

UMWELTFORSCHUNGSPLAN DES
BUNDESMINISTERIUMS FÜR UMWELT,
NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT

Forschungsbericht 299 72 104
UBA-FB 000580



**Erfassung von Schwermetallströmen in
landwirtschaftlichen
Tierproduktionsbetrieben und
Erarbeitung einer Konzeption zur
Verringerung der Schwermetall-
einträge durch Wirtschaftsdünger
tierischer Herkunft in
Agrarökosysteme**

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

Diese TEXTE-Veröffentlichung kann bezogen werden bei
Vorauszahlung von 10,00 €
durch Post- bzw. Banküberweisung,
Verrechnungsscheck oder Zahlkarte auf das

Konto Nummer 432 765-104 bei der
Postbank Berlin (BLZ 10010010)
Fa. Werbung und Vertrieb,
Wolframstraße 95-96,
12105 Berlin

Parallel zur Überweisung richten Sie bitte
eine schriftliche Bestellung mit Nennung
der **Texte-Nummer** sowie des **Namens**
und der **Anschrift des Bestellers** an die
Firma Werbung und Vertrieb.

Der Herausgeber übernimmt keine Gewähr
für die Richtigkeit, die Genauigkeit und
Vollständigkeit der Angaben sowie für
die Beachtung privater Rechte Dritter.
Die in der Studie geäußerten Ansichten
und Meinungen müssen nicht mit denen des
Herausgebers übereinstimmen.

Herausgeber: Umweltbundesamt
Postfach 33 00 22
14191 Berlin
Tel.: 030/8903-0
Telex: 183 756
Telefax: 030/8903 2285
Internet: <http://www.umweltbundesamt.de>

Redaktion: Fachgebiet I 1.4
Franziska Eichler

Berlin, Februar 2004

Impressum

Dieser Bericht wurde durch eine Projektgemeinschaft, bestehend aus dem Institut für Pflanzernährung (IPE), Universität Bonn, dem Lehrstuhl für Bodenkunde und Bodengeographie, Universität Bayreuth, der Landwirtschaftlichen Untersuchungs- und Forschungsanstalt (LUFA) Oldenburg und dem Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (KTBL), Darmstadt erstellt.

Mitglieder der Projektgemeinschaft

Döhler, Helmut, Dipl.-Ing. agr., Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (KTBL), Bartningstr. 49, 64289 Darmstadt
Eckel, Henning, Dipl.-Geoökol., Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (KTBL), Bartningstr. 49, 64289 Darmstadt
Früchtenicht, Klaus, Dr., ehemals: Landwirtschaftskammer Weser-Ems, Landwirtschaftliche Untersuchungs- und Forschungsanstalt (LUFA), Jägerstr. 23-27, 26121 Oldenburg
Goldbach, Heiner, Prof. Dr., Rheinische Friedrich-Wilhelm-Universität Bonn, Institut für Pflanzernährung (IPE), Karlrobert-Kreiten-Str. 13, 53115 Bonn
Kühnen, Volker, Dipl.-Ing. agr., Rheinische Friedrich-Wilhelm-Universität Bonn, Institut für Pflanzernährung (IPE), Karlrobert-Kreiten-Str. 13, 53115 Bonn
Roth, Ursula, Dipl.-Geoökol., Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (KTBL), Bartningstr. 49, 64289 Darmstadt
Schultheiß, Ute, Dr., Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (KTBL), Bartningstr. 49, 64289 Darmstadt
Steffens, Günther, Dr., Landwirtschaftskammer Weser-Ems, Mars-la-Tour-Straße 1-13, 26121 Oldenburg
Uihlein, Andres, Dipl.-Geoökol., ifeu, Wilckensstraße 3, 69120 Heidelberg, ehemals: Universität Bayreuth, Lehrstuhl für Bodenkunde und Bodengeographie, 95440 Bayreuth
Wilcke, Wolfgang, PD. Dr., Technische Universität Berlin, Fachgebiet Bodenkunde, Institut für Ökologie, Am Salzufer 11-12, 10587 Berlin. ehemals: Universität Bayreuth, Lehrstuhl für Bodenkunde und Bodengeographie, 95440 Bayreuth

Kapitelerstellung

Kapitel 1: Schultheiß, Ktbl
Kapitel 2: Schultheiß, Ktbl, Kühnen, IPE, Uihlein, Bayreuth, Früchtenicht, LUFA
Kapitel 3: Kühnen, Goldbach, IPE
Kapitel 4: Uihlein, Wilcke, Bayreuth und Ktbl
Kapitel 5: Früchtenicht, Steffens, LUFA, LWK
Kapitel 6: Schultheiß, Ktbl
Kapitel 7: Schultheiß, Roth, Ktbl
Kapitel 8: Schultheiß, Roth, Döhler, Eckel, Ktbl
Kapitel 9: Roth, Schultheiß, Eckel, Döhler, Ktbl
Kapitel 10: Eckel, Roth, Schultheiß, Döhler, Ktbl
Kapitel 11: Schultheiß, Roth, Döhler, Eckel, Ktbl
Kapitel 12: Schultheiß, Ktbl

Zusammenstellung

Dr. Ute Schultheiß, Ursula Roth, Helmut Döhler, Henning Eckel, Ktbl Darmstadt

**Mitglieder und Gäste der Ktbl-Arbeitsgruppe
"Schwermetallströme in landwirtschaftlichen Tierproduktionsbetrieben"**

Mitglieder

Herr Dr. W. Buchner, Landwirtschaftskammer Rheinland
Herr Dr. H. Gerth, Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein
Herr Dr. H. Hecht, Bundesanstalt für Fleischforschung, Kulmbach (bis 2001)
Herr Dr. P. Kasten, Landwirtschaftskammer Rheinland
Herr Prof. Dr. P. Leinweber, Universität Rostock
Herr Prof. Dr. H. Schenkel, Universität Hohenheim (Vorsitzender)

Gäste

Frau F. Eichler, UBA, Berlin, Projektträger
Frau S. Huck, UBA Berlin
Herr Dr. U. Petersen, BMVEL Bonn

Berichts-Kennblatt

1. Berichtsnummer UBA-FB	2.	3.
4. Titel des Berichts Erfassung von Schwermetallströmen in landwirtschaftlichen Tierproduktionsbetrieben und Erarbeitung einer Konzeption zur Verringerung der Schwermetalleinträge durch Wirtschaftsdünger tierischer Herkunft in Agrarökosysteme		
5. Autor(en), Name(n), Vorname(n) Schultheiß, Ute; Döhler, Helmut; Roth, Ursula; Eckel, Henning; Goldbach, Heiner; Kühnen, Volker; Wilcke, Wolfgang; Uihlein, Andreas; Früchtenicht, Klaus; Stefens, Günther	8. Abschlussdatum 31.01.2003	
6. Durchführende Institution (Name, Anschrift) Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft; Bartningstraße 49, 64289 Darmstadt Institut für Pflanzenernährung, Universität Bonn, Karlrobert-Kreiten-Straße 13, 53115 Bonn Lehrstuhl für Bodenkunde und Bodengeographie, Universität Bayreuth, 95440 Bayreuth	9. Veröffentlichungsdatum	
LUFA Oldenburg, Landwirtschaftskammer Weser-Ems, Mars-la-Tour-Straße 1-13, 26121 Oldenburg	10. Ufoplan-Nr. 299 72 104	
7. Fördernde Institutionen (Name, Anschrift) Umweltbundesamt, Postfach 33 00 22, 14191 Berlin	11. Seitenzahl 130	
	12. Literaturangaben 152	
	13. Tabellen und Diagramme 140	
	14. Abbildungen und Karten 18	
15. Zusätzliche Angaben		
16. Kurzfassung Ziel des Projektes war die Erfassung von Schwermetallströmen in Tierproduktionsbetrieben und die Erarbeitung von Maßnahmen zur Minderung der Schwermetalleinträge in Wirtschaftsdünger tierischer Herkunft. Für die Praxisuntersuchungen wurden 20 Tierproduktionsbetriebe in unterschiedlichen Regionen der Bundesrepublik Deutschland ausgewählt, auf denen die Ein- und Austräge der Elemente Kupfer und Zink sowie Blei, Cadmium, Chrom und Nickel für das System Stall bilanziert wurden. Der Effekt von Mindeungsmaßnahmen wurde mit Hilfe eines Rechenmodells zur Erstellung von Stallbilanzen ermittelt. Die Untersuchungen haben gezeigt, dass Futtermittel und Futterzusatzstoffe neben kupferhaltigen Desinfektionsmitteln die wesentliche Eintragsquelle für Schwermetalle in Wirtschaftsdünger darstellen. Trotz ihrer i. d. R. geringen Schwermetallgehalte stellen wirtschaftseigene Futtermittel aufgrund ihrer großen Einsatzmasse, insbesondere auf Futterbaubetrieben, den Haupteintragspfad für Schwermetalle in Wirtschaftsdünger dar. Die zugekauften Ergänzungs- und Alleinfuttermittel weisen oftmals größere Schwermetallgehalte auf als wirtschaftseigene Futtermittel. Dies erklärt sich dadurch, dass diese Futtermittel meist mit Spurenelementen supplementiert sind. In der aktuellen Diskussion um die Schwermetallgehalte in Wirtschaftsdüngern ist zu berücksichtigen, dass je nach Betriebsstruktur ein mehr oder weniger großer Elementanteil über wirtschaftseigenes Futter und Stroh zur Einstreu im Betriebskreislauf gehalten wird; dieser interne Schwermetallfluss ist vom Landwirt nicht direkt beeinflussbar.		

Minderungsstrategien müssen somit an mineralreichen Zukauffuttermitteln und anderen elementreichen Betriebsmitteln ansetzen, wenn die Schwermetalleinträge in tierhaltende Betriebe substanzIELL verringert werden sollen. Möglichkeiten zur Verminderung der Schwermetalleinträge über Futtermittel sind die Herabsetzung der zulässigen Höchstgehalte von Spurenelementen als Futterzusatzstoffe (vgl. EG-Verordnung 1334/2003) oder freiwillige Vereinbarungen zwischen Futtermittelindustrie und Landwirtschaft. Neben der Absenkung der Kupfer- und Zink-Höchstgehalte können zusätzliche Maßnahmen, z. B. die zielgerichtete Auswahl von Spurenelementverbindungen (anorganisch/organisch) oder der Zusatz von Phytase, die Absenkung ergänzen bzw. eine weitere Minderung ermöglichen. Für den Bereich der Klauendesinfektion sind gezielte Anwendungshinweise zu Einsatzmengen und Einsatzhäufigkeit kupfer- und zinkhaltiger Klauenbäder bzw. die Schaffung von Alternativpräparaten notwendig.

Um die Schwermetalleinträge in tierhaltende Betriebe substanzIELL zu verringern, ist eine Gesamtkonzeption unter Einbeziehung aller Eintragspfade, auch derer, die nicht durch die landwirtschaftlichen Aktivitäten hervorgerufen werden, zwingend notwendig. Für einen abschließenden Informationsgewinn und -transfer wird ein Monitoring aller Schwermetallflüsse in landwirtschaftlichen Betrieben und Agrarunternehmen für dringend erforderlich gehalten.

17. Schlagwörter

Schwermetalle, Spurenelemente, Futtermittel, Wirtschaftsdünger, Tierproduktion, Stallbilanzen, Minderungsstrategien, Modellrechnungen, Bodenschutz

18. Preis**19.****20.**

Report Cover Sheet

1. Report No. UBA-FB	2.	3.
4. Title of Report Assessment of heavy metal flows in animal husbandry and development of a strategy to reduce heavy metal inputs into agro-ecosystems by animal manures		
5. Author(s); surname(s), first name(s) Schultheiß, Ute; Döhler, Helmut; Roth, Ursula; Eckel, Henning; Goldbach, Heiner; Kühnen, Volker; Wilcke, Wolfgang; Uihlein, Andreas; Früchtenicht, Klaus; Steffens, Günther	8. Completion date 31.01.2003	
6. Performing Organisation (name, address) Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft; Barthningstraße 49, 64289 Darmstadt Institut für Pflanzenernährung, Universität Bonn, Karlrobert-Kreiten-Straße 13, 53115 Bonn Lehrstuhl für Bodenkunde und Bodengeographie, Universität Bayreuth, 95440 Bayreuth	9. Publication date	
7. Funding Institution (name, address) Umweltbundesamt, Postfach 33 00 22, 14191 Berlin	10. UFOPLAN No. 299 72 104	
	11. Number of pages 130	
	12. References 152	
	13. Tables and diagrams 140	
	14. Figures and maps 18	
15. Additional Information		
16. Abstract <p>The overall objectives of the project were to assess heavy metal flows on livestock farms and to develop a strategy to reduce heavy metal inputs into animal manures. For the experiments 20 farms with animal husbandry in various regions of Germany were selected. On the farms the inputs and outputs of the elements copper and zinc, as well as lead, cadmium, chromium and nickel were balanced at the stable level. The effect of abatement measures was evaluated using a calculation tool for stable balances.</p> <p>It is shown, the main input pathways for heavy metals into animal manures are, apart from copper disinfectants, feeding stuffs and feed supplements. Home grown feeds are the major source of heavy metal input into the stable because they are fed in large quantities. However, the heavy metal content of the home grown feeds in particular of roughages for ruminants is low. Purchased feed stuffs (supplementary feeding stuffs and complete feeding stuffs) were found to have a higher content of heavy metals (due to supplementation with trace elements) compared to home grown feeds. Thus, pig and poultry husbandry rather than ruminant husbandry is susceptible to heavy metal accumulation of manures.</p> <p>Heavy metals are cycling within the farm which is of importance when discussing the environmental impact. The turnover within the farm can hardly be controlled by the farmer. Thus, effective strategies have to be targeted at the inputs, e. g. the purchased feed stuffs. A main option to reduce the heavy metal input is to lower the trace element concentrations in supplementary feed stuffs either by legislation of maximum threshold values (e. g. EG 1334/2003) or by volunteer agreements of the feed industry and agriculture. In addition, the absorption of copper and zinc by the animals should be improved using better absorbable trace element compounds and phytase.</p>		

Copper and zinc containing claw disinfectants should be used as little as possible or should be replaced by alternative metal-free substances.

To assess the heavy metal input and evaluate the options for input reductions, it is necessary to measure all trace element inputs and flows on the farm including those inputs that are not related to any management measure. A systematic monitoring on farm level is considered necessary which should be embedded into a European Network.

17. Key words

Heavy metals, trace elements, feeding stuffs, animal manure, livestock farming, stable balances, mitigation strategies, model calculations, soil protection

18. Price

19.

20.

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	I
Tabellenverzeichnis	IV
Abbildungsverzeichnis	VIII
Zusammenfassung	IX
Summary	XIV
1 Einleitung	1
2 Material und Methoden	4
2.1 Betriebsauswahl	4
2.2 Probenahme	6
2.2.1 Stalleinträge und -austräge	6
2.2.2 Erfassung von Einträgen in Wirtschaftsdünger außerhalb des Stalls	8
2.3 Ermittlung der Massenflüsse	8
2.4 Probenaufarbeitung und Analyse	9
2.5 Überprüfung der Aufbereitungs- und Analysemethoden	11
2.5.1 Ringuntersuchung	11
2.5.2 Referenzmaterial	11
2.6 Sonstige Untersuchungen	12
2.6.1 Schwermetallgehalte der Tierkörper	12
2.6.2 Analysen der Schwermetalle Arsen und Quecksilber	12
2.6.3 Korrosion der Stalleinrichtung	12
2.7 Berechnungen	13
2.7.1 Stalleinträge und -austräge	13
2.7.2 Einträge in die Wirtschaftsdünger außerhalb des Stalls	13
2.7.3 Bilanz	14
2.8 Statistische Auswertung	14
3 Ergebnisse Teilprojekt Bonn	16
3.1 Futterbaubetriebe mit Milchviehhaltung, Bullenmast - Betriebe 1 bis 4	16
3.1.1 Schwermetallgehalte	16
3.1.2 Schwermetallflüsse	21
3.1.3 Stallbilanzen	22
3.1.4 Diskussion	29
3.2 Futterbaubetrieb mit Mutterkuhhaltung - Betrieb 5	31
3.3 Veredelungsbetriebe mit Schweinehaltung - Betriebe 6 und 7	33
3.3.1 Schwermetallgehalte	33
3.3.2 Schwermetallflüsse	36
3.3.3 Stallbilanzen	37
3.3.4 Diskussion	40

3.4	Veredelungsbetrieb mit Mastschweinehaltung – Betrieb 8	42
3.5	Veredelungsbetrieb mit Mastputenhaltung – Betrieb 9	43
4	Ergebnisse Teilprojekt Bayreuth	45
4.1	Schwermetallgehalte	45
4.2	Schwermetallflüsse	48
4.3	Stallbilanzen	54
4.4	Diskussion	57
5	Ergebnisse Teilprojekt Oldenburg	60
5.1	Futterbaubetrieb mit Milchviehhaltung - Betrieb 1	60
5.1.1	Schwermetallgehalte	60
5.1.2	Stallbilanz	61
5.2	Veredelungsbetrieb mit Mastschweinehaltung - Betrieb 2	63
5.2.1	Schwermetallgehalte	63
5.2.2	Stallbilanz	64
5.3	Veredelungsbetrieb mit Mastschweinehaltung - Betrieb 3	64
5.3.1	Schwermetallgehalte	64
5.3.2	Stallbilanz	65
5.4	Veredelungsbetrieb mit Zuchtsauen und Ferkelerzeugung - Betrieb 4a	66
5.4.1	Schwermetallgehalte	66
5.4.2	Stallbilanz	66
5.5	Veredelungsbetriebe - Betriebe 4b, 5a und 5b	67
5.6	Veredelungsbetriebe mit Legehennenhaltung - Betriebe 6 und 7	69
5.6.1	Schwermetallgehalte	69
5.6.2	Stallbilanz	69
5.7	Diskussion	70
5.7.1	Schwermetallgehalte	70
5.7.2	Stallbilanz	73
6	Futteraufbereitung und Materialien im Stallbereich	75
7	Spurenelemente	80
7.1	Allgemeines	80
7.2	Futtermittelrechtliche Regelungen	80
7.3	Versorgungsempfehlungen	83
7.4	Über die Versorgungsempfehlungen hinausgehende Supplementierung	84
7.5	Anorganische und organische Spurelementverbindungen	85
8	Gesamtauswertung der Teilprojekte	86
8.1	Allgemeines	86
8.2	Schwermetallgehalte von Futtermitteln	86
8.2.1	Rinderhaltung	86
8.2.2	Schweinehaltung	88

8.2.3	Geflügelhaltung	89
8.2.4	Fazit	90
8.3	Schwermetallgehalte sonstiger Betriebsmittel	90
8.4	Schwermetallgehalte von Milch	91
8.5	Schwermetallgehalte von Wirtschaftsdüngern	91
8.6	Sonstige Eintragsquellen für Schwermetalle	92
8.7	Schwermetallflüsse und Stallbilanzen	93
8.7.1	Milchviehhaltung	93
8.7.2	Schweinehaltung	95
8.7.3	Legehennenhaltung	95
8.7.4	Gesamtbetrachtung	96
8.7.5	Fazit	96
9	Maßnahmen zur Minderung des Schwermetalleintrags in Wirtschaftsdünger	97
9.1	Bewertungskriterien	97
9.2	Minderungsmaßnahmen im Stall	98
9.2.1	Maßnahmen mit hohem Potenzial	98
9.2.2	Maßnahmen mit geringem Potenzial	102
9.3	Abschätzung des Minderungspotenzials im Bereich der Fütterung	104
9.3.1	Rinderhaltung	104
9.3.2	Schweinehaltung	104
9.3.3	Rechenmodell	106
9.4	Minderungsmaßnahmen außerhalb des Stalls	113
9.5	Umsetzung von Minderungsmaßnahmen	114
10	Darstellung der Ergebnisse im internationalen Vergleich	115
10.1	Rechtliche Regelungen auf europäischer Ebene	115
10.2	Schwermetallgehalte von Futtermitteln und Wirtschaftsdüngern	116
11	Zusammenschau der Ergebnisse und Handlungsbedarf	119
12	Literatur	123

Tabellenverzeichnis

- Tab. 2-1: Betriebsauswahl der Universität Bonn, Institut für Pflanzenernährung (IPE)
- Tab. 2-2: Betriebsauswahl der Universität Bayreuth
- Tab. 2-3: Betriebsauswahl der LUFA Oldenburg
- Tab. 2-4: Beprobung einzelner Futtermittel und sonstiger Betriebsmittel (Eintrag in den Stall)
- Tab. 2-5: Beprobung von Wirtschaftsdüngern und tierischer Erzeugnissen (Austrag aus dem Stall)
- Tab. 2-6: Ergebnisse der Ringuntersuchung zur Überprüfung der Schwermetallanalytik; Mittelwert aller beteiligten Einrichtungen
- Tab. 2-7: Schwermetallgehalte für Tierkörper (massengewichteter Mittelwert aus Literaturangaben und Analysen im UBA-Projekt)
- Tab. 3-1: Schwermetallgehalte wirtschaftseigener Futtermittel, Betriebe 1 bis 4 (Milchviehhaltung, Bullenmast)
- Tab. 3-2: Schwermetallgehalte in Einstreumaterialien, Betriebe 1 bis 3 (Milchviehhaltung)
- Tab. 3-3: Schwermetallgehalte in zugekauften Einzel- und Mischfuttermitteln zur Protein- und/oder Energieergänzung, Betriebe 1 bis 4 (Milchviehhaltung, Bullenmast)
- Tab. 3-4: Schwermetallgehalte in Mineralfuttermitteln, Betriebe 1 bis 4 (Milchviehhaltung, Bullenmast)
- Tab. 3-5: Schwermetallgehalte in Wasser zur Tränke und Reinigung, Betriebe 1 bis 4 (Milchviehhaltung, Bullenmast)
- Tab. 3-6: Schwermetallgehalte in Kupfervitriol, Betrieb 1 (Milchviehhaltung)
- Tab. 3-7: Schwermetallgehalte von Flüssigmist, Festmist (inkl. Futterreste) und Jauche, Betriebe 1 bis 4 (Milchviehhaltung, Bullenmast)
- Tab. 3-8: Schwermetallgehalte der Milch, Betriebe 1 bis 3 (Milchviehhaltung)
- Tab. 3-9: Stallbilanz, Betrieb 1 (Milchviehhaltung)
- Tab. 3-10: Stallbilanz, Betrieb 2 (Milchviehhaltung)
- Tab. 3-11: Stallbilanz, Betrieb 3 (Milchviehhaltung)
- Tab. 3-12: Stallbilanz, Betrieb 4 (Bullenmast)
- Tab. 3-13: Bilanzsalden (Stall) der untersuchten Futterbaubetriebe, Teilprojekt Bonn
- Tab. 3-14: Schwermetallgehalte wirtschaftseigener Futtermittel, Stroh, Betrieb 5 (Mutterkuhhaltung)
- Tab. 3-15: Schwermetallgehalte der Wirtschaftsdünger, Betrieb 5 (Mutterkuhhaltung)
- Tab. 3-16: Schwermetallgehalte wirtschaftseigener Futtermittel und Stroh, Betrieb 6 und 7 (Zuchtsauen, Ferkelerzeugung, Mastschweine (7))
- Tab. 3-17: Schwermetallgehalte in zugekauften Einzel- und Mischfuttermitteln, Betrieb 7 (Zuchtsauen, Ferkelerzeugung, Mastschweine)
- Tab. 3-18: Schwermetallgehalte in zugekauften (Betrieb 6) und selbstgemischten (Betrieb 7) Ergänzungs- und Alleinfuttermitteln
- Tab. 3-19: Schwermetallgehalte in Wasser zur Tränke und Reinigung
- Tab. 3-20: Schwermetallgehalte der Wirtschaftsdünger, Betrieb 6 (Zuchtsauen, Ferkelerzeugung)
- Tabelle 3-21: Schwermetallgehalte der Wirtschaftsdünger, Betrieb 7 (Zuchtsauen, Ferkelerzeugung, Mastschweine)
- Tab. 3-22: Stallbilanz, Betrieb 6 (Zuchtsauen, Ferkelerzeugung)
- Tab. 3-23: Stallbilanz, Betrieb 7 (Zuchtsauen, Ferkelerzeugung, Mastschweine)
- Tab. 3-24: Versorgungsempfehlungen, ermittelte Cu-Gehalte in Alleinfuttermitteln und zulässige Höchstgehalte (mg kg⁻¹) bei 88 % TM nach Futtermittelverordnung

-
- Tab. 3-25: Versorgungsempfehlungen, ermittelte Zn-Gehalte in Alleinfuttermitteln und zulässige Höchstgehalte (mg kg⁻¹) bei 88 % TM nach Futtermittelverordnung
- Tab. 3-26: Bilanzsalden (Stall) der untersuchten Schweinehaltungsbetriebe, Teilprojekt Bonn
- Tab. 3-27: Schwermetallgehalte in Zukauffuttermitteln, Betrieb 8 (Mastschweinehaltung)
- Tab. 3-28: Schwermetallgehalte im Wirtschaftsdünger, Betrieb 8 (Mastschweinehaltung)
- Tab. 3-29: Schwermetallgehalte der eingesetzten Allein- und Einzelfuttermittel, Betrieb 9 (Mastputenhaltung)
- Tab. 3-30: Schwermetallgehalte in Einstreumaterialien, Betrieb 9 (Mastputenhaltung)
- Tab. 3-31: Schwermetallgehalte im Wirtschaftsdünger, Betrieb 9 (Mastputenhaltung)
- Tab. 4-1: Schwermetallgehalte der wirtschaftseigenen Futtermittel, Betriebe 1 bis 4 (Milchviehhaltung)
- Tab. 4-2: Schwermetallgehalte der zugekauften Einzel- und Mischfuttermittel, Betriebe 1 bis 4 (Milchviehhaltung)
- Tab. 4-3: Schwermetallgehalte der sonstigen Betriebsmittel, Arzneimittel und Anstrichfarbe
- Tab. 4-4: Schwermetallgehalte der Wirtschaftsdünger, Betriebe 1 bis 4 (Milchviehhaltung)
- Tab. 4-5: Schwermetallgehalte der tierischen Erzeugnisse (Mittelwert aller Milchviehbetriebe)
- Tab. 4-6: Schwermetalleinträge in die Wirtschaftsdünger außerhalb des Stalls (Mittelwert aller Milchviehbetriebe)
- Tab. 4-7: Stallbilanz, Betrieb 1 (Milchviehhaltung)
- Tab. 4-8: Stallbilanz, Betrieb 2 (Milchviehhaltung)
- Tab. 4-9: Stallbilanz, Betrieb 3 (Milchviehhaltung)
- Tab. 4-10: Stallbilanz, Betrieb 4 (Milchviehhaltung)
- Tab. 4-11: Bilanzsalden (Stall) der untersuchten Futterbaubetriebe, Teilprojekt Bayreuth
- Tab. 5-1: Schwermetallgehalte, Betrieb 1 (Milchviehhaltung), Stallperiode 1999/2000
- Tab. 5-2: Schwermetallgehalte, Betrieb 1 (Milchviehhaltung), Stallperiode 2000/2001
- Tab. 5-3: Stallbilanz, Betrieb 1 (Milchviehhaltung), Stallperiode 1999/2000
- Tab. 5-4: Stallbilanz, Betrieb 1 (Milchviehhaltung), Stallperiode 2000/2001
- Tab. 5-5: Schwermetallgehalte, Betrieb 2 (Mastschweinehaltung)
- Tab. 5-6: Stallbilanz, Betrieb 2 (Mastschweinehaltung)
- Tab. 5-7: Schwermetallgehalte, Betrieb 3 (Mastschweinehaltung)
- Tab. 5-8: Stallbilanz, Betrieb 3 (Mastschweinehaltung)
- Tab. 5-9: Schwermetallgehalte, Betrieb 4a (Zuchtsauen, Ferkelerzeugung)
- Tab. 5-10: Stallbilanz, Betrieb 4a (Zuchtsauen, Ferkelerzeugung)
- Tab. 5-11: Schwermetallgehalte, Betrieb 4b (Ferkelaufzucht)
- Tab. 5-12: Schwermetallgehalte, Betrieb 5a (Masthähnchenhaltung)
- Tab. 5-13: Schwermetallgehalte, Betrieb 5b (Mastputenhaltung)
- Tab. 5-14: Schwermetallgehalte, Betrieb 6 (Legehennenhaltung)
- Tab. 5-15: Schwermetallgehalte, Betrieb 7 (Legehennenhaltung)
- Tab. 5-16: Stallbilanz, Betrieb 6 (Legehennenhaltung)
- Tab. 5-17: Stallbilanz, Betrieb 7 (Legehennenhaltung)
- Tab. 5-18: Mittlere Cu- und Zn-Gehalte in Gras- und Maissilagen (Analysenergebnisse Routineanalytik, LUFA Oldenburg 1997 bis 2000; ENGLING 1999 a, b, 2000)
- Tab. 5-19: Mittlere Cu- und Zn-Gehalte in verschiedenen Handelsfuttermitteln (Analysenergebnisse Routineanalytik, LUFA Oldenburg 1998 bis 2001)

-
- Tab. 5-20: Anzahl und Verteilung von Schwermetallgehalten in Futterproben (mg kg^{-1} TM; Analyseergebnisse der Routineanalytik, LUFA Oldenburg)
- Tab. 5-21: Mittlere Cu-Gehalte in Schweinegülle (Analysenergebnisse der Routineanalytik, LUFA Oldenburg 2000)
- Tab. 5-22: Schwermetallkonzentrationen in Wirtschaftsdüngern, Teilprojekt Oldenburg
- Tab. 5-23: Bilanzsalden (Stall) der untersuchten Betriebe, Teilprojekt Oldenburg
- Tab. 6-1: Elementeinträge ($\text{g GV}^{-1} \text{a}^{-1}$) durch Korrosion und Abrieb der Stalleinrichtung; berechnet für zwei verschiedene Abtragsraten; Betriebe 3 (Bonn) und 1 bis 4 (Bayreuth)
- Tab. 6-2: Zinkeinträge (in % des Gesamteintrags) durch Korrosion und Abrieb der Stalleinrichtung; berechnet für zwei verschiedene Abtragsraten; Betrieb 3 (Bonn), 1 bis 4 (Bayreuth), Milchviehhaltung
- Tab. 6-3: Schwermetallgehalte verschiedener Betonproben; Betrieb 3 (Milchviehhaltung), Teilprojekt Bonn)
- Tab. 6-4: Schwermetallgehalte in mineralischen Einstreumitteln, Güllezusatzstoffen und anderen Materialien (Streubreite; SCHENKEL und BREUER 2002, gekürzt)
- Tab. 6-5: Schwermetallgehalte und -flüsse von Anstrichfarbe sowie Anteil am Schwermetalleintrag außerhalb des Stalls an den Gesamt-Austrägen (UIHLEIN 2001)
- Tab. 7-1: Höchstgehalte für Kupfer in Alleinfuttermitteln (88 % TM) nach Futtermittelverordnung (FMV 2000), nach Vorschlag des Ständigen Futtermittelausschusses (PETERSEN 2002) und EG-Verordnung 1334/2003 (EUROPÄISCHE KOMMISSION 2003)
- Tab. 7-2: Höchstgehalte für Zink in Alleinfuttermitteln (88 % TM) nach Futtermittelverordnung (FMV 2000), nach Vorschlag des Ständigen Futtermittelausschusses (PETERSEN 2002) und EG-Verordnung 1334/2003 (EUROPÄISCHE KOMMISSION 2003)
- Tab. 7-3: Höchstgehalte für Blei und Cadmium in Futtermitteln (88 % TM, FMV 2000, PETERSEN 2002)
- Tab. 7-4: Empfehlungen zur Spurenelementversorgung landwirtschaftlicher Nutztiere (nach Gesellschaft für Ernährungsphysiologie (GfE; 1987, 1995, 1999, 2001) und National Research Council (NRC, 1994, 1996, 1998, 2001), dargestellt für Cu und Zn; in: FLACHOWSKY (2002))
- Tab. 7-5: Wirkungen einer über die Versorgungsempfehlungen hinausgehenden Supplementierung von Spurenelementen (SCHENKEL 2002 c, verändert)
- Tab. 8-1: Schwermetallgehalte von wirtschaftseigenen Futtermitteln; Ergebnisse UBA-Projekt
- Tab. 8-2: Kupfer- und Zinkgehalte von Futtermitteln in der Rinderhaltung, Literaturwerte
- Tab. 8-3: Schwermetallgehalte von zugekauften Einzel- und Mischfuttermitteln in der Rinderhaltung; Ergebnisse UBA-Projekt
- Tab. 8-4: Mittlere Kupfer- und Zinkgehalte von Mischfuttermitteln in der Rinderhaltung (VFT 1996)
- Tab. 8-5: Schwermetallgehalte von wirtschaftseigenen Futtermitteln; Ergebnisse UBA-Projekt
- Tab. 8-6: Schwermetallgehalte von Einzel- und Mischfuttermitteln in der Schweinehaltung, Ergebnisse UBA-Projekt
- Tab. 8-7: Kupfer- und Zinkgehalte von Mischfuttermitteln in der Schweinehaltung, Literaturwerte
- Tab. 8-8: Schwermetallgehalte von Alleinfuttermitteln in der Geflügelhaltung; Ergebnisse UBA-Projekt
- Tab. 8-9: Schwermetallgehalte von Alleinfuttermitteln in der Geflügelhaltung
- Tab. 8-10: Schwermetallgehalte von sonstigen Betriebsmitteln; Ergebnisse UBA-Projekt
- Tab. 8-11: Schwermetallgehalte in der Milch; Ergebnisse UBA-Projekt
- Tab. 8-12: Schwermetallgehalte von Wirtschaftsdüngern; Ergebnisse UBA-Projekt
- Tab. 8-13: Schwermetallgehalte von Wirtschaftsdüngern (KTBL 2000)
- Tab. 8-14: Ein- und Austräge von Schwermetallen für unterschiedliche Tierhaltungsbetriebe - System Stall
- Tab. 9-1: Bewertung von Maßnahmen zur Minderung von Schwermetallgehalten in Wirtschaftsdüngern

Tab. 9-2: Cu- und Zn-Einträge in den Stall eines Ferkelerzeugungs- und Schweinemastbetriebs (80,5 GV) unter Praxisbedingungen (IST-Zustand) bzw. bei reduzierter Cu- und Zn-Supplementierung (RED-Zustand, Vorschlag Ständiger Futtermittelausschuss) unter Berücksichtigung von Einträgen aus nicht identifizierten Quellen

Tab. 9-3: Cd-, Cr-, Ni-, und Pb-Einträge in den Stall eines Ferkelerzeugungs- und Schweinemastbetriebs (80,5 GV) unter Praxisbedingungen (IST-Zustand) bzw. bei reduzierter Cu- und Zn-Supplementierung (RED-Zustand, Vorschlag Ständiger Futtermittelausschuss) unter Berücksichtigung von Einträgen aus nicht identifizierten Quellen. Szenario A: geringe Verunreinigung der Mineralfuttermittel, Reduzierung der Einträge über diese Futtermittel um 10 %; Szenario B: starke Verunreinigung, Reduzierung um 50 %

Tab. 9-4: Reduktion des Gesamteintrags an Kupfer und Zink in den Stall eines Ferkelerzeugungs- und Schweinemastbetriebs (80,5 GV) bei Zugrundelegung verschiedener Szenarien für die Cu- und Zn-Supplementierung der Futtermittel; IST: Praxisbedingungen; FMV: Höchstgehalte der Futtermittelverordnung, EG1334: Höchstgehalte der EG-Verordnung 1334/2003; FMA: Höchstgehalte laut Vorschlag Ständiger Futtermittelausschuss

Tab. 9-5: Cu- und Zn-Einträge in den Stall eines Milchviehbetriebs bei Verwendung (IST-Zustand) von und bei Verzicht (RED-Zustand) auf Kupfervitriol zur Klauendesinfektion

Tab. 9-6: Cd-, Cr-, Ni- und Pb-Einträge in den Stall eines Milchviehbetriebs bei Verwendung (IST-Zustand) von und bei Verzicht (RED-Zustand) auf Kupfervitriol zur Klauendesinfektion

Tab. 10-1: Regelungen und Arbeitsdokumente der EU mit Bezug zu Schwermetallen in der Landwirtschaft

Tab. 10-2: Höchstgehalte für Cadmium und Blei in Futtermitteln (ANONYM 2002)

Tab. 10-3: Schwermetallgehalte in Futtermitteln im europäischen Vergleich (Ergebnisse der konzentrierten Aktion AROMIS und Projektergebnisse)

Tab. 10-4: Schwermetallgehalte in Wirtschaftsdüngern (ECKEL et al. 2001 und Projektergebnisse)

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1-1: Schematische Darstellung der im Vorhaben betrachteten Massenströme

Abb. 2-1: Komponenten der Stallbilanzen

Abb. 3-1: Prozentuale Anteile der Stoffströme am Gesamteintrag in den Stall (Betriebe 1-3: Milchviehhaltung, 4: Bullenmast)

Abb. 3-2: Ein- und Austräge ($g\text{ GV}^{-1}\text{ a}^{-1}$) an Schwermetallen (Stall; Betriebe 1-3: Milchviehhaltung, 4: Bullenmast)

Abb. 3-3: Prozentualer Anteil der Stoffströme am Schwermetallinput in den Stall, Betriebe 6 und 7 (Zuchtsauen, Ferkelerzeugung, Mastschweine (7))

Abb. 3-4: Ein- und Austräge ($g\text{ GV}^{-1}\text{ a}^{-1}$) an Schwermetallen (Stall), Betriebe 6 und 7 (Zuchtsauen, Ferkelerzeugung, Mastschweine (7))

Abb. 4-1: Schwermetallflüsse ($g\text{ GV}^{-1}\text{ a}^{-1}$) in den und aus dem Stall (Fehlerbalken sind Fehler der Mittelwerte; Betriebe 1 bis 4, Milchviehhaltung)

Abb. 4-2: Schwermetallflüsse ($1000\text{ kg Milch}^{-1}\text{ a}^{-1}$) in den und aus dem Stall (Fehlerbalken sind Fehler der Mittelwerte; Betriebe 1 bis 4, Milchviehhaltung)

Abb. 4-3: Prozentuale Anteile der Stoffströme am Gesamteintrag der untersuchten Schwermetalle in den Stall (Betriebe 1 bis 4, Milchviehhaltung)

Abb. 4-4: Prozentualer Anteil der tierischen Erzeugnisse am Gesamtaustrag der untersuchten Schwermetalle aus dem Stall (Tierische Erzeugnisse + Wirtschaftsdünger = 100 %; Betriebe 1 bis 4, Milchviehhaltung)

Abb. 6-1: Schwermetallgehalte von Triticale, Weizen und Triticale/Weizen-Schrot (Mittelwert der Gehalte in Triticale und Weizen wurde als 100 % angenommen; UIHLEIN 2001)

Abb. 8-1: Prozentualer Anteil der Stoffströme am Gesamteintrag der untersuchten Schwermetalle in den Stall (Mittelwerte für acht Betriebe mit Milchviehhaltung; mit und ohne Berücksichtigung des Einsatzes von Kupfersulfat zur Kluwendesinfektion)

Abb. 8-2: Schwermetallflüsse ($g\text{ GV}^{-1}\text{ a}^{-1}$) in den und aus dem Stall (Mittelwerte für acht Betriebe mit Milchviehhaltung)

Abb. 8-3: Schwermetallflüsse ($g\text{ GV}^{-1}\text{ a}^{-1}$) in den und aus dem Stall (Mittelwerte für fünf Betriebe mit Schweinehaltung)

Abb. 9-1: Prozentualer Anteil von wirtschaftseigenen, zugekauften protein- und energiehaltigen Ergänzungsfuttermitteln sowie von Mineralfuttermitteln am Schwermetalleintrag über Futtermittel (links) bzw. am Gesamteintrag über alle Betriebsmittel (rechts) in einem Betrieb mit Ferkelerzeugung und Schweinemast (Bezugssystem Stall)

Abb. 9-2: Prozentualer Anteil der Stoffströme am Gesamteintrag der untersuchten Schwermetalle in den Stall eines Ferkelerzeugungs- und Schweinemastbetriebs unter Berücksichtigung des Eintrags aus unbekannten Quellen

Zusammenfassung

Wirtschaftsdünger enthalten neben Haupt- und Spurenelementen auch Schwermetalle, wobei Kupfer und Zink sowohl der Gruppe der essentiellen Spurenelemente als auch den Schwermetallen zuzuordnen sind. Die Ausbringung von schwermetallhaltigen Wirtschaftsdüngern kann langfristig zu einer Anreicherung von Schwermetallen in landwirtschaftlich genutzten Böden führen.

