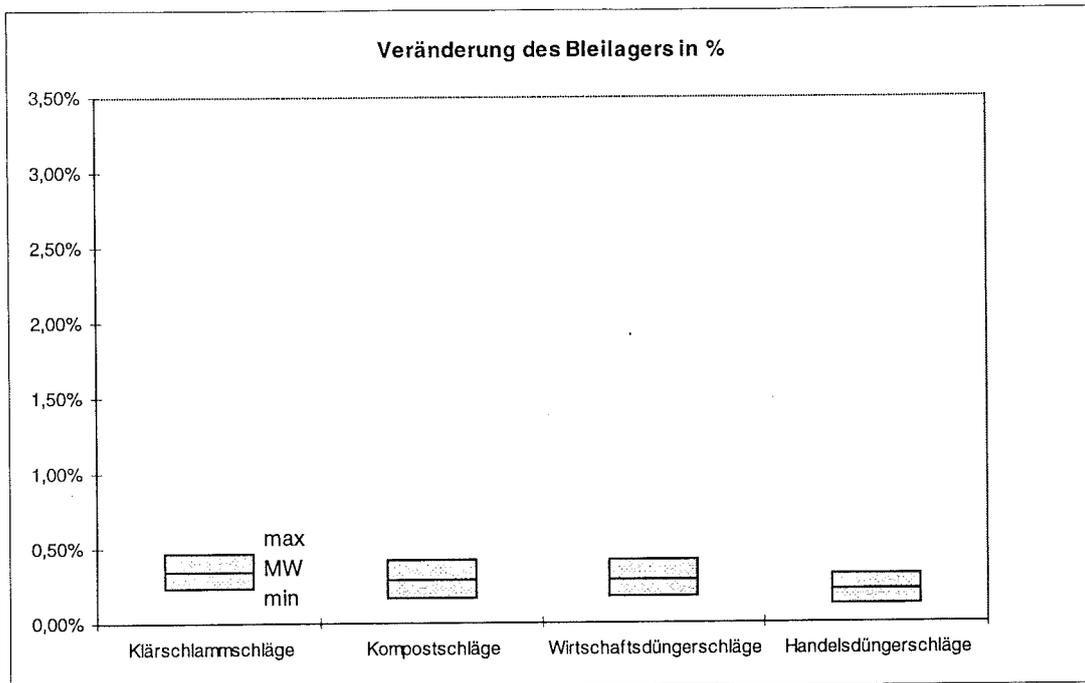


Abbildung 8.3: Veränderung des Bleilagers in % des Bodenlagers/a

8.1.4 Auswertung von Cadmium

Die Cadmiumanreicherung ist im Mittel auf den Klärschlamm-, Wirtschaftsdünger- und Handelsdüngerschlägen sehr ähnlich (zwischen 5,7 und 6,3 g/ha.a). Nach den Bilanzergebnissen ist dabei die größte Anreicherung bei den Wirtschaftsdüngerschlägen zu verzeichnen (zwischen 3,6 und 9,9 im Mittel 6,3 g Cd/ha). Es folgen die Handelsdüngerschläge (4,0 bis 7,7, im Mittel 5,9 g Cd/ha.a) und die Klärschlammschläge (3,6 bis 8,1, im Mittel 5,7 g Cd/ha.a). In den Kompostschläge ist die Anreicherung um etwa 25 % geringer (2,7 bis 6,9, im Mittel 4,5 g Cd/ha.a). Im Aufbringungsjahr können durch Kompost jedoch Werte von 4,1 bis 8,3, im Schnitt 6,0 g Cd/ha. errechnet werden.

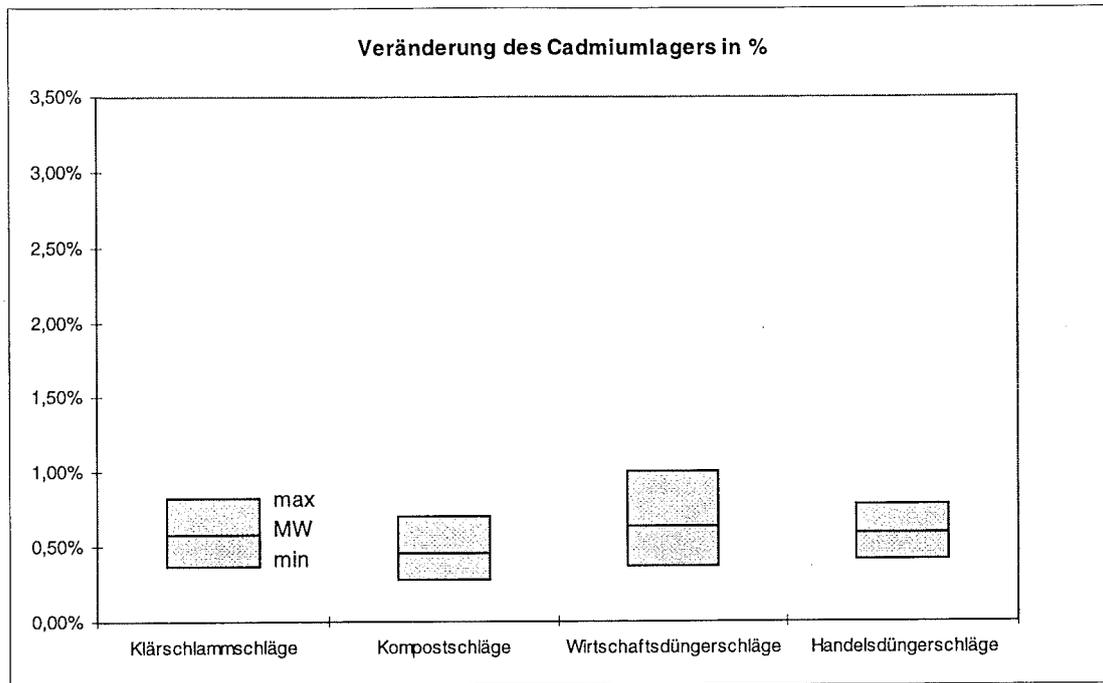


Abbildung 8.4: Veränderung des Cadmiumlagers in % des Bodenlagers/a

8.1.5 Zusammenfassung

In allen Böden der untersuchten Schlagkategorien werden Schwermetalle angereichert. Die geringste Anreicherung von Zink, Kupfer und Blei ist bei den ausschließlich Handelsdünger anwendenden Betrieben zu verzeichnen. Die Wirtschaftsdüngerschläge sind bei allen 4 betrachteten Elementen im Mittel in etwa mit den Klärschlammschlägen gleichzusetzen (Abweichungen von maximal 20%). Auf diesen Schlägen nimmt das Zink-, Kupfer- und Bleilager am stärksten zu. Cadmium wird in allen Schlagkategorien außer den Kompostschlägen in etwa gleich stark angereichert.

9 Bewertung

9.1 Randbedingungen

In den Szenarien wird der Verdoppelungszeitraum der Stoffkonzentration im Boden berechnet. Ausgangsbasis für die Berechnungen bilden die in Kapitel 8 dargestellten Minimal-, Mittel- und Maximalwerte.

Dabei wurden folgende Annahmen getroffen:

- Handels- und Wirtschaftsdüngerschläge: Die Bewirtschaftung ändert sich nicht; Deposition und Auswaschung bleiben konstant
- Klärschlammschläge: Es wird angenommen, daß die zulässige Höchstaufbringungsmenge an Klärschlamm nicht überschritten wird und jährlich die selbe Klärschlammmenge aufgebracht wird; Deposition und Auswaschung bleiben konstant
- Kompostschläge: Es wird angenommen, daß in der landwirtschaftlichen Praxis alle drei Jahre die selbe Kompostmenge aufgebracht wird. Wird desweiteren angenommen, daß die Landwirte ihre Düngepraxis nach dem N-Bedarf ausrichten, sowie die Nachlieferung von N aus dem Kompost in den 2 Folgejahren ebenfalls im Bereich von 5 bis 20% der Gesamt-N-Fracht des Kompostes beträgt, so kann für die Folgejahre der selbe Wirtschafts- und Handelsdüngereinsatz angesetzt werden; Deposition und Auswaschung bleiben konstant

9.2 Ergebnisse der Szenarien

Zur Darstellung der Ergebnisse der Szenarien werden elementweise die vier Schlaggruppen Klärschlamm-, Wirtschaftsdünger-, Kompost- und Handelsdüngerschläge einander gegenübergestellt.

9.2.1 Zink

Die mittlere Verdoppelungszeit der Zinkkonzentrationen beträgt bei den Klärschlammschlägen 82 (von 61 bis 126), bei den Kompostschlägen 161 (80 bis 614), bei den Wirtschaftsdüngersschlägen 90 (40 bis 210) und bei den Handelsdüngersschlägen 350 (von 180 bis 880) Jahre.