Spurenelemente sind für die Aufrechterhaltung zahlreicher physiologischer Prozesse im tierischen Organismus erforderlich und müssen zur Gewährleistung einer optimalen Versorgung der Tiere in ausreichender Menge mit dem Futter aufgenommen werden. In einigen Fällen, z. B. in der Ferkelaufzucht, werden Spurenelemente auch über die Versorgungsempfehlungen hinaus supplementiert, um zusätzlich leistungssteigernde Effekte zu nutzen. Vom Tier nicht verwertete Spurenelemente werden fast vollständig über die Exkremeante ausgeschieden. Neben den Futtermitteln und Futterzusätzen können Desinfektionsmittel, Einstreumaterialien, sowie Korrosion und Abrieb von Stalleinrichtungen oder Lagerbehältern, Baustoffe und Farben eine Rolle für den Eintrag von Schwermetallen in Wirtschaftsdünger spielen.

Ziel des vorliegenden Forschungsvorhabens war es, die Schwermetallflüsse in Tierproduktionsbetrieben zu erfassen und daraus folgend Möglichkeiten zur Minderung des Schwermetalleintrags in Wirtschaftsdünger zu beschreiben und zu bewerten.

Für die Untersuchungen wurden beispielhaft 20 landwirtschaftliche Betriebe in unterschiedlichen Regionen der Bundesrepublik Deutschland ausgewählt. Es wurden Betriebe mit Milchviehhaltung, Bullenmast, Sauen- und Mastschweinehaltung sowie Geflügelhaltung einbezogen und unterschiedliche Haltungsverfahren sowie Betriebsgrößen berücksichtigt. Ziel war es, ein möglichst breites Spektrum an konventionell wirtschaftenden Betrieben zu untersuchen, um einen Einblick in die Schwermetallströme in der Tierhaltung zu gewinnen.

Die Praxisuntersuchungen wurden vom Institut für Pflanzenernährung (IPE) der Universität Bonn, dem Lehrstuhl für Bodenkunde und Bodengeographie der Universität Bayreuth sowie der Landwirtschaftlichen Untersuchungs- und Forschungsanstalt (LUFA) Oldenburg vorgenommen. Das Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (KTBL), Darmstadt, war mit der Koordination des Gesamtvorhabens betraut.

Im Mittelpunkt der Betrachtungen standen sowohl die in der Tierernährung eingesetzten essentiellen Elemente Kupfer (Cu) und Zink (Zn) als auch die Elemente Blei (Pb), Cadmium (Cd), Chrom (Cr) und Nickel (Ni). Diese Elemente sind bereits Gegenstand verschiedener rechtlicher Regelungen (Klärschlamm-, Bioabfall-, Bundesbodenschutz- und Altlastenverordnung).

Bezugssystem für die Bilanzierung war der Stall, nicht der gesamte Betrieb. Durch Quantifizierung der Schwermetalleinträge aus unterschiedlichen Quellen sollten deren Anteile am Gesamteintrag bestimmt werden. Bei der Bilanzierung wurden die Einträge an Schwermetallen über Futtermittel und sonstige Betriebsmittel den Austrägen über Wirtschaftsdünger und tierische Erzeugnisse gegenübergestellt und der Bilanzsaldo errechnet.

Gesamtbetrachtung

Eintrag von Schwermetallen

Die Untersuchungen haben gezeigt, dass Futtermittel und Futterzusatzstoffe neben kupferhaltigen Desinfektionsmitteln (Klauenbäder) die wesentlichen Eintragsquellen für Schwermetalle in Wirtschaftsdünger sind. Trotz ihrer i. d. R. geringen Schwermetallgehalte stellten wirtschaftseigene Futtermittel in Futterbaubetrieben aufgrund ihrer großen Einsatzmasse den Haupteintragspfad für Schwermetalle (ausgenommen Kupfer) in Wirtschaftsdünger dar. Die zugekauften Ergänzungs- und Alleinfuttermittel enthielten oftmals höhere Schwermetallgehalte als wirtschaftseigene Futtermittel, was auf die Supplementierung dieser Futtermittel mit Spurenelementen zurückzuführen ist. Allerdings wiesen die ermittelten Konzentrationen an den Elementen Cadmium, Chrom, Nickel und Blei in den geprüften Mineralfuttermitteln auf Verunreinigungen der Rohstoffe mit diesen Metallen hin. So wurden neben den Spurenelementen Kupfer und Zink nennenswerte Einträge der untersuchten Metalle, insbesondere für Chrom, über Mineralfuttermittel bzw. mineralisierte Ergänzungs- oder Alleinfuttermittel festgestellt.

Austrag von Schwermetallen

Der Austrag von Schwermetallen erfolgt überwiegend mit den Wirtschaftsdüngern. Die Exkremeante aus der Rinderhaltung wiesen von allen angefallenen Wirtschaftsdüngern die geringsten Cu- und auch Zn-Gehalte auf. Die höchsten Cu-, Zn- und Ni-Konzentrationen wurden bei Schweinegülle, insbesondere Ferkelgülle festgestellt. Hohe Cr-Gehalte gegenüber den anderen Wirtschaftsdüngern zeigten sich bei Putenmist.

Stallbilanz

Die Bilanzierung auf Stallebene für unterschiedliche Tierhaltungsbetriebe hat ergeben, dass in der Rinder- und Schweinehaltung für die Elemente Chrom, Blei, Zink und in der Schweinehaltung zusätzlich für Nickel und Kupfer die erfassten Austräge oftmals höher sind als die Einträge, wobei die Ursachen nicht geklärt werden konnten. Neuere Untersuchungen zeigen, dass durch den Einsatz von mineralischen Einstreumitteln, Güllezusatzstoffen oder Trägermaterialien von Fütterungsarzneimitteln Elementfrachten in den Stall und somit in die Wirtschaftsdünger gelangen können, die z. T. Größenordnungen erreichen, welche mit dem Eintrag über Futtermittel vergleichbar sind.

Einzelne Tierarten

Milchviehhaltung

Die acht untersuchten Milchviehbetriebe setzen neben wirtschaftseigenen Futtermitteln mit unterschiedlichem Anteil auch Zukauffuttermittel ein. Die wirtschaftseigenen Futtermittel trugen mit ca. 40 bis 75 % zum Eintrag der Elemente Cadmium, Chrom, Nickel, Blei und Zink in den Stall bei (Cd: 71 %, Cr: 49 %, Ni: 61 %, Pb: 76 %, Zn: 39 %). Für Kupfer lag der Anteil der wirtschaftseigenen Futtermittel bei lediglich 25 %. Dies begründet sich darin, dass das in fünf Betrieben verwendete Kupfervitriol (Klauenbad) mehr als 40 % des Cu-Eintrages ausmachte. Die Anteile des Schwermetalleintrages durch protein- und energiereiche Zukauffuttermittel betrugen für Cadmium, Chrom, Nickel und Blei 14 bis 37 %; für Kupfer wurden Anteile von 17 % und für Zink von 35 % ermittelt. Die Mineralfuttermittel wiesen für Kupfer und

Zink Anteile von 17 bzw. 21 % am Eintrag in den Stall auf; für die übrigen Elemente wurden Einträge von 1 bis 7 % festgestellt.

Bei Nichtberücksichtigung des Klauenbades würde der Anteil der wirtschaftseigenen Futtermittel 43 % am Cu-Eintrag in den Stall betragen; der Anteil der energie- und proteinhaltigen Zukauffuttermittel sowie der Mineralfuttermittel würde bei 28 bzw. 27 % liegen. Neben Einträgen über wirtschaftseigene Futtermittel verdeutlicht dies nochmals die Bedeutung der Zukauffuttermittel für den Cu- und Zn-Eintrag in den Stall (Cu: 56 %, Zn: 55 %).

Die Bilanz der mittleren Ein- und Austräge von Schwermetallen der acht im Projekt untersuchten Milchviehställe wies für die Elemente Chrom, Blei und Zink tendenziell höhere Austräge als Einträge aus. Dies deutet darauf hin, dass nicht alle Eintragspfade erfasst werden konnten.

Schweinehaltung

Lediglich auf einem der fünf untersuchten Betriebe mit Schweinehaltung (Sauen, Ferkel, Mastschweine) wurde sowohl wirtschaftseigenes Futter als auch Zukauffuttermittel verwendet, die übrigen Betriebe setzten nur Zukauffuttermittel und hier in der Regel Alleinfuttermittel ein. Eine differenzierte Darstellung der fütterungsbedingten Eintragspfade in wirtschaftseigene und zugekauftes Futtermittel ist daher für die Schweinehaltung nicht möglich. Die Anteile der Zukauffuttermittel am Eintrag in den Stall betragen auf den Betrieben ohne wirtschaftseigene Futtermittel für alle untersuchten Elemente, ausgenommen Cadmium und Blei, mehr als 90 %. Für Cadmium und Blei ist der Eintrag über sonstige Betriebsmittel, insbesondere durch Stroheinstreu und Wasser zum Tränken, bedeutsam (Cd: 25 %, Pb: 31 %).

Ergebnisse für den o. g. schweinehaltenden Betrieb, der sowohl wirtschaftseigene als auch zugekauftes Futtermittel einsetzt, zeigen, dass ein Großteil der Cu- und Zn-Einträge über Mineralfuttermittel erfolgte; diese stellen auch für Chrom und in geringerem Ausmaß für Nickel einen wichtigen Eintragspfad dar.

Bei der Bilanzierung der Schwermetallströme für die fünf Betriebe mit Schweinehaltung wurden für alle Elemente, ausgenommen Cadmium, tendenziell größere Austräge gegenüber den Einträgen ermittelt.

Legehennenhaltung

Für die Legehennenhaltung wurden zwei Betriebe untersucht, die zugekauftes Alleinfutter einsetzen. Die Bilanzen zeigen für Chrom und Nickel tendenziell höhere Einträge als Austräge und für Zink höhere Austräge gegenüber den Einträgen. Die übrigen Elemente wiesen keine Unterschiede zwischen Ein- und Austrag auf.

Minderungsmöglichkeiten

Futtermittel

Als effektivster Ansatzpunkt zur Minderung von Schwermetalleinträgen in Wirtschaftsdünger wird derzeit die Fütterung angesehen; diskutiert wird hierbei insbesondere eine Herabsetzung der Spurelementgehalte Kupfer und Zink. Die Ergebnisse des Forschungsvorhabens haben die Bedeutung der Futtermittel für den Schwermetalleintrag in Wirtschaftsdünger bestätigt. Es zeigten sich jedoch deutliche Unterschiede zwischen den Tierarten bzw. in Abhängigkeit von der Betriebsstruktur. Diese müssen bei der Beurteilung der diskutierten Minderungsmöglichkeiten berücksichtigt werden.

Da über die Supplementierung von Futtermitteln infolge von Verunreinigungen zugleich bedeutende Einträge der Metalle Cadmium, Chrom, Nickel und Blei erfolgen, liegt hierin auch eine Möglichkeit zur Reduzierung des Elementeneintrags.

Die Untersuchungen haben gezeigt, dass sich die Spurenelementkonzentrationen in Mischfuttermitteln für die Schweine- und auch für die Geflügelhaltung an den zulässigen Höchstwerten für Alleinfuttermittel (Tagesration) der Futtermittelverordnung (2000) orientieren. Durch eine Annäherung der Cu- und Zn-Dosierungen an die Versorgungsempfehlungen wissenschaftlicher Gesellschaften (Gesellschaft für Ernährungsphysiologie, GFE; National Research Council, NRC) wären deutliche Reduzierungen der Gehalte an diesen Spurenelementen in Wirtschaftsdüngern dieser Tierarten realisierbar. Dem wurde in der im Juli 2003 von der Europäischen Kommission beschlossenen Verordnung zur Zulassung von Spurenelementen als Futterzusatzstoffe (EG 1334/2003) zumindest teilweise Rechnung getragen.

KTBL-Modellrechnungen haben für die Schweinehaltung das Minderungspotenzial einer reduzierten Spurenelementsupplementierung für Kupfer und Zink bestätigt. Eine Herabsetzung der in der Futtermittelverordnung festgelegten Höchstgehalte an Kupfer und Zink in Alleinfuttermitteln auf die in der o. g. EG-Verordnung verabschiedeten Werte würde im betrachteten Betrieb (Ferkelaufzucht und Mast) eine Reduzierung der fütterungsbedingten Einträge von 31 und 40 % für Kupfer bzw. Zink bewirken. Gleichzeitig verdeutlichen die Ergebnisse die Notwendigkeit, bei der Abschätzung des Potenzials einzelner Maßnahmen alle Eintragspfade einzubeziehen. Aufgrund der Bedeutung nicht-fütterungsbedingter Einträge bei den Metallen Cadmium, Chrom, Nickel und Blei ist eine Reduzierung der Einträge in Wirtschaftsdünger durch eine veränderte Fütterungspraxis nur in wesentlich geringerem Ausmaß möglich als für Kupfer und Zink.

In der Rinderhaltung werden vornehmlich wirtschaftseigene Futtermittel eingesetzt, daher hat der Eintrag von Schwermetallen in den Stall über zugekaufte Futtermittel gegenüber der Schweinehaltung eine vergleichsweise geringere Bedeutung. Dadurch sind aber gleichzeitig auch die Möglichkeiten zur Reduzierung von fütterungsbedingten Schwermetalleinträgen eingeschränkt. Vor dem Hintergrund der hohen Variabilität nativer Spurenelementgehalte in Futtermitteln und unterschiedlicher Bedarfsansprüche sind in der Rinderhaltung die leistungsangepasste Fütterung, die standortbezogene und vor allem auch die betriebsindividuelle Supplementierung von Spurenelementen zu optimieren.

Neben der Herabsetzung der Cu- und Zn-Höchstgehalte können, je nach Tierart, zusätzliche Maßnahmen, z. B. an die Fütterungssituation angepasste, zielgerichtete Auswahl von Spurenelementverbindungen (anorganisch/organisch) oder der Zusatz von Phytase, eine weitere Minderung ermöglichen.

Sonstige Minderungsmöglichkeiten

Weitere Möglichkeiten zur Reduzierung der Schwermetalleinträge in Wirtschaftsdünger bieten elementreiche Betriebsmittel. So besteht in der Rinderhaltung ein bedeutsames Minderungspotenzial im Bereich der Klauendesinfektion. Hierfür sind gezielte Anwendungshinweise zu Einsatzmengen und -häufigkeit kupfer- und zinkhaltiger Klauenbäder, eine ordnungsgemäße Entsorgung der Restflüssigkeiten bzw. die Entwicklung von Alternativpräparaten notwendig.

Ausblick

Bei der Diskussion um die Schwermetallgehalte von Wirtschaftsdüngern ist besonders zu berücksichtigen, dass je nach Betriebsstruktur ein mehr oder weniger großer Elementanteil über wirtschaftseigenes Futter und Stroh zur Einstreu im Betriebskreislauf gehalten wird. Der interne und vom Landwirt nicht direkt beeinflussbare Schwermetallfluss hat besondere Bedeutung auf Betrieben und in Produktionszweigen mit einem hohen Anteil wirtschaftseigener Futtermittel. Durch qualitativ hochwertiges Grundfutter kann der Schwermetalleintrag in den Betrieb über energie- und proteinhaltige Zukauffuttermittel vermindert werden. Bewertungsansätze und Minderungsstrategien müssen an bereits mit Spurenelementen supplementierten Zukauffuttermitteln und sonstigen elementreichen Betriebsmitteln, wie z. B. Kupfervitriol zur Klauendesinfektion, ansetzen.

Um die Schwermetalleinträge in tierhaltende Betriebe substanziell zu verringern, ist somit eine Gesamtkonzeption unter Einbeziehung aller Eintragspfade, auch derer, die nicht durch die landwirtschaftlichen Aktivitäten hervorgerufen werden, zwingend notwendig.

Die im vorliegenden Projekt gewonnenen Ergebnisse und daraus ableitbaren Zusammenhänge beruhen auf einem einmaligen Screening ausgewählter Betriebe und stellen somit eine erste Beschreibung des Ist-Zustandes dar. Die Projektergebnisse sind durch weitere systematische Untersuchungen abzusichern. Für einen abschließenden Informationsgewinn wird ein Monitoring aller Schwermetallflüsse in landwirtschaftlichen Betrieben und Agrarunternehmen für dringend erforderlich gehalten.

Summary

Animal manures contain heavy metals as well as nutrients and trace elements. Copper and zinc are both trace elements and heavy metals. The spreading of animal manures which are contaminated with heavy metals can lead to an accumulation of these elements in agricultural soils.

Trace elements are essential for maintaining various physiological processes and need to be fed in sufficient amounts to ensure an optimal supply to the animal and to avoid animal health disorders. In some cases, e.g. in pig rearing, trace elements are supplemented in amounts which exceed the recommendations on trace element allowances in order to take advantage of ergotropic effects. Trace elements which are not retained in the body tissue or in the products are disposed of in excrement. Besides feed stuffs and feed additives, potential sources of heavy metals in animal manure are disinfectants, bedding materials, corrosion and wear and tear of stable equipment or storage containers as well as building materials and paints.

The objective of this research project was to record the flows of heavy metals in animal production systems and to develop and assess a strategy to reduce heavy metal inputs into animal manures.

Twenty farms which practice animal husbandry in various regions of Germany were selected for investigation. The selection included dairy, beef cattle, pig rearing and pig fattening and poultry farms, and took into account different husbandry systems and farm sizes. The aim was to investigate a broad variety of conventional production farms to gain insight into the heavy metal fluxes in animal husbandry.

The on-farm investigations were carried out by the Institute of Plant Nutrition (IPE), University of Bonn, by the Chair of Soil Science and Soil Geography, University of Bayreuth and by the LUFA Oldenburg. The Association for Technology and Structures in Agriculture (KTBL), Darmstadt, coordinated the project.

In this context, the trace elements copper (Cu) and zinc (Zn) are important because they are used in animal nutrition. The elements lead (Pb), cadmium (Cd), chrome (Cr) and nickel (Ni) are discussed here because they are also mentioned in the German regulations concerning the disposal of sewage sludge and biological wastes, and the German regulations governing the protection of soils and contaminated sites and substances.

Stable balances were calculated for different livestock farms. By quantifying the input of heavy metals from different sources, their proportion of the total import was determined. For the calculation of these stable balances the inputs of trace elements/heavy metals from feed stuffs and other farm sources (e. g. bedding, hoof disinfectants, medication, water) were contrasted to the outputs in the animal manures and animal products.

Overview

Input of heavy metals

The investigation showed that apart from hoof disinfectants, feed stuffs and feed additives are the main input sources of heavy metals in animal manure. Despite their usually low trace element/heavy metal content, homegrown feed stuffs are the main source of heavy metals (with the exception of copper) in manure on dairy farms due to their widespread use. Pur-

chased supplementary and complete feeds often show higher trace element/heavy metal contents than homegrown feeds. This is because feed stuffs are supplemented with trace elements. However the concentrations of the elements cadmium, chrome, nickel and lead in the mineral feed stuffs analysed indicated that the raw materials for the supplements had already been contaminated with these metals: besides the trace elements copper and zinc, a considerable input level of heavy metals, especially chromium, was determined in the mineral feeds.

Output of heavy metals

The output of heavy metals occurs mainly via the manure. Animal manures from pig production, and also partly from poultry production, show higher concentrations of copper and zinc than manures from cattle production. The highest concentrations of copper, zinc and nickel were determined in slurries from weaners/growers compared to other animal manures. Excrement from poultry production (solid turkey manure) occasionally showed higher levels of chromium compared to manure from cattle production.

Stable balances

The stable balances for different livestock farms with cattle and pig production showed that the output levels of chromium, lead and zinc with animal products and manure exceeded their input levels. This was also the case for nickel and copper in pig production. The cause for this could not be determined. Newer research shows that by the use of mineral bedding, slurry additives or carrier substances for medicine, element inputs enter the stable and then the manure; these inputs can sometimes reach levels comparable to those which originate from feed stuffs.

Individual animal species and their respective farming systems

Dairy production

Purchased feeds were used in varying amounts on the eight dairy farms investigated in addition to the homegrown feeds. The homegrown feeds accounted for about 40 to 75 % of the element inputs of cadmium, chrome, nickel, lead and zinc into the stable (Cd: 71 %, Cr: 49 %, Ni: 61 %, Pb: 76 %, Zn: 39 %). The amount of copper contributed by homegrown feed was only 25 %. The reason for this is that in five farms copper vitriol, a hoof disinfectant, was used which constituted more than 40 % of the copper import. The proportions of the heavy metal import through protein and energy rich purchased feed stuffs were for cadmium, chrome, nickel and lead from 14 to 37 %, for copper from 17 %, and for zinc 35 %. The mineral feed stuffs contained 17% of the total copper and 21 % of the total zinc entering the stable. For the other elements proportions of between 1 and 7 % were determined.

Without the hoof disinfectant, the proportion of the total Cu import into the stable from homegrown feed stuffs was 43 %, and the proportion from energy and protein containing purchased feeds and mineral feeds was 27 - 28 %. Again this emphasises the importance of purchased feed stuffs to the import of Cu and Zn into the stable (Cu: 56 %, Zn: 55 %) as well as that from homegrown feed stuffs.

The balance of the mean imports and exports of heavy metals in the eight dairy sheds investigated during the project showed that the elements chrome, lead and zinc tended to have higher exports than imports. This indicates that not all sources were taken into account.

Pig production

Homegrown feeds were used in addition to purchased feeds on only one of the five pig production farms investigated (farms which kept sows, piglets and/or fattening pigs). The other farms used only purchased feeds - generally compound feeds. A discussion on the different import pathways from homegrown feeds and purchased feeds for pig production is therefore not possible. For the elements considered, purchased feeds constituted more than 90% of the total import into the stable on the farms without homegrown feeds. For cadmium and lead the pathway from other inputs is important, especially via bedding and drinking water (Cd: 25 %, Pb: 31 %).

The results from the above mentioned farm which uses both homegrown and purchased feeds show that a major proportion of the Cu and Zn imports originated from mineral feeds, which were also an important source of import of chromium and, to a lower extent, nickel.

For all elements except for cadmium, higher exports were determined than imports in the balances for the five pig production farms investigated.

Egg production

Two farms were investigated which specialised in egg production and used purchased compound feeds. The balances show a trend of higher imports than exports for chromium, and higher exports than imports for zinc. There was no difference between input and output for the other elements.

Options for reduction

Feed stuffs

In general, livestock feeding is considered to be of great importance to the reduction of heavy metal concentrations in animal manures, and the reduction in the supplementary levels of copper and zinc in feed stuffs is being discussed. The results of the investigations confirmed the importance of feed stuffs to heavy metal inputs in animal manure. There were, however, clear differences in animal species and the structures of the farms. These factors should be considered when the discussed options for reduction are evaluated.

Because feed stuff supplements can be contaminated with significant levels of the metals cadmium, chromium, nickel and lead they also provide opportunities of reducing the import of these elements.

The investigation showed that trace element concentrations in compound feeds for pig and poultry production are in line with the permitted maximum levels for single fed compound feeds (in the daily ration) as stated in the German feed stuffs regulation (2000). By bringing the Cu and Zn dosages closer to the recommendations of scientific societies (Gesellschaft für Ernährungsphysiologie, GFE (Society for nutritional physiology); National Research Council, NRC) clear reductions of the contents of these elements in animal manure would be possible. This circumstance was at least partly acknowledged by the European Commission when the regulation which permits trace elements as feed additives was decided upon in July 2003 (EG 1334/2003).

Model calculations by KTBL have confirmed the reduction potential of decreasing the supplementation of the trace elements copper and zinc in pig production. A decrease in the maximum levels described in the regulation for feed stuffs of copper and zinc for single fed

compound feeds to the levels decided in the above mentioned EC regulation would result in a 31 (Cu) and 40 % reduction (Zn) in the import via feed stuffs on the model farm (piglet rearing and pig fattening). At the same time the results highlight the necessity of including all pathways when evaluating individual options. Because of the importance of the non-feed related imports of cadmium, chromium, nickel and lead, the changing of feeding practices has a much lower potential of reducing the import of these metals than such changes have for copper and zinc.

In cattle production homegrown feed stuffs are primarily used. Therefore the import of heavy metals into the stable via purchased feed stuffs is of lower importance than for pig production. Because of this, however, the possibilities to reduce heavy metals imports via feeding are also limited. Feeding in cattle production should be optimised according to performance because of the high variability in the levels of inherent trace elements in feed stuffs and different requirements during fattening or lactation. The exact supplementation should be optimised according to site and farm specific conditions.

As well as the reduction of the maximum permitted levels of copper and zinc, further measures, e.g. the kind of trace element compounds used (inorganic, organic) or the addition of phytase dependent on the feeding situation, can complement the reduction or even make a further reduction possible.

Further options for reduction

Further possibilities to reduce heavy metal imports into animal manure are offered by other element rich inputs. In cattle production, hoof disinfectants are a strong candidate for mitigation strategies which should focus on the concentration and frequency of their use, the proper disposal of any residues and the development of alternative substances.

Outlook

Within the discussion of heavy metal content in animal manure it should be taken into account that heavy metals cycle within the farm because of homegrown feeds, straw for bedding and animal manure. The turnover within the farm is difficult to control and this is especially relevant to farms with a high level of homegrown feeds. By using high quality roughage and grain-based feed stuffs, the import of heavy metals via purchases of energy and protein rich feeds can be reduced. Evaluations and mitigation strategies need to tackle purchased feed stuffs which are already supplemented with trace elements and other element rich inputs, e. g. other means of disinfecting hooves instead of using copper vitriol.

The substantial reduction of heavy metals in animal production urgently requires a conceptual framework which includes all imports, including those which are not based on agricultural activities.

The results gained from the project presented and the conclusions drawn from them are based on a one-off screening of selected farms and therefore present only an initial description of the situation. The results should be confirmed by further systematic investigations. For a comprehensive yield and transfer of information it is important and urgent to implement monitoring of all heavy metal flows on farms and agricultural enterprises.

1 Einleitung

Die Verwertung von organischen Abfällen und Wirtschaftsdüngern in der Landwirtschaft wird vor dem Hintergrund möglicher Schadstoffbelastungen kritisch diskutiert (NIEDERSÄCHSISCHES UMWELTMINISTERIUM 1999, UMK-AMK-LABO-AG 2000, UBA 2001, VDLUFA 2001, BMU und BMVEL 2002, KTBL 2002 a). Wirtschaftsdünger enthalten neben Haupt- und Spurenelementen auch Schwermetalle (KTBL 2000), wobei Kupfer und Zink sowohl der Gruppe der essentiellen Spurenelemente als auch den Schwermetallen zuzuordnen sind.

Spurenelemente werden in erster Linie dem Futter zugesetzt um eine bedarfsgerechte Versorgung des Tieres sicherzustellen und damit Störungen der Tiergesundheit und Leistungseinbußen zu vermeiden, da die nativen Elementgehalte der eingesetzten Futtermittel nicht immer für eine optimale Versorgung ausreichen (SCHENKEL und FLACHOWSKY 2002). Vom Tier nicht verwertete Spurenelemente werden über die Exkremeante ausgeschieden. Die Ausbringung von schwermetallhaltigen Wirtschaftsdüngern kann langfristig zu einer Anreicherung von Schwermetallen in landwirtschaftlich genutzten Böden führen.

Zur Bilanzierung der Schwermetallflüsse in der Tierhaltung liegen bislang nur wenige Untersuchungen vor. CRÖßMANN (1999) hat den Mengenfluss für Zink und Kupfer in der deutschen Landwirtschaft ermittelt. MOOLENAAR und LEXMOND (1998) haben für verschiedene niederländische Betriebstypen sowohl Hoftor- als auch Feld-Stall-Bilanzen für einzelne Schwermetalle erfasst. In einer Studie von WILCKE und DÖHLER (1995) wurden für landwirtschaftlich genutzte Böden in Deutschland die Haupteintragspfade für Schwermetalle identifiziert und die Ein- und Austräge bilanziert. Diese Bilanzierung ergab einen nicht näher aufschlüsselbaren Eintrag aus dem Bereich Tierproduktion, der insbesondere für die Elemente Kupfer, Nickel und Zink einen bedeutsamen Anteil am Gesamteintrag ausmacht. Auf Basis der bis dahin verfügbaren Daten wurde von WILCKE und DÖHLER (1995) errechnet, dass im bundesweiten Mittel über Wirtschaftsdünger mehr als 45 % des Zinks, 70 % des Kupfers und 40 % des Nickels auf die landwirtschaftliche Nutzfläche gelangen. Bei der Bilanzierung der Schwermetallflüsse zeigte sich, dass zwar die Ausgangsgehalte in den Futtermitteln und die Gehalte in den Wirtschaftsdüngern dokumentiert sind, die Schwermetallgehalte in den Wirtschaftsdüngern allerdings nicht allein mit den Gehalten in den Futtermitteln erklärbar sind. Diese Diskrepanz wurde mit einer unsicheren Datenlage bzw. zusätzlichen Einträgen an Schwermetallen in den Stall begründet.

Zur Klärung offener Fragen hat das Umweltbundesamt ein Forschungsprojekt gefördert mit dem Ziel, die Eintragspfade von Schwermetallen in Tierproduktionsbetriebe (System Stall) genauer zu identifizieren und deren Anteile zu quantifizieren. Daraus folgend sollten Handlungsoptionen zur Minderung des Schwermetalleintrags in Wirtschaftsdünger tierischer Herkunft beschrieben und deren Effektivität bewertet werden.

Auf der Basis einer Literaturrecherche zum Stand des Wissens zu Schwermetallen in der Landwirtschaft sollten in mehreren Regionen der Bundesrepublik Deutschland Erhebungen durchgeführt werden, um die Ursachen von Schwermetalleinträgen in Wirtschaftsdünger darzustellen. Für die Praxisuntersuchungen wurden insgesamt 20 Tierproduktionsbetriebe, davon ein ökologisch wirtschaftender Betrieb, ausgewählt. Es wurden Betriebe mit Milchviehhaltung, Bullenmast, Sauen- und Mastschweinehaltung sowie Geflügelhaltung einbezogen und unterschiedliche Haltungsverfahren berücksichtigt.

Die Praxisuntersuchungen wurden vom Institut für Pflanzenernährung (IPE) der Universität Bonn, dem Lehrstuhl für Bodenkunde und Bodengeographie der Universität Bayreuth sowie der Landwirtschaftlichen Untersuchungs- und Forschungsanstalt (LUFA) Oldenburg vorgenommen. Das Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (KTBL), Darmstadt, war mit der Koordination des Gesamtvorhabens betraut. Die Untersuchungen wurden von einer mit Fachleuten aus der Pflanzenproduktion, der Tierernährung und -haltung sowie Boden- und Umweltschutz besetzten Arbeitsgruppe begleitet. Dabei war es Aufgabe der Arbeitsgruppe, die Praxisuntersuchungen zu begleiten und die im Rahmen des Projektes erarbeiteten Vorschläge für Minderungsmaßnahmen zu bewerten sowie Empfehlungen zur Umsetzung dieser Maßnahmenvorschläge in die Praxis zu entwickeln.

Im Mittelpunkt der Betrachtungen standen sowohl die in der Tierernährung eingesetzten essentiellen Elemente Kupfer (Cu) und Zink (Zn) als auch die Elemente Blei (Pb), Cadmium (Cd), Chrom (Cr) und Nickel (Ni), da diese bereits Gegenstand rechtlicher Regelungen sind (Klärschlamm-, Bioabfall- und Bundesbodenschutz- und Altlastenverordnung). Weiterhin wurden einzelne Mengenelemente (C, N, S) untersucht, um die Plausibilität der Massenströme zu prüfen, sowie in einigen Untersuchungen auch die Elemente Arsen (As) und Quecksilber (Hg) mit einbezogen.

Bezugssystem für die Bilanzierung war der Stall, nicht der gesamte Betrieb. Durch Quantifizierung der Schwermetalleinträge aus unterschiedlichen Quellen sollten deren Anteile am Gesamteintrag bestimmt werden. Bei der Bilanzierung wurden die Einträge an Schwermetallen über Futtermittel und sonstige Betriebsmittel den Austrägen über Wirtschaftsdünger und tierische Erzeugnisse gegenübergestellt (Abb. 1-1) und der Bilanzsaldo errechnet.

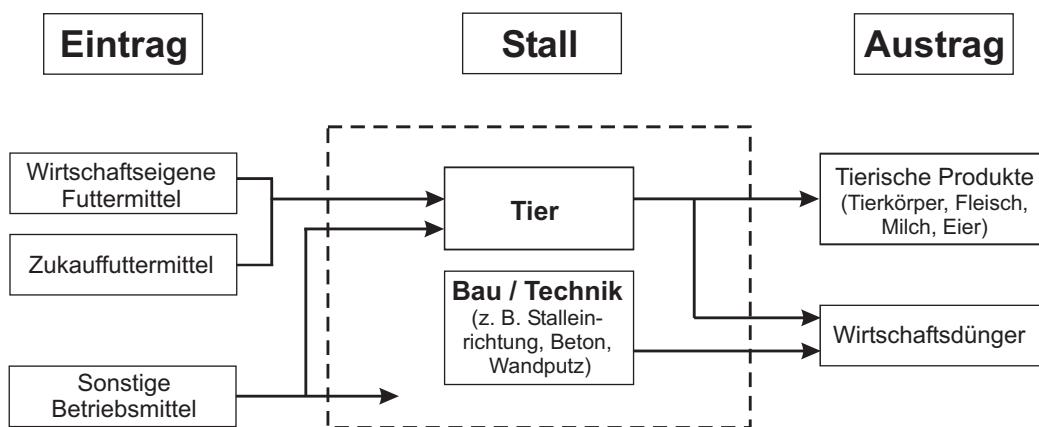


Abb. 1-1: Schematische Darstellung der im Vorhaben betrachteten Massenströme

Der vorliegende Bericht wurde gemeinschaftlich von den am Projekt beteiligten Einrichtungen erstellt. Der Einleitung folgt in Kapitel 2 die Darstellung der Untersuchungsmethodik, die zwischen den beteiligten Institutionen als Standard definiert worden war. Anschließend werden die Ergebnisse getrennt nach Untersuchungsregion dargestellt, für das Rheinland und das Bergische Land (Universität Bonn, Kap. 3), für Südhüringen und Oberfranken (Universität Bayreuth, Kap. 4) sowie für das Gebiet Weser-Ems (LUFA Oldenburg, Kap. 5). Im Verlauf des Projektes ergab sich die Notwendigkeit, bisher unzureichend beachtete Eintragspfa-

de für Schwermetalle in den Stall, wie Korrosion der Stalleinrichtung, Abrieb von verputzten Stallwänden und –böden etc., genauer zu untersuchen. Die hierbei erzielten Ergebnisse werden in Kapitel 6 dargestellt. Im Hinblick auf den besonders bedeutsamen Eintragspfad Futtermittel wurden Ursachen der Belastung und Minderungsmöglichkeiten gesondert analysiert, u. a. auch in einem vom Ktbl zu dieser Thematik organisierten und vom UBA finanzierten Workshop (Kap. 7). Die Ergebnisse der einzelnen Teilprojekte werden in Kapitel 8 zusammengefasst und im internationalen Vergleich diskutiert (Kap. 10). In Zusammenschau mit den Ergebnissen sowie den Analysen der Kapitel 6 und 7 erfolgt eine auf den Ergebnissen des Gesamtprojektes basierende Erarbeitung von Minderungsmaßnahmen und Handlungserfordernissen (Kap. 9). In Kapitel 11 werden die Schlussfolgerungen für das Gesamtprojekt genannt.

Mit diesem Forschungsvorhaben wurden erstmalig in Deutschland detaillierte Untersuchungen zu Ein- und Austragspfaden für Schwermetalle auf landwirtschaftlichen Betrieben durchgeführt, die allerdings nicht zwingend eine repräsentative Aussage für die gesamte Tierhaltung in Deutschland erlauben. Ziel war es, zunächst ein möglichst breites Spektrum an konventionell wirtschaftenden Betrieben einzubeziehen und einen Einblick zu Schwermetallströmen in Praxisbetrieben zu gewinnen.

2 Material und Methoden

2.1 Betriebsauswahl

Im Rahmen des Projektes wurden auf 20 Praxisbetrieben Untersuchungen zu Schwermetallgehalten verschiedener Futtermittel, sonstiger Betriebsmittel und von Wirtschaftsdüngern sowie zur Erfassung von Massenströmen durchgeführt. Es wurden Futterbaubetriebe mit Milchviehhaltung und Bullenmast sowie Veredelungsbetriebe mit Schweine- und Geflügelhaltung einbezogen. Der Schwerpunkt der Untersuchungen lag auf Betrieben mit Rinderhaltung, da diese die größte Bedeutung (Anzahl der Betriebe, Viehbestand (GV)) in Deutschland haben (STATISTISCHES BUNDESAMT 2000). Darüber hinaus wurden unterschiedliche Betriebsgrößen und verschiedene Haltungsverfahren berücksichtigt, um den potenziellen Einfluss dieser Faktoren zu erfassen. Weiterhin sollten repräsentative Betriebe in verschiedenen Regionen Deutschlands ausgewählt werden. Im Hinblick auf eine Kostenoptimierung wurden die Schwermetalluntersuchungen auf bereits ausgewählten Betrieben des Projektes "Schwermetallbilanzen bei verschiedenen landwirtschaftlichen Betriebstypen in Nordrhein-Westfalen", finanziert vom Nordrhein-Westfälischen Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz, weitergeführt.

Tabelle 2-1 gibt eine Übersicht der untersuchten Betriebe im Teilprojekt Bonn, weitere Informationen zu den Betrieben sind dem Betriebsspiegel zu entnehmen (Anhangtab. 2-1, 2-2).

Tab. 2-1: Betriebsauswahl der Universität Bonn, Institut für Pflanzenernährung (IPE)

Betriebsnr. und -typ	Tierbestand	Futtergrundlage	Aufstellung	Material der Stalleinrichtung
1 Futterbau	Milchkühe (184) mit Nachzucht	Ackerfutter + Grünland	Boxenlaufstall, Spalten	Beton, Boxenabtrennung: verzinkter Stahl
2 Futterbau	Milchkühe (34) mit Nachzucht	Ackerfutter + Grünland	Boxenlaufstall, planbefestigt (Mist/Jauche)	Beton, Boxenabtrennung: verzinkter Stahl
3 Futterbau	Milchkühe (57) mit Nachzucht	Grünland	Boxenlaufstall, Spalten	Beton, Boxenabtrennung: verzinkter Stahl
4 Futterbau	Mastbulle (270)	Ackerfutter	Laufstall, Vollspalten	Beton, gestrichene Abtrennungen (Eisenrohre)
5 Futterbau	Mutterkühe (103)	Grünland	1 Laufstall mit Tretmist/ 1 Laufstall mit Vollspalten	Beton, gestrichene Abtrennungen
6 Veredelung	Sauen (133) + Ferkel, Mastschweine (20)	Mischfutter	Teilspalten	Beton, Aufstellung: verzinkte Stahlteile
7 Veredelung	Sauen (70), Mastschweine (360)	Eigenes Getreide	planbefestigte Betonböden (Tretmist/Jauche) Endmast: Offenstall	Beton, Aufstellung: verzinkte Stahlteile
8 Veredelung	Mastschweine (470)	Mischfutter	Teil- und Vollspalten	Beton
9 Veredelung	Mastputen (20800)	Mischfutter	Bodenhaltung	Planbefestigte Betonböden

grau unterlegte Zeilen: auf diesen Betrieben wurde keine Stallbilanz erstellt; vorliegende Analysenergebnisse gehen in die Gesamtauswertung und in die Modellrechnungen ein

Bei Betrieb 2 handelt es sich um einen ökologischen wirtschaftenden Betrieb, die übrigen weisen konventionelle Wirtschaftsweise auf; es war allerdings nicht Ziel dieses Projektes, einen systematischen Vergleich zwischen ökologisch und konventionell bewirtschafteten Betrieben vorzunehmen.

Die Futterbaubetriebe unterscheiden sich weiterhin durch die Betriebsgröße (LF), die Herdengröße (Anzahl der Milchkühe), die Leistungsparameter und die Aufstellung (Fest- und Flüssigmistverfahren, Ganzjahresstallhaltung, Sommerweide). Die Veredelungsbetriebe mit Schweinehaltung weisen Unterschiede in der Fütterung (Zukauf, Eigenmischung) und bei der Aufstellung (Fest- und Flüssigmistverfahren) auf. Für die Betriebe 5, 8 und 9 konnten aufgrund unzureichender Datenlage (vgl. Kap. 3.2, 3.4 und 3.5) keine Schwermetallströme erfasst und somit auch keine Stallbilanzen erstellt werden. Es liegen allerdings umfangreiche Analysenergebnisse vor, die in die Gesamtauswertung (Kap. 8) und in die Modellrechnungen eingehen (Kap. 9.3).

Für die Untersuchungen im Teilprojekt Bayreuth wurden vier Milchviehbetriebe mit unterschiedlicher Aufstellung sowie Betriebs- und Herdengröße ausgewählt (Tab. 2-2, Anhangtab. 2-3). Dabei wurden gezielt Betriebe ausgesucht, deren Sommer- und Winterfütterung sich nicht unterschied, was eine gute Erfassung der Massenflüsse ermöglichte. Darüber hinaus sollte die Futtergrundlage bei allen Betrieben aus Silage bestehen, um eine möglichst genaue Erfassung der Massenströme vornehmen zu können. Die Gülle der Milchkühe konnte getrennt von den Wirtschaftsdüngern aus anderen Betriebszweigen (Bullenmast, Kälberaufzucht) aufgefangen werden, dadurch konnten spezifische Stallbilanzen berechnet werden.

Tab. 2-2: Betriebsauswahl der Universität Bayreuth

Betriebsnr. und -typ	Tierbestand	Futtergrundlage	Aufstellung	Material der Stalleinrichtung
1 Futterbau	Milchkühe (60) mit Nachzucht	Silage, Getreide, Mischfuttermittel	Boxenlaufstall, Spalten	Beton, verzinkte Stahlteile
2 Futterbau	Milchkühe (40) mit Nachzucht	Silage, Getreide, Mischfuttermittel	Anbindestall, Gitterroste	Beton, verzinkte Stahlteile
3 Futterbau	Milchkühe (600) mit Nachzucht	Silage, Getreide, Mischfuttermittel	Boxenlaufstall, Spalten	Beton, verzinkte Stahlteile
4 Futterbau	Milchkühe (2000) mit Nachzucht	Silage, Getreide, Mischfuttermittel	Boxenlaufstall, Spalten	Beton, verzinkte Stahlteile

Tabelle 2-3 gibt einen Überblick über die von der LUFA Oldenburg untersuchten Betriebe; weitere Informationen sind dem Betriebsspiegel zu entnehmen (Anhangtab. 2-4 bis 2-6). Es wurden ein Betrieb mit Milchviehhaltung, Schweinezucht- und Schweinemastbetriebe sowie Betriebe mit Geflügelhaltung ausgewählt. Aufgrund unzureichend vorliegender Daten für die Erfassung der Massenflüsse (vgl. Kap. 5.5) konnten für die Betriebe 4b, 5a, und 5b keine Stallbilanzen erstellt werden. Die vorliegenden Analysenergebnisse gehen in die Gesamtauswertung (Kap. 8) und in die Modellrechnungen ein (Kap. 9.3).

Tab. 2-3: Betriebsauswahl der LUFA Oldenburg

Betriebsnr. und -typ	Tierbestand	Futtergrundlage	Aufstellung	Material der Stalleinrichtung
1 Futterbau	Milchkühe (85)	Grassilage + Kraftfutter	Boxenlaufstall; Sommer: Weide	Beton, verzinkte Stahlteile, Kunststoff
2 Veredelung	Mastschweine (340)	Hofmischung und Mischfutter	350 Mastplätze Vollspalten	Beton, Stahlrohre, Kunststoff
3 Veredelung	Mastschweine (410)	Mischfutter	410 Mastplätze Vollspalten	Beton, Edelstahl, Kunststoff
4a Veredelung	Sauen (216)+ Ferkel	Mischfutter	Spaltenboden	Beton, Edelstahl, Kunststoff
4b Veredelung	Ferkelaufzucht (9 - 28 kg LG)	Mischfutter	Spaltenboden	Beton, Edelstahl, Kunststoff
5a Veredelung	Masthähnchen	Mischfutter	Bodenhaltung	Betonboden, Metall, Kunststoff
5b Veredelung	Mastputen	Mischfutter	Bodenhaltung	Betonboden, Metall, Kunststoff
6 Veredelung	Legehennen (ca. 80000)	Mischfutter	Käfigbatterien	Zink, Kunststoff, Stahl
7 Veredelung	Legehennen (ca. 32000)	Mischfutter	Käfigbatterien	Zink, Kunststoff, Stahl

grau unterlegte Zeilen: auf diesen Betrieben wurde keine Stallbilanz erstellt; vorliegende Analysenergebnisse gehen in die Gesamtauswertung und in die Modellrechnungen ein

2.2 Probenahme

2.2.1 Stalleinträge und -austräge

Die Probenahme erfolgte auf allen Betrieben in Zusammenarbeit mit dem Betriebsleiter und richtete sich nach der jeweiligen Verfügbarkeit der einzelnen Betriebsmittel und Erzeugnisse. Somit konnten nicht zu allen Probenahmeterminen von allen Produkten Proben gezogen werden. Die Anzahl der entnommenen Einzelproben und die Probenahmemenge (Mindestmenge der Sammel- und Endproben) erfolgte unter Beachtung der amtlichen Probenahmeverordnung; die Bestimmungen sind je nach Art des Futtermittels bzw. Wirtschaftsdüngers unterschiedlich. Die gesetzlich vorgeschriebenen Grundregeln für Einzel- und Mischfuttermittel sind im Futtermittelrecht zusammengestellt (SÜLFLOHN 2000). Im Teilprojekt Oldenburg wurde ein Teil der Datenerhebungen und Beprobungen durch die Betriebsleiter vorgenommen.

Im Teilprojekt Bayreuth wurden im Sommer 2000 auf jedem Betrieb zu drei Terminen (Erfassung der zeitlichen Variation) von jedem Massenstrom drei Proben (Erfassung der räumlichen Variation) entnommen. Die Proben der letzten beiden Probenahmetermine wurden für die Analyse zu jeweils einer Mischprobe vereinigt, so dass von jedem Stoffstrom insgesamt fünf Proben vorlagen.

Die Beprobung der Futtermittel und sonstiger Betriebsmittel, die als Eintrag in den Stall berücksichtigt wurden, zeigt Tabelle 2-4, die Probenahme der Wirtschaftsdünger und tierischen Erzeugnisse ist in Tabelle 2-5 dokumentiert.

Tab. 2-4: Beprobung einzelner Futtermittel und sonstiger Betriebsmittel (Eintrag in den Stall)

Futtermittel, sonstige Betriebsmittel	Bonn	Bayreuth	Oldenburg
Silage	An zwei fiktiven Diagonalen entlang der Anschnittsfächen (Fahr- und Behelfsilos, Randbereiche ausgenommen) wurden je sechs bis acht Proben aus ca. 10 cm Tiefe gezogen, gemischt und mindestens zwei Endproben von ca. 0,5-1 kg entnommen. Lagerung in einer Kühlbox, um Trockensubstanzverluste durch Nachgärung auszuschließen	Je nach Lagerungsart (Schüttgut, Sackware oder Ballengebinde) wurden Proben aus möglichst großer räumlichen Verteilung (Oberfläche ausgenommen) gezogen und zu je mindestens einer Mischprobe vereinigt; Endprobenvolumen: etwa 0,5 bis 1 kg	direkte Beprobung der Fahr- und Behelfsilos und Entnahme von Mischproben aus den im den Stall transportierten Silageblöcken Beprobung Silos: an mehreren Stellen von oben nach unten Kernbohrungen (zylinderförmiges Silagenprobennahmegerät); Probenmaterial aus dem Bohrzyylinder wurde durchmischt und Endprobe für Analyse entnommen, Probenvolumen: 1 bis 2 kg
Heu, Einstreu, Zukauffuttermittel	Entnahme aus Wasserröhnen im Stallbereich; Vorlauf wurde verworfen; Endprobenvolumen: je 250 ml		
Wasser			

Tab. 2-5: Beprobung von Wirtschaftsdüngern und tierischen Erzeugnissen (Milch; Tierkörper: vgl. Kap. 2.3), (Auftrag aus dem Stall)

Wirtschaftsdünger, tierische Erzeugnisse	Bonn	Bayreuth	Oldenburg
Festmist	Beprobung der Stapelmisthaufen an mind. 15 verschiedenen Stellen aus ca. 20-30 cm Tiefe und Zusammenfassung zu je 3 Mischproben Stall: an je fünf Stellen pro Stallabteil (einzelne Haltungsgruppen) Einzelproben gezogen und jeweils zu einer Mischprobe vereinigt. Tiefstrestall: Probenahme aus 10-20 cm Tiefe Tretmiststall: Beprobung von der Bodenfläche Endprobe: 1-1,5 kg	kein Festmist in der Milchviehherde	Hähnchen- und Putenmiststall (Betriebe 5a, b): direkt aus einzelnen Stallabteilen an 8 Beprobungspunkten; aufgrund inhomogener Verteilung von Kot und Strohschichten wurde für die Probenahme ein Zylinder (Φ 25 cm) verwendet, auf die 4 bis 5 cm dicke Mistsschicht gelegt und an 10 über die Stallfläche verteilten Stellen der Mist nach unten hin herausgeschnitten. Hühnertrockenkot: Betrieb 6: Probenahme bei Entleerung der Kothalle aus unterschiedlichen Tiefen Betrieb 7: direkt von den Kotbändern während des Abtransports
Gülle, Jauche	Beprobung direkt aus Lagerraum oder Tankwagen; Gülle wurde zuvor homogenisiert; Gülle wurde zuvor homogenisiert; Gülle wurde zuvor homogenisiert; mindestens fünf Einzelproben wurden zu je einer Mischprobe vereinigt; Endprobenvolumen: jeweils 250 ml. Bei Lagerung der Gülle unterhalb von Spaltenböden ist vorherige Homogenisierung vielfach schwierig. Im Hinblick auf eine möglichst repräsentative Probenahme wurden jeweils beim Entleeren Proben am Anfang, in der Mitte und am Ende der Entleerung entnommen.		
Milch	Aufröhren und Entnahme im Milchtank bzw. Auslasshahn (Vorlauf wurde verworfen); Probe wurde direkt gekült; Probenvolumen: 250 ml		

2.2.2 Erfassung von Einträgen in Wirtschaftsdünger außerhalb des Stalls

Teilprojekt Bayreuth

In allen Betrieben wurden zusätzlich Schwermetalleinträge über den Niederschlag in die Gülle während deren Lagerung mit jeweils drei Niederschlagssammlern erfasst. Eine Entleerung fand an jedem der drei Probenahmetermine statt. Die Proben der drei Sammler des zweiten und dritten Beprobungstermins wurden zu einer Mischprobe vereint.

Zusätzlich wurde eine Probe vom Schutzanstrich des Güllebehälters von Betrieb 3 entnommen, um den Schwermetalleintrag durch den Anstrich zu erfassen (vgl. Kap. 6).

2.3 Ermittlung der Massenflüsse

Die Ermittlung der Massenflüsse musste den auf den einzelnen Betrieben vorliegenden Bedingungen angepasst werden, die auch bei der Ergebnisdarstellung erläutert werden (vgl. Kap. 3, 4, 5). Bei den zugekauften Produktionsmitteln konnte auf im Betrieb vorhandene Belege (Daten) zurückgegriffen werden, andere wurden direkt vor Ort erhoben. Somit beruhen die Ergebnisse auf Buchführungsergebnissen, Mitteilungen der Betriebsleiter und eigenen Mengenermittlungen bzw. -schätzungen.

Futtermittel

Der Ermittlung der wirtschaftseigenen Futtermengen liegen zum einen Ertragsschätzungen zugrunde, in die Parameter wie Standort, Düngungsniveau, Artenzusammensetzung und Narbendichte einfließen; diese wurden im Teilprojekt Bonn in Zusammenarbeit mit der Landwirtschaftskammer Rheinland durchgeführt. Zum anderen wurden vergleichend Aufmaße der wirtschaftseigenen Futtermittel (bzw. Kubikmeterangaben) genommen und diese mit Lagerungsdichten (Literaturwerte bzw. eigene Bestimmung durch fünfmalige Probenahme mit Hilfe eines Stechzylinders (Rauminhalt 0,3 dm³)) fakturiert. Anhand der Futterverwertung bzw. des Futterbedarfs wurden Plausibilitätskontrollen durchgeführt. Im Teilprojekt Oldenburg wurde die Silagemenge aus der bei der Anfuhr exakt gewogenen Grasmenge abzüglich eines Silerverlustes von 5 % ermittelt. Der aus dem Stall herausbeförderte Futterrest wurde gewogen. Die selbstgemischten Futtermengen (Veredelungsbetriebe) wurden i. d. R. über das Volumen und stichprobenartige Wägungen ermittelt.

Wasser

Die eingesetzten Wassermengen zur Tränke wurden nach PALLAUF (1993) geschätzt bzw. über Wasseruhren erfasst und durch Angaben der Landwirte für den Bedarf an Reinigungswasser ergänzt.

Tierkörper

Für die Berücksichtigung der Schwermetallgehalte im Tierkörper wurden Literaturangaben sowie eigene Analysen herangezogen (vgl. Kap. 2.6.1). Auf den Betrieben mit Milchviehhaltung wurde der Bestand vor und nach der Bilanzierungsperiode erfasst. Auf den Betrieben mit Ferkelaufzucht konnten Anzahl und Gewicht der Ferkel genau ermittelt werden; die Remontierung der Sauen wurde ebenfalls berücksichtigt. Für die Mastschweinebetriebe basieren die Verkaufsgewichte auf exakten Wägungen. Den Einstallgewichten liegen entweder exakte Wägungen zugrunde oder stichprobenartige Wägungen, die hochgerechnet wurden.

Für die Legehennenbetriebe konnten alle Massen für Lebendzuwachs, Eier, Futterverbrauch und Wasser aufgrund der in den Betrieben vorhandenen Daten exakt ermittelt werden.

Wirtschaftsdünger

Für die Wirtschaftsdünger erfolgten im Teilprojekt Bonn und auf den milchvieh- und schweinnehaltenden Betrieben des Teilprojekts Oldenburg Zählungen der gefahrenen Frachten und Fakturierung derselben mit den jeweiligen durchschnittlichen Beladungen der Ausbringungsfahrzeuge (Miststreuer und Gülletankwagen). Die daraus gewonnenen Ergebnisse wurden Plausibilitätskontrollen unterzogen (vgl. RUTZMOSER und PERETZKI 1997). Zudem wurde der Fassinhalt (Gülle) stichprobenweise durch Wägung ermittelt. Sofern erforderlich, wurde zur Ermittlung der Güllemenge die Höhe des Flüssigkeitstands in den Kanälen gemessen. Bei bekannter Grundfläche der Güllekanäle lässt sich das Güllevolumen errechnen.

Im Teilprojekt Bayreuth fand die Bestimmung der anfallenden Güllemengen bei den Betrieben 1 und 2 per Pegelmessung in den Güllelagern statt. Hierzu wurde über einen längeren Zeitraum, in dem es zu keiner Entnahme von Gülle aus den Behältern kam, der Pegelstand gemessen. Aus dem mittleren Anstieg und der Grundfläche des Behälters konnte die Volumenzunahme pro Zeiteinheit berechnet werden. Das jährliche Volumen wurde aus dem Messzeitraum von 47 (Betrieb 1) bzw. 42 (Betrieb 2) Tagen linear extrapoliert. Die Betriebe 3 und 4 konnten die jährlich anfallende Güllemenge aufgrund der dort üblichen Aufzeichnungen über die Gülletransporte (in Kubikmetern) angeben. Zur Ermittlung der Massen wurde die Dichte der Gülle bestimmt.

Im Teilprojekt Oldenburg wurde bei den Legehennenbetrieben der Kotanfall exakt ermittelt (Betrieb 7), da dieser in wöchentlichen Intervallen direkt von den Kotbändern auf Transportfahrzeuge geladen und nach einer Massenermittlung (Wiegen) abgefahren wurde. Für Betrieb 6 erfolgte eine Abschätzung der angefallenen Kotmenge auf der Basis von Erfahrungswerten und Plausibilitätsuntersuchungen unter Heranziehung von Bilanzansätzen bei den Hauptnährstoffen.

2.4 Probenaufarbeitung und Analyse

Teilprojekt Bonn

Die Proben mit Trockensubstanzanteil wurden bis zur Gewichtskonstanz getrocknet und die Trockensubstanz gravimetrisch ermittelt. Anschließend wurden die Proben mit einer Scheibenschwingmühle der Firma SIEB-TECHNIK mit schwermetallabriebfreiem Vidia-Stahl gemahlen.

Die Proben wurden mit Salpetersäure (65 % p. a.) unter Druck in Autoklaven der Firma Lotfield aufgeschlossen. Für jede Probe wurden zwei Aufschlüsse angefertigt, so dass eine Doppelbestimmung je Probe erfolgte. Die Lösung wurde über aschefreie Rundfilter (Macherey-Nagel 640 M) filtriert und das Filtrat einer Schwermetallmessung durch Atomabsorptionspektrometer (AAS) unterzogen. Cadmium, Chrom, Nickel und Blei wurden am Graphitrohr mit dem Gerät Perkin-Elmer/3030 (Zeemann und Standardaddition), Kupfer und Zink mit dem Gerät Perkin-Elmer/1100 B in der Flamme gemessen. Die Nachweisgrenzen sind in Anhangtabelle 2-7 und 2-8 aufgeführt.

Die Wasser- und Milchproben wurden nicht getrocknet, sondern lediglich mit Salpetersäure versetzt, anschließend aufgeschlossen und analysiert.

Teilprojekt Bayreuth

Alle Labormaterialien, die mit den Proben in Berührung kamen, wurden vor Verwendung in einem HNO_3 -Bad (10 %, technisch) für mindestens 12 Stunden konditioniert. Feste, überwiegend organische Proben wurden im Trockenschrank bei 105 °C bis zur Gewichtskonstanz getrocknet und der Wassergehalt gravimetrisch bestimmt. Danach wurden die Festproben mit einer Kugelmühle (Retsch PM 4) in Achatbechern zerkleinert. Bei den Proben von Antibiotika und Salben entfiel das Mahlen. Für die Bestimmung der Schwermetallkonzentration wurde jede Probe in zwei Parallelen mit Salpetersäure versetzt und unter Druck aufgeschlossen (170 °C für 8 h).

Die Bestimmung der Cd-, Cr-, Cu-, Ni- und Pb-Konzentrationen in den Extrakten erfolgte mit Hilfe eines Atomabsorptionsspektrometers (Varian SpectrAA 400Z) mit Graphitrohrofen. Als Modifier diente für alle Schwermetalle eine Ammonium-Phosphat-Lösung (5 mg l^{-1}); als Schutzgas wurde Argon verwendet. Zur Messung der Cu-Konzentrationen in Extraktionslösungen mit mehr als 1 $\mu\text{g Cu l}^{-1}$ und der Zn-Konzentrationen in allen Proben kam ein Flammen-Atomabsorptionsspektrometer (Varian SpectrAA 400) zum Einsatz (Nachweisgrenzen in Anhangtab. 2-7, 2-8). Für beide Elemente wurden die Bestimmungen mit einem Luft-Acetylen-Gemisch als Brenngas unter Verwendung von Cäsiumchlorid (50 % p. a.) zur Unterbindung der Ionisierung durchgeführt. Bei beiden Geräten wurden die Standards aus 1 M Titrisol-Lösungen des jeweiligen Schwermetalls durch Verdünnung mit 5 M HNO_3 (p. a.) hergestellt.

Die Milchproben wurden bis zur Gewichtskonstanz im Vakuum gefriergetrocknet (Edwards Dryer Super Modulyo; 0,2 atm; -35 °C) und der Wassergehalt gravimetrisch bestimmt. Die weitere Aufarbeitung erfolgte analog o. g. Beschreibung. Die Wasser- und Niederschlagsproben wurden zur Schwermetallbestimmung direkt über Faltenfilter in Szintillationsrörchen überführt.

Zur Bestimmung der C-, N- und S-Gehalte wurden etwa 20 mg der gemahlenen Probe in Aluminiumschiffchen eingewogen. Nach Zugabe von circa 20 mg Wolfram(VI)-Oxid (p. a.) wurden die Aluminiumschiffchen zu einer Kugel geformt. Die C-, N-, und S-Gehalte der Proben wurden mit einem C/N/S-Analyser (Vario elementar Analysesysteme) bestimmt. Als Standards wurden Sulfanilsäure (p. a.) und Acetanilid (p. a.) verwendet.

Zur Überprüfung der Analysemethoden wurde wie folgt verfahren: Die Bestimmung der Schwermetallgehalte erfolgte in zwei (Graphitrohr-AAS) beziehungsweise drei (Flammen-AAS) Messwiederholungen. Eine Messung wurde erneut durchgeführt, wenn die Abweichung der Schwermetallkonzentrationen zwischen den ersten beiden Messwiederholungen größer als 10 % war. Nach 15 Messungen wurde ein Aufstockungstest durchgeführt, um die Einflüsse der Matrix auf die Messungen zu prüfen.

Teilprojekt Oldenburg

Die LUFA arbeitet nach Verfahren des VDLUFA-Methodenbuches bzw. DIN-Normen. Das Institut ist mit seinem Futtermittellabor und Düngemittellabor akkreditiert als Prüflabor nach EN 45000 ff. Zur Schwermetallbestimmung wurden die Proben im Druckaufschlussverfahren mit Salpetersäure aufgeschlossen. Die Messung erfolgte bei Kupfer, Zink, Blei, Cadmium, Chrom und Nickel mittels ICP/OES. Die Bestimmung von Quecksilber (vgl. Kap. 2.5) erfolgte mittels FIMS, einem speziellen AAS für Quecksilber. Arsen wurde mittels AAS/Graphitrohr bestimmt. Bei Wasserproben ging der Messung ein Aufschluss mit Salpetersäure gemäß

DIN 38406-E6 voraus. Die angewandten Verfahren erreichen die in Anhangtabelle 2-7 und 2-8 aufgeführten Nachweisgrenzen.

2.5 Überprüfung der Aufbereitungs- und Analysemethoden

2.5.1 Ringuntersuchung

Um die Vergleichbarkeit der Schwermetallanalytik zwischen den am Gesamtprojekt beteiligten Instituten zu prüfen, wurde eine Ringuntersuchung durchgeführt. Alle Projektpartner schlossen fünf bereits gemahlene Proben (Futtermittel, Gülle) der Universität Bonn mit der o. g. Methodik auf und bestimmten anschließend die Schwermetallgehalte mit einem Atomabsorptionsspektrometer.

Die Variationskoeffizienten zwischen den Messwiederholungen betrugen zwischen 3-6 % (Oldenburg) und 2-7 % (Bonn). Tabelle 2-6 zeigt die Mittelwerte, die Einzelergebnisse sind Anhangtabelle 2-9 zu entnehmen. Bei einzelnen Messwerten traten deutliche Unterschiede auf, die sich jedoch nicht systematisieren ließen. Die Übereinstimmung zwischen den Labors entspricht den Erfahrungen aus anderen Ringuntersuchungen mit Spurenelementen, d. h. die Standardabweichungen liegen zwischen unter 10 % bis über 50 % der Mittelwerte (vgl. SAUERBECK und LÜBBEN 1991 a). Es gab keine systematischen Unterschiede zwischen den Labors. Ein Ausreißertest kann bei nur 3 am Ringversuch beteiligten Labors nicht sinnvoll durchgeführt werden.

Tab. 2-6: Ergebnisse der Ringuntersuchung zur Überprüfung der Schwermetallanalytik; Mittelwert aller beteiligten Einrichtungen

Probe	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
	mg kg ⁻¹ TM					
Kälbermist 1/37	0,27 ± 0,03	2,7 ± 0,75	24 ± 13	2,8 ± 0,80	2,8 ± 0,27	86 ± 13
Kälbermist 2	0,20 ± 0,03	1,4 ± 0,24	19 ± 6,0	2,2 ± 0,75	1,6 ± 0,15	89 ± 15
Bullengülle 17	0,35 ± 0,04	4,0 ± 0,62	78 ± 11	5,8 ± 3,4	5,0 ± 1,0	390 ± 49
Rüben	0,19 ± 0,02	0,55 ± 0,23	4,5 ± 0,14	1,5 ± 1,1	0,48 ± 0,13	23 ± 3,2
Ergänzungsf. Milchkühe (Milchleistungsfutter)	0,04 ± 0,01	1,5 ± 0,29	25 ± 6,0	1,8 ± 0,67	0,52 ± 0,07	120 ± 7,8

± Standardabweichung

2.5.2 Referenzmaterial

Im Teilprojekt Bayreuth sind die Aufbereitungs- und Analysemethoden zusätzlich zur Ringuntersuchung mit Hilfe einer zertifizierten Referenzprobe (Rye Grass, EUROPEAN COMISSION 1995) überprüft worden. Cadmium ist das einzige Element, dessen gemessener Gehalt in der Pflanze vom Referenzwert signifikant abweicht (Anhangtab. 2-10, Anhangabb. 2-1).