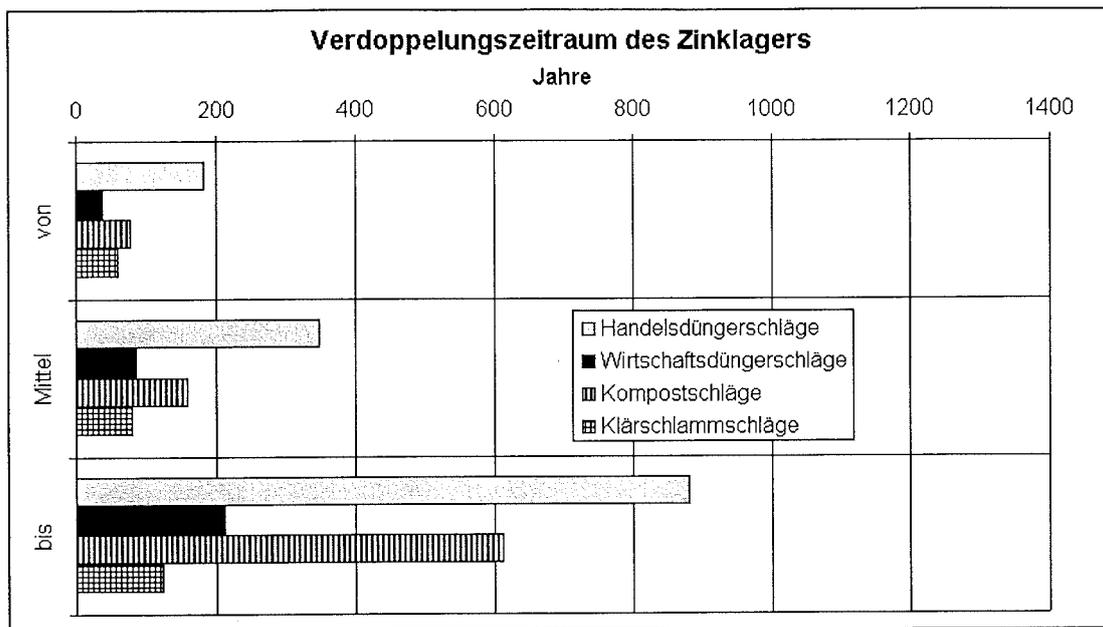


Abbildung 9.1: Verdoppelungszeitraum des Zinklagers in Jahren

9.2.2 Kupfer

Im Mittel verdoppelt sich die Cu-Konzentration im Boden auf den Klärschlamm-schlägen in 102 (von 66 bis 191), auf Wirtschaftsdüngerschlägen in 70 (30 bis 190) auf Kompostschlägen in 136 (von 68 bis 641), und auf Handelsdüngerschlägen in 360 (180 bis 1310) Jahren.

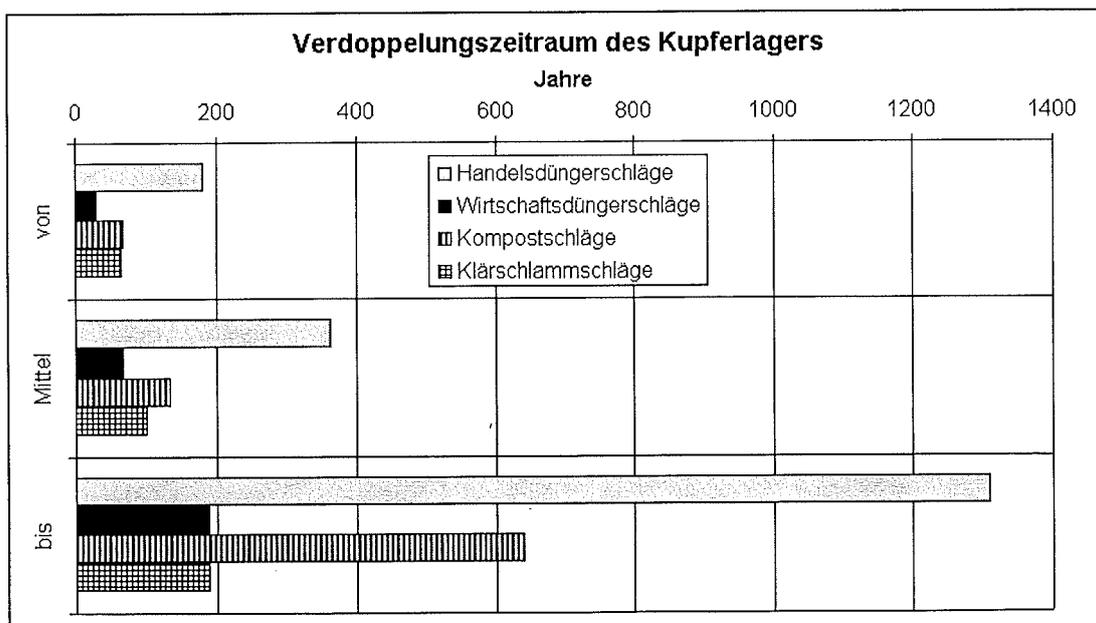


Abbildung 9.2: Verdoppelungszeitraum des Kupferlagers in Jahren

9.2.3 Blei

Das Bleilager verdoppelt sich bei Klärschlammschlägen in 317 (234 bis 564) auf Wirtschaftsdüngersschlägen in 340 (240 bis 570), bei Handelsdüngersschlägen in 460 (320 bis 840) Jahren und bei Kompostschlägen in 1280 (Minimalwert: 282). Da die Bleikonzentration in den aufgebrauchten Komposten nur um das 1,5fache über der Bleikonzentration der Böden liegt, ist auch unter Berücksichtigung der Aufkonzentrierung der Schwermetalle beim Abbau der organischen Substanz keine Lagerverdoppelung in den obersten 30 cm der Bodenschicht möglich.

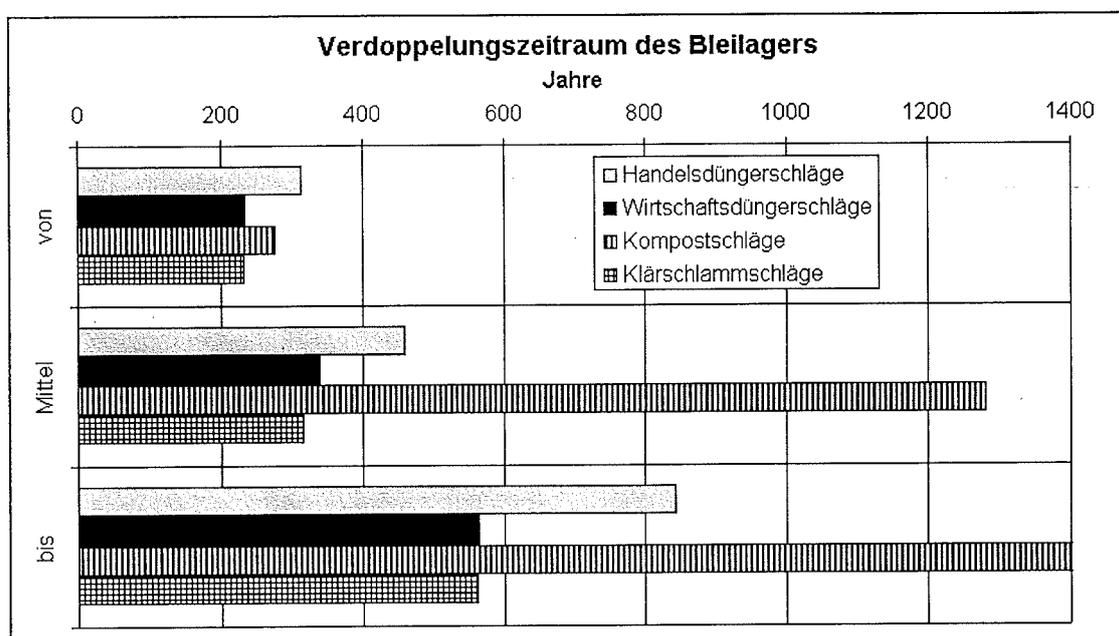


Abbildung 9.3: Verdopplungszeitraum des Bleilagers in Jahren

9.2.4 Cadmium

Das Cadmiumlager verdoppelt sich bei den Wirtschafts und Handelsdüngersschlägen in 155 bis 175 Jahren. Die Bandbreite der Wirtschaftsdüngerbetriebe liegt dabei zwischen 100 und 270 Jahren. In den Klärschlammschlägen verdoppelt sich die Cd-Menge innerhalb 190 Jahren (von 130 bis 365 Jahren), in den Kompostschlägen liegt die minimale Verdoppelungszeit bei 180 Jahren, die mittlere über 1200 Jahren. Die maximale Verdoppelungszeit wurde nicht abgeschätzt.