2.6 Sonstige Untersuchungen

2.6.1 Schwermetallgehalte der Tierkörper

Die in die Bilanzen eingehenden Schwermetallgehalte für die Tierkörper (Tab. 2-7) wurden aus Literaturangaben (VEMMER und PETERSEN 1977, 1979, 1980, SCHEUNERT und TRAUTMANN 1987, FIEDLER und RÖSLER 1993, HECHT und KUMPULAINEN 1995, HONIKEL 1995, 2000, HECHT 1997, KIRCHGESSNER 1997, BELLOF et al. 1999, ALONSO et al. 2000 a, b, SOUCI et al. 2002) sowie eigenen Analysen gemittelt (s. u.). Die in der Literatur vorhandenen Schwermetallgehalte von Milchkühen und Mastschweinen bezogen sich auf unterschiedliche Körperteile. Den Berechnungen wurde daher in Abstimmung mit der Bundesanstalt für Fleischforschung, Kulmbach, eine durchschnittliche prozentuale Massenverteilung zugrunde gelegt (AUGUSTINI 2000, FISCHER 2002). Sofern für einzelne Körperteile mehrere Literaturangaben für ein Schwermetall vorlagen, wurde aus diesen ein Mittelwert gebildet und aus den verschiedenen Mittelwerten die Gesamtgehalte an Schwermetallen im Tierkörper massengewichtet extrapoliert.

Tab. 2-7: Schwermetallgehalte für Tierkörper (massengewichteter Mittelwert aus Literaturangaben und Analysen im UBA-Projekt)

	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
	mg kg ⁻¹ TM					
Milchkuh/Mastrind	0,03	0,3	6,0	0,9	0,4	81
Mastschwein	0,04	0,2	3,7	0,7	0,4	56
Legehennen	0,03	0,1	5,0	0,1	0,1	60

Für die Ermittlung von eigenen Daten für die Schlachtkörper wurden direkt auf dem Schlachthof von drei Mastschweinen des Betriebes 7, Teilprojekt Bonn (vgl. Tab. 2-1,) sowie von einer Milchkuh und zwei Mastbullen des Betriebes 2, Teilprojekt Bayreuth (vgl. Tab. 2-2) von verschiedenen Körperanteilen Proben genommen und zu einer bis vier Mischproben vereinigt. Die Proben wurden in flüssigem Stickstoff gefriergetrocknet und anschließend mit einem Mörser vermahlen. Aufschluss und Analytik erfolgten wie oben beschrieben. Die Ergebnisse sind in Anhangtabelle 2-11 dargestellt.

2.6.2 Analysen der Schwermetalle Arsen und Quecksilber

Im Teilprojekt Oldenburg wurden zusätzlich Analysen von Arsen (As) und Quecksilber (Hg) für Futtermittel, Gülle und sonstige Betriebsmittel durchgeführt. Diese Elemente werden allerdings bei den Bilanzdarstellungen nicht berücksichtigt, da einerseits die Gehalte im Futter häufig an der Nachweigrenze lagen (insbesondere Hg). Andererseits konnten aufgrund der sehr aufwendigen Untersuchungsverfahren nur relativ wenige Proben auf diese Elemente hin untersucht werden, so dass die angegebenen Konzentrationen nur Anhaltswerte liefern.

2.6.3 Korrosion der Stalleinrichtung

Zur Abschätzung des Zinkeintrags über die Korrosion der Stalleinrichtung wurden Angaben aus der Literatur sowie eigene Untersuchungen mittels metall-induktiver Messungen herangezogen (vgl. Kap. 6).

2.7 Berechnungen

2.7.1 Stalleinträge und -austräge

Über die zuvor bestimmten Dichten der Güllen sowie der Silagen wurden zuerst die Voluminaangaben der Betriebe für diese Stoffe in Massenflüsse umgerechnet. Mit Hilfe der Ergebnisse aus der Wassergehaltsbestimmung wurden anschließend für alle Stoffströme die Trockenmasseflüsse berechnet. Die Bestimmung der Schwermetallflüsse erfolgte durch Multiplikation von Schwermetallgehalt und Trockenmassefluss. Die Schwermetallströme werden als Ein- bzw. Austrag je Jahr mitgeteilt (Anhangtab. 3-1 bis 3-6, 4-1 bis 4-4) bzw. für die Bilanzen auf Großviecheinheiten (1 GV = 500 kg Lebendgewicht, Anhangtab. 2-12) bezogen. Die Massenströme für das Teilprojekt Oldenburg sind dem Anhang zu entnehmen (Anhangtab. 5-3, 5-5, 5-8 bis 5-10). Im Teilprojekt Bayreuth wurden die Schwermetallflüsse neben der Umrechnung auf GV a^{-1} exemplarisch auf die produzierte Leistung (hier Milchleistung) bezogen (Kap. 4.2).

Zur Bestimmung der Gesamteinträge wurden die Schwermetalleinträge der einzelnen Stoffströme summiert. Analog wurde bei den Gesamtausträgen vorgegangen. Da während der Lagerung der Gülle jedoch Schwermetalleinträge erfolgen, die nicht dem System Stall zuzuordnen sind (Einträge über Niederschlag und Schutzanstrich des Güllebehälters, Kap. 2.2.2), wurden diese vom Gesamtaustrag subtrahiert. Analog wurde zur Berechnung der C-, N- und S-Flüsse zur Plausibilitätskontrolle verfahren.

2.7.2 Einträge in die Wirtschaftsdünger außerhalb des Stalls

Teilprojekt Bayreuth

Die Wirtschaftsdünger lagerten in offenen Güllebehältern. Über die Schwermetallkonzentrationen der Niederschlagsproben wurde der Eintrag von Schwermetallen in die Wirtschaftsdünger bestimmt. Es wurde davon ausgegangen, dass durch die ständig geöffneten Niederschlags-sammler die Niederschlags-Deposition (nasse Deposition und sedimentierende trockene Deposition) erfasst werden konnte. Mit Hilfe der Niederschlagsdaten und der Öffnungsgröße der Güllebehälter konnte der jährliche Schwermetalleintrag durch die Niederschlags-Deposition berechnet werden. Die Interzeptions-Deposition (nichtsedimentierende Trockendeposition) wurde als ebenso groß angenommen. Die Niederschlagsdaten für die Betriebe 1 und 2 entstammen der Literatur (DEUTSCHER WETTERDIENST 1997), für die Betriebe 3 und 4 wurden diese direkt von der Versuchsstation Heßberg (KUPFER 2000) zur Verfügung gestellt.

Zur Bestimmung der Schwermetalleinträge durch Anstrichfarbe wurde angenommen, dass die von den Betrieben 3 und 4 verwendete Farbe dieselbe war. Es wurde von einem kontinuierlichen Eintrag innerhalb eines Zeitraums von 50 Jahren (zum Beprobungszeitpunkt waren nur noch kleine Reste des ursprünglichen Anstrichs vorhanden), einer Farbdicke von zwei Millimetern (an den Resten ersichtlich) und einer Anstrichdichte von $2 \text{ g (cm}^3\text{)}^{-1}$ ausgegangen. Die Größe der mit Farben behandelten Fläche wurde abgemessen. Ein Schutzanstrich für die Güllebehälter war bei den Betrieben 1 und 2 nicht vorhanden.

2.7.3 Bilanz

Für die Stallbilanzen wurden die Einträge an Schwermetallen über Futtermittel und sonstige Betriebsmittel in den Stall den Austrägen über Wirtschaftsdünger und tierische Erzeugnisse gegenübergestellt und das Bilanzsaldo (Eintrag minus Austrag) errechnet (Abb. 2-1).

Generell ist anzumerken, dass es bereits bei Mengenelementen vielfach Probleme bereitet, unter Praxisbedingungen Bilanzen exakt zu erfassen. Schwierigkeiten einer repräsentativen Probenahme von wirtschaftseigenen Futtermitteln und von Gülle und Stallmist sowie auch die exakte Erfassung deren Einsatz- bzw. Anfallmengen sind allgemein bekannt und gelten auch für die Bilanzierung von Schwermetallflüssen.

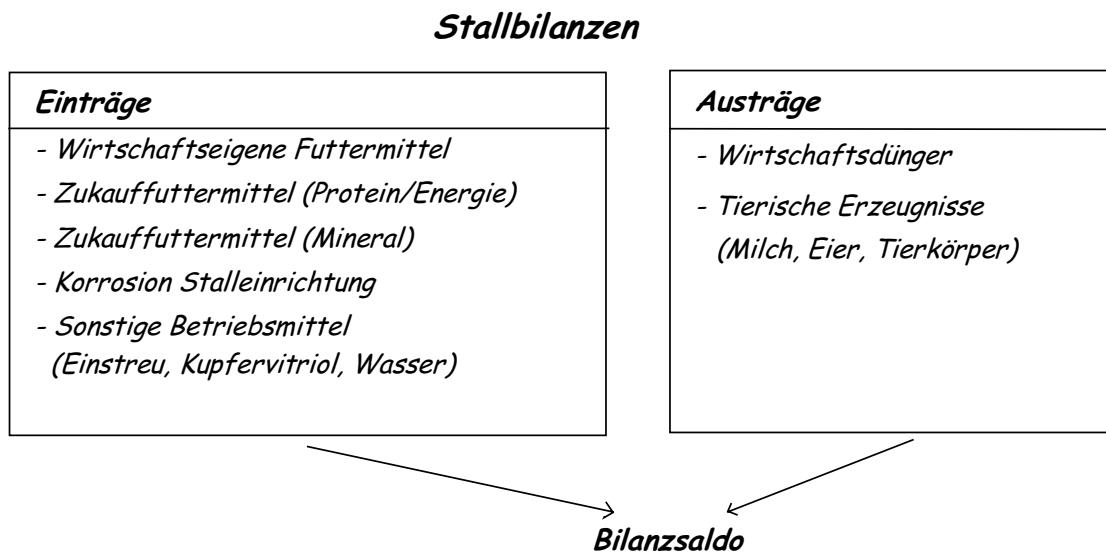


Abb. 2-1: Komponenten der Stallbilanzen

2.8 Statistische Auswertung

Die Berechnung von Mittelwerten erfolgte über das arithmetische Mittel. Zu den Schwermetallgehalten wurde die Standardabweichung bzw. der Fehler des Mittelwerts (s^*) angegeben (KÖHLER et al. 2002).

Bei der Bilanzierung der Schwermetallflüsse wurde für jedes Betriebsmittel mit einer Probenanzahl $n > 1$ der Fehler des Mittelwertes der gemessenen Schwermetallgehalte, der Fehler der Trockensubstanz sowie der geschätzte Fehler der Massenflussbestimmung berücksichtigt (vgl. SACHS 1979, KÖHLER et al. 2002). Bei der Multiplikation von zwei Werten wurde das Gauß'sche Fehlerfortpflanzungsgesetz verwendet. Bei der Bildung einer Summe aus zwei oder mehreren Werten wurden die Fehler zu einem Gesamtfehler addiert (jeweils für Eintrag und Austrag bei den Stallbilanzen).

Im Teilprojekt Bonn variiert der geschätzte Fehler des Massenflusses je nach Betrieb und Stoffstrom (Anhangtab. 3-1 bis 3-6). Dies begründet sich in unterschiedlichen Sicherheiten, die für den jeweiligen Stoffstrom angenommen werden können. Für die Angaben der Betrie-

be über Massenflüsse bzw. Volumina (Gülle, Silage) wurde im Teilprojekt Bayreuth ein relativer Fehler von $\pm 10\%$ angenommen.

Von einem signifikanten Unterschied in der Stallbilanz zwischen Eintrag und Austrag wurde gesprochen, wenn die Fehlerbereiche (Fehler der Mittelwerte) sich nicht überschneiden.

3 Ergebnisse Teilprojekt Bonn

3.1 Futterbaubetriebe mit Milchviehhaltung, Bullenmast - Betriebe 1 bis 4

3.1.1 Schwermetallgehalte

Die Schwermetallgehalte der wirtschaftseigenen Futtermittel sind in Tabelle 3-1 und die der Einstreumaterialien in Tabelle 3-2 dargestellt. Zum besseren Vergleich sind die Elementkonzentrationen der wirtschaftseigenen Futtermittel und Einstreu für jeden Betrieb separat aufgeführt. Die Gesamtauswertung aller im Projekt erhobenen Daten ist dem Kapitel 8 zu entnehmen.

Tab. 3-1: Schwermetallgehalte wirtschaftseigener Futtermittel, Betriebe 1 bis 4 (Milchviehhaltung, Bullenmast)

Betrieb	Futtermittel	n	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
			mg kg ⁻¹ TM					
1	Maissilage	12	0,13 ± 0,06	0,43 ± 0,25	5,33 ± 3,97	0,62 ± 0,49	0,58 ± 0,34	24,38 ± 13,54
4	Maissilage	13	0,13 ± 0,07	0,31 ± 0,12	3,23 ± 0,94	0,18 ± 0,12	0,45 ± 0,20	19,08 ± 4,90
1	Grassilage	12	0,14 ± 0,07	1,44 ± 0,57	6,50 ± 2,11	1,15 ± 0,50	1,27 ± 0,33	35,81 ± 16,89
2	Grassilage	6	0,13 ± 0,04	1,09 ± 0,50	6,88 ± 1,24	0,90 ± 0,51	0,84 ± 0,19	34,42 ± 22,70
3	Grassilage	12	0,27 ± 0,17	1,53 ± 1,43	6,91 ± 1,67	1,43 ± 0,99	2,16 ± 2,67	28,52 ± 8,04
2	Gras 1. Schnitt	5	0,10 ± 0,00	0,93 ± 0,19	10,65 ± 1,84	0,98 ± 0,09	0,90 ± 0,06	55,03 ± 23,72
3	Gras 2. Schnitt	8	0,18 ± 0,08	0,43 ± 0,15	7,55 ± 0,94	1,09 ± 0,21	0,51 ± 0,09	25,49 ± 3,05
2	Gerste-Erbsen-GPS	11	0,12 ± 0,05	0,98 ± 2,25	5,36 ± 2,20	0,53 ± 0,54	0,52 ± 0,72	20,96 ± 6,62
1	Heu	11	0,16 ± 0,07	2,39 ± 2,97	9,08 ± 5,71	1,64 ± 0,88	1,54 ± 1,33	46,54 ± 24,37
2	Heu	5	0,29 ± 0,09	1,07 ± 0,57	5,35 ± 1,20	0,95 ± 0,57	0,82 ± 0,27	38,01 ± 14,13
1	CCM	10	0,02 ± 0,03	0,36 ± 0,58	2,51 ± 1,11	0,21 ± 0,14	0,20 ± 0,13	23,70 ± 11,57
4	CCM	4	0,04 ± 0,05	0,26 ± 0,38	4,18 ± 4,02	0,71 ± 1,26	0,42 ± 0,57	41,13 ± 19,30
2	Kartoffeln	13	0,13 ± 0,08	0,29 ± 0,24	3,88 ± 0,71	0,28 ± 0,30	0,29 ± 0,39	12,50 ± 4,55
4	Kartoffelschlempe	9	0,22 ± 0,06	1,07 ± 0,28	40,05 ± 15,10	0,85 ± 0,54	0,58 ± 0,25	48,70 ± 14,56

± Standardabweichung

Die ermittelten Konzentrationen (Tab. 3-1) waren vergleichbar mit den von SPIEKERS et al. (1991) und DOBERSCHÜTZ (1994) mitgeteilten Werten für wirtschaftseigene Futtermittel. Die

Gehalte gleicher Erzeugnisse lagen bei den vier Betrieben auf vergleichbarem Niveau. Gras und dessen Erzeugnisse, d. h. Silage oder Rauhfutter, wiesen gegenüber Maissilage und Corn-Cob-Mix (CCM) höhere Gehalte an Chrom, Nickel und Blei auf, wobei CCM die geringsten Werte an Cadmium und Blei enthielt. Die höheren Bleigehalte von Gras, Silage und Rauhfutter könnten auf Verunreinigungen mit Boden bei der Bergung zurückzuführen sein. Gegenüber den anderen wirtschaftseigenen Futtermitteln wies Kartoffelschlempe mit 40 mg kg⁻¹ TM relativ höhere Cu-Gehalte auf.

Die Schwermetallgehalte der verschiedenen Stroharten wiesen mit Ausnahme der niedrigen Zn-Gehalte im Weizen- und Triticalestroh des Betriebes 2 im Vergleich zu denen des Betriebes 1 keine größeren Unterschiede zwischen den Elementgehalten auf (Tab. 3-2). Die Schwermetallgehalte von Stroh und Sägemehl waren vergleichbar; lediglich die Cd- und Pb-Gehalte von Sägemehl lagen über denen von Stroh, allerdings mit Schwankungen bis zu 60 % um den Mittelwert.

Tab. 3-2: Schwermetallgehalte in Einstreumaterialien, Betriebe 1 bis 3 (Milchviehhaltung)

Betrieb	Einstreu	n	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
			mg kg ⁻¹ TM					
1	Weizenstroh	7	0,17 ± 0,08	0,47 ± 0,11	2,81 ± 2,08	0,46 ± 0,28	0,63 ± 0,34	20,85 ± 16,14
2	Weizenstroh	14	0,09 ± 0,06	0,66 ± 0,19	2,08 ± 0,44	0,54 ± 0,32	0,41 ± 0,07	6,12 ± 3,50
1	Triticalestroh	4	0,09 ± 0,03	0,86 ± 0,35	3,53 ± 1,51	0,55 ± 0,32	0,73 ± 0,48	16,21 ± 7,33
2	Triticalestroh	9	0,04 ± 0,01	0,50 ± 0,05	2,57 ± 3,82	0,36 ± 0,12	0,42 ± 0,06	6,79 ± 1,43
2	Roggenstroh	20	0,05 ± 0,02	0,49 ± 0,12	3,24 ± 4,04	0,72 ± 1,46	0,42 ± 0,15	13,02 ± 14,12
1, 3	Sägemehl	12	0,30 ± 0,22	0,58 ± 0,37	1,69 ± 1,00	0,50 ± 0,37	1,70 ± 1,13	15,72 ± 5,18

± Standardabweichung

Die Schwermetallgehalte zugekaufter Einzel- und Mischfuttermittel zur Protein- und/oder Energieergänzung sind in Tabelle 3-3 dargestellt. Zuckerrüben-Pressschnitzel wiesen gegenüber den anderen Futtermitteln höhere Gehalte an Cadmium, Chrom und Blei auf. Kartoffelstärke hatte im Vergleich zu gewaschenen Futterkartoffeln einen niedrigeren Cu- und Zn-Gehalt. Das mineralisierte Ergänzungsfuttermittel für Milchkühe (Milchleistungsfutter) enthielt im Vergleich zu den anderen Futtermitteln entsprechend höhere Gehalte an den essentiellen Spurenelementen Kupfer und Zink, aber auch höhere Gehalte an Chrom und Nickel. Auch das zugekauft Ergänzungsfuttermittel zur Kälberaufzucht war mineralisiert, was sich in den Cu- und Zn-Gehalten widerspiegelte.

Tab. 3-3: Schwermetallgehalte in zugekauften Einzel- und Mischfuttermitteln zur Protein- und/oder Energieergänzung, Betriebe 1 bis 4 (Milchviehhaltung, Bullenmast)

Betrieb	Futtermittel	n	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
					mg kg ⁻¹ TM			
1, 3, 4	Sojaschrot	16	0,10 ± 0,06	1,22 ± 2,14	15,11 ± 4,57	4,11 ± 2,56	0,27 ± 0,34	46,51 ± 14,36
1, 4	Rapsschrot	11	0,13 ± 0,07	0,64 ± 0,58	7,30 ± 3,48	1,27 ± 1,02	0,21 ± 0,14	66,19 ± 33,83
1	Weizenschrot	6	0,11 ± 0,03	0,38 ± 0,64	4,81 ± 1,66	0,21 ± 0,10	0,17 ± 0,14	45,63 ± 32,53
1, 3	Ergänzungsf. Milchkühe (Milchleistungsf.)	9	0,07 ± 0,03	1,55 ± 0,41	20,72 ± 8,09	3,05 ± 1,75	0,90 ± 0,90	152,73 ± 79,43
1, 3, 4	Biertreber	28	0,08 ± 0,05	0,50 ± 0,44	15,02 ± 4,74	0,45 ± 0,43	0,26 ± 0,18	76,08 ± 39,79
4	Maiskleber	5	0,03 ± 0,01	1,54 ± 0,51	6,57 ± 0,48	3,78 ± 1,36	0,19 ± 0,07	61,66 ± 6,67
1	Kartoffeln (gewaschen)	5	0,16 ± 0,05	0,26 ± 0,29	4,37 ± 0,95	0,34 ± 0,10	0,29 ± 0,29	15,11 ± 3,52
4	Kartoffelstärke	11	0,04 ± 0,02	0,62 ± 0,86	1,19 ± 0,31	0,28 ± 0,36	0,29 ± 0,20	3,47 ± 1,10
4	Kartoffelschalen	4	0,22 ± 0,08	1,17 ± 0,97	7,24 ± 5,24	0,96 ± 0,41	0,44 ± 0,31	15,14 ± 4,23
1, 3	Zuckerrüben-Pressschnitzel	13	0,51 ± 0,17	1,92 ± 0,55	10,35 ± 10,16	1,47 ± 0,83	1,80 ± 0,81	41,36 ± 25,16
3	Melasseschnitzel	5	0,37 ± 0,11	1,92 ± 0,31	3,96 ± 0,62	2,86 ± 1,24	2,17 ± 0,84	23,34 ± 2,67
1, 3	Ergänzungsf. Kälber (Milchaustauscher)	13	0,03 ± 0,01	0,47 ± 0,53	7,81 ± 4,74	0,36 ± 0,26	0,17 ± 0,21	72,69 ± 34,01
1, 4	Ergänzungsf. Kälberaufzucht	7	0,10 ± 0,03	0,90 ± 0,27	16,06 ± 4,17	2,20 ± 0,84	0,45 ± 0,29	99,75 ± 36,89

± Standardabweichung

Die in Tabelle 3-4 gezeigten Schwermetallgehalte in Mineralfuttermitteln entsprachen in Bezug auf die Spurenelemente Kupfer und Zink den deklarierten Herstellerangaben (10-20 % Abweichung). Neben diesen beiden Spurenelementen waren gegenüber pflanzlichen Futtermitteln höhere Gehalte an Cadmium, Chrom, Nickel und Blei festzustellen (vgl. Tab. 3-1 und 3-3). Im Vergleich dazu waren die Gehalte in Futterkalk, Viehsalz und Magnesiumoxid (hier ausgenommen des hohen Nickelwertes mit 113 mg Nickel pro kg TM bei allerdings hoher Standardabweichung; Betrieb 4) gering.

Tab. 3-4: Schwermetallgehalte in Mineralfuttermitteln, Betriebe 1 bis 4 (Milchviehhaltung, Bullenmast)

Betrieb	Futtermittel	n	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
			mg kg ⁻¹ TM					
1	Mineralfutter Kühe	13	0,46 ± 0,30	21,57 ± 12,15	1284 ± 238	13,54 ± 11,19	9,23 ± 10,87	8632 ± 1470
2	Mineralfutter Kühe I	8	0,31 ± 0,13	12,92 ± 9,92	441,4 ± 214,5	15,04 ± 15,49	1,42 ± 0,96	3068 ± 1917
2	Mineralfutter Kühe II	8	0,92 ± 0,49	34,49 ± 8,03	906 ± 196	79,95 ± 33,82	16,31 ± 34,56	8111 ± 3136
3	Mineralfutter Kühe	6	0,94 ± 1,19	31,34 ± 41,57	301,7 ± 110,7	58,59 ± 83,05	6,14 ± 7,82	3257 ± 1370
1	Mineralfutter Bullen	3	0,30 ± 0,10	31,21 ± 6,69	988 ± 109	9,26 ± 3,40	8,56 ± 0,62	14081 ± 8359
4	Mineralfutter Bullen	7	0,61 ± 0,23	11,45 ± 4,06	362,0 ± 276,6	8,94 ± 3,20	38,02 ± 12,18	2210 ± 780
1, 2, 4	Futterkalk	16	0,06 ± 0,07	3,50 ± 1,62	8,09 ± 3,35	2,10 ± 2,43	5,25 ± 7,82	10,36 ± 12,07
1, 2, 3, 4	Viehsalz	11	0,21 ± 0,23	0,13 ± 0,15	11,59 ± 26,49	0,17 ± 0,27	0,03 ± 0,04	14,31 ± 33,19
4	Magnesiumoxid	4	0,05 ± 0,10	10,15 ± 15,27	7,17 ± 2,04	113,39 ± 122,61	0,53 ± 0,64	2,89 ± 2,02

± Standardabweichung

Die Ergebnisse der untersuchten Brunnenwasserproben sind Tabelle 3-5 zu entnehmen. Mit Ausnahme von Zink (Betriebe 1 und 4) waren keine Elementkonzentrationen nachweisbar. Tabelle 3-6 zeigt die Schwermetallgehalte in Kupfervitriol (Analysenergebnis des Kupfersulfatsalzes). Neben dem als Wirkstoff gebundenen Kupfer enthielt dieses Produkt zur Klauen-desinfektion auch hohe Anteile an Nickel und Blei.

Tab. 3-5: Schwermetallgehalte in Wasser zur Tränke und Reinigung, Betriebe 1 bis 4 (Milchviehhaltung, Bullenmast)

Betrieb	Wasser	n	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
			mg l ⁻¹					
1	Brunnenwasser	3	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	0,06 ± 0,01
2	Brunnenwasser	4	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
3	Brunnenwasser	6	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
4	Brunnenwasser	3	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	0,06 ± 0,01

± Standardabweichung; n.n.: nicht nachweisbar

Tab. 3-6: Schwermetallgehalte in Kupfervitriol, Betrieb 1 (Milchviehhaltung)

Produkt	n	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
		mg kg ⁻¹					
Kupfersulfat	4	0,72 ± 0,34	0,90 ± 0,32	275155 ± 72414	536,4 ± 761,5	65,29 ± 16,66	103,5 ± 60,0

± Standardabweichung

Die in Tabelle 3-7 dargestellten Schwermetallgehalte für Rindergülle lagen im Bereich der in der Literatur genannten Werte (BOYSEN 1992, MENZI et al. 1993, LBP 1997, KTBL 2000, SCHAAF und JANßen 2000); auffallend sind lediglich die Cu-Gehalte in der Gülle von Betrieb 1 mit ca. 250 mg kg⁻¹ TM. Die gemessenen Schwermetallgehalte in Festmist und Jauche bewegten sich ebenfalls im Bereich der o. g. Literaturwerte. Bei Rindermist waren vereinzelt höhere Cr-Gehalte und bei Rinderjauche höhere Pb-Gehalte feststellbar; hier ist allerdings die geringe Grundgesamtheit zu berücksichtigen.

Tab. 3-7: Schwermetallgehalte von Flüssigmist, Festmist (inkl. Futterreste) und Jauche, Betriebe 1 bis 4 (Milchviehhaltung, Bullenmast)

Betrieb	Wirtschaftsdünger	n	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
			mg kg ⁻¹ TM					
1	Gülle, Milchkühe	28	0,39 ± 0,05	4,15 ± 0,88	255,0 ± 127,8	5,58 ± 2,46	3,52 ± 0,65	252,0 ± 33,9
3	Gülle, Milchkühe	27	0,57 ± 0,11	8,36 ± 2,61	50,11 ± 23,03	7,25 ± 2,35	6,45 ± 2,43	226,1 ± 21,35
4	Gülle, Mastbulle	31	0,32 ± 0,07	3,57 ± 0,68	56,84 ± 7,46	8,33 ± 1,77	3,98 ± 0,85	289,78 ± 34,18
1	Rindermist	36	0,35 ± 0,15	8,65 ± 12,33	46,85 ± 71,90	5,36 ± 5,86	13,33 ± 22,65	131,3 ± 97,9
2	Rindermist	25	0,26 ± 0,10	4,90 ± 7,04	22,38 ± 11,15	2,44 ± 1,26	3,46 ± 2,40	108,7 ± 73,2
3	Rindermist	8	0,43 ± 0,13	19,07 ± 18,24	42,89 ± 31,77	12,98 ± 10,41	8,04 ± 5,69	274,0 ± 167,7
2	Rinderjauche	9	0,30 ± 0,10	5,48 ± 5,41	18,01 ± 10,1	4,97 ± 2,29	71,80 ± 191,30	114,48 ± 62,97

± Standardabweichung

Die Schwermetallkonzentrationen der Frischmilch zeigt Tabelle 3-8. Die Elementgehalte für Cadmium, Chrom, Nickel und Blei lagen im Bereich der Nachweisgrenze oder waren nicht nachweisbar; dementsprechend wurden, mit Ausnahme von Zink, hohe Standardabweichungen ermittelt.

Tab. 3-8: Schwermetallgehalte der Milch, Betriebe 1 bis 3 (Milchviehhaltung)

Betrieb	Erzeugnis	n	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
			mg kg ⁻¹					
1	Milch	9	n. n.	0,01 ± 0,02	0,23 ± 0,23	0,02 ± 0,04	0,05 ± 0,06	6,98 ± 2,38
2	Milch	5	n. n.	n. n.	0,37 ± 0,19	n. n.	n. n.	10,45 ± 3,50
3	Milch	4	n. n.	n. n.	0,02 ± 0,05	0,01 ± 0,01	n. n.	4,20 ± 1,54

± Standardabweichung; n.n.: nicht nachweisbar

3.1.2 Schwermetallflüsse

Die prozentualen Anteile der Schwermetallströme am Gesamteintrag zeigt Abbildung 3-1. Die Einträge aller untersuchten Elemente in das System Stall resultierten bei den Futterbaubetrieben 2 und 4 zwischen 85 und 97 % aus der Fütterung; dies gilt ausgenommen für Kupfer auch für die Betriebe 1 und 3. Bei den Betrieben mit Stroheinstreu im Stall (Betrieb 1: Tiere in der Abkalbebox, trocken gestellte Kühe, Kälber; Betrieb 2: gesamter Tierbestand) entfielen ca. 2-10 % der Einträge für Cadmium, Chrom, Nickel, Blei und Zink auf den Eintragspfad „Stroh“, der in der Summe für „Sonstige Betriebsmittel“ enthalten ist. Bei Betrieb 3 wird lediglich der Saugkalbbereich mit Stroh eingestreut. Bei den Betrieben 1 und 3, die Kupfervitriol zur Klauenhygiene einsetzen, erreichte dessen Anteil 69 bzw. 54 % am gesamten Cu-Eintrag in den Stall.

Generell waren die Eintragsanteile der wirtschaftseigenen und der zugekauften Futtermittel einschließlich der Mineralfuttermittel der Betriebe 1 und 3 sehr ähnlich; die wirtschaftseigenen Futtermittel trugen zwischen 24 (Zn) und 65 % (Pb) zum Elementeintrag in den Stall bei. Betrieb 2, der keine protein- oder energiehaltigen Zukauffuttermittel, sondern lediglich Mineralfuttermittel zukaufte, wies für die wirtschaftseigenen Futtermittel Elementeinträge zwischen ca. 50 (Zn) und 87 % (Cd) auf; die zugekauften Mineralfutter lagen bei 3 (Cd) bis 48 % (Zn). Die protein- und energiehaltigen Zukauffuttermittel der Betriebe 1 und 3 erreichten Eintragsanteile von ca. 21 (Pb) bis 45 % (Zn) am Gesamteintrag.

Demgegenüber wies Betrieb 4 (Mastbulle) unterschiedliche Eintragsanteile auf. Die wirtschaftseigenen Futtermittel trugen mit ca. 12 (Ni) bis 44 % (Cd) zum Schwermetalleintrag in den Stall bei. Der Eintragsanteil für die protein- und energiehaltigen Zukauffuttermittel lag zwischen 11 (Pb) und 49 % (Cd); für die Mineralfuttermittel wurden Einträge zwischen 6 (Cd) und 58 % (Pb) festgestellt. Die Eintragsanteile der Mineralfuttermittel für Kupfer und Zink betrugen 51 bzw. 55 %.

Die Betriebe 1, 3 und 4 remontieren ihren Viehbestand aus externen Zugängen. Der Betriebszweig Mastbullehaltung bei Betrieb 1 wurde im Referenzjahr 2001 eingestellt, somit wurden die Abgänge auch nicht mehr ergänzt. Auf den Schwermetalleintrag in den Stall hatte der Tierkörper nur einen untergeordneten Einfluss. Bei den Betrieben 3 und 4 waren dies zwischen ca. 1 % des Cd- und 5 % des Zn-Eintrages.

Im Stall des Betriebes 3 wurden die Einträge durch Korrosion und Abrieb an den verzinkten Stalleinrichtungen untersucht. Für Zink ergab sich ein Anteil von 5 % am Eintrag (Abb. 3-1; vgl. Kap. 6), für Cadmium und Blei ist dieser Eintragspfad unbedeutend.

Über das in den Betrieben verwendete Wasser erfolgten gegenüber den Veredelungsbetrieben (vgl. Kap. 3.3) aufgrund geringerer Tränkemengen keine wesentlichen Schwermetalleinträge.

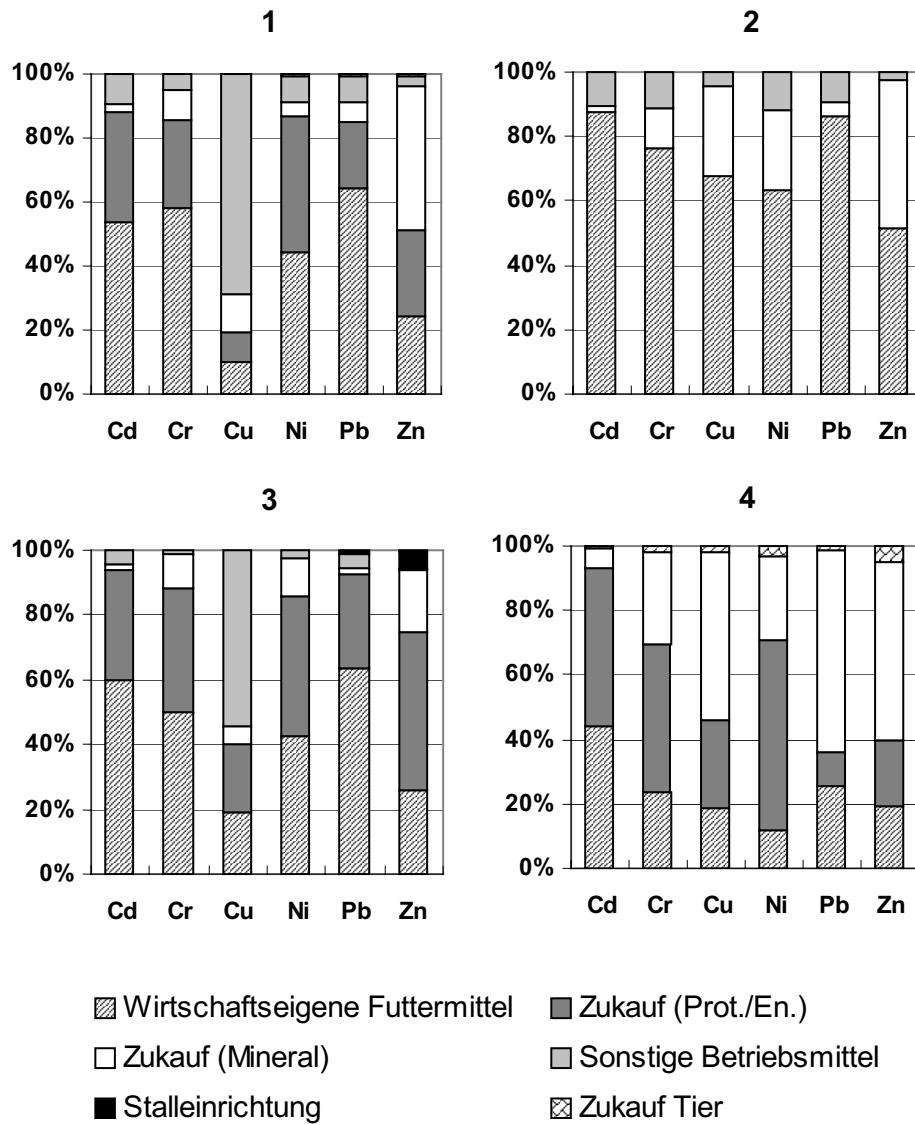


Abb. 3-1: Prozentuale Anteile der Stoffströme am Gesamteintrag in den Stall (Betriebe 1-3: Milchviehhaltung, 4: Bullenmast)

3.1.3 Stallbilanzen

Die Milchviehhöfe 1, 2 und 3 praktizieren Weidegang, was entsprechend für die Stallbilanz berücksichtigt wurde. Futteraufnahmen von den Weideflächen wurden dem Eintrag, Exkrementen, die auf diesen Flächen verblieben, analog dem Austrag zugewiesen. Um die Bilanzierung mit vertretbarem Aufwand durchführen zu können, wurden die Gehalte in den Exkrementen denen in der Gülle gleichgesetzt. Hieraus resultiert allerdings ein systematischer Fehler, da die Gülle neben den Exkrementen der Tiere noch zusätzliche Einträge enthält (z. B. Abwässer aus Milchkammer, Regenwasser, kupferhaltige Klauenbäder, Korrosion der Stalleinrichtung) und somit der Elementaustrag auf die Weidefläche überbewertet wird. Diese Fehleinschätzung der Austräge über den Weidegang lässt sich für Kupfer mit max. 30 % und für die anderen Elemente mit max. 20 % beziffern. Bei der Bewertung der Ele-

mentströme ist dies zu berücksichtigen. Darüber hinaus wurden bei Betrieb 2, der kein Flüssigmistsystem besitzt, die Gehalte der Gülle von Betrieb 3 als Exkrementgehalte eingesetzt, da beide Betriebe mit Ausnahme von Kupfer sehr ähnliche Eintragssituationen bei den untersuchten Schwermetallen aufwiesen.