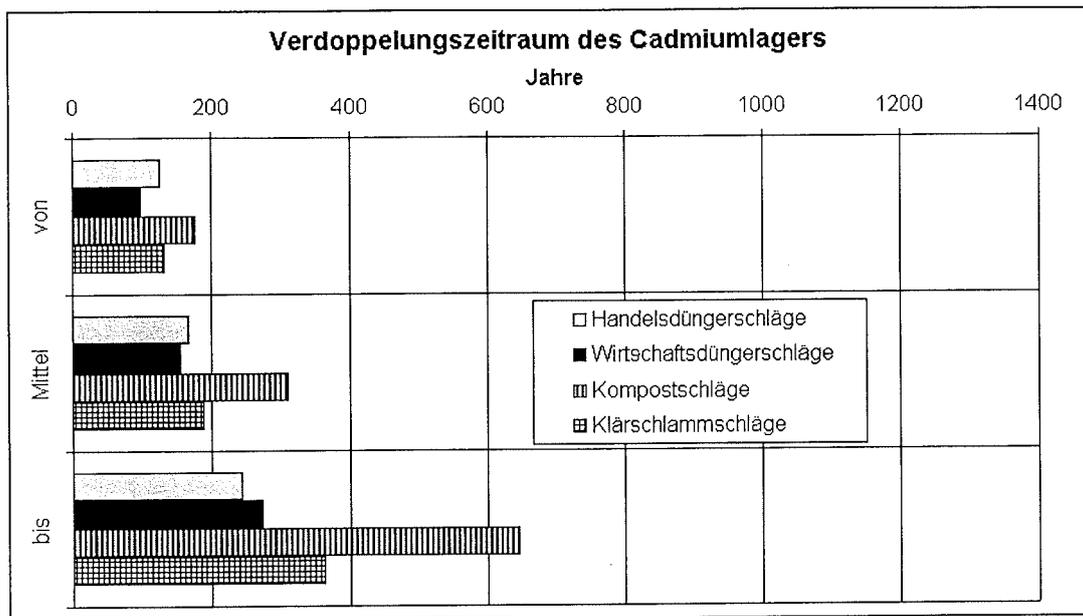


Abbildung 9.4: Verdoppelungszeitraum des Cadmiumlagers in Jahren

9.2.5 Ergebnisse und Folgerungen aus den Szenarien

Die Berücksichtigung des „Bodeneintrages“ der Inputgüter Kompost und Klärschlamm hat entscheidenden Einfluß auf die Dauer der Lagerverdoppelung der Schwermetalle. So zeigt sich für Zink, daß

- die schnellste Lagerverdoppelung im Mittel bei den Klärschlamm- (75 Jahre) und Wirtschaftsdüngerschlägen (88 Jahre) stattfindet,
- die Lagerverdoppelung in den Kompostschlägen mit 163 Jahre etwa doppelt so lange ist, wie in den genannten Schlägen,
- und daß die Verdoppelungszeit in den Handelsdüngerschlägen mit Abstand am längsten ist (350 Jahre)

Für Kupfer zeigt sich, daß

- sich das Bodenlager in den Wirtschaftsdüngerschlägen in weniger als 75 Jahren verdoppelt,
- das Bodenlager in den Klärschlammschlägen in 100 und jenes in den Kompostschlägen in 138 Jahren verdoppelt,
- und daß die Anreicherung in den Handelsdüngerschlägen am geringsten ist. Dort dauert es rund 375 Jahre, bis sich das Bodenlager verdoppelt.

Für Blei zeigt sich, daß

- sich die im Mittel die Bodenlager der Klärschlammschläge (325 Jahre) und Wirtschaftsdüngerschläge (350 Jahre) in etwa gleich schnell verdoppeln,
- die Konzentrationen in den Handelsdüngerschlägen sich in 450 Jahren verdoppeln und

- daß es in den Kompostschlägen erst nach über 1250 Jahren zu einer Lagerverdoppelung kommt.

Für Cadmium zeigt sich, daß

- sich das Bodenlager der Wirtschaftsdünger-, der Klärschlamm- und der Handelsdüngerschläge mit 168 und respektive mit 188 Jahre ähnlich schnell verdoppeln und
- daß es in den Kompostschlägen etwa doppelt so lange dauert (313 Jahre).

10 Nährstoffausnutzung der landwirtschaftlichen Betriebe

Die Nährstoffausnutzung eines landwirtschaftlichen Betriebes spiegelt den Grad der Ausnutzung der eingesetzten Produktionsmittel durch die am Betrieb erzeugten Produkte wieder. Je nach Bezugseinheit kann sie eine ökonomische oder eine ökologische Maßzahl darstellen. Die klassische Definition der landwirtschaftlichen Nährstoffausnutzung ist die Berechnung des prozentuellen Anteils der Verkaufsprodukte an den eingekauften Gütern. Die tatsächliche Nährstoffausnutzung der Bewirtschaftung eines landwirtschaftlichen Betriebes, die sich an einer nachhaltigen Bewirtschaftung orientiert, und ihre Auswirkungen auf die Umwelt wird aber erst sichtbar, wenn man neben den eingekauften Gütern alle anderen Güter betrachtet, die einen Stoffeintrag in das System bedeuten.

Wir haben die landwirtschaftlichen Betriebe in vier unterschiedlichen Betriebstypen aufgeteilt und auf ihre *Stickstoff- und Phosphorausnutzung* ausgewertet. Dazu wurden die Stofffrachten aller eingekauften, aller zugekauften Futtermittel, der zugekauften Tiere und aller Einträge aus der Atmosphäre und dem Untergrund den Stofffrachten aller verkauften Produkte (tierische und pflanzliche Produkte) gegenübergestellt. Die Differenz wird in % ausgedrückt.

$$\text{Nährstoffausnutzung} = (T + P) / (KO + KS + HD + FMZ + TZ + D + F + U)$$

T ..	tierische Produkte, die verkauft werden	P	pflanzliche Produkte, die verkauft werden
KO ...	im 1. Jahr verfügbarer N u.P. aus Kompost	KS ...	Klärschlamm
HD ...	Handelsdünger	FM ...	alle Futtermittel und FM-Zusätze, die zugekauft werden
TZ ...	alle Tiere, die zugekauft werden	D ...	Deposition
F ...	symb. und asymb. N-Fixierung	U ...	P-Aufnahme aus dem Untergrund

Eine Nährstoffausnutzung von 100% würde eine vollständige Ausnutzung der eingesetzten Nährstoffe zur landwirtschaftlichen Produktion bedeuten. Liegt die Nährstoffausnutzung über 100%, so heißt das, daß die eingesetzten Stoffe nicht ausreichen, um den Nährstoffgehalt der produzierten landwirtschaftlichen Güter zu decken. Der fehlende Teil der Stofffrachten muß aus einer anderen Quelle, wie z.B. einem landwirtschaftlichen Lager entzogen worden sein. Liegt die Nährstoffausnutzung unter 100% so bedeutet das, daß höhere Stofffrachten zur Erzeugung landwirtschaftlicher Produkte eingesetzt wurden, als in den landwirtschaftlichen Produkten vorhanden sind. Irgendwo im Betrieb muß es Verluste geben oder eine Lagerbildung stattfinden. Da das einzige landwirtschaftliche Lager, das in dieser Arbeit betrachtet wird, das Bodenlager ist, handelt es sich bei einer Nährstoffausnutzung über oder unter 100% um einen Abbau oder einen Aufbau der Stofflager im Boden und um Verluste in die Atmosphäre und den Untergrund.

Die berechnete Nährstoffausnutzung bezieht sich auf den gesamten Betrieb und stellt den Mittelwert aus der Nährstoffausnutzung der Tierhaltung und der Nährstoffausnutzung der Pflanzenproduktion dar. Das Erreichen einer Nährstoffausnutzung von 100 % ist in der Tierhaltung nicht möglich, da das Verdauungssystem der Tiere selbst nicht 100% effizient ist. Im folgenden wird die Nährstoffausnutzung für Stickstoff und Phosphor in Abhängigkeit des Betriebstypes diskutiert.

10.1 Ackerbau

Im Ackerbau liegt die Nährstoffausnutzung für Stickstoff und Phosphor sehr hoch. Wie schon weiter vorne beschrieben, fällt ein Betrieb als typischer Ackerbaubetrieb aufgrund seiner geringen Flächen und atypischen Bewirtschaftungsweise aus der Reihe der Ackerbaubetriebe. Dieser Betrieb wird extensiv als Hobbybetrieb geführt. Der Betriebsleiter wirtschaftet von allen Ackerbaubetrieben am effizientesten. Einem geringen Handelsdüngereinsatz und einer vernachlässigbar geringen Menge an Klärschlamm steht ein geringer Ernteertrag gegenüber. Die durchschnittliche Nährstoffausnutzung der Ackerbaubetriebe liegt für Stickstoff bei rund 53 %, bei Phosphor beträgt der Quotient aus Input und Output durchschnittlich bei 122 %. Das bedeutet, daß das Phosphorlager abgebaut wird. Ackerbaubetriebe zeigen als rein pflanzenbauorientierte Betriebe die höhere Nährstoffausnutzung des Pflanzenbau im Vergleich zu tierhaltenden Betrieben, deren Nährstoffausnutzung stark von der geringen stofflichen Ausnutzung der Tierhaltung gekennzeichnet sind.

10.2 Schweinehaltungsbetriebe

In der Literatur sind Stickstoffausnutzungen untersuchter Schweinehaltungsbetriebe zwischen 15 und 59% zu finden, die durchschnittliche Nährstoffausnutzung wird dort mit 31% beschrieben. Die N-Ausnutzungen der in dieser Studie untersuchten Betriebe liegen mit 32% bis 86% Bandbreite und einer durchschnittlichen N-Ausnutzung von 61% sehr hoch.