Die Tabellen 3-9 bis 3-12 zeigen die Stallbilanzen der untersuchten Futterbaubetriebe 1 bis 4 bezogen auf Großvieheinheiten. Die absoluten Daten für die Schwermetallflüsse (g a^{-1}) sind den Anhangtabellen 3-1 bis 3-4 zu entnehmen. Die Betriebe lassen sich sowohl hinsichtlich der Einträge als auch der Austräge je GV analog zu ihren Produktionsrichtungen unterscheiden. Die Betriebe 1 bis 3, bei denen es sich um spezialisierte Milchviehbetriebe handelt, zeigen demnach vergleichbare Situationen auf, mit Ausnahme der Elemente Kupfer und Zink. Betrieb 4 (Bullenmast) liegt sowohl für die Ein- als auch die Austräge bei allen Elementen auf niedrigerem Niveau.

Unterschiede bezüglich des Cu-Eintrages bei den Milchviehbetrieben resultierten hauptsächlich aus der Verwendung von Kupfervitriol zur Klauendesinfektion bei den Betrieben 1 und 3. Bei beiden Betrieben erfolgte hierdurch ein Eintrag von 240 (Betrieb 1; Gesamteintrag: 351 g Cu $\text{GV}^{-1} \text{ a}^{-1}$) bzw. 74 g Kupfer pro GV und Jahr (Betrieb 3; Gesamteintrag: 137 g Cu $\text{GV}^{-1} \text{ a}^{-1}$). Demzufolge waren auch die Austräge an Kupfer über die Wirtschaftsdünger aus diesen beiden Ställen am höchsten.

Tab. 3-9: Stallbilanz, Betrieb 1 (Milchviehhaltung)

		Cd	Cr	Cu g GV ⁻¹ a ⁻¹	Ni	Pb	Zn
Wirtschaftseigene Futtermittel	Silomais	0,29	0,96	12,1	1,41	1,31	55,2
	Grassilage	0,35	3,07	12,7	2,41	2,53	61,0
	Grünland (Weidegang)	0,07	0,65	7,2	0,66	0,64	38,2
	Raygrasstroh	0,02	0,03	3,5	0,06	0,12	3,9
Zukauffuttermittel (Protein/Energie)	Kartoffeln	0,03	0,05	0,8	0,06	0,05	2,8
	Pressschnitzel	0,25	0,91	7,8	0,71	0,8	28,4
	Biertreber	0,03	0,15	5,6	0,16	0,12	37,7
	Sojaschrot	0,04	0,17	7,0	1,86	0,06	22,1
Zukauffuttermittel (Mineral)	Rapsschrot	0,05	0,31	3,5	0,65	0,11	31,9
	Weizen	0,04	0,13	1,7	0,07	0,06	15,8
	Ergänzungsfutter Milchkühe (Milchleistungsfut- ter)	0,01	0,30	3,7	0,57	0,15	22,7
	CCM	0,01	0,14	1,0	0,08	0,08	9,1
Sonstige Betriebsmittel	Ergänzungsfutter (Milchaustauscher)	<0,001	0,01	0,1	0,01	0,003	1,0
	Ergänzungsfutter Kälberaufzucht	0,01	0,05	0,8	0,11	0,02	5,2
	Mineralf. Kühe	0,01	0,66	39,5	0,42	0,28	265,7
	Mineralf. Bullen	0,001	0,06	1,9	0,02	0,02	26,9
Zukauf Tier	Futterkalk	0,012	0,02	0,05	0,03	0,14	0,03
	Viehsalz	0,002	0,001	0,03	0,001	<0,001	0,15
	Stroh	0,11	0,30	1,8	0,29	0,40	13,2
	Sägemehl	0,02	0,08	0,2	0,07	0,14	2,2
Summe Eintrag	Wasser	0,00*	0,00*	0,00*	0,00*	0,00*	2,7
	Kupfervitriol	0,001	0,001	239,5	0,47	0,06	0,1
		0,002	0,02	0,45	0,07	0,03	6,06
	Summe Eintrag	1,35	8,07	350,79	10,19	7,12	651,92
Gesamtfehler Eintrag		0,27	2,07	77,20	2,78	1,70	116,65
Tierische Erzeugnisse	Fleisch	0,004	0,05	0,88	0,13	0,06	11,93
	Milch	0,01	0,09	2,0	0,21	0,42	62,4
Wirtschaftsdünger	Mist	0,16	4,03	21,8	2,49	6,20	61,1
	Gülle	0,87	9,20	566,0	12,39	7,82	559,3
Summe Austrag		0,03	0,27	16,6	0,36	0,23	16,4
Summe Austrag		1,07	13,63	607,25	15,58	14,72	711,00
Gesamtfehler Austrag		0,24	3,58	142,10	4,2	4,81	164,89
Bilanzsaldo		0,28	-5,56	-256,45	-5,4	-7,61	-59,08

* kein Stoffstrom aufgrund nicht nachweisbarer Gehalte

Tab. 3-10: Stallbilanz, Betrieb 2 (Milchviehhaltung)

		Cd	Cr	Cu g GV ⁻¹ a ⁻¹	Ni	Pb	Zn
Wirtschaftseigene Futtermittel	Weizen	0,01	0,01	0,7	0,02	0,02	4,2
	Triticale	0,01	0,02	0,7	0,02	0,02	4,0
	Roggen	0,002	0,004	1,1	0,02	0,02	2,4
	Heu	0,16	0,57	2,8	0,51	0,43	20,2
	Gerste-Erbsen- GPS	0,05	0,37	2,0	0,20	0,2	7,9
	Grassilage	0,05	0,43	2,7	0,36	0,34	13,7
	Grünland (Weidegang)	0,04	0,39	4,44	0,41	0,37	22,95
	Kleegrassilage	0,22	2,45	11,6	1,55	1,89	52,9
	Kleegras (Weidegang)	0,20	0,75	29,6	0,9	1,79	88,6
	Kartoffeln	0,03	0,07	0,9	0,07	0,07	2,99
Zukauffuttermittel (Mineral)	Mineralf. Kühe (1)	0,01	0,27	9,1	0,31	0,03	63,0
	Mineralf. Kühe (2)	0,02	0,55	14,5	1,28	0,26	129,6
Sonstige Betriebsmittel	Stroh	0,09	0,75	3,4	0,76	0,54	11,6
	Wasser	0,00*	0,00*	0,00*	0,00*	0,00*	0,00*
Summe Eintrag		0,86	6,63	83,56	6,40	5,97	424,03
Gesamtfehler Eintrag		0,25	2,57	24,58	2,39	2,36	112,05
Tierische Erzeugnisse	Fleisch	0,002	0,02	0,39	0,06	0,03	5,24
	Milch	0,01	0,01	1,7	0,03	0,02	47,7
	Mist	0,59	11,33	51,8	5,65	8,00	251,6
	Jauche	0,02	0,28	0,9	0,26	3,72	5,9
	Exkremeante	0,29	4,26	25,5	3,69	3,28	115,0
Summe Austrag		0,90	15,88	80,28	9,68	15,04	425,41
Gesamtfehler Austrag		0,5	6,69	30,04	3,80	7,79	150,27
Bilanzsaldo		-0,02	-9,26	3,28	-3,28	-9,07	-1,18

* kein Stoffstrom aufgrund nicht nachweisbarer Gehalte

Durch die unterschiedliche Supplementierung von Zink über Mineralfuttermittel ergibt sich eine divergierende Situation bei den Milchviehbetrieben 1 bis 3. So ergänzte Betrieb 1 293 g, Betrieb 2 ca. 193 g und Betrieb 3 lediglich 73 g. Letzterer supplementierte Zink in der Grundration hauptsächlich durch das mineralisierte Ergänzungsfuttermittel (Milchleistungsfutter), mit dem 133 g Zink GV⁻¹ a⁻¹ in den Stall eingetragen wurden. Zu berücksichtigen ist weiterhin, dass lediglich bei Betrieb 3 Werte für Korrasion und Abrieb der Stalleinrichtungen beim Eintrag berücksichtigt wurden; für Zink betrug dies rund 19 g GV⁻¹ a⁻¹.

Tab. 3-11: Stallbilanz, Betrieb 3 (Milchviehhaltung)

		Cd	Cr	Cu g GV ⁻¹ a ⁻¹	Ni	Pb	Zn
Wirtschaftseigene Futtermittel	Grassilage	0,59	3,36	15,2	3,14	4,74	62,6
	Grünland (Weidegang)	0,25	0,60	10,6	1,52	0,72	35,7
Zukauffuttermittel (Protein/Energie)	Pressschnitzel	0,27	1,10	2,4	0,83	1,10	13,0
	Melasseschnitzel	0,09	0,47	1,0	0,70	0,53	5,7
Zukauffuttermittel (Mineral)	Biertreber	0,02	0,20	7,6	0,24	0,09	24,9
	Ergänzungsf. Milch- kühe (Milchleis- tungsfutter)	0,07	1,16	16,5	2,35	0,75	132,9
	Sojaschrot	0,01	0,04	1,8	0,62	0,01	5,2
	Ergänzungsf. (Milchaustauscher)	<0,001	0,01	0,1	0,004	0,001	1,2
	Ergänzungsf. (Voll- milchergänzer)	<0,001	0,001	0,1	0,001	<0,001	0,6
Sonstige Betriebsmittel	Mineralfutter Kühe	0,02	0,67	6,4	1,25	0,13	69,3
	Mineralleckstein	0,004	0,16	0,5	0,03	0,04	3,7
Stalleinrichtung	Viehsalz	0,001	0,003	0,5	0,003	<0,001	0,002
	Stroh	0,004	0,03	0,1	0,02	0,03	0,4
	Sägemehl	0,06	0,09	0,3	0,08	0,32	2,4
Zukauf Tier	Wasser	0,00*	0,00*	0,00*	0,00*	0,00*	0,00*
	Kupfervitriol	<0,001	<0,001	73,70	0,14	0,02	0,03
	Korrosion, Abrieb	<0,001	-	-	-	0,10	18,5
Summe Eintrag		1,40	7,88	136,66	10,95	8,57	377,71
Gesamtfehler Eintrag		0,34	2,25	50,33	3,53	3,17	81,56
Tierische Erzeugnisse	Fleisch	0,002	0,02	0,42	0,063	0,03	5,71
	Milch	0,01	0,01	0,1	0,05	0,03	26,8
Wirtschaftsdünger	Mist	0,07	2,88	6,5	1,96	1,21	41,4
	Gülle	1,02	14,90	89,4	12,94	11,51	403,3
	Exkremeante	0,17	2,49	15,0	2,16	1,92	67,4
Summe Austrag		1,26	20,30	111,38	17,17	14,70	544,62
Gesamtfehler Austrag		0,30	5,40	27,26	4,40	3,60	124,20
Bilanzsaldo		0,14	-12,41	25,28	-6,22	-6,13	-166,92

* kein Stoffstrom aufgrund nicht nachweisbarer Gehalte

Die größten Anteile am Cd-Eintrag wiesen die wirtschaftseigenen Futtermittel (Grassilage, Maissilage, Heu und Gras) auf. Auf den Betrieben 1 und 3 trug die Verfütterung von Zuckerrüben-Pressschnitzeln zu einem größeren Anteil der Zukauffuttermittel am Eintrag der Elemente Cadmium und Blei in den Stall bei. Dies galt ebenfalls für das eingesetzte proteinhaltige Ergänzungsfuttermittel (Milchleistungsfutter) auf Betrieb 3; dieses Futtermittel stellte weiterhin eine bedeutsame Eintragsquelle für Chrom und Nickel dar. Die größten Cr-, Ni- und

Pb-Einträge resultierten bei allen drei Milchviehbetrieben jedoch aus dem Einsatz der Gras- bzw. Kleegras Silagen.

Tab. 3-12: Stallbilanz, Betrieb 4 (Bullenmast)

		Cd	Cr	Cu g GV ⁻¹ a ⁻¹	Ni	Pb	Zn
Wirtschaftseigene Futtermittel	Silomais	0,17	0,34	4,2	0,24	0,59	24,9
	CCM	0,004	0,03	0,4	0,07	0,04	4,2
	Kartoffelschlempe	0,002	0,01	0,4	0,01	0,01	0,5
Zukauffuttermittel (Protein/Energie)	Kartoffelstärke	0,09	0,14	0,3	0,06	0,07	0,8
	Kartoffelschalen	0,06	0,34	2,1	0,28	0,13	4,4
	Biertreber	0,01	0,07	1,5	0,04	0,03	7,7
	Maiskleber	0,003	0,20	0,9	0,49	0,03	8,1
	Sojaschrot	0,01	0,06	2,3	0,62	0,02	7,4
	Rapsschrot	0,01	0,03	0,4	0,05	0,01	3,4
Zukauffuttermittel (Mineral)	Mineral Bullen	0,02	0,44	13,8	0,34	1,45	84,3
	Futterkalk	0,001	0,06	0,1	0,03	0,11	0,1
	Magnesiumoxid	<0,001	0,03	0,02	0,32	0,001	0,01
Sonstige Betriebsmittel	Wasser	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,1
Zukauf Tier		0,003	0,03	0,6	0,08	0,05	7,6
Summe Eintrag		0,39	1,84	27,0	2,63	2,51	153,3
Gesamtfehler Eintrag		0,07	0,46	6,3	0,77	0,48	22,0
Tierische Erzeugnisse	Fleisch	0,01	0,12	2,3	0,35	0,15	31,5
Wirtschaftsdünger	Gülle	0,21	2,32	37,0	5,41	2,58	188,1
Summe Austrag		0,22	2,44	39,2	5,76	2,73	219,6
Gesamtfehler Austrag		0,02	0,32	5,1	0,86	0,35	29,8
Bilanzsaldo		0,17	-0,60	-12,3	-3,13	-0,22	-66,3

* kein Stoffstrom aufgrund nicht nachweisbarer Gehalte

Die Einträge pro GV und Jahr lagen auf dem Bullenmastbetrieb 4 auf bedeutend niedrigerem Niveau. Die größten Einträge entfielen für Cadmium auf Silomais und Kartoffelstärke, für Chrom auf Silomais, Kartoffelprodukte und Mineraffutter, für Kupfer auf Mineraffutter und Silomais, für Nickel auf Sojaschrot, Maiskleber und Kartoffelprodukte, für Blei auf Mineraffutter und Silomais und für Zink auf Mineraffutter und Silomais.

Die Austräge wurden durch die Wirtschaftsdünger Gülle (Betriebe 1, 3 und 4) und Mist (Betrieb 2) bestimmt sowie durch den bei den Betrieben 1 bis 3 praktizierten Weidegang (Anteil der auf der beweideten Fläche verbliebenen Exkremeante). Der Austrag über Jauche bei Betrieb 2 war lediglich mit 3,7 g für Blei erwähnenswert. Tierische Erzeugnisse waren gegenüber den Wirtschaftsdüngern nur zu einem geringeren Maße am Schwermetallaustrag beteiligt. Lediglich für Zink war der Austrag bedeutsam: Dies trifft für die Milch als auch für die Tierkörper (Schlachttiere) zu.

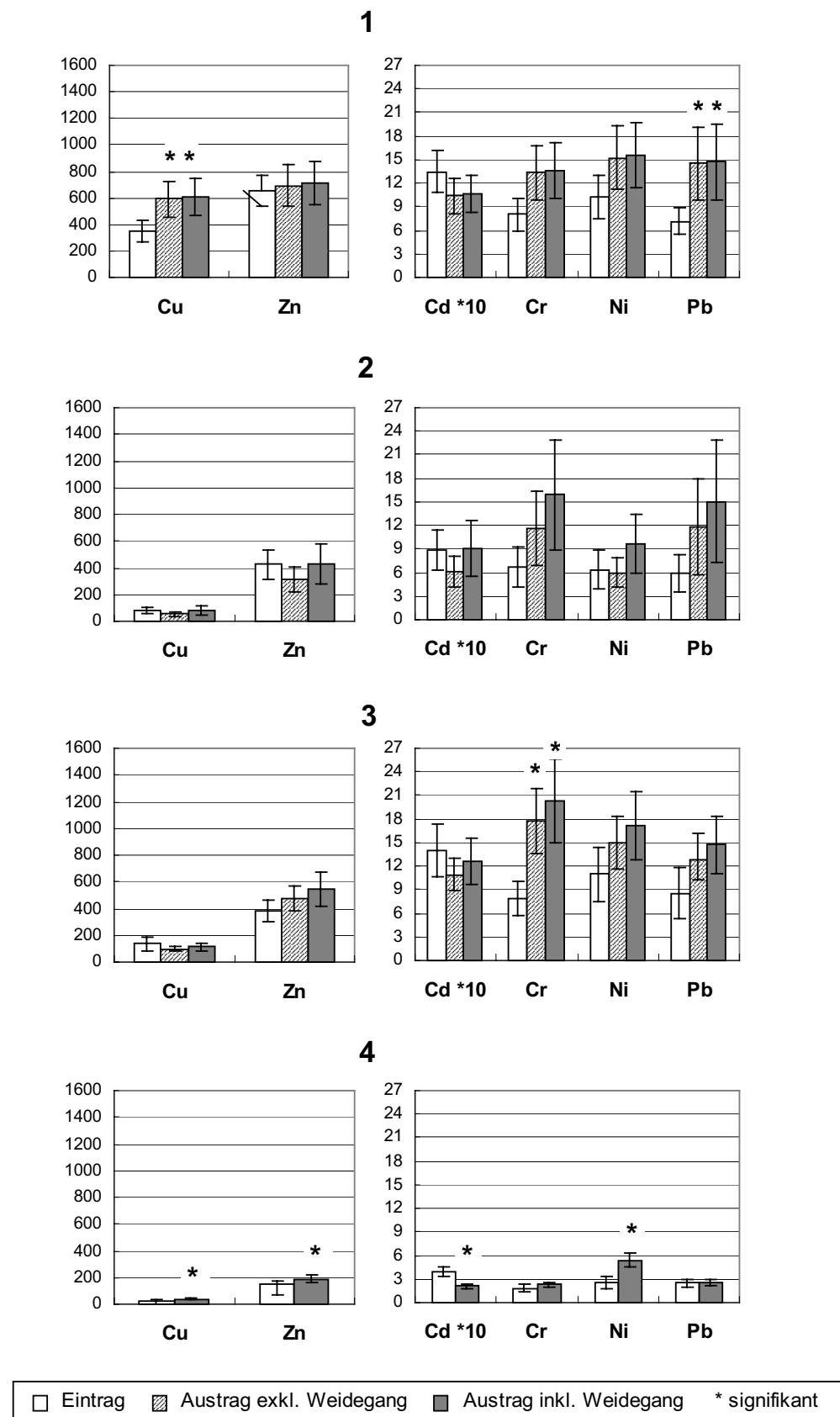


Abb. 3-2: Ein- und Austräge ($\text{g GV}^{-1} \text{a}^{-1}$) an Schwermetalle (Bilanzierungsebene Stall; Betriebe 1 bis 3: Milchviehhaltung, 4: Bullenmast)

Bei Betrieb 1 waren alle Bilanzen mit Ausnahme derer von Kupfer und Blei ausgeglichen (Abb. 3-2); in diesen Fällen lag der Austrag über dem ermittelten Eintrag. Der Grund hierfür konnte nicht ermittelt werden. Die Bilanzierung aller Schwermetalle ergab bei Betrieb 2 keine signifikanten Salden. Betrieb 3 wies bei Chrom einen signifikant höheren Austrag (inkl. Weidegang) als Eintrag auf. Für den Bullenmastbetrieb (Betrieb 4) waren für Kupfer, Zink, Cadmium und Nickel signifikante Salden festzustellen. Für Kupfer, Zink und Nickel überstieg dabei der Austrag den Eintrag.

3.1.4 Diskussion

Alle ermittelten Ein- und Austräge an Schwermetallen lagen bei den Milchviehbetrieben höher als bei dem intensiv wirtschaftenden Bullenmastbetrieb (Abb. 3-2), was in der höheren Futteraufnahme des Milchviehs gegenüber den Masttieren begründet ist. Die Untersuchungen auf den Futterbaubetrieben zeigten darüber hinaus, dass mit Ausnahme von Kupfer bei den Betrieben 1 und 3, die Schwermetalleinträge hauptsächlich aus der Fütterung resultieren (Abb. 3-1). Innerhalb des Eintragspfades „Fütterung“ stellte die Supplementierung der Spurenelemente Kupfer und Zink durch Mineralfutter für diese Elemente den höchsten Anteil am Eintrag dar. Insgesamt belief sich der Eintrag an Kupfer über die Futtermittel bei den Milchviehbetrieben zwischen rund 65 g GV⁻¹ a⁻¹ bei Betrieb 3 und 110 g GV⁻¹ a⁻¹ bei Betrieb 1. Für Zink waren es bei Betrieb 1 628 g GV⁻¹ a⁻¹ und bei Betrieb 3 355 g GV⁻¹ a⁻¹. Die Versorgungsempfehlungen der GESELLSCHAFT FÜR ERNÄHRUNGSPHYSIOLOGIE (GFE) und des NATIONAL RESEARCH COUNCILS (NRC) liegen bei 4-16 mg Kupfer und 20-65 mg Zink in der Trockenmasse (TM) für Wiederkäuer. Unterstellt man bei Betrieb 1 eine durchschnittliche TM-Aufnahme von 19 kg (TMR) und bei Betrieb 3 eine durchschnittliche TM-Aufnahme von 16 kg, so enthielt das Futter von Betrieb 1 durchschnittlich 19 mg Kupfer und 108 mg Zink pro kg TM, das Futter von Betrieb 3 13 mg Kupfer und 72 mg Zink pro kg TM. Diese Kalkulation stimmt überein mit vorgenommenen Cu- und Zn-Analysen bei zwei tatsächlichen Futterrationen von Betrieb 1: Bei einer Hochleistungsration (n=16) wurden 17 mg Kupfer und 97 mg Zink in der TM ermittelt. Die Niedrigleistendenration (n=11) enthielt 17 mg Kupfer und 102 mg Zink. Demnach könnte Betrieb 1 bei der Zn-Supplementierung eventuell Einsparungen vornehmen. Betrieb 3 läge, wie auch Betrieb 2, in dem von der GFE empfohlenen Bereich. Beim Bullenmastbetrieb 4 liegen die theoretischen durchschnittlichen Konzentrationen (Annahme: durchschnittlich 7 kg TM-Aufnahme pro Tier) im gesamten Futter bei 14 mg Kupfer und 81 mg Zink pro kg TM. In Futtermischproben (TMR, n=16) wurden durchschnittlich 16 mg Kupfer und 70 mg Zink pro kg TM ermittelt; die Werte liegen somit ebenfalls in dem von der GFE empfohlenen Bereich. Spurenelemente werden nicht einzeln dosiert, sondern in Form von Mineralfuttermischungen dem Tier zugeführt. Die Entkoppelung von Mengen- und Spurelementversorgung könnte zu einer weiteren Optimierung und damit Reduzierung führen (LÜPPING 2002). Der Einsatz solcher Mikrominerale erscheint aber nur bei genauer Kenntnis der nativen Gehalte in den einzelnen Futtermitteln sinnvoll und ist praktisch nur bei reiner Stallfütterung möglich. Sollen Sicherheitszuschläge vermieden werden, ist eine Fütterungstechnik einzusetzen, die es ermöglicht, weitgehend homogene Futtermischungen zu erstellen. Die möglichst bedarfsgerechte Versorgung mit Makro- und Mikromineralen ist auch vor dem Hintergrund der Minimierung des Eintrages der unerwünschten Schwermetalle Blei, Cadmium, Chrom und Nickel in das System Stall erstrebenswert. So wurden große Anteile dieser Elemente über die Mineralfuttermittel und das proteinhaltige Ergänzungsfuttermittel für Milchkühe (mit Spurenelementen supplementiertes Milchleistungsfutter) in den Stall eingetragen. Da diese Milchleistungsfutter nach dem jeweiligen Laktationszustand zu-

geteilt werden, lässt sich hierüber keine präzise Mineralstoffsupplementierung für die gesamte Herde (bei unterschiedlichen Abkalbterminen) erreichen.

Für die Betriebe 1 und 3 ist ein erhebliches Reduktionspotenzial des Cu-Eintrages in der Vermeidung bzw. Verringerung des Kupfervitrioleinsatzes zur Klauenhygiene zu sehen. Dies gilt besonders dann, wenn die verschmutzte Klauenbadlösung über die Gülle entsorgt wird (Betrieb 1). Möglicherweise wäre ein Besprühen der Klauen, wie es bei Betrieb 3 praktiziert wird, mit Blick auf die Vermeidung von Cu- aber auch Ni-Einträgen in Wirtschaftsdünger das vorzüglichere Verfahren; die Benetzung der gesamten Klaue muss allerdings gewährleistet sein. Zur Nachbehandlung und Prophylaxe von *Dermatitis digitalis* (Montellaro-Krankheit) sind Klauenbäder mit Desinfektionsmittellösungen geeignet (HERNANDEZ und SHEARER 2000), wobei diese keinen Ersatz für mangelhafte Hygiene darstellen (KOFLER 2001). Da *Dermatitis digitalis* ansteckend ist, ist das Infektionsrisiko in größeren Herden höher als in kleineren (KOFLER 2001). In der Praxis werden auch 10-20 %ige Zinksulfatlösungen als Klauenbäder eingesetzt; im Hinblick auf eine Verminderung des Schwermetalleintrages stellen diese allerdings keine Alternative dar.

Der Schwermetalleintrag über die verzinkte Stalleinrichtung spielt gegenüber den beschriebenen Eintragspfaden offenbar eine untergeordnete Rolle und ist lediglich für Zink erwähnenswert (vgl. Kap. 6).

Der überwiegende Anteil am Eintrag der unerwünschten Schwermetalle Cadmium, Chrom, Nickel und Blei resultierte aus dem Einsatz wirtschaftseigener und zugekaufter Futtermittel (Abb. 3-1). Dabei trugen die Zukauffuttermittel insbesondere zum Eintrag der Elemente Chrom und Nickel (v. a. Sojaschrot) bei. Über Zuckerrüben-Pressschnitzel (Betriebe 1 und 3) wurden vergleichbare Mengen an Cadmium und Blei in den Stall eingetragen wie über wirtschaftseigene Futtermittel. Die in den Stall gelangenden Schwermetallfrachten über wirtschaftseigene Futtermittel sind als interner Stoffkreislauf zu betrachten und führen nicht zu einer Anreicherung auf der landwirtschaftlichen Produktionsfläche. Die über wirtschaftseigene Futtermittel eingetragenen Schwermetallfrachten sind daher in erster Linie aus Sicht der Tierernährung und –gesundheit einschließlich einer eventuell auftretenden Rückstandsproblematik in tierischen Erzeugnissen kritisch zu betrachten. Lokal können allerdings Probleme auftreten, wie z. B. in der Mechernicher Trias Bucht, wo in der Vergangenheit infolge hoher Pb-Gehalte in den Aufwüchsen beim Weidevieh toxische Indikationen mit häufig letalem Verlauf (besonders bei Frühjahrsauftrieb) auftraten. Durch landwirtschaftliche Fachberatung, den Einsatz moderner Futterbergetechnik sowie den Anbau von Silomais anstelle von mit Boden behafteten Futterrüben konnte das Problem in den letzten 20 Jahren minimiert werden. Für Blei, Cadmium und Nickel waren die wirtschaftseigenen Futtermittel (Grasprodukte) die Haupteintragsquelle; dies gilt in geringerem Ausmaß auch für Chrom. Als wesentliche Ursache sind bei Anwelsilagen und Heu die höheren Rohaschegehalte infolge von Verunreinigungen mit Boden gegenüber den anderen wirtschaftseigenen Futtermitteln zu nennen. Laut Futteruntersuchung der LUFA Bonn wurden für Anwelsilagen der hier untersuchten Futterbaubetriebe durchschnittliche Rohaschegehalte von 9,5 % in der TM ermittelt. Für im Rahmen der Futtermitteluntersuchung geprüften Maissilagen wurden durchschnittlich lediglich 4,2 % Rohasche in der TM festgestellt. Für beide Silagen entsprachen die Werte den Ziel- und Orientierungswerten der LUFA Bonn.

In Tabelle 3-13 sind die Bilanzsalden der vier Futterbaubetriebe zusammengefasst. Auf allen Betrieben werden tendenziell höhere Austräge von Chrom, Nickel, Blei und Zink festgestellt; dabei waren die Salden fünfmal abgesichert. Bei Betrieb 1 wurde zusätzlich ein signifikant

höherer Cu-Austrag gegenüber dem Eintrag ermittelt. Die Ursachen hierfür konnten nicht geklärt werden. Denkbar wären in diesem Zusammenhang zusätzliche nicht erfasste Einträge wie z. B. eingeleitete Wässer von befestigten Hofflächen. Doch auch bei Annahme, dass durch Waschwasser von Landmaschinen 100 kg standortüblicher Ackerboden über die Regenwassereinleitung in die Gülle gelangt, hätte dies für Blei lediglich eine Erhöhung des Austrages von weniger als 1 % zur Folge. Auch eine Zinkabtragsrate von 10 g m⁻² a⁻¹ an den verzinkten Dachrinnen (Annahme) von Betrieb 1 dürfte sich mit weniger als 1 g Zink GV⁻¹ a⁻¹ nur unwesentlich auswirken. Die höheren Austräge an Chrom in den Betrieben 1 bis 3 (nur für Betrieb 3 signifikant) könnten durch Materialabrieb von Futterentnahmegeräten begründet sein. Die Ursache für den signifikant niedrigeren Austrag gegenüber dem Eintrag an Cadmium bei Betrieb 4 konnte nicht geklärt werden.

Tab. 3-13: Bilanzsalden (Stall) der untersuchten Futterbaubetriebe, Teilprojekt Bonn

	Cd	Cr	Cu g GV ⁻¹ a ⁻¹	Ni	Pb	Zn
Betrieb 1, Milchviehhaltung	+0,3	-5,6	-256,5*	-5,4	-7,6*	-59,1
Betrieb 2, Milchviehhaltung	-0,02	-9,3	3,3	-3,3	-9,1	-1,2
Betrieb 3, Milchviehhaltung	+0,1	-12,4*	25,3	-6,2	-6,1	-166,9
Betrieb 4, Bullenmast	+0,2*	-0,6	-12,3*	-3,1*	-0,2	-66,3*

+ = Eintrag > Austrag - = Austrag > Eintrag * = signifikanter Unterschied

3.2 Futterbaubetrieb mit Mutterkuhhaltung - Betrieb 5

Schwermetallgehalte

Dieser Betrieb mit Mutterkuhhaltung befand sich ab Frühjahr 2001 in der Abstockungsphase, im Dezember 2001 erfolgte die Betriebsaufgabe. Die Verfolgung der Stoffströme im Betrieb war schwierig, da große Mengen der eingesetzten Betriebsmittel betriebsfremd und sehr variabel waren. Die Mengen waren aufgrund der engen Verflechtungen mit einem kooperierenden Betrieb nur schlecht nachvollziehbar und ließen sich aus den Unterlagen des Betriebsleiters nicht vollständig kalkulieren, so dass keine sachgerechte Bilanzierung vorgenommen werden konnte. Die Analysenergebnisse der Betriebsmittel und Erzeugnisse (Tab. 3-14) fließen in die Gesamtauswertung (Kap. 8) ein. Die Ergebnisse sind vergleichbar mit denen der Futterbaubetriebe 1 bis 4; die Grassilage wies gegenüber der Silage von den Betrieben 1 und 2 geringere Zn-Gehalte auf. Die Cu- und Zn-Gehalte der Silagen sind vergleichbar mit den Ergebnissen aus der Routineanalytik der LUFA Oldenburg (Tab. 5-18).

Tab. 3-14: Schwermetallgehalte wirtschaftseigener Futtermittel, Stroh, Betrieb 5 (Mutterkuhhaltung)

Futtermittel	n	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
mg kg ⁻¹ TM							
Maissilage	1	0,07	1,41	4,12	0,25	0,51	12,16
Grassilage	10	0,12 ± 0,05	1,15 ± 0,06	6,15 ± 0,54	2,07 ± 1,95	0,71 ± 0,31	22,83 ± 2,57
Triticalestroh	15	0,09 ± 0,02	0,89 ± 0,18	2,64 ± 1,54	0,62 ± 0,18	0,73 ± 0,18	10,16 ± 10,00
Weizenstroh	19	0,14 ± 0,02	1,08 ± 0,67	2,59 ± 0,77	0,93 ± 0,67	0,69 ± 0,61	7,61 ± 2,34

± Standardabweichung

Die Werte für Gülle (Tab. 3-15) lagen durchschnittlich höher als die der Betriebe 1 bis 4 mit allerdings hohen Standardabweichungen; die Konzentrationen bewegten sich jedoch im Bereich der in Kapitel 3.1.1 genannten Literaturwerte. Eine Ursache für die höheren Gehalte könnte in der längeren Lagerungsdauer infolge des Betriebsmanagements liegen. Dies führt zu einem Abbau organischer Substanz und damit geringeren Trockenmassegehalten infolge von Atmungs- und Gärungsprozessen, so dass es zu einem relativen Anstieg der anorganischen Anteile, also auch der Schwermetalle, an der Trockenmasse, kommt. Die Pb- und Zn-Gehalte lagen in der Gülle des Betriebes 5 durchschnittlich zu 200 % über den Konzentrationen in den Rindergüllen der Betriebe 1 bis 4; die Ursache hierfür konnte nicht ermittelt werden. Der Festmist wies geringere Zn-Gehalte gegenüber den Werten für die Betriebe 1 bis 3 auf.

Tab. 3-15: Schwermetallgehalte der Wirtschaftsdünger, Betrieb 5 (Mutterkuhhaltung)

Wirtschaftsdünger	n	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
mg kg ⁻¹ TM							
Gülle	13	0,67 ± 0,17	12,91 ± 11,47	35,80 ± 15,35	12,22 ± 10,81	19,49 ± 10,52	887,34 ± 370,40
Mist	20	0,25 ± 0,12	4,04 ± 1,43	16,68 ± 18,78	3,86 ± 1,87	7,76 ± 19,78	79,32 ± 107,75

± Standardabweichung

3.3 Veredelungsbetriebe mit Schweinehaltung - Betriebe 6 und 7

3.3.1 Schwermetallgehalte

Die in die Veredelung eingehenden pflanzlichen Erzeugnisse für Betrieb 7 zeigt Tabelle 3-16. Dies sind sowohl die als Futtermischungskomponenten eingesetzten Getreidearten und CCM als auch das zur Einstreu verwendete Weizen- und Gerstenstroh. Insgesamt waren die ermittelten Gehalte vergleichbar mit den Werten aus der Literatur (SAUERBECK und LÜBBEN 1991 b, WILCKE und DÖHLER 1995, BRÜGGEDE 1999). Bei den einzelnen Getreidearten lagen die Elementgehalte für Kupfer und Zink in den Körnern in der gleichen Größenordnung. Die Bleigehalte im Weizen- und Gerstenstroh waren im Vergleich zu den Körnern bedeutend höher. Betrieb 6 setzt keine wirtschaftseigenen Futtermittel ein.

Tab. 3-16: Schwermetallgehalte wirtschaftseigener Futtermittel und Stroh, Betrieb 6 und 7 (Zuchtsauen, Ferkelerzeugung, Mastschweine (7))

Betrieb	Erzeugnis	n	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
					mg kg ⁻¹ TM			
7	Winterweizen	8	0,16 ± 0,04	0,12 ± 0,11	3,06 ± 0,51	0,11 ± 0,14	0,18 ± 0,22	26,16 ± 8,39
7	Triticale	6	0,08 ± 0,02	0,05 ± 0,03	3,89 ± 2,09	0,43 ± 0,33	0,10 ± 0,08	37,22 ± 9,31
7	Gerste	5	0,04 ± 0,01	0,11 ± 0,06	2,47 ± 1,56	0,11 ± 0,05	0,15 ± 0,04	32,76 ± 14,98
7	Hafer	9	0,10 ± 0,01	0,35 ± 0,38	3,71 ± 0,43	0,71 ± 0,23	0,15 ± 0,02	29,53 ± 4,68
7	CCM	5	0,16 ± 0,01	0,07 ± 0,03	2,84 ± 4,20	0,18 ± 0,14	0,07 ± 0,02	22,91 ± 5,00
7	Weizenstroh	14	0,28 ± 0,09	0,67 ± 0,26	3,05 ± 0,76	0,63 ± 0,16	0,56 ± 0,12	16,96 ± 14,00
6	Weizenstroh	35	0,17 ± 0,06	0,49 ± 0,10	2,38 ± 0,43	0,49 ± 0,51	0,58 ± 0,20	6,98 ± 2,44
7	Gerstenstroh	15	0,09 ± 0,02	0,87 ± 0,41	4,55 ± 3,21	0,66 ± 0,41	0,65 ± 0,09	9,96 ± 2,24

± Standardabweichung

Die Schwermetallgehalte der zugekauften Einzel- und Mischfuttermittel, die auf Betrieb 7 eingesetzt werden, zeigt Tabelle 3-17. Die Mineralfuttermittel und das mineralisierte proteinhaltige Ergänzungsfuttermittel (Eiweißergänzer) wiesen die höchsten Gehalte an den Spurenelementen Kupfer und Zink auf; diese Elemente werden den Futtermitteln gezielt zugesetzt. Die Mineralfuttermittel zeigten darüber hinaus höhere Gehalte an den Schwermetallen Nickel, Blei und vor allem an Chrom. Die Standardabweichungen bei den Einzelfuttermitteln lagen zum Teil sehr hoch, wie z. B. beim Kupfergehalt der Fischmehlproben (Variationskoeffizient > 90 %). Obwohl diese Schwankungen sowohl bei den zugekauften als auch den wirtschaftseigenen Futtermitteln auftraten, waren die Standardabweichungen der Schwermetallgehalte in den Futtermischungen dieses Betriebes vergleichsweise gering (Tab. 3-18).

Tab. 3-17: Schwermetallgehalte in zugekauften Einzel- und Mischfuttermitteln, Betrieb 7 (Zuchtsauen, Ferkelerzeugung, Mastschweine)

Futtermittel	n	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
mg kg ⁻¹ TM							
Sojaschrot	5	0,06 ± 0,04	0,66 ± 0,21	12,88 ± 8,28	3,51 ± 2,66	0,21 ± 0,06	51,5 ± 6,40
Fischmehl	4	0,40 ± 0,21	1,47 ± 0,95	4,32 ± 4,23	1,64 ± 0,55	0,84 ± 0,83	89,6 ± 0,46
Weizenkleie	5	0,13 ± 0,02	0,60 ± 0,25	10,36 ± 3,28	0,55 ± 0,19	0,41 ± 0,20	87,0 ± 20,1
Ergänzungsf. Mastschweine (Eiweißergänzer)	3	0,14 ± 0,02	2,43 ± 2,44	125,11 ± 10,41	4,02 ± 1,28	0,55 ± 0,27	392,0 ± 132,2
Mineralfutter Sauen	4	1,56 ± 0,97	55,03 ± 28,95	733,6 ± 386,6	14,33 ± 2,27	3,60 ± 0,77	2361,3 ± 120,4
Mineralfutter Ferkel	3	0,29 ± 0,27	24,01 ± 30,63	3133,3 ± 104,1	11,59 ± 7,28	6,91 ± 3,25	3647,9 ± 688,0
Mineralfutter Mastschweine	2	0,76 ± 0,10	17,82 ± 0,15	818,0 ± 624,9	16,58 ± 8,44	3,72 ± 2,64	4811,7 ± 479,2

± Standardabweichung

Tab. 3-18: Schwermetallgehalte in zugekauften (Betrieb 6) und selbstgemischten (Betrieb 7) Ergänzungs- und Alleinfuttermitteln

Betrieb	Futtermittel	n	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
mg kg ⁻¹ TM								
6	Ergänzungsf. Saugferkel (Prestarter)	4	0,15 ± 0,02	0,95 ± 0,11	181,2 ± 8,26	1,04 ± ,12	0,15 ± 0,08	204,4 ± 17,7
7	Ergänzungsf. Saugferkel (Prestarter)	2	0,13 ± 0,02	1,48 ± 1,38	184,5 ± 8,2	1,72 ± 0,29	0,287 ± 0,08	272,8 ± 34,4
6	Alleinfutter Aufzuchtferkel	4	0,12 ± 0,03	1,59 ± 0,78	157,1 ± 11,6	2,28 ± 1,90	0,55 ± 0,23	197,2 ± 25,9
7	Alleinfutter Aufzuchtferkel	6	0,13 ± 0,05	1,38 ± 0,77	117,1 ± 59,9	1,32 ± 0,69	0,34 ± 0,18	149,3 ± 48,5
6	Alleinfutter Sauen (güst, tragend)	5	0,11 ± 0,03	0,60 ± 0,28	33,4 ± 3,8	1,11 ± 0,39	0,60 ± 0,34	193,3 ± 21,84
6	Alleinfutter Sauen (laktierend)	5	0,10 ± 0,03	0,97 ± 0,38	38,2 ± 22,9	2,17 ± 1,29	0,50 ± 0,19	230,9 ± 41,5
7	Alleinfutter Sauen	5	0,18 ± 0,08	1,91 ± 1,47	79,8 ± 44,4	1,29 ± 0,22	0,42 ± 0,18	168,5 ± 43,6
7	Alleinfutter Mastschweine (Vormast)	5	0,14 ± 0,05	1,69 ± 0,16	66,0 ± 15,2	1,60 ± 0,69	0,24 ± 0,08	235,9 ± 98,2
6	Alleinfutter Mastschweine (Endmast)	3	0,09 ± 0,01	1,21 ± 1,33	39,8 ± 3,0	1,37 ± 0,87	0,72 ± 0,38	114,2 ± 7,1
7	Alleinfutter Mastschweine (Endmast)	5	0,12 ± 0,02	0,97 ± 0,27	31,7 ± 6,5	1,22 ± 0,24	0,17 ± 0,07	148,2 ± 28,7

± Standardabweichung

Die höchsten Zinkgehalte enthielten die Alleinfuttermittel für Mastschweine (Vormast) und laktierende Sauen sowie die Ergänzungsfuttermittel für Saugferkel. Für die in der Endmast

eingesetzten Alleinfuttermittel wurden geringere Mengen an Zink festgestellt (Tab. 3-18). Deutliche Abstufungen wiesen die Kupfergehalte der Futtermittel für die unterschiedlichen Tierkategorien auf. Die Kupfergehalte der Ergänzungsfuttermittel für Saugferkel (Prestarter) waren am höchsten, gefolgt von den Gehalten in den Alleinfuttermitteln für Aufzuchtferkel. Entsprechend den futtermittelrechtlichen Vorgaben gelten ab der 17. Lebenswoche geringere Kupfergehalte in Alleinfuttermitteln für Mastschweine. Betrieb 6 setzt lediglich Alleinfutter für die Endmast ein, da nur die Tiere gemästet werden, die nicht verkauft werden können. Das selbstgemischte Sauenfutter bei Betrieb 7 enthielt höhere Kupfergehalte als beide zugekauften Sauenfutter von Betrieb 6.

Das auf beiden Veredelungsbetrieben genutzte hofeigene Brunnenwasser wies nahezu identische Schwermetallhalte auf (Tab. 3-19). Als nennenswerte Anteile waren nur Zink und Blei, vermutlich aus der Verrohrung, zu nennen.

Tab. 3-19: Schwermetallgehalte in Wasser zur Tränke und Reinigung

Betrieb	n		Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
			mg l ⁻¹					
6	5	Brunnenwasser	n.n	0,01 ± 0,00	n.n	0,01 ± 0,02	0,03 ± 0,08	0,22 ± 0,10
7	6	Brunnenwasser	n.n	n.n	0,01 ± 0,02	n.n	0,03 ± 0,04	0,24 ± 0,11

± Standardabweichung

Die Tabellen 3-20 und 3-21 zeigen die Schwermetallgehalte in den Wirtschaftsdüngern. Neben der Mischgülle bzw. dem Mist für den gesamten Stall sind auch die Konzentrationen in den Wirtschaftsdüngern für die einzelnen Tierkategorien mitgeteilt. Bei der Bilanzierung wurde mit den Schwermetallgehalten der Mischgülle bzw. dem Mist für den gesamten Stall gerechnet, da nur hierfür eine genaue Mengenermittlung vorlag.

Tab. 3-20: Schwermetallgehalte der Wirtschaftsdünger, Betrieb 6 (Zuchtsauen, Ferkelerzeugung)

Wirtschaftsdünger	n	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
		mg kg ⁻¹ TM					
Mischgülle Stall	19	0,49 ± 0,13	14,55 ± 7,06	736,3 ± 102,0	11,50 ± 3,98	11,81 ± 5,92	2060,9 ± 343,0
Gülle Aufzuchtferkel	3	0,33 ± 0,02	3,47 ± 1,30	1122,7 ± 16,5	11,10 ± 5,82	5,08 ± 1,41	1596,8 ± 217,1
Gülle Sauen säugend	3	0,22 ± 0,01	1,95 ± 0,75	166,5 ± 15,7	6,51 ± 3,37	4,16 ± 1,07	1219,8 ± 96,9
Gülle Sauen güst (tragend)	5	0,38 ± 0,11	2,77 ± 1,98	122,7 ± 45,7	4,67 ± 1,55	2,78 ± 0,96	897,0 ± 92,7
Mist Sauen güst (tragend)	1	0,29 ± 0,01	3,21 ± 0,09	99,03 ± 0,47	3,75 ± 0,11	1,79 ± 0,03	393,7 ± 21,8

± Standardabweichung

Auffällig waren die höheren Cr- und Zn-Gehalte sowie z. T. Cd- und Pb-Gehalte in der Mischgülle gegenüber den Güllen der einzelnen Tierkategorien (Tab. 3-20; vgl. Kap. 3.3.4). Die Zinkgehalte in der Gülle der Aufzuchtferkel (Betrieb 6) waren höher als die Gehalte in

den Wirtschaftsdüngern der Sauen. Die Flüssigmiste von Betrieb 6 enthielten höhere Konzentrationen an Kupfer, Blei und Zink als die den Haltungsgruppen entsprechenden Festmischvarianten von Betrieb 7 (Tab. 3-20, 3-21). Die Kupfergehalte in den Wirtschaftsdüngern waren gemäß den Gehalten in den Futtermitteln mit zunehmendem Lebensalter der Tiere geringer (Tab. 3-21).

Tab. 3-21: Schwermetallgehalte der Wirtschaftsdünger, Betrieb 7 (Zuchtsauen, Ferkelerzeugung, Mastschweine)

Wirtschaftsdünger	n	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
mg kg ⁻¹ TM							
Mist alle Tierkategorien	10	0,49 ± 0,13	10,31 ± 9,16	151,9 ± 82,8	5,37 ± 5,61	2,96 ± 2,16	508,0 ± 215,7
Mist Aufzuchtferkel	11	0,40 ± 0,16	6,53 ± 1,50	451,9 ± 399,5	6,15 ± 2,55	1,90 ± 1,90	626,2 ± 685,9
Mist Sauen säugend	13	0,25 ± 0,10	4,36 ± 1,85	65,3 ± 75,2	3,79 ± 2,05	1,52 ± 0,86	349,5 ± 317,7
Mist Sauen güst	9	0,35 ± 0,07	4,62 ± 2,03	80,2 ± 18,7	3,00 ± 1,27	2,02 ± 1,42	293,5 ± 65,7
Mist Mastschwein (Vormast)	13	0,36 ± 0,13	16,96 ± 39,65	207,1 ± 110,4	5,15 ± 3,68	1,07 ± 0,41	504,7 ± 192,3
Mist Mastschwein (Endmast)	13	0,31 ± 0,05	34,39 ± 71,16	153,42 ± 239,4	5,24 ± 4,21	1,97 ± 2,07	464,0 ± 146,7
Jauche	3	0,64 ± 0,21	14,53 ± 4,63	118,5 ± 104,2	10,90 ± 1,69	9,55 ± 4,15	538,0 ± 244,5

± Standardabweichung

Die Cr-Gehalte im Schweinemist (Vor- und Endmast) von Betrieb 7 waren im Vergleich zu den übrigen Tierkategorien auffallend hoch und sind auf hohe Gehalte in den Proben eines einzelnen Beprobungstermins zurückzuführen. In der auf Betrieb 7 anfallenden Jauche wurden im Vergleich zum Mist höhere Cd-, Ni- und Pb-Gehalte festgestellt; zu beachten ist allerdings der geringe Stichprobenumfang.

3.3.2 Schwermetallflüsse

Die prozentualen Anteile der Schwermetallströme am Gesamteintrag zeigt Abbildung 3-3. Bei Betrieb 6 werden ausschließlich zugekaufte Mischfuttermittel eingesetzt; diese hatten den größten Anteil am Schwermetalleintrag in den Stall. Da nur die im Deckzentrum aufgestallten Sauen eingestreut werden, waren auch die Anteile des Weizenstrohs am Schwermetallinput gering. Lediglich das verwendete Brunnenwasser für Tränke und Desinfektion war für Blei mit ca. 20 % am Eintrag beteiligt; dies gilt auch für Betrieb 7 (vgl. Sonstige Betriebsmittel in Abb. 3-3 und Tab. 3-22, 3-23). Das verwendete Weizen- und Gerstenstroh trug bei Betrieb 7 mit rund 40 % für Cadmium und 30 % für Blei zum Schwermetalleintrag in den Stall bei (vgl. Sonstige Betriebsmittel, Tab. 3-23). Der Anteil der wirtschaftseigenen Futtermittel am Schwermetallinput war, mit Ausnahme von Kupfer und Zink, geringer als der über das Stroh. Die Zukauffuttermittel wiesen für die Elemente Chrom und Nickel Anteile von mehr als 70 %, bei Kupfer und Zink von ca. 90 % des Schwermetalleintrages in den Stall auf. Da es sich bei den zugekauften protein- und energiehaltigen Futtermitteln zu einem mengenmäßig bedeutsamen Anteil um eine bereits mineralisierte Eiweißvormischung (protein-

haltiges Ergänzungsfuttermittel für die Endmast) handelt, ist der Anteil der Mineralfuttermittel bei den Eintragspfaden noch höher als dies durch Abbildung 3-3 deutlich wird.

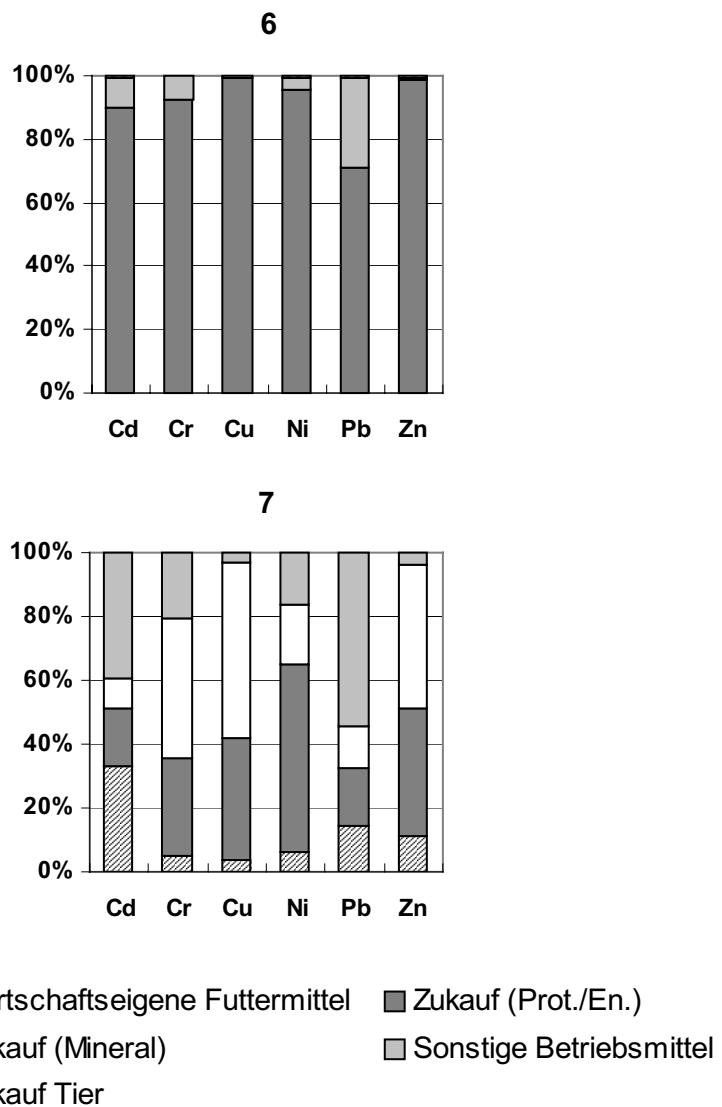


Abb. 3-3: Prozentualer Anteil der Stoffströme am Schwermetallinput in den Stall, Betriebe 6 und 7 (Zuchtsauen, Ferkelerzeugung, Mastschweine (7))

3.3.3 Stallbilanzen

Tabelle 3-22 und 3-23 zeigen die Ein- und Austragswege verschiedener Schwermetalle für die Stallbilanz der Betriebe 6 und 7 (bezogen auf $g\text{ GV}^{-1}\text{ a}^{-1}$). Die absoluten Daten ($g\text{ a}^{-1}$) für die Schwermetallflüsse sind den Anhangtabellen 3-5 und 3-6 zu entnehmen.

Auffallend sind bei Betrieb 6 besonders die Eintragsmengen der einzelnen zugekauften Mischfuttermittel. Die Einträge über das Ergänzungsfuttermittel für Saugferkel (Prestarter) waren aufgrund der geringen Futtermenge fast zu vernachlässigen. Den größten Eintrag für alle Schwermetalle unter den Zukauffuttermitteln besaß neben dem Alleinfutter für tragende Sauen (Eintrag für Zink 40 %) das Alleinfuttermittel für Aufzuchtferkel; für Kupfer lag dessen

Anteil bei 70 % am Gesamteintrag. Der Eintragspfad über Zukauf von Tieren spielte nur eine untergeordnete Rolle.

Betrieb 7 liefert durch die hofeigenen Futtermischungen ein detailliertes Bild über die Schwermetalleinträge der einzelnen Futterkomponenten in den Stall. So trugen die Mineralfuttermittel hohe Mengen an Chrom, Kupfer, Nickel und Zink ein. Zu berücksichtigen ist in diesem Zusammenhang auch das mineralisierte Ergänzungsfuttermittel (Eiweißergänzer), das in der Endmast eingesetzt wurde und über das die höchsten Einträge an Chrom, Kupfer, Nickel und Zink in den Stall erfolgten.

Bei den wirtschaftseigenen Futtermitteln fielen lediglich die eingetragenen Mengen an Cadmium sowie Zink (Gerste und Weizen) auf. Durch den Proteinträger Sojaschrot gelangte außerdem ein relativ großer Anteil von ca. 1,4 g Nickel $GV^{-1} a^{-1}$ (im Vergleich zum Gesamteintrag von 7,4 g $GV^{-1} a^{-1}$) in den Stall.

Tab. 3-22: Stallbilanz, Betrieb 6 (Zuchtsauen, Ferkelerzeugung)

		Cd	Cr	Cu g $GV^{-1} a^{-1}$	Ni g $GV^{-1} a^{-1}$	Pb	Zn
Zukauffuttermittel (Protein/Energie)	Alleinfutter Sauen tragend	0,18	0,97	38,5	1,79	0,97	311,9
	Alleinfutter Sauen säugend	0,07	0,65	25,8	1,46	0,34	156,0
	Ergänzungsfutter Saugferkel (Prestarter)	0,001	0,01	1,0	0,01	0,001	1,7
	Alleinfutter Auf- zuchtferkel	0,18	2,45	169,3	3,46	0,98	300,5
	Alleinfutter Endmast	0,02	0,27	7,0	0,31	0,16	25,7
Sonstige Betriebsmittel	Stroh	0,05	0,13	0,7	0,13	0,16	1,9
	Wasser	<0,001	0,21	<0,001	0,15	0,80	6,7
Zukauf Tier		0,002	0,01	0,2	0,04	0,02	2,9
Summe Eintrag		0,50	4,71	242,5	7,34	3,43	807,3
Gesamtfehler Eintrag		0,07	1,09	53,5	2,12	1,02	71,4
Tierische Erzeugnisse	Fleisch	0,04	0,18	3,3	0,63	0,36	49,8
Wirtschaftsdünger	Mist	0,06	0,70	21,5	0,81	0,39	85,6
	Gülle	0,26	7,79	394,4	6,16	6,32	1103,9
Summe Austrag		0,36	8,67	419,2	7,60	7,07	1239,3
Gesamtfehler Austrag		0,07	1,94	84,4	1,55	1,57	247,2
Bilanzsaldo		0,14	-3,96	-176,7	-0,26	-3,64	-432,0

Der Austrag an Schwermetallen erfolgte auf beiden Betrieben im Wesentlichen über die Wirtschaftsdünger. Die im Betrieb 7 anfallende Jauche hatte trotz hoher Konzentrationen gegenüber dem Stallmist und dem Austrag über den Tierkörper nur eine untergeordnete Bedeutung; nur 0,5 g $GV^{-1} a^{-1}$ Kupfer und 2,1 g $GV^{-1} a^{-1}$ Zink wurden auf diesem Weg ausgetragen. Der Tierkörper war hinsichtlich des Schwermetallaustrages für die Elemente Blei und Nickel mit ca. 5 bis 8 %, bei Zink mit bis zu 6 %, bei Chrom mit maximal 2 % und bei Cadmi-

um zwischen 5 und 11 % am Gesamtaustrag beteiligt. Für Kupfer betrug dieser Anteil lediglich 1 %.

Tab. 3-23: Stallbilanz, Betrieb 7 (Zuchtsauen, Ferkelerzeugung, Mastschweine)

		Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
		g GV ⁻¹ a ⁻¹					
Wirtschaftseigene Futtermittel	Weizen	0,23	0,17	4,4	0,16	0,26	37,6
	Triticale	0,01	0,01	0,7	0,07	0,02	6,3
	Gerste	0,05	0,14	3,1	0,13	0,19	41,6
	Hafer	0,01	0,04	0,4	0,08	0,02	3,5
	CCM	0,002	0,01	0,3	0,02	0,01	2,2
Zukauffuttermittel (Protein/Energie)	Gerste	0,02	0,06	1,4	0,06	0,09	18,7
	Sojaschrot	0,02	0,27	5,2	1,42	0,08	20,8
	Fischmehl	0,02	0,07	0,2	0,08	0,04	4,7
	Weizenkleie	0,01	0,03	0,5	0,03	0,02	4,1
	mineral. proteinh. Ergänzungsfutter Endmast	0,10	1,68	86,4	2,78	0,38	270,8
Zukauffuttermittel (Mineral)	Mineralf. Sauen	0,05	1,77	23,6	0,46	0,22	117,2
	Mineralf. Ferkel	0,01	0,64	83,7	0,31	0,10	63,1
	Mineralf. Vormast	0,03	0,64	29,5	0,60	0,13	173,3
Sonstige Betriebsmittel	Stroh	0,37	1,41	6,9	1,2	1,12	25,9
	Wasser	<0,001	<0,001	0,2	<0,001	0,72	5,1
Zukauf Tier		0,001	0,004	0,1	0,01	0,01	1,1
Summe Eintrag		0,94	6,93	246,6	7,40	3,40	795,9
Gesamtfehler Austrag		0,14	2,38	42,7	1,77	0,92	121,3
Tierische Erzeugnisse	Fleisch	0,05	0,23	4,3	0,82	0,47	64,9
Wirtschaftsdünger	Mist	0,96	20,04	295,2	10,43	5,76	986,9
	Jauche	0,003	0,06	0,5	0,04	0,04	2,1
Summe Austrag		1,01	20,33	299,9	11,29	6,26	1053,9
Gesamtfehler Austrag		0,22	7,01	79,9	4,16	1,84	250,2
Bilanzsaldo		-0,07	-13,40	-53,3	-3,89	-2,86	-258,0

Beide Betriebe wiesen in Bezug auf den Eintrag der Spurenelemente Kupfer und Zink vergleichbare Ergebnisse auf (Abb. 3-4). Dieser belief sich auf 243 bzw. 247 g GV⁻¹ a⁻¹ für Kupfer und auf 807 bzw. 796 g GV⁻¹ a⁻¹ für Zink (Tab. 3-22, 3-23). Die Ein- und Austräge von Cadmium, Chrom und Nickel lagen bei Betrieb 7 auf einem höheren Niveau als bei Betrieb 6. Bei Betrieb 6 waren die Austräge von Kupfer und Zink und auf beiden Betrieben die Austräge von Chrom und Blei signifikant höher gegenüber den Einträgen (Abb. 3-4).

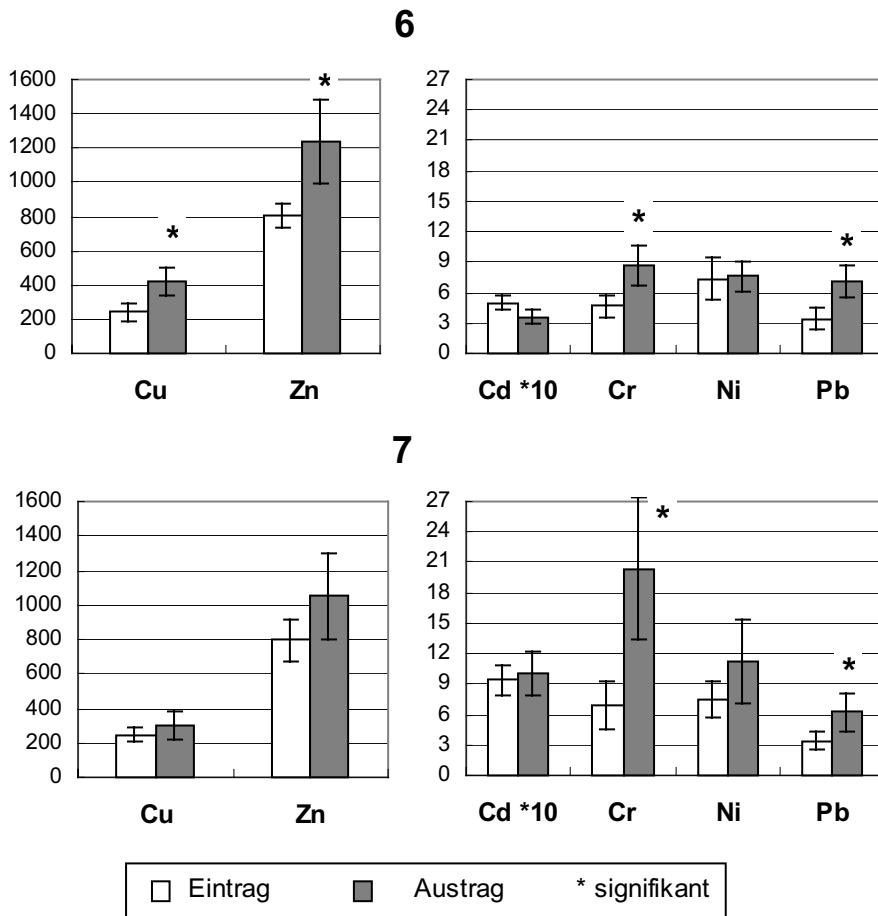


Abb. 3-4: Ein- und Austräge ($\text{g GV}^{-1} \text{ a}^{-1}$) an Schwermetallen (Stall), Betriebe 6 und 7 (Zuchtsauen, Ferkelerzeugung, Mastschweine (7))

3.3.4 Diskussion

Die Untersuchungen zeigen, dass die Fütterung, insbesondere der Anteil an Zukauffuttermitteln, in der Schweinehaltung eine zentrale Rolle für den Schwermetalleintrag in den Stall einnimmt (vgl. Abb. 3-3). Die zugekauften Futtermittel von Betrieb 6 machten, mit Ausnahme von Blei, mindestens 90 % des Schwermetalleintrages aus. Bei Betrieb 7 waren die Futtermittel mit 85 bzw. 94 % am Zn- und Cu-Eintrag beteiligt.

Obwohl die die Haltungsdauer der Tiere bei Betrieb 7 im geschlossenen System erheblich länger ist, waren somit die fütterungsbedingten Einträge bei beiden Betrieben ähnlich. Aufgrund der Tatsache, dass die Kupfergehalte im Futter der Schweine in der Endmast deutlich abgesenkt sind, läge nahe, dass der Eintrag an Kupfer pro GV und Jahr bei Betrieb 7 geringer wäre, als bei Betrieb 6; dies war aber nicht der Fall. Die absoluten Einträge über das mineralisierte, proteinhaltige Ergänzungsfuttermittel (Endmast) waren am höchsten (Tab. 3-23), da dieses Futtermittel am längsten und in den größten Mengen an die Tiere verfüttert wird. Darüber hinaus waren auch die Kupfereinträge über die Mineralfutter, insbesondere für Ferkel, bedeutsam. Hinzu kommt, dass der Betrieb 7 nur eine Mischung für laktierende und güste Sauen herstellt, die höhere Gehalte an Kupfer besaß als die beiden zugekauften

Alleinfuttermittel für Sauen bei Betrieb 6. Die Ergebnisse deuten auf ein Einsparungspotenzial für die Cu-Supplementierung bei Betrieb 7 hin.

Die Untersuchungen bei Betrieb 7 ergaben, dass die Einträge der Elemente Chrom und Nickel, besonders aber Cadmium und Blei, zu großen Anteilen aus dem Einsatz des wirtschaftseigenen Strohs resultierten (Cadmium: 40 %, Blei: 33 %). Bei Beurteilung der Schwermetallgehalte in Stroh und in wirtschaftseigenen Futtermitteln muss berücksichtigt werden, dass diese in einem betriebsinternen Kreislauf geführt werden. Als Input (von außerhalb des Betriebes) in den Stall sind demnach bei den Futtermitteln nur die Zukauffuttermittel zu sehen. Da die Anteile der verwendeten Futterkomponenten für die Mischung der Futtermittel (Kraftfutterwerk oder hofeigene Mischstation) ähnlich sind, ist davon auszugehen, dass die Nettoimporte der Spurenelemente Kupfer und Zink, aber auch die von Chrom, Nickel und Blei hauptsächlich aus der Supplementierung der Spurenelemente resultieren (Tab. 3-17, 3-18, Betrieb 7).

Die hohen Elementgehalte in der Mischgülle gegenüber den Güllen der einzelnen Tierkategorien (Tab. 3-20) könnten durch einen Konzentrationsanstieg infolge von Trockenmasseverlusten (aerober und anaerober Abbau) während der Lagerung bedingt sein.

Tabelle 3-24 und 3-25 zeigen Untersuchungsergebnisse für Kupfer und Zink in den eingesetzten Alleinfuttermitteln. Diese wurden den Versorgungsempfehlungen und zulässigen Höchstgehalten an Kupfer und Zink in Alleinfuttermitteln gegenübergestellt. Die in den Futtermischungen enthaltenen Cu- und Zn-Mengen lagen i. d. R. nahe an den gemäß Futtermittelverordnung zulässigen Höchstgehalten in Alleinfuttermitteln und nicht an den von der GFE und dem NRC genannten Versorgungsempfehlungen (vgl. Kap. 7.3).

Tab. 3-24: Versorgungsempfehlungen, ermittelte Cu-Gehalte in Alleinfuttermitteln und zulässige Höchstgehalte (mg kg^{-1}) bei 88 % TM nach Futtermittelverordnung

Futtermittel	Versorgungsempfehlungen für Kupfer ¹⁾	Gemessener Cu-Gehalt mg kg^{-1}		zulässige Cu-Höchstgehalte in Alleinfuttermitteln laut FuttermittelVO ²⁾
		Betrieb 6	Betrieb 7	
Aufzuchtferkel	6	157 (n=4)	122 (n=5)	175
Vormast	4-5	-	66 (n=5)	
Endmast		40 (n=3)	34 (n=4)	
Sauen gesamt	8-10	-	80 (n=5)	35
Sauen güst		33 (n=5)	-	
Sauen säugend		38 (n=5)	-	

¹⁾ GFE, zit. in KIRCHGESSNER (1997)

²⁾ Anl. 5, FMV (2000)

Tab. 3-25: Versorgungsempfehlungen, ermittelte Zn-Gehalte in Alleinfuttermitteln und zulässige Höchstgehalte (mg kg⁻¹) bei 88 % TM nach Futtermittelverordnung

Futtermittel	Versorgungs--empfehlungen für Zink ¹⁾	Gemessener Zn-Gehalt mg kg ⁻¹		zulässige Zn-Höchstmenge in Alleinfuttermitteln laut FuttermittelVO ²⁾
		Betrieb 6	Betrieb 7	
Aufzuchtferkel	80-100	197 (n=4)	157 (n=5)	
Vormast	50-60	-	236 (n=5)	250
Endmast		114 (n=3)	156 (n=4)	
Sauen gesamt	50	-	169 (n=5)	
Sauen güst		193 (n=5)	-	
Sauen säugend		231 (n=5)	-	

¹⁾ GFE , zit. in KIRCHGESSNER (1997)²⁾ Anl. 5, FMV (2000)

Die Bilanzsalden der beiden Schweinehaltungsbetriebe mit Ferkelerzeugung und Mast sind in Tabelle 3-26 dargestellt. Mit Ausnahme von Cadmium wurden für alle Elemente tendenziell höhere Austräge festgestellt; dies war in sechs Fällen signifikant. Die höheren Cu-, Cr- und Pb-Austräge können nicht erklärt werden. Für Zink könnte zumindest ein Eintrag über Korrosion und Abrieb verzinkter Stalleinrichtungen bedeutend sein. Inwieweit darüber das aufgetretene Bilanzsaldo von 432 g GV⁻¹ a⁻¹ erklärt werden könnte, ist fraglich.