Die Phosphorausnutzungen der Betriebe liegen mit durchschnittlich 64% knapp über den Stickstoffausnutzungen. Die Bandbreiten zeigen aber hohe Abweichungen. Die P-Ausnutzungen der einzelnen Betriebe liegen zwischen 21 und 118%. Die niedrigste P-Ausnutzung trat bei einem Landwirt auf, der den Großteil seiner Ernteprodukte im eigenen Betrieb einsetzt und viel P in Futtermitteln zukaft. Eine hohe P-Nährstoffausnutzung ist mit der besseren Einschätzbarkeit der Verfügbarkeit von Phosphor erklärbar. Im Gegensatz dazu steht das mobile Element Stickstoff, dessen Berechnung oder Abschätzung der Düngemengen von Seiten der Landwirte Schwierigkeiten bereitet. Bei Stickstoff beginnen die Schwierigkeiten des gezielten Einsatzes mit der quantitativen Abschätzung der Frachten im Wirtschaftsdünger und enden mit der mit der schwer abschätzbaren Nachlieferung aus dem Boden in Abhängigkeit der Witterung.

10.3 Rinderhaltungsbetriebe

Die höchste N-Ausnutzung der Betriebsbilanzen bei den Rinderbetrieben liegt bei 41 % (ein Milchviehbetrieb), die niedrigste bei 8% (ein Kälbermastbetrieb der Kompost aufbringt). In der Tierhaltung liegt die N-Ausnutzung zwischen 9 und 32 % , im Pflanzenbau zwischen 51 und 84%.

Bei Phosphor liegt die Nährstoffausnutzung zwischen 11 und 166 %. Der Betrieb mit der höchsten Nährstoffausnutzung ist ein kompostaufbringender Betrieb.

In der Tierhaltung liegt die P-Ausnutzung zwischen 7 und 25%, im Pflanzenbau zwischen 67 und 78%.

Sowohl auf betrieblicher Ebene als auch im Pflanzenbau ist die P-Ausnutzung (zumeist) höher als die des Stickstoffs. In der Tierhaltung ist die N-Ausnutzung (zumeist) höher.

10.4 gemischt wirtschaftende Betriebe

Die N-Ausnutzung der Betriebe liegt zwischen 32 und 96 %. Die der Tierhaltung bei 16 bis 40 % und die des Pflanzenbaues bei 21 bis 76 %.

Die P-Ausnutzung der Betriebe liegt zwischen 3 und 70% , die der Tierhaltung zwischen 9 und 26% und des Pflanzenbaus zwischen 35 bis 63 %.

Sowohl auf betrieblicher Ebene als auch im Pflanzenbau ist die P-Ausnutzung zumeist höher als die des Stickstoffs. In der Tierhaltung ist die N-Ausnutzung zumeist höher.

Zwischen den Betriebstypen Rinderhaltende und gemischt wirtschaftende Betriebe kann folgendes festgestellt werden: Auf betrieblicher Ebene wirtschaften die Rinderhalter sowohl N als auch P-effizienter. In der Tierhaltung kann in der N- und P-Ausnutzung kein Unterschied erkannt werden. Im Pflanzenbau wirtschaften die Rinderbetriebe sowohl N als auch P-effizienter.

Tabelle 10.1: Die Nährstoffausnutzungen der betrachteten landwirtschaftlichen Betriebe

P in kg/ha												
Betriebstyp	Ackerbau			Schweineveredelung			Rinderveredelung			gemischte Bewirtschaftung		
Inputgüter	von	bis	MW	von	bis	MW	von	bis	MW	von	bis	MW
Düngemittel	1	36	18	6	48	21	2	27	11	14	31	23
Nährstoffe U	2	10	7	4	10	6	5	11	7	3	11	6
Tiere Zukauf				2	27	14	0	1	0	0	1	0
Summe Input	3	47	25	12	76	40	8	42	26	40	450	136
Outputgüter										0	0	
pflanzliche Produkte	5	44	28	2	37	13	0	6	3	0	25	13
tierische Produkte				2	13	7	2	8	6	1	22	7
Summe Output	5	44	28	13	41	20	3	14	9	8	28	20
P-Effizienz	87	176	122	21	118	64	11	166	57	3	70	34

11 Die Gütererhebungstabellen

Die zu Projektbeginn entworfenen Gütererhebungstabellen wurden durch Erfahrungen im Projektverlauf abgeändert. Mit den vorliegenden Tabellen können die Güter des landwirtschaftlichen Betriebes vollständig erhoben werden, womit die Basis für die Erstellung von Stoffbilanzen gegeben wäre.

Anschritt:		Betriebstyp:		Bilanzjahr:	
Schlagkartei					
	Beispiel	Schlag	Schlag	Schlag	Schlag
Schlagnummer					
Größe (ha)	1				
Vorfrucht (bis)	WG 4/95				
Hauptfrucht (von - bis)	KM 4/95-10/95				
Nachfrucht (von - bis)	WW 10/95-4/96				
INPUTGÜTER (Menge pro ha) (von Ernte Vorfrucht bis Ernte Nachfrucht)	Menge	Aufbringungszeit	Menge	Aufbringungszeit	Menge
Handelsdünger	200 kg DAP	24.4.95			
Wirtschaftsdünger	15 m ³ Gülle	30.4.95			
Kompost	15 m ³ Gülle	10.6.95			
Klärschlamm	0				
Pflanzenschutzmittel	1,5 l Pardner	25.6.95			
OUTPUTGÜTER (Menge pro ha)	Menge	Erntezeit	Menge	Erntezeit	Menge
Ernteprodukt	12 t Körnermais	6.10.95			
Ernterückstände, geerntet	0				
BESCHREIBUNG DES SCHLAGES					
Bodenform	mittelschwerer Lehmboden				
Hangneigung	eben				

Anschrift:		Betriebstyp:		Bilanzjahr	
Input-Güterliste des landwirtschaftlichen Betriebes					
Zugekaufte Futtermittel				Menge in t	
Bezeichnung					
Handelsdünger				Menge in t	
Bezeichnung					
Kompost		Wassergehalt in %		Menge in t	
Klärschlamm		Wassergehalt in %		Menge in t	
Zugekaufte Tiere			zugekauft im Quartal	Stück	kg pro Stück
Bezeichnung					
Zugekauftes Stroh				Menge in t	
Sonstige zugekaufte/bezogene Güter				Menge in t	
Bezeichnung					
LAGERBESTAND AN GÜTERN					
Futtermittel in kg			Handelsdünger in kg		
Bezeich.			Bezeich.		
Wirtschaftsdünger in t			Tierbestand in Stück	Stück	kg pro Stück
Bezeich.			Bezeich.		

12 Zusammenfassung und Schlußfolgerungen

12.1 Stoffbilanzen

Die Ergebnisse der Stoffbilanzierung auf Betriebs- und auf Schlagebene haben gezeigt, daß die 24 untersuchten landwirtschaftlichen Betriebe *Stoffüberschüsse* in den Boden verursachen.

Von den Überschüssen der sechs bilanzierten Stoffe verbleiben fünf als Nettoeintrag im Boden. Hierzu sind alle Schwermetalle sowie der Nährstoff Phosphor zu zählen. Der Stickstoffüberschuß, der im landwirtschaftlichen Betrieb entsteht, lagert sich aufgrund seines Chemiesmus nicht langfristig im Boden an. Man findet ihn als Nitrat im Grundwasser und in gasförmigen Verbindungen in der Troposphäre wieder.

12.2 Der Anteil verschiedener Güter am Gesamteintrag

Der Anteil der verschiedenen Inputgüter am Gesamtinput gibt Auskunft über Steuerungsmöglichkeiten des Stofflagers im landwirtschaftlichen Boden. Seine Bedeutung hängt von den betrachteten Stoffen ab. Während die verschiedenen Dünger das Zink- und Kupferlager stark beeinflussen können, stellt die Deposition das dominante Gut für die Blei- und Cadmiumflüsse in den Boden dar.

Stickstoff: Die höchsten Stickstofffrachten werden durch Düngemittel (Kompost, Klärschlamm, Wirtschaftsdünger und Handelsdünger wurden betrachtet) auf die Felder aufgebracht. Hier liegt der Beitrag von Kompost an erster Stelle Die zweitgrößte Stickstofffracht wird dem Boden über Handelsdünger zugeführt. An dritter Stelle folgen die Wirtschaftsdünger.

Phosphor: Die wichtigste Gütergruppe für den P-Eintrag in Böden sind wiederum die Düngemittel. Die höchste P-Fracht stammt dabei aus dem Kompost. Die P-Frachten aus dem Wirtschaftsdünger liegen rund doppelt so hoch wie der Beitrag aus Handelsdüngern oder Klärschlamm.

Zink und Kupfer: Kompost dominiert bei 3 der 7 kompostanwendenden Betriebe den Input. Wirtschaftsdünger dominieren bei 9 Betrieben den Zinkeintrag. Ebenfalls bei 9 Betrieben ist die Deposition das wichtigste Inputgut der Zinkbilanz.