Tab. 3-26: Bilanzsalden (Stall) der untersuchten Schweinehaltungsbetriebe, Teilprojekt Bonn

	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
	g GV ⁻¹ a ⁻¹					
Betrieb 6, Sauen und Ferkelerzeugung	0,14	-4,0*	-176,7*	-0,3	-3,6*	-432*
Betrieb 7, Sauen, Ferkelerzeugung, Mast-schweine	-0,07	-13,4*	-53,3	-3,9	-2,9*	-258

+ = Eintrag > Austrag - = Austrag > Eintrag * = signifikanter Unterschied

3.4 Veredelungsbetrieb mit Mastschweinehaltung – Betrieb 8

Schwermetallgehalte

Aufgrund der in der ersten Jahreshälfte 2001 aufgetretenen Maul- und Klauenseuche entschloss sich der Betriebsleiter, die Stallungen für mehrere Monate leer stehen zu lassen. Zwar wurde der Stall zu einem späteren Zeitpunkt wieder belegt, der Zeitraum der Tierproduktion und somit der Probenumfang reichte allerdings nicht aus, um gesicherte Bilanzen berechnen zu können. Einzelanalysen von Futter- und Betriebsmitteln werden nachfolgend mitgeteilt und gehen in die Gesamtauswertung ein (Kap. 8).

Die in Tabelle 3-27 dargestellten Schwermetallgehalte der verwendeten Alleinfuttermittel waren vergleichbar mit denen der Betriebe 6 und 7 (Tab. 3-18).

Tab. 3-27: Schwermetallgehalte in Zukauffuttermitteln, Betrieb 8 (Mastschweinehaltung)

Alleinfuttermittel	n	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
		mg kg ⁻¹ TM					
Vormast	3	0,13 ± 0,01	0,10 ± 0,14	34,17 ± 3,00	1,38 ± 0,21	0,28 ± 0,02	172,78 ± 9,98
Endmast	6	0,08 ± 0,01	1,09 ± 0,24	24,54 ± 10,81	1,54 ± 0,48	0,25 ± 0,10	148,92 ± 10,72

± Standardabweichung

Tabelle 3-28 zeigt die Werte für die Gülle der Mastschweine, die aufgrund unterschiedlicher Entmistung (Gülle/Festmist) nicht mit den Werten von Betrieb 7 verglichen werden können.

Tab. 3-28: Schwermetallgehalte im Wirtschaftsdünger, Betrieb 8 (Mastschweinehaltung)

Wirtschaftsdünger	n	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
		mg kg ⁻¹ TM					
Gülle Mastschweine	15	0,64 ± 0,02	13,37 ± 6,13	184,79 ± 80,78	12,94 ± 1,17	3,92 ± 0,63	1108,2 ± 156,87

± Standardabweichung

3.5 Veredelungsbetrieb mit Mastputenhaltung – Betrieb 9

Schwermetallgehalte

Bei diesem Betrieb traten Probleme bei der korrekten Erfassung der Massenströme auf, so dass keine Stallbilanz berechnet werden konnte. Auf der Eintragsseite sind die in den Stall eingehenden Betriebsmittelflüsse aufgrund der alleinigen Verfütterung von zugekauften Alleinfuttermitteln sehr gut dokumentiert. Auf der Austragsseite existieren hingegen nur ungeaue Mengenabschätzungen. Daher werden an dieser Stelle lediglich die vorliegenden Analysenergebnisse gezeigt.

Die ermittelten Gehalte für die Spurenelemente Kupfer und Zink lagen bei allen eingesetzten Alleinfuttermitteln, ausgenommen des Zinkgehaltes in der Phase 4, auf gleichem Niveau, unabhängig davon, in welchem Entwicklungsstadium sich die Tiere bei der Verfütterung der einzelnen Futtermittel befanden (Tab. 3-29).

Die GFE empfiehlt für Geflügel Cu-Gehalte von 6-8 mg kg TM⁻¹ und Zn-Gehalte von 30-70 mg kg TM⁻¹. Während für Kupfer diese Versorgungsempfehlungen überschritten wurden, lagen die gemessenen Zinkgehalte im oberen Bereich der genannten Versorgungsempfehlung.

Tab. 3-29: Schwermetallgehalte der eingesetzten Allein- und Einzelfuttermittel, Betrieb 9 (Mastputenhaltung)

Futtermittel	n	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
mg kg ⁻¹ TM							
Putenfutter, Phase 1	4	0,17 ± 0,20	2,49 ± 2,71	23,64 ± 12,16	2,62 ± 2,46	0,83 ± 0,64	68,28 ± 17,21
Putenfutter, Phase 2	8	0,08 ± 0,01	0,87 ± 0,15	27,95 ± 3,93	1,28 ± 0,25	0,52 ± 0,13	75,38 ± 34,83
Putenfutter, Phase 3	3	0,10 ± 0,05	0,49 ± 0,25	22,98 ± 17,06	1,43 ± 0,27	0,31 ± 0,15	63,52 ± 44,98
Putenfutter, Phase 4	2	0,08 ± 0,01	0,62 ± 0,25	28,23 ± 0,61	1,33 ± 0,07	0,51 ± 0,01	12,09 ± 1,36
Putenfutter, Phase 5	3	0,07 ± 0,01	0,51 ± 0,28	29,25 ± 3,38	1,13 ± 0,24	0,37 ± 0,08	39,32 ± 49,67
Putenfutter, Phase 6	3	0,05 ± 0,02	0,90 ± 0,59	34,72 ± 1,01	1,15 ± 0,32	0,69 ± 0,34	79,53 ± 7,81
Muschelgriet	2	0,02 ± 0,03	0,97 ± 0,52	11,77 ± 11,19	0,87 ± 0,16	0,69 ± 0,10	4,03 ± 2,85

± Standardabweichung

Die Schwermetallgehalte im Stroh (Tab. 3-30) lagen auf gleichem Niveau wie die Gehalte im Stroh der zuvor beschriebenen Betriebe (Tab. 3-2 und 3-16).

Tab. 3-30: Schwermetallgehalte in Einstreumaterialien, Betrieb 9 (Mastputenhaltung)

Einstreu	n	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
mg kg ⁻¹ TM							
Weizenstroh	8	0,13 ± 0,06	0,67 ± 0,21	2,29 ± 0,65	0,36 ± 0,13	0,55 ± 0,23	9,50 ± 7,62
Triticalestroh	37	0,09 ± 0,04	0,85 ± 0,40	2,24 ± 0,77	0,35 ± 0,17	0,81 ± 0,50	15,48 ± 9,72

± Standardabweichung

Tabelle 3-31 zeigt die Schwermetallgehalte im Putenmist. Für den gesamten Stall wurden i. d. R. geringere Elementkonzentrationen festgestellt als für Hähne und Hennen; eine Ursache dafür konnte nicht ermittelt werden.

Tab. 3-31: Schwermetallgehalte im Wirtschaftsdünger, Betrieb 9 (Mastputenhaltung)

Putenmist	n	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
mg kg ⁻¹ TM							
Stall gesamt (Mischmist)	6	0,29 ± 0,10	3,36 ± 1,75	93,24 ± 53,54	4,90 ± 1,41	1,88 ± 0,71	255,2 ± 174,9
Hähne	12	0,71 ± 0,12	30,98 ± 6,18	167,9 ± 53,0	6,45 ± 1,81	3,56 ± 1,32	440,1 ± 144,2
Hennen	9	0,62 ± 0,19	21,05 ± 10,22	115,1 ± 26,7	4,02 ± 0,83	1,94 ± 0,27	270,4 ± 142,0

± Standardabweichung

4 Ergebnisse Teilprojekt Bayreuth

Futterbaubetriebe mit Milchviehhaltung – Betriebe 1 bis 4

4.1 Schwermetallgehalte

Um gegebenenfalls vorhandene, standortbezogene Unterschiede aufzeigen zu können, wurden die Schwermetallgehalte der wirtschaftseigenen Futtermittel in Tabelle 4-1 separat nach den einzelnen Betrieben aufgeführt.

Tab. 4-1: Schwermetallgehalte der wirtschaftseigenen Futtermittel, Betriebe 1 bis 4 (Milchviehhaltung)

Betrieb	Futtermittel	n	Cd	Cr	Cu mg kg ⁻¹ TM	Ni	Pb	Zn
1	Maissilage	5	0,05 ± 0,004	0,22 ± 0,01	5,96 ± 0,11	3,06 ± 0,05	0,46 ± 0,02	16,0 ± 1,0
2		5	0,05 ± 0,002	1,45 ± 0,16	6,86 ± 0,23	2,33 ± 0,09	0,73 ± 0,04	32,0 ± 1,0
3		5	0,08 ± 0,01	0,29 ± 0,03	8,88 ± 0,58	4,30 ± 0,11	0,69 ± 0,07	49,0 ± 10,0
4		5	0,05 ± 0,01	0,26 ± 0,02	5,26 ± 0,18	1,19 ± 0,13	1,35 ± 0,13	26,0 ± 2,0
1	Grassilage	5	0,05 ± 0,01	0,71 ± 0,02	13,17 ± 0,52	4,37 ± 0,26	0,80 ± 0,06	23,0 ± < 0,1
2		5	0,05 ± 0,004	0,72 ± 0,17	11,08 ± 0,26	3,53 ± 0,20	1,56 ± 0,18	31,0 ± 4,0
3		5	0,05 ± 0,01	0,67 ± 0,002	11,54 ± 0,80	2,77 ± 0,08	1,29 ± 0,10	31,0 ± 3,0
4		5	0,09 ± 0,004	1,52 ± 0,06	11,39 ± 0,78	4,84 ± 0,27	1,79 ± 0,08	31,0 ± 3,0
4	Gras	5	0,04 ± 0,01	0,15 ± 0,03	15,40 ± 1,27	5,59 ± 0,41	0,83 ± 0,08	29,0 ± 3,0
1	Heu	5	0,04 ± 0,01	0,59 ± 0,03	7,78 ± 0,86	5,41 ± 0,16	0,42 ± 0,03	15,0 ± 3,0
2		5	0,03 ± 0,002	0,38 ± 0,08	11,44 ± 0,89	3,29 ± 0,94	0,31 ± 0,01	33,0 ± 4,0
3		5	0,03 ± 0,01	0,66 ± 0,04	9,90 ± 0,07	4,52 ± 0,05	0,99 ± 0,02	35,0 ± 1,0
1	Getreideschrot	5	0,02 ± 0,001	0,27 ± 0,04	15,77 ± 0,91	2,61 ± 0,03	0,10 ± 0,01	49,0 ± 5,0
2		5	0,04 ± 0,002	0,44 ± 0,06	16,08 ± 0,99	3,64 ± 0,03	0,44 ± 0,06	73,0 ± 8,0
3		5	0,04 ± 0,003	0,25 ± 0,03	6,57 ± 0,09	2,64 ± 0,19	0,39 ± 0,04	31,0 ± 3,0
4		5	0,03 ± 0,002	0,23 ± 0,02	7,15 ± 0,26	3,10 ± 0,53	0,22 ± 0,04	27,0 ± 2,0

± Fehler des Mittelwertes

Mais- und Grassilage wiesen i. d. R. höhere Cd- und Pb-Werte gegenüber Getreideschrot auf. Der Cr-Gehalt der Maissilage von Betrieb 2 sowie der Grassilage von Betrieb 4 waren höher als in den anderen Betrieben. Die Cu-Konzentrationen der Silagen waren höher als die mittleren Gehalte aus der Routineanalytik der LUFA Oldenburg (Tab. 5-18), lagen allerdings im Schwankungsbereich dieser Daten; die Zn-Gehalte waren mit denen der Routineanalytik vergleichbar. In der Grassilage wurden höhere Pb-Gehalte ermittelt als im Heu; dies könnte auf eine höhere Verschmutzung mit Erde bei der Futterbergung zurückzuführen sein. Der Getreideschrot der Betriebe 1 und 2 wies höhere Cu- und Zn-Gehalte auf als der der Betriebe 3 und 4; dies deutet auf eine Supplementierung dieser Schrote mit Mineralfuttermitteln hin.

Die Schwermetallgehalte der Zukauffuttermittel zeigt Tabelle 4-2. Aufgrund der Supplementierung mit Kupfer und Zink wiesen die Mineralfuttermittel die höchsten Analysenergebnisse für diese Elemente auf; weiterhin wurden hohe Cr- und Ni-Gehalte ermittelt. Da Mineralfuttermittel einen mengenmäßig kleinen Anteil an der Gesamtration haben, sind die Elementgehalte immer in Zusammenhang mit der Einsatzmenge zu sehen. Von den Einzelfuttermitteln wies Sojaschrot die höchsten Cr- und Ni-Werte auf. Die Gehalte für das Milchleistungsfutter entsprachen für alle Elemente den Ergebnissen des Teilprojektes Bonn (Tab. 3-3). Das eingesetzte Viehsalz enthielt geringe Mengen an Schwermetallen.

Tab. 4-2: Schwermetallgehalte der zugekauften Einzel- und Mischfuttermittel, Betriebe 1 bis 4 (Milchviehhaltung)

Betrieb	Futtermittel	n	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	mg kg ⁻¹ TM
1, 3, 4	Ergänzungsf. Milchkühe (Milchleistungsf.)	15	0,09 ± 0,004	1,30 ± 0,17	21,06 ± 0,70	4,10 ± 0,75	1,05 ± 0,13	145,7 ± 21,0	
1, 2	Sojaschrot	15	0,06 ± 0,004	3,51 ± 0,15	16,36 ± 0,73	9,25 ± 0,48	0,28 ± 0,02	48,67 ± 3,33	
2	Graspellets	5	0,09 ± 0,01	1,66 ± 0,02	13,91 ± 0,24	6,75 ± 0,55	1,68 ± 0,13	36,0 ± 3,0	
1	Melasseschnitzel	5	0,15 ± 0,01	2,54 ± 0,18	12,25 ± 1,72	5,74 ± 0,49	3,96 ± 0,31	40,0 ± 7,0	
2, 3, 4	Mineralfutter	35	0,20 ± 0,04	51,55 ± 26,90	659,11 ± 72,98	17,51 ± 1,18	2,37 ± 0,26	756 ± 67,0	
1 bis 4	Viehsalz	25	0,04 ± 0,008	0,20 ± 0,02	3,35 ± 1,47	2,71 ± 0,25	0,34 ± 0,03	13,2 ± 2,0	

± Fehler des Mittelwertes

Die Schwermetallgehalte der sonstigen Betriebsmittel sowie eingesetzten Arzneimittel waren mit Ausnahme von Kupfervitriol i. d. R. gering. Dieses zur Klauendesinfektion eingesetzte Mittel enthielt große Mengen an Kupfer, aber auch an Nickel (Tab. 4-3). Weiterhin können bei Salben hohe Zn-Werte auftreten. Die Cu- und Pb-Gehalte des von den Betrieben benutzten Wassers variierten stark. Die Werte der Betriebe 3 und 4 für Blei waren etwa zehn Mal so hoch wie die der Betriebe 1 und 2, während für Zink in den Betrieben 2 und 3 (86 bzw. 76 µg l⁻¹) höhere Gehalte als in den Betrieben 1 und 4 (33 bzw. 8 µg l⁻¹) ermittelt wurden. Die Anstrichfarbe (Einzelprobe) wies hohe Schwermetallgehalte für Blei, Zink und auch Chrom auf (Tab. 4-3).

Tab. 4-3: Schwermetallgehalte der sonstigen Betriebsmittel, Arzneimittel und Anstrichfarbe

Stoffstrom	n	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
mg kg ⁻¹ TM							
Kupfervitriol	15	0,27 ± 0,03	3,0 ± 0,16	203 ± 23,96 ¹	334,3 ± 27,4	5,3 ± 0,66	87 ± 17,3
Sägespäne	5	0,12 ± 0,02	0,24 ± 0,04	5,57 ± 0,22	6,52 ± 0,33	1,03 ± 0,04	36 ± 2,0
Stroh	5	0,06 ± 0,001	1,01 ± 0,22	10,5 ± 0,37	3,45 ± 0,45	0,85 ± 0,02	39 ± 5,0
Antibiotika	2	0,04 ± 0,01	0,39 ± 0,08	5,1 ± 0,74	4,13 ± 0,11	0,56 ± 0,15	121 ± 100
Salben	2	0,19 ± 0,02	0,72 ± 0,13	6,6 ± 1,02	5,83 ± 1,70	0,87 ± 0,09	1528 ± 181,5
Wasser ²	20	0,22 ± 0,02	0,85 ± 0,09	23,9 ± 1,26	6,29 ± 0,93	1,68 ± 0,18	51 ± 4,75
Anstrichfarbe ³	1	0,09 ± 0,00	6,9 ± 0,58	13 ± 1,3	6,3 ± 0,25	83 ± 4,5	520 ± 39,0

[±] Fehler des Mittelwertes¹ Angabe in g kg⁻¹ (TM)² Angabe in µg l⁻¹³ Einzelprobe von Betrieb 3

Die Schwermetallgehalte der Gülle sind Tabelle 4-4, die der tierischen Erzeugnisse Tabelle 4-5 zu entnehmen. Die Güllen der Betriebe 3 und 4 wiesen höhere Cu-Konzentrationen und gleichzeitig geringere Zn-Konzentrationen auf als die der Betriebe 1 und 2. Die Cu-Gehalte können auf die hohen Einsatzmengen von Kupfervitriol in diesen Betrieben zurückgeführt werden. Insgesamt gesehen hatte die Betriebsgröße keinen Einfluss auf die Schwermetallkonzentrationen der Wirtschaftsdünger.

Tab. 4-4: Schwermetallgehalte der Wirtschaftsdünger, Betriebe 1 bis 4 (Milchviehhaltung)

Betrieb	Wirtschaftsdünger	n	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
mg kg ⁻¹ TM								
1	Gülle	5	0,29 ± 0,01	2,16 ± 0,07	32,05 ± 2,28	8,14 ± 0,29	2,08 ± 0,18	375 ± 19
2	Gülle	5	0,12 ± 0,01	3,69 ± 0,23	47,67 ± 1,06	6,94 ± 0,72	2,29 ± 0,08	258 ± 9,0
3	Gülle	5	0,11 ± 0,01	3,77 ± 0,35	102,8 ± 5,82	9,89 ± 0,20	1,96 ± 0,17	189 ± 1,0
4	Gülle	5	0,16 ± 0,002	2,32 ± 0,06	88,70 ± 4,80	4,59 ± 0,55	3,57 ± 0,23	163 ± 1,0

[±] Fehler des Mittelwertes

Die Schwermetallgehalte in der Milch (Tab. 4-5) waren für alle Elemente höher als die im Teilprojekt Bonn gewonnenen Daten (Tab. 3-8).

Tab. 4-5: Schwermetallgehalte der tierischen Erzeugnisse (Mittelwert aller Milchviehbetriebe)

Stoffstrom	n	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
mg kg ⁻¹ TM							
Milch	20	0,02 ± 0,01	0,19 ± 0,08	4,2 ± 0,97	2,2 ± 1,3	0,46 ± 0,19	26 ± 3,7
Tierkörper ¹	-	0,03	0,3	6	0,9	0,4	81

± Fehler des Mittelwertes

¹ aus Literaturwerten und eigenen Analysen berechnet (Kap. 2.6.1)

4.2 Schwermetallflüsse

Nachfolgend werden die Schwermetallflüsse bezogen auf GV a⁻¹ dargestellt. Die absoluten Schwermetallflüsse (g a⁻¹) der Betriebe können den Anhangtabellen 4-1 bis 4-4 entnommen werden.

Die Austräge variierten zwischen den Betrieben stärker als die Einträge. Für Chrom und Zink wurden für alle Betriebe höhere Austräge als Einträge berechnet (Abb. 4-1); dabei wurden für Zink bei den Betrieben 1 und 2 die höchsten Austräge festgestellt. Die Ein- und Austräge von Kupfer der Betriebe 3 und 4 waren höher als die der Betriebe 1 und 2. Für Blei wies Betrieb 4 den höchsten Schwermetallumsatz im Stall auf.

Zusätzlich zu den Ergebnissen der Abbildung 4-1 werden die Schwermetallflüsse in Abbildung 4-2 bezogen auf die produzierte Milch dargestellt. Dabei zeigt sich, dass beide Berechnungsverfahren zu einem vergleichbaren Ergebnis kommen. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die Produktionsbedingungen (Milchleistung, Lebendmasse je Kuh, Fütterungsbedingungen) auf diesen vier Milchviehbetrieben ähnlich sind und zudem die Grundgesamtheit gering ist.

Die wirtschaftseigenen Futtermittel waren in allen Betrieben wesentlich am Eintrag in den Stall beteiligt (Abb. 4-3) und erreichten für Cadmium, Nickel und Blei Anteile von 63 % (Pb, Betrieb 4) bis über 90 % am Gesamteintrag (Pb, Betrieb 3). Für Kupfer sind in den Betrieben 1, 3 und 4 die Anteile der sonstigen Betriebsmittel vor allem durch den Einsatz von Kupfervitriol (vgl. Tab. 4-7, 4-9, 4-10) bedingt. Der Anteil der Zukauffuttermittel für die Elemente Kupfer und Zink lag zwischen 10 (Cu, Betrieb 1) und 61 % (Cu, Betrieb 2); für Cadmium, Chrom, Nickel und Blei wurde ein Anteil zwischen 7 und 49 % am Gesamteintrag ermittelt (vgl. Tab. 4-7 bis 4-10). Insbesondere Chrom wurde über die zugekauften Ergänzungsfuttermittel in den Stall eingebracht (24 bis 49 %); hierbei betrug der Anteil der Mineralfuttermittel bei den Betrieben 2 bis 4 zwischen 12 und 25 % am Gesamteintrag in den Stall. Betrieb 1 setzt neben dem mineralisierten Milchleistungsfutter nur Viehsalz ein.

Der Austrag von Schwermetallen erfolgte vor allem über die Wirtschaftsdünger (Tab. 4-7 bis 4-10). Für die Austräge über die tierischen Erzeugnisse (Milch und Tierkörper) wurden maximal 4,7 % vom Gesamtaustrag ermittelt (Abb. 4-4); die höchsten Anteile zeigten sich hier für Nickel und Blei über die Milch.

Schwermetallflüsse in die Wirtschaftsdünger außerhalb des Stalls

Die Schwermetalleinträge durch die atmosphärische Deposition in die Güllen (infolge der offenen Lagerbehälter) waren gering (Tab. 4-6). Die Einträge durch die Anstrichfarbe waren für

Blei und Zink zwar größer als die durch atmosphärische Deposition, dennoch erreichten auch sie nur Werte im Milligrammbereich. Bezogen auf die Gesamtausträge lagen die jährlichen Einträge über Deposition und Anstrichfarbe in die Güllen im Promillebereich (Anhangtab. 4-5).

Tab. 4-6: Schwermetalleinträge in die Wirtschaftsdünger außerhalb des Stalls (Mittelwert aller Milchviehbetriebe)

Stoffstrom	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
			mg GV ⁻¹ a ⁻¹			
Atmosphärische Deposition	0,11 ± 0,01	8,90 ± 0,26	0,34 ± 0,03	3,50 ± 0,17	1,40 ± 0,09	30 ± 3,6
Anstrichfarbe ¹	0,01 ± 0,00	0,81 ± 0,07	1,60 ± 0,15	0,74 ± 0,03	9,70 ± 0,53	60 ± 4,6

± Fehler des Mittelwertes ¹ nur Betriebe 3 und 4

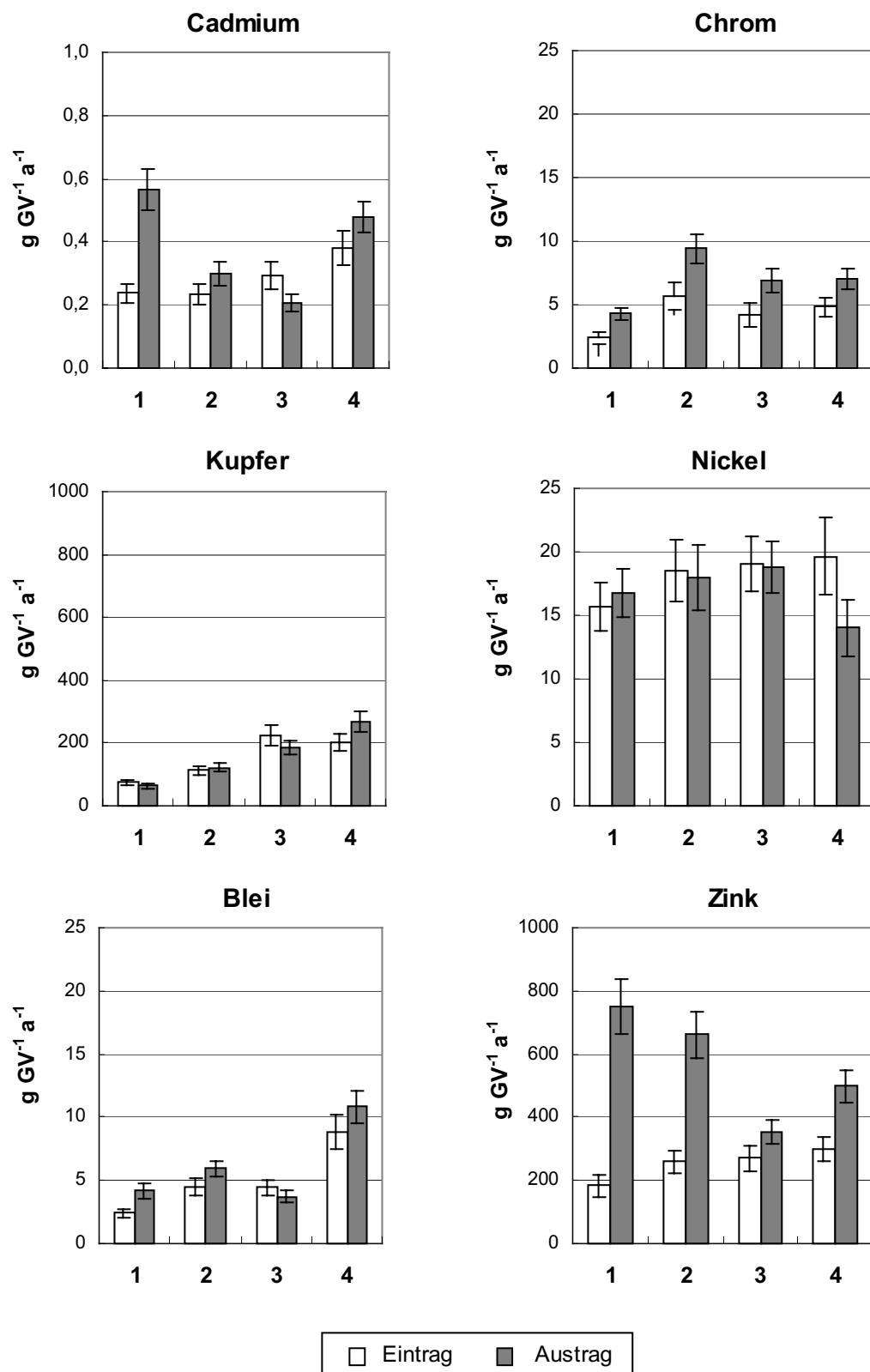


Abb. 4-1: Schwermetallflüsse ($\text{g GV}^{-1} \text{a}^{-1}$) in den und aus dem Stall (Fehlerbalken sind Fehler der Mittelwerte; Betriebe 1 bis 4, Milchviehhaltung)

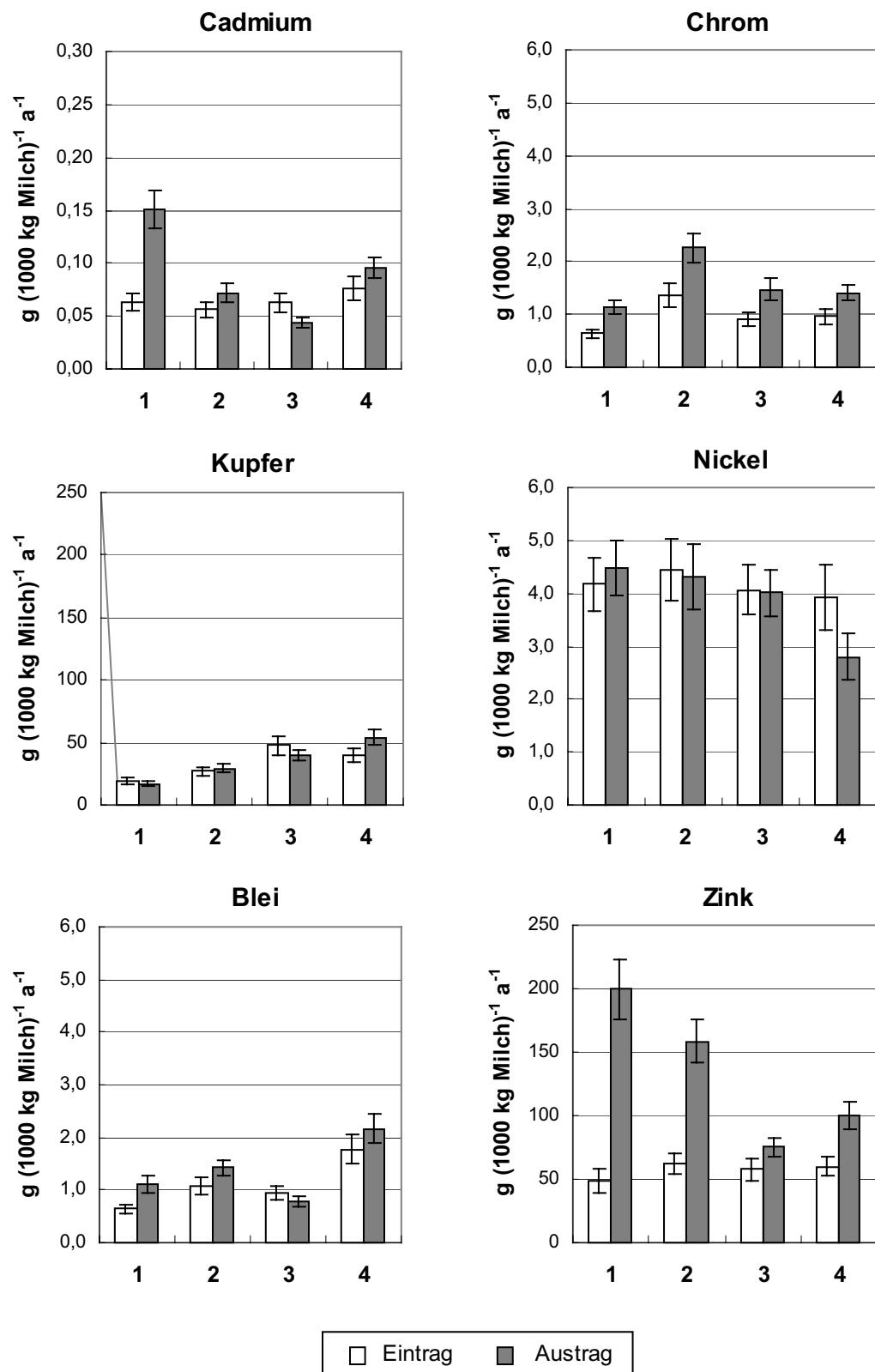


Abb. 4-2: Schwermetallflüsse ($1000 \text{ kg Milk}^{-1} \text{ a}^{-1}$) in den und aus dem Stall (Fehlerbalken sind Fehler der Mittelwerte; Betriebe 1 bis 4, Milchviehhaltung)

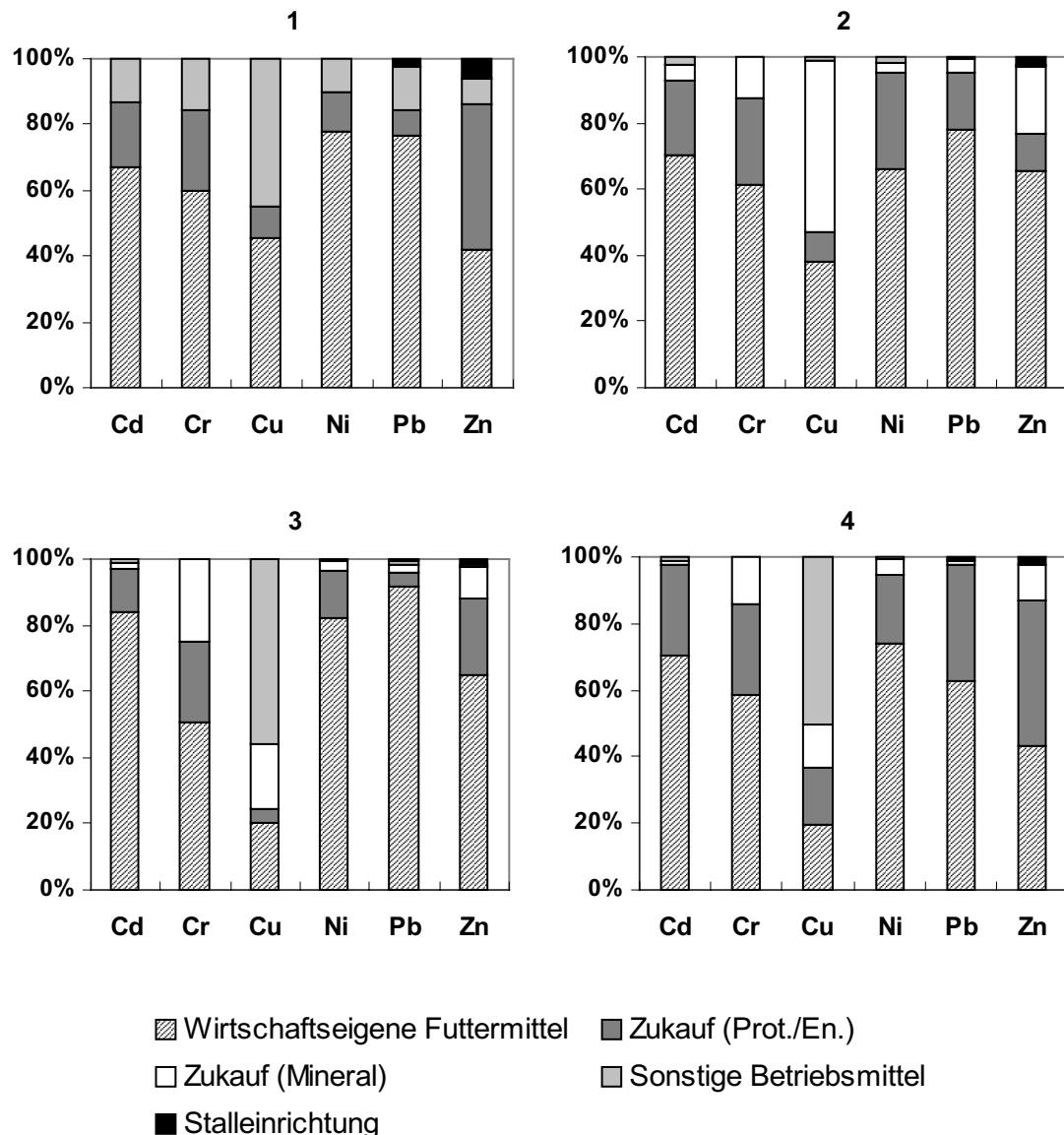


Abb. 4-3: Prozentuale Anteile der Stoffströme am Gesamteintrag der untersuchten Schwermetalle in den Stall (Betriebe 1 bis 4, Milchviehhaltung)

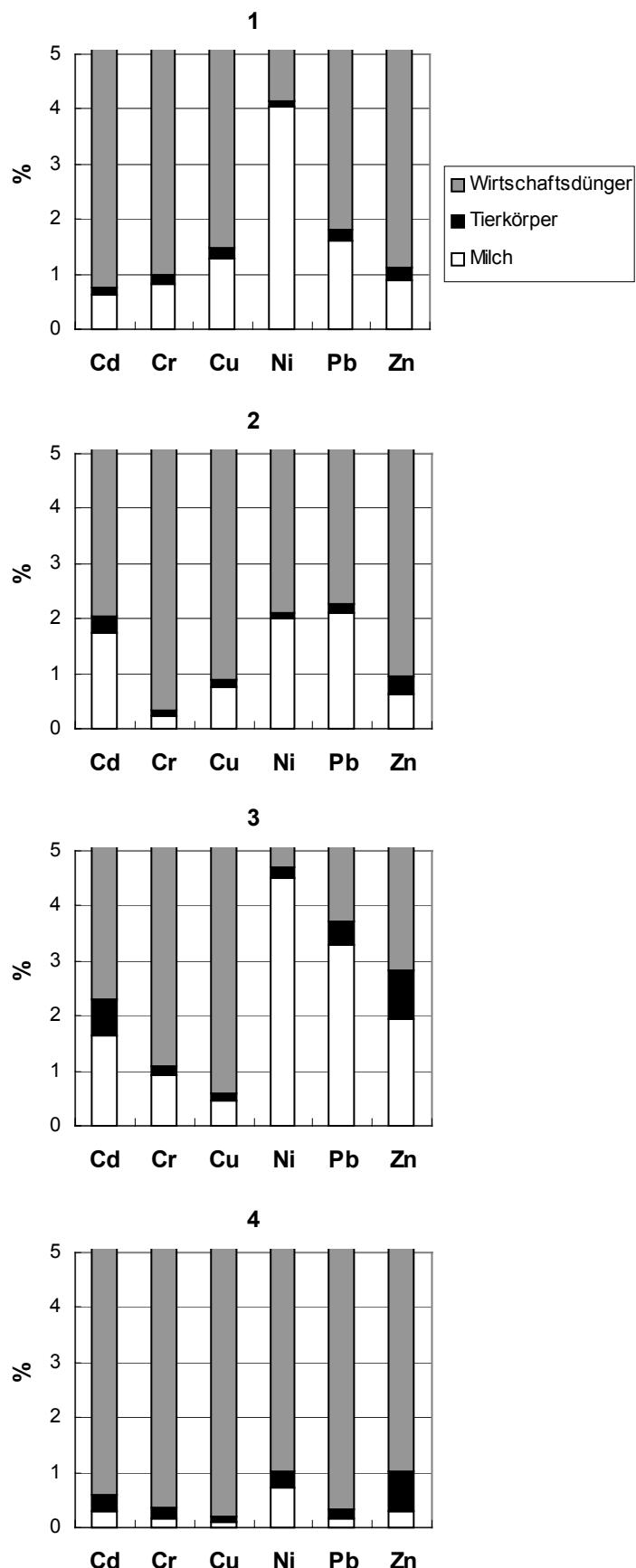


Abb. 4-4: Prozentualer Anteil der tierischen Erzeugnisse am Gesamtaustrag der untersuchten Schwermetalle aus dem Stall (Tierische Erzeugnisse + Wirtschaftsdünger = 100 %; Betriebe 1 bis 4, Milchviehhaltung)

4.3 Stallbilanzen

Die Stallbilanzen der vier Milchviehbetriebe sind den Tabellen 4-7 bis 4-10 zu entnehmen. Die Silagen, der Getreideschrot und das auf den Betrieben eingesetzte Ergänzungsfuttermittel für Milchkühe (Milchleistungsfutter) trugen im Wesentlichen zum Zn-Eintrag bei; das Milchleistungsfutter aufgrund der gezielten Supplementierung von Zink. Gras- und Maissilagen führten zu ca. 50 % der Einträge an Chrom, Nickel und insbesondere Blei. Auch der auf eingesetzte Getreideschrot trug zu bedeutsamen Ni-Einträgen bei. Auf Betrieb 2 erfolgte ein großer Anteil des Cu- und Zn-Eintrages am Gesamteintrag über die Mineralfuttermittel, was wiederum in der gezielten Supplementierung begründet ist.