Für Kupfer zeigt sich ein ähnliches Bild. Kompost dominiert den Eintrag bei 4 der 7 Kompostanwendungsbetriebe. Bei 2 Klärschlambetrieben wird der Gesamteintrag durch den Klärschlamm geprägt, bei 3 klärschlammaufbringenden Betrieben ist der Wirtschaftsdünger das wichtigste Inputgut. 6 der 8 Betriebe, die nur Wirtschafts- und Handelsdünger aufbringen

werden vom Wirtschaftsdünger geprägt. Die Cu-Deposition dominiert den Gesamteintrag von 5 Betrieben.

Blei und Cadmium: Die Deposition dominiert den Blei- und Cadmumeintrag in landwirtschaftliche Böden.

Auf Schlagebene sind die Anteile von Kompost und Klärschlamm höher als auf Betriebsebene. Der Kompostanteil steigt bei allen vier Schwermetallen um durchschnittlich 15% gegenüber den Betriebsbilanzen. Der Depositionsanteil nimmt im gleichen Ausmaß ab. Der Wirtschaftsdüngeranteil bleibt gleich.

Der Klärschlammanteil nimmt auf Schlagebene um 25% (Kupfer und Zink) bzw. 15% (Blei und Cadmium) zu. Bei den Kupfer- und Zinkbilanzen nimmt dafür der Anteil des Wirtschaftsdüngers um 10-15% ab. Die Deposition sinkt gegenüber den Betriebsbilanzen bei allen vier Stoffen um 5-15%.

Die Abweichungen der Wirtschaftsdüngerschlagbilanzen sind gering. Der Wirtschaftsdüngeranteil steigt um 4 bis 13% gegenüber den Betriebsbilanzen.

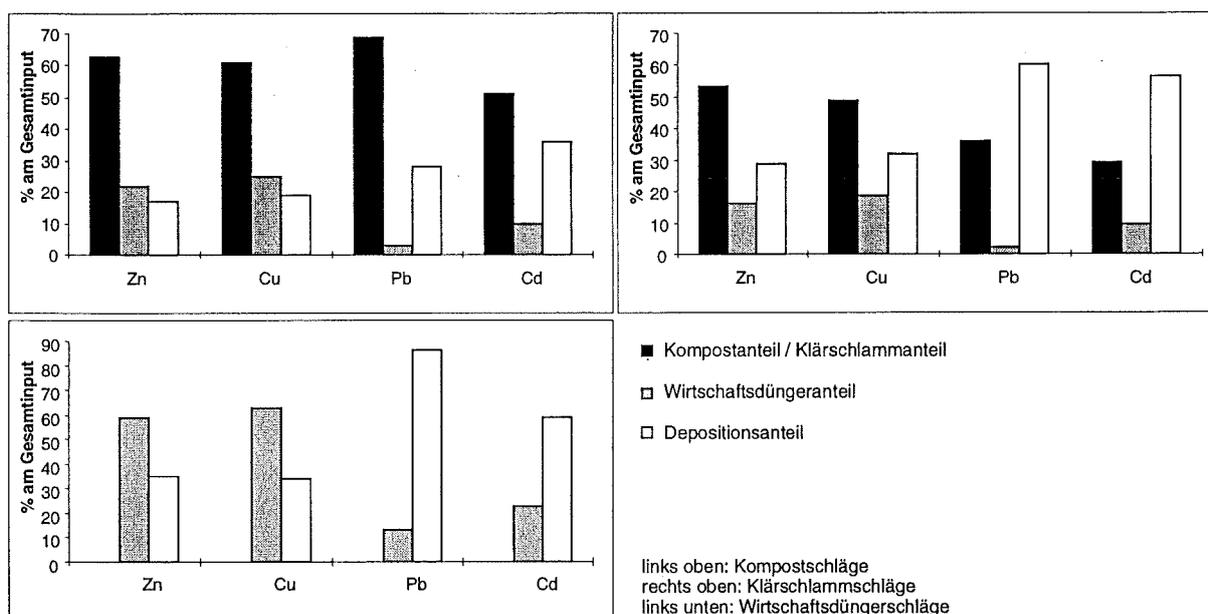


Abbildung 12.1: Anteil der Güter am Gesamtinput.

12.3 Nettoeintrag in den Boden im Bilanzjahr

Der Nettoeintrag in den Boden zeigt die Veränderung des Bodenlagers unabhängig vom Massezuwachs. Generell kann gesagt werden, daß er als Basis für die Berechnung von Szenarien über Bodenlagerveränderungen wenig aussagekräftig ist.

Stickstoff: Der jährliche Nettoeintrag in den landwirtschaftlichen Boden wurde zu jeweils 50% als Potential für Verluste in die Hydrosphäre und die Atmosphäre berechnet. Er liegt bei den untersuchten Betrieben liegen zwischen 40 kg N/ha.a und 320 kg N/ha.a.

Phosphor: Die Phosphorüberschüsse, die zum überwiegenden Teil im landwirtschaftlichen Boden verbleiben, sind trotz zunehmender Kenntnis über den Chemismus von Phosphor immer noch sehr hoch. Sie liegen zwischen 1 bis 165 kgP/ha.a. 2 der 24 untersuchten Betriebe zeigen höhere P-Entzüge aus dem Boden (-3 bzw -14 kg P/ha.a) als Einträge.

Alle vier betrachteten Schwermetalle (Zn, Cu, Pb, Cd) bilden einen Nettoeintrag im landwirtschaftlichen Boden.

Zink: Die höchsten Zinküberschüsse der landwirtschaftlichen Praxis finden sich bei den kompostanwendenden Betrieben. Sie liegen zwischen 0,5 und 3 kg Zn/ha.a. Der Nettoeintrag auf die Kompostschläge beträgt 4 kg Zn/ha.a.

Der Nettoeintrag der Klärschlammanwender liegt zwischen 0,5 und 4,3 kg Zn/ha.a. Im Durchschnitt liegt er mit 2,5 kg Zn/ha.a knapp unter der Akkumulation der Kompostschläge. Auf den Klärschlammschlägen beträgt der Nettoeintrag 3,1 kg Zn/ha.a.

Wirtschafts- und Handelsdüngerbetriebe weisen Nettoeinträge zwischen 0,3 (Ackerbaubetriebe mit Handelsdünger) und 0,5 kg Zn/ha.a (Betriebe, die Wirtschafts- und Handelsdünger aufbringen) auf. Reine Wirtschaftsdüngerschläge weisen Nettoeinträge in der Höhe von 2,8 kg Zn/ha.a auf, reine Handelsdüngerschläge akkumulieren durchschnittlich 0,7 kg Zn/ha.a.

Kupfer: Die höchsten Nettoeinträge im Boden verzeichnen die Klärschlamm Betriebe mit 0,1 bis 1,4 kg Cu/ha.a (Mittelwert 0,7 kg Cu/ha.a). Die Klärschlammschläge liegen etwas mit 0,6 kg Cu/ha.a etwas niedriger. Ihnen folgen die Kompostbetriebe mit 0,2 bis 1 kg Cu/ha.a (Mittelwert 0,6 kg Cu/ha.a). Halb so hoch sind die Lagerzuwächse bei den Betrieben, die nur Wirtschaftsdünger aufbringen (0,3 kg Cu/ha.a). Die Kompost- und Wirtschaftsdüngerschläge weisen etwas höhere Nettoeinträge auf. Sie liegen im Durchschnitt bei 0,5 kg Cu/ha.a (KO-Schläge) und 0,8 kg Cu/ha.a (WD-Schläge). Der Nettokupfereintrag der Handelsdüngerschläge liegt bei durchschnittlich 0,15 kg Cu/ha.a.

Blei: Die Bleinetteinträge sind vorhanden. Sie liegen bei Kompostanwendern zwischen 230 und 630 g/ha.a (im Mittel 440 g Pb/ha.a), gefolgt von Klärschlammanwendern mit 160 bis 250 g Pb/ha.a (im Mittel 210 g Pb/ha.a). Die Nettoeinträge der übrigen Betriebe liegen zwischen 150 g/ha.a (Handelsdüngieranwender) und 170 g/ha.a. (Wirtschafts- und Handelsdüngieranwender). Die Bleieinträge der Klärschlamm- und Kompostschlagbilanzen liegen mit rund 600 g Pb/ha.a wieder etwas über den Nettoeinträgen der betriebsbezogenen Auswertung der Bodenbilanzen. Die Nettoeinträge der Wirtschaftsdüngerschläge liegen mit 200 g Pb/ha.a etwa gleich hoch wie die betriebsbezogen ausgewerteten Nettoeinträge.

Cadmium: Bei den Nettoeinträgen gibt es aufgrund der Dominanz der Deposition keine großen Unterschiede zwischen berechneten Werten der betriebsbezogenen und der schlagbezogenen Auswertung. Am höchsten ist der Cd- Nettoeintrag bei den Kompostanwendern. Er liegt zwischen im Durchschnitt bei 8 g Cd/ha.a. Die Nettoeinträge der klärschlammanwendenden Betriebe liegen bei 6 g Cd/ha.a, die der wirtschaftsdüngeranwendenden Betriebe bei 5 g Cd/ha.a. Die schlagbezogenen Nettoeinträge liegen mit Ausnahme der Kompostschläge nur knapp höher. Sie betragen bei den Kompostschlägen 10 g, bei den Klärschlammschlägen, den Wirtschaftsdüngerschlägen und den Handelsdüngerschläge rund 6 g Cd/ha.a.

Die Nettoeinträge auf Schlagebene sind bei den Kompostschlägen höher als auf Betriebsebene. Für Kupfer, Zink und Blei sind die Nettoeinträge um 20 bis 25% höher, für Cadmium um ca. 10%.

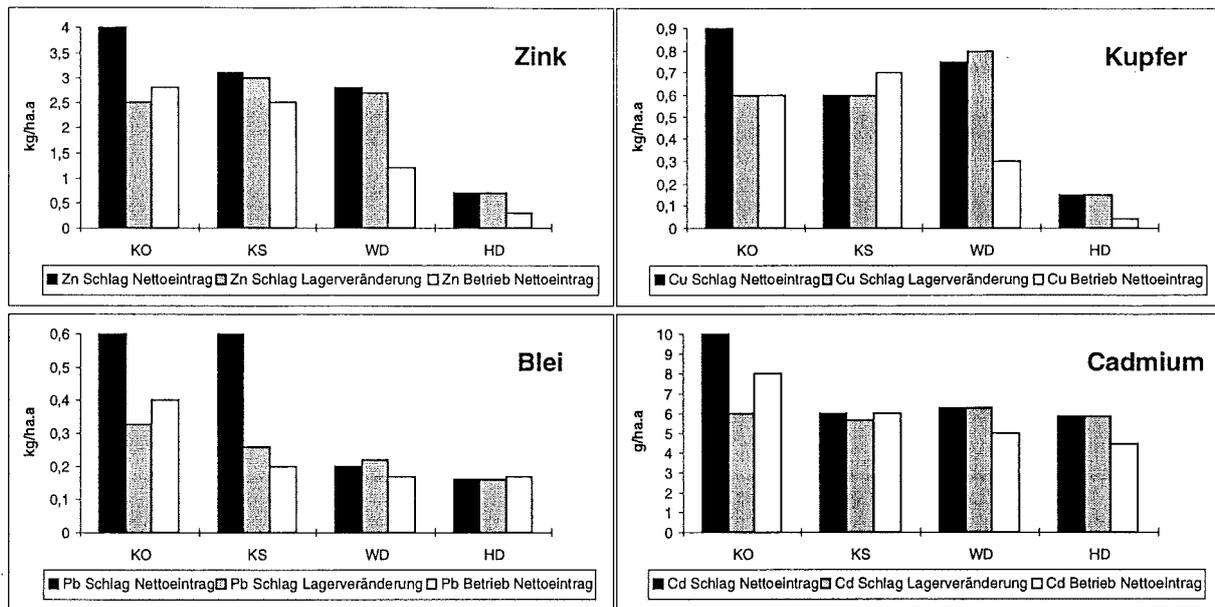
Ähnlich sind die Zunahmen der Nettoeinträge bei den Klärschlammschlägen für Zink und Blei (20-25%). Die Cadmumeinträge sind auf Betriebs- und auf Schlagebene gleich hoch, die Kupfernettoeinträge sind auf Schlagebene geringer.

12.4 Langfristige Veränderungen des Bodenlagers

Bei der Berechnung der Lagerveränderung wird der Massezuwachs des Bodens durch die Aufbringung der Dünger berücksichtigt. Bodenschichten mit niedrigen Bodenkonzentrationen werden im Laufe der Jahre durch Düngerschichten mit höheren Kompost- oder Klärschlammkonzentrationen ersetzt. Die Bodenlagerveränderung in der Zeit können erst durch diese Berücksichtigung abgeschätzt werden.

Die größten jährlichen Lagerzuwächse zeigten sich bei den Klärschlammschlägen und bei den Wirtschaftsdüngerschlägen. Beide liegen in der selben Höhe. Das Bodenlager der Kompostschläge wächst langsamer. Die geringsten Veränderungen des Bodenlagers weisen die Handelsdüngerschläge auf.

Die Zink-, Kupfer- und Bleieinträge auf Betriebsebene betragen 70 bis 75 %, die Cadmumeinträge etwa 90% jener der Schlagebene. Anders zeigt sich die Situation bei den Klärschlammbetrieben. Hier sind auf Schlagebene die Zink- (+ 20%) und Bleieinträge (+ 25%) höher, Cadmumeinträge gleich und die Kupfereinträge niedriger (- 15%). Der höhere Kupfereintrag auf Betriebsebene ist damit zu erklären, daß der Hauptinput an Kupfer bei diesen Betrieben über die Wirtschaftsdünger erfolgt, gleichzeitig aber die Klärschlammschläge weniger stark als die anderen Schläge mit Wirtschaftsdünger beaufschlagt werden.



Abkürzungen:
 KO...Kompostschläge KS... Klärschlammschläge
 WD... Wirtschaftsdüngerschläge HD... Handelsdüngerschläge

Abbildung 12.2: Vergleich des Nettoeintrages und der Lagerveränderung auf Betriebs- und auf Schlagenebene

Der Vergleich der Berechnung des Nettoeintrages in Böden mit der Lagerveränderung hat gezeigt, daß sich die Berücksichtigung des Massezuwachses erheblich auf die Zeiträume der Lagerverdoppelung auswirkt. Die alleinige Berücksichtigung der Stoffeinträge verkürzt die Lagerverdoppelungszeit unrealistisch. Die in dieser Studie getroffenen Annahmen zeigen, daß in Abhängigkeit des Abbaus der organischen Masse und der Stoffkonzentrationen des Kompostes bei einigen Stoffen keine Lagerverdoppelung eintreten kann.

Lagerverdoppelung

Das Bodenlager der Schwermetalle soll bei einer nachhaltigen Bewirtschaftung in einem Fließgleichgewicht stehen. Die Lagerverdoppelung zeigt den Zeitraum an, in dem sich die Bodenkonzentration bei gleichbleibender Bewirtschaftung verdoppelt.

Unter den getroffenen Annahmen sind die kürzesten Lagerverdoppelungszeiträume bei den Wirtschaftsdüngerschlägen (Kupfer und Cadmium) und den Klärschlammschlägen (Zink und Blei) zu erwarten. Das Kupferlager der Wirtschaftsdüngerschläge verdoppelt sich in 70 Jahren, das Cadmiumlager in 155 Jahren. Das Zinklager der Klärschlammschläge verdoppelt sich in 82 Jahren, das Bleilager in rund 320 Jahren. Für die Kompostschläge wurden Zeiträume berechnet, die bei allen vier Stoffen rund zweimal so lang sind, wie die geringste Verdoppelungszeit der anderen Schlaggruppen. Die längsten Zeitspannen sind bei den Handelsdüngerschlägen aufgetreten. Sie liegen für Kupfer und Zink bei 325 Jahren, bei Blei bei 1250 Jahren. Für Cadmium liegt sie hinter den Wirtschaftsdünger- und Klärschlammschlägen, aber vor den Kompostschlägen.

12.5 Nährstoffausnutzung

Die Konsequenz hoher Stickstoffüberschüsse ist eine niedrigere Effizienz der Stickstoffbewirtschaftung. Die Stickstoffeffizienzen der untersuchten landwirtschaftlichen Betriebe divergieren stark. Sie liegen durchschnittlich zwischen 30 (Rinderhaltung) und 60% (Schweinehaltung) (mit Höchstwerten zwischen 8% und 96%). Das bedeutet, daß vom in der Bewirtschaftung eingesetzten Stickstoff nur ein bis zwei Drittel effizient zur Pflanzen- und Tierproduktion eingesetzt werden und die restlichen ein bis zwei Drittel Verluste sind.

Die P-Effizienzen der Ackerbaubetriebe liegen zwischen 87 und 176%. Am geringsten sind sie bei den gemischt wirtschaftenden Betrieben mit durchschnittlich 34%. Mit 57% bzw. 64% liegen die Rinder- bzw. Schweinehaltungsbetriebe im Mittelfeld der P-Effizienz. Eine Effizienz > 100% bedeutet einen Lagerabbau. Das kann im vorliegenden Fall eine Bodendegradation bedeuten, und sollte deshalb a priori nicht als positiv verstanden werden.

12.6 Methode

Die Methodik der Stoffflußanalyse erwies sich als geeignetes Instrument zur Bilanzierung der landwirtschaftlicher Stoffflüsse von Stickstoff, Phosphor, Zink, Kupfer, Blei und Cadmium.

Die Aufteilung aller landwirtschaftlichen Tätigkeiten mit den dazugehörigen Stoffflüssen auf die drei Prozesse „Tierhaltung“, „Pflanzenbau“ und „landwirtschaftlicher Boden“ ermöglicht eine breite Palette an Auswertungen der erhobenen Daten eines landwirtschaftlichen Betriebes.

Die stoffliche Beschreibung der *Tierhaltung* ermöglicht

- die Berechnung der Nährstoffausnutzung der Tierhaltung und
- die Berechnung der Nährstofffrachten im Wirtschaftsdünger

Vor allem der zweite Punkt ist wichtig, da die Stofffrachten in Wirtschaftsdüngern aufgrund vieler unterschiedlicher Faktoren, die oft nicht quantifizierbar sind, schwer abzuschätzen sind. Durch die Bilanzierung der Wirtschaftsdüngerstofffrachten über den Futtermitelesinsatz, die Einstreu und die zugekauften Tiere auf der Inputseite und die tierischen Produkte auf der Outputseite ist es möglich, die untere Grenze der Nährstofffrachten im Wirtschaftsdünger zu berechnen. Da Wirtschaftsdüngeranalysen in der Praxis nicht kontinuierlich gemacht werden, können durch Bilanzieren Auswirkungen einer veränderten Fütterung auf die Wirtschaftsdüngerstofffrachten berücksichtigt werden.

Die Bilanzierung der Schadstofffrachten im Wirtschaftsdünger über die in dieser Arbeit gewählten Güter und die vorhandenen Literaturdaten über Stoffkonzentrationen in diesen Gütern liefert unzufriedenstellende Ergebnisse, deren Fehler derzeit nicht abschätzbar ist. Kontinuierliche Schwermetallanalysen sind aufgrund der hohen Kosten realistisch nicht zu erwarten. Deshalb sollten mögliche Quellen für Schwermetalle im Wirtschaftsdünger identifiziert werden, um weitere Ergebnisse aus der Bilanzierung zu erhalten.

Die Quantifizierung der Stoffflüsse des Prozesses *landwirtschaftlicher Boden* ermöglicht zu erkennen

- ob die Böden in einem Fließgleichgewicht stehen und darauf aufbauend
- ob und in welcher Höhe sich das Bodenlager kurz- und langfristig durch die Bewirtschaftung verändert und
- welche Güter die entscheidenden Ansatzpunkte für eine Optimierung darstellen.

Damit ist die Basis für potentiell nachfolgende Schritte, wie z.B. eine Abschätzung des Risikopotentials für Auswaschung und Denitrifikation oder die Bemessung der möglichen Kompostgaben unter Berücksichtigung der konkreten Lagerveränderung, Bemessung von Förderungen unter Einhaltung bestimmter Vorgaben etc. gegeben.

12.7 Datenerhebung und -verwaltung

Stoffbilanzen sollten dem Landwirt helfen, seine landwirtschaftliche Praxis zu optimieren. Die Stoffbilanzierung auf betrieblicher Ebene ermöglicht einen ersten Überblick über die Stoffflüsse eines Betriebes und die Auswirkungen der landwirtschaftlichen Praxis. Der Landwirt erkennt die Auswirkungen seiner Bewirtschaftung und wird selbst zum Akteur. Mit Hilfe der Stoffflußanalyse können die für einen stofflichen Überschuß verantwortlichen Güter definiert werden. Das ist Basis für eine nachhaltige Optimierung der Stoffflüsse an der richtigen Stelle.

Die Datenerhebung kann von den Landwirten mit den im Zuge dieses Projektes erstellten vollständigen, einfachen Gütererhebungstabellen selbständig durchgeführt werden. Die Berechnung der Stoffbilanzen erfordert eine hohe Anzahl von Angaben über Stoffkonzentrationen und andere stoffspezifische Abhängigkeiten. Auf diese Anforderung ist bei der Auswahl der zu bilanzierenden Güter Rücksicht zu nehmen.

12.8 Folgerungen

Bodenschutz verantwortungsbewußt zu betreiben bedeutet, die Veränderungen im Boden durch anthropogene Beeinflussung zu erkennen und Maßnahmen dort zu setzen, wo sich effiziente Verbesserungen erwarten lassen.

Der Vergleich der Bilanzierung von Betriebsebene und Schlagebene hat gezeigt, daß für den Bodenschutz bereits die betriebsbezogene Bilanzierung gute Auskünfte über die stofflichen Auswirkungen geben kann. Mit Betriebsbilanzen, über deren zeitlichen Rahmen noch zu diskutieren ist, sollte der Landwirt die Frachten, die seine Bewirtschaftung im Boden hinterläßt dokumentieren. Die Frachtenregelung würde die Landwirte zu den Verantwortlichen ihrer Böden machen.

Die Untersuchung hat gezeigt, daß *generell* der Eintrag von Schwermetallen in den Boden zu hoch ist. Erste Priorität hat deshalb die Reduktion der Verwendung und der Emissionen von Schwermetallen in den vorgelagerten Bereichen, beginnend bei der Gestaltung von Produkten und Verfahren. Die Reduktion der Schwermetalleinträge in den Boden kann nicht erst beim Landwirt ansetzen. Trotz Einhaltung der gesetzlichen Normen von Seiten der Landwirte werden die Schwermetallager in den Böden vergrößert. Die Veränderung des Bodenlagers kann nur dann rechtzeitig erkannt werden, wenn die Summe der Ein- und Austräge des Bodens bekannt ist. Der zukünftige, vorsorgende Bodenschutz sollte sich deshalb zusätzlich zu den Bodenkonzentrationen an den Gesamtfrachten orientieren.

13 Literaturverzeichnis

- Aichberger K., Döberl H., Eibelhuber A., Froschauer J. und Hofer G. (1995) Die Ergebnisse einer Untersuchung von Wirtschaftsdüngern in Oberösterreich. Schriftenreihe der Abt. Umweltschutz 95/2; Hrsg. Amt der Oberösterreichischen Landesregierung; Linz.
- Amt der OÖ Landesregierung (1993) Bericht über die wirtschaftliche und soziale Lage der oberösterreichischen Land- und Forstwirtschaft, Amtsdruckerei, 1993, Linz
- Amt der OÖ Landesregierung (1994) Bericht über die wirtschaftliche und soziale Lage der oberösterreichischen Land- und Forstwirtschaft im Jahr 1994, Agrar- und Forstrechtsabteilung, Agrar-010051, Land Oberösterreich, Linz.
- Agrolinz (1996) persönliche Auskunft
- Atzmüller C. et al. (1990) Stickstoffbilanz Österreich, TUSCH Wien
- Apschner C (1991) Nährstoffaustrag landwirtschaftlich genutzter Flächen im Einzugsgebiet des Kamp. Diplomarbeit an der Univ. f. Bodenkultur Wien, Institut für Bodenforschung und Baugeologie. Wien.
- Auerswald K. (1992) Gewässerschutzprobleme durch Bodenerosion in der BRD. Beitrag zum ÖWAV-Seminar: Bodenerosion - ein Problem für die Gewässer, Oktober 1992, Wien.
- Baccini P. und P.H. Brunner (1991) Metabolism of the Anthroposphere, Springer Verlag Berlin, Heidelberg, New York
- Baccini P. und Schulin R. (1992) Die Stoffbuchhaltung als Früherkennungs-Instrument im Bodenschutz, Proterra, Zürich
- Berner A. und Bieri M. (1991) Bericht über den heutigen Stand zur Beurteilung der Qualität von Komposten, im Auftrag des Zweckverbandes für Kehrrechtverwertung Zürcher Oberland, des Amtes für Gewässerschutz und Wasserbau des Kantons Zürich, des BUWAL; Zürich, Schweiz.
- BMLF (1991) Wirtschaftsdünger, richtige Gewinnung und Anwendung, Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft; Wien.
- BMLF (1993) Handbuch der Kompostierung Ein Leitfaden für Praxis, Verwaltung Forschung. Hrsg. Ludwig Boltzmann-Institut für biologischen Landbau und angewandte Ökologie. Wien.
- Böhnke, B., Bischofsberger W., Seyfried, C.F. (1993) Anaerobtechnik Handbuch der anaeroben Behandlung von Abwasser und Schlamm, Springer Verlag Berlin, Heidelberg, New York
- Boysen P. (1992) Schwermetalle und andere Schadstoffe in Düngemitteln, UBA Berlin
- Brunner P.H., Daxbeck H., Henseler G., von Steiger B., Beer B., Piepke G. (1990) RESUB - Der regionale Stoffhaushalt im Unteren Bünztal; Die Entwicklung einer Methodik zur Erfassung des regionalen Stoffhaushaltes, EAWAG, Abteilung für Abfallwirtschaft und Stoffhaushalt, Dübendorf, Schweiz.

- BUWAL (1985) Kompostieren in regionalen Anlagen, Schriftenreihe Umweltschutz Nr. 45, Bundesamt für Umweltschutz; Bern.
- BUWAL (1991) Schwermetalle und Fluor in Mineraldüngern, Schriftenreihe Umwelt Nr. 162, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern.
- Copping, L.G. (1995) The pesticide index, 3rd ed. BCPC, British Crop Protection Council, Farnham, Surrey.
- Dieckhoff H.J. (1986) Vergiftung der Haussäugetiere mit dem Schwermetall Kupfer unter besonderer Berücksichtigung der Wiederkäuer, Literaturstudie TU Hannover
- DLG (Deutsche Landwirtschaftsgesellschaft)-Merkblatt (1983) Klärschlammanwendung in der Landwirtschaft - was ist zu beachten? Stand 1.4.1983
- Düngelhöf M. (1994) Untersuchungen zur Verdaulichkeit des Phosphors mineralischer und pflanzlicher Herkunft beim Schwein, Aachen
- Faustzahlen für Landwirtschaft und Gartenbau (1993), Landwirtschaftsverlag Münster, Agrar Verlagsunion, Münster Hiltrup
- Fiedler H.J. und Rösler H.J. (1993) Spurenelemente in der Umwelt, Gustav Fischer Verlag Jena, Stuttgart
- Geigy Scientific Tables (1981) Units of Measurement, Body Fluids, Composition of the Body, Nutrition, Switzerland
- Glenck E., Lampert C., Raeissi H und P.H. Brunner (1995) Phosphorbilanz des Kremstaes, Institut für Wassergüte und Abfallwirtschaft, Abteilung Abfallwirtschaft TU Wien
- Hanschmann A., Müller S., Brix B. (1991) Nährstoffbilanzen im Lysimeterversuch mit anlehmigen Sand, Löß und Lehm am Standort Leipzig. Die Bodenkultur 42, Nr. 2.
- Hassal und Kenneth, A. (1990) The chemistry and uses of pesticides: structure, metabolism, mode of action and uses in crop protection; 2nd ed. VCH-Verl.-Ges. Weinheim.
- Haunold E. et al (1991) Österr. Forschungszentrum Seibersdorf 1991 Umgebungsüberwachung von Dürrrohr 1990 und Jahresvergleich 1983-1990
- Holzer G. und E. Reischauer (1991) Agrarumweltrecht. Kritische Analyse des „Grünen Rechts“ in Österreich, Springer Verlag, Wien.
- Isermann K (1996) Boden- Stoffeinträge, Stellungnahme als Sachverständiger zum Fragenkatalog der Enquete Kommission „Schutz des Menschen und der Umwelt - Ziele und Rahmenbedingungen für eine nachhaltig zukunftsverträgliche Entwicklung“ des Deutschen Bundestages anlässlich der nicht öffentlichen Anhörung im April 1996, Büro für Nachhaltige Land(wirt)schaft und Agrikultur, Hanhofen, Deutschland.
- Kaas T. Fleckseder H., Brunner P.H. (1994) Stickstoffbilanz des Kremstaes, Institut für Wassergüte und Abfallwirtschaft, Abteilung Abfallwirtschaft TU Wien
- Kernbeis R., Stark W., Brunner P.H. (1995) Der relative Beitrag von Kompost und Klärschlamm zu ausgewählten Stoffbilanzen des Bodens (BKKB), Institut für Wassergüte

- und Abfallwirtschaft, Abteilung Abfallwirtschaft TU Wien, i.A. der OÖ Landesregierung, Wien.
- Kirchgeßner M. (1985) Tierernährung Frankfurt am Main
- Kirchgeßner M. (1992) Tierernährung, Leitfaden für Studium, Beratung und Praxis, DLG Verlag, Frankfurt am Main
- Köchel a. (1987) Die Belastung der Böden des Marchfeldes mit Schadstoffen, Landwirtschaftliches chemisches Bundesanstalt, Trunnerstraße 1, 1020 Wien
- Köster et al. (1988) Stickstoff-, Phosphor- und Kaliumbilanzen landwirtschaftlich genutzter Böden der BRD von 1950-1986, Landwirtschaftliches Untersuchungs- und Forschungsanstalt Hameln
- Kühnert M. (1991) Veterinärmedizinische Toxikologie, Stuttgart
- Kühnert M. (1996) Vergiftungen In: Frey H.H. und Löscher W. (1996) Lehrbuch der Pharmakologie und Toxikologie für die Veterinärmedizin, Ferdinand Enke Verlag Stuttgart
- LAGA (Landesarbeitsgemeinschaft Abfall) Merkblatt M10 (1995): Qualitätskriterien und Anwendungsempfehlungen für Kompost Stand 15.2.1995
- Landkalender (1995) Leopold Stocker Verlag Graz
- Löhr L. (1983) Faustzahlen für den Landwirten, L. Stocker Verlag, Graz-Stuttgart
- Lübben S. (1993) Vergleichende Untersuchungen zur Schwermetallaufnahme verschiedener Kulturpflanzen aus klärschlammgedüngten Böden und deren Prognose durch Bodenextraktion, Sonderheft 140, Braunschweig-Völkenröde (Fal)
- Merian E. (1984) Metalle in der Umwelt, Verlag Chemie, Weinheim, Deerfield Beach, Florida, Basel.
- Moser G. (1993) Erstellung einer Stickstoffbilanz an ausgewählten Flächen in der Korneuburger Bucht für drei Wirtschaftsjahre, Inst. F. Hydraulik und landeskulturelle Wasserwirtschaft, Universität für Bodenkultur, Wien.
- Reiner I. (1995) Die Stickstoffbilanz des landwirtschaftlichen Betriebes. Diplomarbeit. Institut für Wassergüte und Abfallwirtschaft, Abteilung Abfallwirtschaft, TU Wien.
- Richner B. und Moos F. (1989) Auswirkungen hoher Tierdichten auf die Qualität des Bodens; Bericht 41 des Nationalen Forschungsprogrammes „Boden“, Liebefeld-Bern, 1989.
- Schaaf, H. (1993) : Die Gehalte an Nährstoffen und Mikronährstoffen sowie Schwermetalle in Komposten, in: Müllhandbuch: Sammlung und Transport, Behandlung und Ablagerung sowie Vermeidung und Verwertung von Abfällen, Ergänzbare Handbuch für die kommunale und industrielle Abfallwirtschaft (seit 1964) Hrsg: Hösel, G. Erich Schmidt Verlag, Berlin
- Scheffer F., Schachtschabel P.(1992) Lehrbuch der Bodenkunde, 13. Auflage, Enke Verlag, Stuttgart.

- Schiller H., E. Singule und F. Baumgartner (1953) Ein Beitrag zur Kenntnis über die Zusammensetzung von Jauche. Tätigkeitsbericht der landwirtschaftlich chemischen Bundesanstalt Linz.
- Severin K. et al. (1990) Zufuhr von anorganischen Schadstoffen in Agrarökosysteme mit mineralischen Düngemitteln, Wirtschaftsdüngern, Klärschlamm und Komposten In: VDLUFA - Schriftenreihe 32, Kongreßband 1990, Landwirtschaft im Spannungsfeld von Belastungsfaktoren und gesellschaftlichen Ansprüchen, Berlin
- Steiger B. und Baccini P. (1990) Regionale Stoffbilanzierung von landwirtschaftlichen Böden mit meßbarem Ein- und Austrag, Bedeutung der Stoffbilanzierung für den qualitativen Bodenschutz, EAWAG, Abteilung Abfallwirtschaft und Stoffhaushalt, Dübendorf, Liebefeld-Bern
- Strauss P. und Blum W.E.H. (1992) Die diffuse Nährstoffbelastung im Einzugsgebiet des Kamp. Beitrag zum ÖWAV-Seminar: Bodenerosion - ein Problem für die Gewässer, Oktober 1992, Wien.
- Vogtmann, H. Kehres, B., Gottschall, R., Meier-Ploeger, A. (1991) Untersuchungen zur Kompostverwertung in Landwirtschaft und Gartenbau, in: Bioabfallkompostierung - flächendeckende Einführung, Wiemer, K. Kern, M. (Hrsg) Abfall-Wirtschaft Band 6, M.C.I. Baeza Verlag Witzenhausen
- UBA (1993) Ammoniak-Emissionen in Österreich 1990, Report UBA-92-068, Wien.
- Walther U. et al. (1994) Grundlagen für die Düngung im Acker- und Futterbau. Eidgenössische Forschungsanstalt für landwirtschaftlichen Pflanzenbau, Zürich, Schweiz.
- Wendland et al. (1993): Atlas zum Nitratstrom in der Bundesrepublik Deutschland, Springer Verlag Berlin, Heidelberg, New York
- Wilcke W. und Döhler H. (1995) Schwermetalle in der Landwirtschaft, Quellen, Flüsse, Verbleib, Arbeitspapier 217, KTBL-Schriften-Vertrieb im Landwirtschaftsverlag GmbH, Münster Hilstrup, Darmstadt
- Wischmeier, W. und Smith, D.D. (1978) Predicting rainfall erosion losses - a guide to conservation planning. U.S. Dept. Agriculture, Agric. Handbook 537
- Woidich H. und Pfannhauser W. (1985) Kontaminantien in Futtermitteln, Lebensmittelhygiene und Ernährung, Beiträge 5/85 Forschungsinstitut der Ernährungswirtschaft Wien
- Zehentner A. (1992) Landwirtschaftskammer für OÖ. Die wichtigsten Mineraldünger für die Landwirtschaft, Linz
- Zeßner M. Kaas T., Fleckseder H. und Brunner P.H. (1993) Stickstoff-Haushalt des Landes Oberösterreich mit dem Schwerpunkt Boden bzw. Gewässer, Institut für Wassergüte.