Tab. 4-7: Stallbilanz, Betrieb 1 (Milchviehhaltung)

		Cd	Cr	Cu g GV ¹ a ⁻¹	Ni	Pb	Zn
Wirtschaftseigene Futtermittel	Maissilage	0,08	0,33	9,0	4,62	0,69	24,15
	Grassilage	0,06	0,91	17,0	5,63	1,03	29,6
	Heu	0,01	0,09	1,1	0,79	0,06	2,2
Zukauffuttermittel (Protein/Energie)	Getreideschrot	0,01	0,12	6,8	1,12	0,04	21
	Sojaschrot	0,003	0,27	0,8	0,52	0,01	2,6
(Protein/Energie)	Ergänzungsf. Milchkühe (Milchleistungsfu- tter)	0,04	0,30	6,2	1,35	0,16	77,6
	Melasseschnitzel	0,001	0,02	0,1	0,04	0,02	0,3
Zukauffuttermittel (Mineral)	Viehsalz	0,002	0,004	0,04	0,03	0,01	0,3
Sonstige	Wasser	0,003	0,04	0,1	0,16	0,004	0,5
Betriebsmittel	Sägespäne	0,003	0,01	0,2	0,18	0,03	1,0
	Stroh	0,02	0,32	3,3	1,08	0,27	12,2
	Klauenbad	0,003	0,0001	29,8	0,13	0,001	0,01
Stalleinrichtung	Korrosion/Abrieb	<0,001	k.A.	k.A.	k.A.	0,06	11,3
Summe Eintrag		0,24	2,40	74,3	15,66	2,39	182,7
Gesamtfehler Eintrag		0,03	0,33	9,9	1,89	0,30	36,6
Tierische Erzeugnisse	Milch	0,004	0,03	0,8	0,68	0,07	6,6
	Tierkörper	0,001	0,01	0,1	0,02	0,01	1,8
Wirtschaftsdünger	Gülle	0,56	4,26	63,2	16,06	4,10	739,5
Summe Austrag		0,57	4,30	64,1	16,75	4,17	747,8
Gesamtfehler Austrag		0,07	0,47	8,2	1,93	0,58	87,01
Bilanzsaldo		-0,33	-1,90	10,2	-1,09	-1,78	-565,1

Auf den Betrieben 1, 3 und 4, die Kupfervitriol zur Klauendesinfektion einsetzen, führte dieses zu ca. 50 % des gesamten Kupfereintrages. Die auf den Betrieben 2 und 3 eingesetzten Salben und Antibiotika hatten für die Bilanzierung der Schwermetallflüsse eine untergeordnete Bedeutung. Dies gilt auch für den Eintrag von Zink über Korrosion und Abrieb der Stalleinrichtung, der für alle Betriebe abgeschätzt wurde (vgl. Kap. 6). Der absolute Zn-Eintrag über diesen Stoffstrom bewegte sich bei den Betrieben 2, 3 und 4 zwischen 4,6 und 6,4

g GV⁻¹ a⁻¹, bei Betrieb 1 wurden 11,3 g GV⁻¹ a⁻¹ berechnet. Nur Betrieb 1 verwendet Sägemehl und Stroh zur Einstreu der Liegeboxen; bedeutsame Anteile am Gesamteintrag über das Stroh wurden für Chrom und Nickel festgestellt (Tab. 4-7).

Die für den Bilanzsaldo ermittelten Werte bewegten sich für Zink zwischen –83 und –565 g GV⁻¹ a⁻¹, für Kupfer lagen die Salden zwischen +10 und –67 g GV⁻¹ a⁻¹.

In 14 von 24 Einzelberechnungen (6 Elemente, 4 Betriebe) wurden für die Bilanzsalden signifikante Unterschiede zwischen dem gesamten Schwermetallfluss in den Stall und dem Schwermetallfluss aus dem Stall ermittelt. In der Hälfte der Fälle wurde dabei ein signifikant höherer Austrag gegenüber dem Eintrag festgestellt (vgl. Tab. 4-11).

Tab. 4-8: Stallbilanz, Betrieb 2 (Milchviehhaltung)

		Cd	Cr	Cu g GV ⁻¹ a ⁻¹	Ni	Pb	Zn
Wirtschaftseigene Futtermittel	Maissilage	0,07	2,07	9,8	3,33	1,05	45,8
	Grassilage	0,05	0,85	13,2	4,19	1,86	36,8
	Heu	0,01	0,08	2,3	0,68	0,06	6,8
	Getreideschrot	0,04	0,48	17,8	4,02	0,49	80,6
Zukauffuttermittel (Protein/Energie)	Graspellets	0,04	0,64	5,4	2,61	0,65	13,9
	Sojaschrot	0,02	0,86	5,1	2,78	0,10	14,7
Zukauffuttermittel (Mineral)	Mineralfutter	0,014	0,68	58,4	0,62	0,19	52,7
	Viehsalz	<0,001	0,001	0,1	0,05	0,002	0,1
Sonstige	Wasser	0,005	0,01	1,3	0,24	0,003	1,8
Betriebsmittel	Antibiotikum	<0,001	<0,001	<0,001	0,001	<0,001	<0,001
Stalleinrichtung	Korrosion/Abrieb	0,0001	k.A.	k.A.	k.A.	0,03	5,7
Summe Eintrag		0,23	5,68	113,3	18,53	4,43	258,9
Gesamtfehler Eintrag		0,03	0,89	13,9	2,4	0,67	35,2
Tierische Erzeugnisse	Milch	0,01	0,02	0,9	0,36	0,12	4,1
	Tierkörper	0,001	0,01	0,2	0,02	0,01	2,1
Wirtschaftsdünger	Gülle	0,29	9,37	120,9	17,59	5,81	654,5
Summe Austrag		0,30	9,40	122,0	17,97	5,94	660,7
Gesamtfehler Austrag		0,04	1,10	12,7	2,6	0,64	71,6
Bilanzsaldo		-0,07	-3,72	-8,7	0,56	-1,51	-401,8

Tab. 4-9: Stallbilanz, Betrieb 3 (Milchviehhaltung)

		Cd	Cr	Cu g GV ¹ a ⁻¹	Ni	Pb	Zn
Wirtschaftseigene Futtermittel	Maissilage	0,10	0,39	11,8	5,69	0,92	64,9
	Grassilage	0,08	1,22	21,0	5,03	2,35	56,3
	Heu	0,01	0,16	2,4	1,11	0,24	8,6
	Getreideschrot	0,06	0,36	9,6	3,83	0,55	45,0
Zukauffuttermittel (Protein/Energie)	Ergänzungsf. Milch- kühe (Milchlei- stungsfutter)	0,04	1,03	10,4	2,76	0,18	62,8
Zukauffuttermittel (Mineral)	Mineralfutter	0,004	1,04	43,4	0,58	0,12	26,1
	Viehsalz	<0,001	0,003	0,02	0,02	0,001	0,04
Sonstige	Wasser	0,004	0,003	0,3	0,03	0,04	1,2
Betriebsmittel	Klauenbad	<0,001	0,01	124,5	0,01	<0,001	0,1
	Salben	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,04
	Antibiotikum	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,01
Stalleinrichtung	Korrosion/Abrieb	<0,001	k.A.	k.A.	k.A.	0,02	4,6
Summe Eintrag		0,29	4,20	223,3	19,05	4,43	269,7
Gesamtfehler Eintrag		0,04	0,62	34,4	2,17	0,60	40,4
Tierische Erzeugnisse	Milch	0,003	0,06	0,9	0,85	0,12	6,8
	Tierkörper	0,001	0,01	0,2	0,03	0,02	3,2
Wirtschaftsdünger	Gülle	0,20	6,83	186,2	17,91	3,56	342,2
Summe Austrag		0,21	6,90	187,3	18,79	3,69	352,2
Gesamtfehler Austrag		0,03	0,95	21,9	2,01	0,5	36,9
Bilanzsaldo		0,08	-2,70	36,0	0,26	0,74	-82,5

Tab. 4-10: Stallbilanz, Betrieb 4 (Milchviehhaltung)

		Cd	Cr	Cu g GV ⁻¹ a ⁻¹	Ni	Pb	Zn
Wirtschaftseigene Futtermittel	Maissilage	0,10	0,47	9,6	2,18	2,47	47,4
	Grassilage	0,12	2,08	15,5	6,61	2,45	42,3
	Gras	0,02	0,08	8,9	3,23	0,48	16,8
	Getreideschrot	0,03	0,19	5,8	2,52	0,18	21,9
Zukauffuttermittel (Protein/Energie)	Ergänzungsf. Milch- kühe (Milchleis- tungsfutter)	0,10	1,32	33,6	4,01	3,10	132,2
Zukauffuttermittel (Mineral)	Mineralfutter	0,003	0,67	26,2	1,04	0,11	31,4
	Viehsalz	<0,001	<0,001	0,003	0,002	<0,001	0,02
Sonstige Betriebsmittel	Wasser	0,01	0,004	0,1	0,05	0,04	0,2
	Klauenbad	<0,001	0,001	101,8	0,02	0,01	0,02
Stalleinrichtung	Korrosion/Abrieb	<0,001	k.A.	k.A.	k.A.	0,03	6,4
Summe Eintrag		0,38	4,81	201,6	19,64	8,86	298,6
Gesamtfehler Eintrag		0,06	0,75	28,3	3,02	1,38	37,3
Tierische Erzeugnisse	Milch	0,001	0,01	0,3	0,10	0,02	1,4
	Tierkörper	0,001	0,01	0,3	0,04	0,02	3,6
	Gülle	0,47	7,03	268,2	13,88	10,79	492,9
Summe Austrag		0,48	7,05	268,7	14,02	10,82	497,9
Gesamtfehler Austrag		0,05	0,77	31,6	2,24	1,34	53,1
Bilanzsaldo		-0,10	-2,24	-67,13	5,62	-1,96	-199,3

4.4 Diskussion

Schwermetallgehalte und Schwermetallflüsse

Die Schwermetallgehalte der wirtschaftseigenen Futtermittel (Tab. 4-1) waren mit den Ergebnissen anderer Untersuchungen vergleichbar (BML 1986, DOBERSCHÜTZ et al. 1994, WILCKE und DÖHLER 1995, LUFA OLDENBURG 1997-2000, NICHOLSON et al. 1999, GUSTAFSON 2000, BLT GRUB 2002). Bei den Zukauffuttermittel lagen die Kupfer- und Zinkgehalte für das Ergänzungsfuttermittel (Milchleistungsfutter) auf gleichem Niveau wie die vom Verein Futtermitteltest (VFT, 1996) ermittelten Werte. Die Literaturdaten zu Schwermetallgehalten im Mineralfutter weisen aufgrund unterschiedlicher Supplementierung für Kupfer und Zink große Spannweiten auf.

Die Schwermetallgehalte sonstiger Betriebsmittel wurden in der Vergangenheit kaum untersucht. Zu Medikamenten finden sich keine Vergleichswerte. Kupfervitriol enthält große Mengen an Kupfer; die gemessenen Werte sind im Vergleich zu KAISER et al. (1998) allerdings niedriger.

Für die Gülle wurden im Vergleich zu anderen Erhebungen (SEVERIN et al. 1991, BOYSEN 1992; MENZI et al. 1993, MOOLENAAR und LEXMOND 1998, NICHOLSON et al. 1999, GUSTAFSON 2000, Ktbl 2000, UMK-AMK-LABO-AG 2000, MÜLLER und EBERT 2002) im Rahmen

der hier vorgestellten Untersuchungen (UIHLEIN 2001) geringere Cd- und Pb-Konzentrationen, aber höhere Cu- und Ni-Werte ermittelt.

Da große Mengen wirtschaftseigener Futtermittel eingesetzt werden, stellen diese einen bedeutenden Anteil der Schwermetalleinträge dar, obwohl die Schwermetallgehalte geringer sind als die der Zukauffuttermittel. Die Zukauffuttermittel stellen für die Betriebe 1 bis 3 nur etwa 8 bis 12 % der gesamten Futtermittelmasse dar. Vor allem für Chrom (24 - 49 %), aber auch teilweise für Nickel (12 - 32 %) und Zink (31 - 55 %) können über Zukauffuttermittel bedeutende Anteile am Schwermetallfluss in den Stall erreicht werden (Abb. 4-3). Dies spiegelt die höheren Schwermetallgehalte dieser Futtermittel im Vergleich zu den wirtschaftseigenen Futtermitteln wider. In Betrieb 4 werden die Zukauffuttermittel in größerem Umfang eingesetzt (18 % des gesamten Futters) und stellen auch für alle Elemente einen bedeutenden Teil des Eintrags dar (26 - 55 %).

Die Mineralfuttermittel repräsentieren kleine Anteile der gesamten Futtermittelmasse (< 1 %), können im Einzelfall jedoch zu mehr als der Hälfte der Schwermetallfrachten in den Stall beitragen. Insbesondere Kupfer und Zink werden in unterschiedlicher Höhe supplementiert. Auf die hohen Anteile dieser Futtermittel für Chrom wurde bereits hingewiesen.

Die Beiträge von Arzneimitteln zum Schwermetalleintrag in den Stall sind in dieser Untersuchung vernachlässigbar gering. Demgegenüber zeigen SCHENKEL und BREUER (2002) auf, dass Arzneimittel aufgrund der Verwendung von Schwermetallen (z. B. Zn) als Trägersubstanzen auch hohe Elementgehalte aufweisen können.

Die Cu-Einträge durch Kupfervitriol betragen ca. 50 % des gesamten Cu-Eintrags. Da die Betriebe 1 und 4 mit deutlich geringeren Mengen (0,14 bzw. 0,42 kg GV¹a⁻¹) als Betrieb 3 (0,83 kg GV¹a⁻¹) arbeiten, könnte es sein, dass der Einsatz in Betrieb 3 unnötig hoch ist. Anwendungshinweise werden von den Herstellern nicht gegeben, da die Aufwandmenge von vielen Faktoren abhängig ist.

Stallbilanzen

Für die untersuchten Milchviehbetriebe weisen die Stallbilanzen tendenziell höhere Austräge als Einträge auf (Tab. 4-11). Signifikante Unterschiede zwischen Ein- und Austrägen sind in 14 Fällen zu beobachten, davon werden in 12 Fällen höhere Austräge gegenüber den Einträgen ermittelt (vgl. Tab. 4-7 bis 4-10).

Tab. 4-11: Bilanzsalden (Stall) der untersuchten Futterbaubetriebe, Teilprojekt Bayreuth

Betrieb	Cd	Cr	Cu g GV ¹ a ⁻¹	Ni	Pb	Zn
1	-0,33*	-1,90*	+10,2	-1,09	-1,78*	-565*
2	-0,07	-3,72*	-8,7	+0,56	-1,51*	-402*
3	+0,08*	-2,70*	+36,0	+0,26	+0,74	-83*
4	-0,1	-2,24*	-67,1*	+5,62*	-1,96	-199*

+ = Eintrag > Austrag; - = Eintrag < Austrag; * = signifikanter Unterschied

Diese signifikant höheren Austräge deuten zum einen auf nicht berücksichtigte Quellen für Schwermetalle hin. In Frage kommen hierfür z. B. Einträge durch im Stall verwendete Materialien (vgl. Kap. 6). Zum anderen könnte eine fehlerhafte Bestimmung der Massenflüsse vorliegen, dem widersprechen allerdings die Ergebnisse der Plausibilitätsprüfung. So wurden

bei Schwefel, für den gegenüber Kohlenstoff und Stickstoff keine nennenswerten gasförmigen Verluste zu erwarten sind, ausgeglichene Bilanzen ermittelt (Anhangabb. 4-1). Somit können die nicht identifizierten Einträge nicht an große Massenflüsse gebunden sein.

Für die Betriebe 1 und 2 sind die Zn-Austräge wesentlich größer als die Einträge, so dass die Salden (-565 bzw. -402 g GV⁻¹a⁻¹) höher sind als die berücksichtigten Einträge (183 bzw. 259 g GV⁻¹a⁻¹). Hier konnten die Haupteintragspfade nicht identifiziert werden. Die Cr-Einträge sind in allen Betrieben nur etwa halb so groß wie die Austräge, woraus zu schließen ist, dass auch hier bedeutende Eintragspfade nicht identifiziert wurden.

Fazit

Die wirtschaftseigenen Futtermittel haben trotz vergleichsweise geringer Schwermetallgehalte große Anteile am Schwermetalleintrag in den Stall. Große Mengen an Kupfer und Zink können durch den Einsatz von Mineralfuttermitteln aufgrund der gezielten Supplementierung mit diesen Elementen in den Stall gelangen. Als wichtigster Eintragspfad für Kupfer stellte sich die Verwendung von Kupfervitriol zur Klauendesinfektion heraus. Die Stalleinrichtung, deren Schwermetalleinträge über Korrosion und Abrieb für die Elemente Zink, Cadmium und Blei abgeschätzt werden konnten, kann für Zink zu nicht vernachlässigbaren Anteilen am Gesamteintrag führen.

Die Schwermetalleinträge und –austräge der Ställe wurden bilanziert. In 12 von 24 Fällen sind die Austräge signifikant größer als die Einträge. Die Bestimmung der Massenflüsse und Schwermetallgehalte wurde aufgrund ausgeglichener S-Bilanzen für plausibel erachtet. Es müssen sich demnach weitere – bisher nicht identifizierte – Quellen für Schwermetalle im Stall befinden, deren Schwermetalleinträge an kleine Massenflüsse gebunden sind.

Einflüsse der Betriebsgröße auf die Schwermetallkonzentrationen der Wirtschaftsdünger konnten in diesen Untersuchungen nicht festgestellt werden.

5 Ergebnisse Teilprojekt Oldenburg

5.1 Futterbaubetrieb mit Milchviehhaltung - Betrieb 1

5.1.1 Schwermetallgehalte

Die Schwermetallgehalte im Futter, in den tierischen Produkten, in der Gülle sowie im Leitungs- und Hofwasser der Stallperiode 1999/2000 (Stallhaltung über Winter) im Betrieb 1 zeigt Tabelle 5-1, die der Stallperiode 2000/2001 Tabelle 5-2. Das Grundfutter bestand aus Gras- bzw. Mischsilage (TMR, Anhangtab. 5-1), die alternativ in unterschiedlichen Perioden verfüttert wurde. Daneben wurden Ergänzungsfuttermittel für Milchkühe verabreicht (standardmäßiges Milchleistungsfutter, mineralisiertes Milchleistungsfutter mit relativ hohem Cu- und Zn-Gehalt, mineralisierte Ergänzungsfuttermittel (2000/01)). Wasser gelangte als Tränkwasser, Reinigungswasser sowie Niederschlagswasser in das System. In die Liegeboxen wurde an Stelle der Gummimatten (99/00) in der Stallperiode 2000/01 Kälbermist eingebracht, der alle 6 Wochen erneuert wurde. Zusätzlich diente in beiden Stallperioden Sägemehl als Einstreu.

Tab. 5-1: Schwermetallgehalte, Betrieb 1 (Milchviehhaltung), Stallperiode 1999/2000

	TM %	As	Cd	Cr	Cu mg kg ⁻¹ TM	Hg	Ni	Pb	Zn
Grassilage	45,0	0,12	0,25	2,5	8,7	0,005	2,0	5,5	61
Mischsilage	41,0	0,12	0,19	2,3	14,7	0,005	1,8	2,6	76
Milchleistungsfutter (+Cu +Zn)	88,7	0,15	0,09	6,6	117	0,008	6,0	0,7	443
Milchleistungsfutter	88,5	0,14	0,07	4,1	19,9	0,008	3,5	0,4	122
Sägemehl	54,5	0,15	0,12	9,3	5,1	0,010	3,9	9,3	15
Leitungswasser, mg l ⁻¹	150	0,002	0,0005	0,005	0,01	0,0001	0,005	0,005	0,01
Hofwasser, mg l ⁻¹	5000	0,01	0,002	0,05	0,05	0,001	0,05	0,05	1,3
Milch	13,3	0,02	0,0015	0,2	0,8	0,001	0,10	0,015	30
Kälber	40,0	0,02	0,02	0,3	7,0	0,002	0,25	0,1	80
Futterrest	45,6	0,12	0,19	4,9	9,2	0,010	2,8	7,7	61
Gülle	8,5	0,30	0,46	6,0	49	0,010	4,9	7,2	285

Die im Betrieb verwendeten Reinigungsmittel, Desinfektionsmittel, Insektizide, Arzneimittel und Euterbehandlungsmittel enthielten nach Angaben der Hersteller Schwermetallverbindungen nicht als Wirkstoff, sondern allenfalls als Verunreinigung im Spurenbereich. Aufgrund der minimalen Gehalte und in der Regel geringen Einsatzmengen wurden diese Mittel in der Betrachtung vernachlässigt. Demgegenüber zeigen neuere Untersuchungen von SCHENKEL und BREUER (2002), dass bei bestimmten Tierarzneimitteln auch Zinkoxyd als Adjuvans zugegeben wird, was zu höheren Zn-Gehalten in der Gülle führen kann (vgl. Kap. 5.3.1).

Die in den Tabellen 5-1 und 5-2 aufgeführten Schwermetallgehalte bewegen sich im Rahmen von in anderen Untersuchungen zur Rinderhaltung ermittelten Werten. Auffallend waren die im Jahre 1999/2000 relativ hohen Pb- und Cd-Gehalte in der Grassilage. Dieses hängt vermutlich damit zusammen, dass sich der hier untersuchte Milchviehbetrieb im Nahbereich

einer Blei- und Zinkhütte befindet. Die Böden sind daher im Vergleich zu anderen Standorten höher mit Cadmium und Blei angereichert, was insbesondere bei Cadmium zu einem relativ hohen Gehalt in der Rindergülle führte.

In der zweiten Stallperiode 2000/2001 wurden für Blei und Cadmium in der Grassilage deutlich niedrigere Gehalte ermittelt. Dies ist offenbar darauf zurückzuführen, dass die Grassilage mit geringeren Bodenanteilen geborgen werden konnte. In der Grassilage des ersten Versuchsjahres lag der säureunlösliche Anteil (in etwa gleichzusetzen mit Bodenanteilen) im Mittel bei 5 %, im zweiten Jahr bei 2,2 %. Außerdem wurde im 2. Versuchsjahr ein mineralisiertes Ergänzungsfuttermittel („Leckmasse“) eingesetzt, das beachtenswerte Gehalte an Kupfer und Zink aufwies.

In beiden Versuchsjahren waren die Zn-Gehalte in der Gülle höher als in anderen Untersuchungen (z. B. Ktbl 2000, Tab. 8-12). Dies ist auch dadurch bedingt, dass neben einem mit Protein supplementierten Milchleistungsfutter ein Milchleistungsfutter mit einem Cu- und Zn-Zusatz eingesetzt wurde.

Tab. 5-2: Schwermetallgehalte, Betrieb 1 (Milchviehhaltung), Stallperiode 2000/2001

	TM %	As	Cd	Cr	Cu mg kg ⁻¹ TM	Hg	Ni	Pb	Zn
Grassilage	42,5	0,12	0,13	1,2	9,3	0,010	2,1	2,5	62
Mischsilage	32,0	0,18	0,18	1,3	9,2	0,010	1,5	2,3	53
Milchleistungsfutter (+Cu +Zn)	88,7	0,15	0,09	6,6	117	0,008	6,0	0,7	443
Milchleistungsfutter mineralisiertes Ergänzungsf. ("Leckmasse")	88,5	0,14	0,07	4,1	19,9	0,008	3,5	0,4	122
Sägemehl	100	0,10	0,20	2,0	910	0,005	24,0	6,2	2200
Kälbermist-Einstreu	54,5	0,15	0,12	9,3	5,1	0,010	3,9	9,3	15
Leitungswasser, mg l ⁻¹	24,7	0,50	0,07	0,3	3,8	0,010	0,1	0,3	33
Hofwasser, mg l ⁻¹	150	0,002	0,0005	0,005	0,01	0,0001	0,005	0,005	0,01
Milch	5000	0,01	0,002	0,05	0,05	0,001	0,05	0,05	1,3
Kälber									
Futterrest	40,0	0,02	0,02	0,3	7,0	0,002	0,25	0,1	80
Gülle	45,6	0,12	0,19	4,9	9,2	0,010	2,8	7,7	61
	8,4	0,45	0,33	6,7	53	0,020	5,7	8,4	327

5.1.2 Stallbilanz

Im Jahr 1999/2000 lag der Kuhbestand bei 119 GV (85 Kühe á 700 kg Lebendgewicht) und im Jahr 2000/2001 bei 118 GV (84 Kühe á 700 kg). In den beiden Stallperioden verließen 48 bzw. 55 Kälber mit einem Durchschnittsgewicht von 42 kg den Kuhstall.

Über die Vorgrube gelangt eine schwer abschätzbare Menge an Niederschlagswasser in den Güllebehälter. Es handelt sich um den Abfluss von 1.500 m² Hof- und Dachflächen. Da ein großer Teil der Niederschläge als Schwachregen fällt, wird unterstellt, dass der Jahresniederschlag von 750 l/m² zu 50 % verdunstet oder versickert und zu 50 % in die Gülle gelangt. Bei diesem Ansatz ergibt sich die Menge von 1.500 x 375 l = 562.500 l. Obwohl nur die Stallperioden ausgewertet wurden, ist beim Sickerwasseranfall sowie beim Wasseranfall aus

dem Melkstand ein ganzes Jahr zu berücksichtigen, da sich die Gülleausbringung von Ausgang des Winters bis Oktober erstreckt, wobei der Anfall eines ganzen Jahres erfasst wird.

Tabelle 5-3 zeigt die Stallbilanz des Jahres 1999/2000, Tabelle 5-4 die des Jahres 2000/2001. Die Bilanzen zeigen, dass der überwiegende Anteil der Schwermetallmengen in der Gülle aus dem Futter kommt.

In 7 von den insgesamt 12 einzelnen Bilanzberechnungen waren die Werte für den Ein- und Austrag annähernd ausgeglichen. Bei Kupfer und Zink lag der Austrag in beiden Stallperioden über dem Eintrag, bei Blei nur in der Stallperiode 2000/2001 (keine Signifikanz). Der mittlere Fehler wurde nur bei Zink in der Stallperiode 1999/2000 überschritten. Bei Kupfer und Zink konnten für den Überschuss in der Gülle keine zusätzlichen Eintragspfade erkannt werden. Eine Ursache des erhöhten Pb-Eintrags in die Gülle im Jahr 2000/2001 könnte sein, dass mit dem Hofabwasser verstärkt auch mit Blei belasteter Boden in den Güllebehälter eingetragen wurde; dies kann allerdings die Pb-Einträge nicht vollständig erklären.

Tab. 5-3: Stallbilanz, Betrieb 1 (Milchviehhaltung), Stallperiode 1999/2000

	TM kg	Cd	Cr	Cu g GV ⁻¹ a ⁻¹	Ni	Pb	Zn
Grassilage	2803	0,7	7,0	24,4	5,6	15,4	171,0
Mischsilage	847	0,2	1,9	12,4	1,5	2,2	64,4
Milchleistungsfutter (+Cu +Zn)	62	0,01	0,4	7,2	0,4	0,04	27,3
Milchleistungsfutter	1962	0,1	8,0	39,0	6,9	0,8	239,4
Sägemehl	186	0,02	1,7	1,0	0,7	1,7	2,8
Leitungswasser	4	0,01	0,1	0,3	0,1	0,1	0,3
Hofwasser	50	0,02	0,5	0,5	0,5	0,5	13,0
Summe Eintrag	5913	1,1	19,7	84,8	15,7	20,8	518,2
Gesamtfehler Eintrag		0,8	15,6	26	4,1	21,4	115
Milch	885	0,001	0,2	0,7	0,1	0,01	26,6
Kälber	14	<0,001	0,004	0,1	0,004	0,001	1,1
Futterrest	169	0,03	0,8	1,6	0,5	1,3	10,3
Gülle	2555	1,2	15,3	125,2	12,5	18,4	728,3
Summe Austrag	3624	1,2	16,3	127,6	13,1	19,7	766,3
Gesamtfehler Austrag		0,4	7,1	39	3,8	4,3	187
Bilanzsaldo	2289	-0,1	3,4	-42,8	2,6	1,1	-248,1
Mittlerer Fehler		0,9	17,2	46	5,6	21,8	220

Tab. 5-4: Stallbilanz, Betrieb 1 (Milchviehhaltung), Stallperiode 2000/2001

	TM kg	Cd	Cr	Cu g GV ⁻¹ a ⁻¹	Ni	Pb	Zn
Grassilage	1978	0,3	2,4	18,4	4,2	4,9	122,6
Mischsilage	1621	0,3	2,1	14,9	2,4	3,7	85,4
Milchleistungsfutter (+Cu +Zn)	308	0,03	2,0	36,0	1,8	0,2	136,2
Milchleistungsfutter mineral. Ergänzungsf. (Leckmasse)	1893 10	0,1 <0,01	7,8 0,04	37,7 9,0	6,6 0,2	0,8 0,1	230,9 22,0
Sägemehl	96	0,01	0,9	0,5	0,4	0,9	1,4
Kälbermist-Einstreu	74	0,01	0,02	0,3	0,01	0,02	2,4
Leitungswasser	4	0,01	0,1	0,3	0,1	0,1	0,3
Hofwasser	48	0,02	0,5	0,5	0,5	0,5	12,5
Summe Eintrag	6031	0,8	15,8	117,6	16,2	11,2	613,7
Gesamtfehler Eintrag		0,2	6,3	54	6,4	5,5	207
Milch	854	0,001	0,2	0,7	0,1	0,01	25,6
Kälber	16	<0,001	0,005	0,1	0,004	0,002	1,3
Futterrest	156	0,002	0,8	1,4	0,4	1,2	9,5
Gülle	2405	0,8	16,1	127,5	13,7	20,2	786,4
Summe Austrag	3431	0,8	17,1	129,7	14,2	21,4	822,8
Gesamtfehler Austrag		0,4	13,0	83	5,1	14,6	610
Bilanzsaldo	2600	0	-1,3	-12,1	2,0	-10,2	-209,1
Mittlerer Fehler		0,4	14,4	99	8,2	15,6	644

5.2 Veredelungsbetrieb mit Mastschweinehaltung - Betrieb 2

5.2.1 Schwermetallgehalte

Die Schwermetallgehalte, die im Futter, Wasser, Zuwachs sowie in der Gülle enthalten sind, zeigt Tabelle 5-5; es wurden 6 Futterproben und 4 Gülleproben analysiert.

Tab. 5-5: Schwermetallgehalte, Betrieb 2 (Mastschweinehaltung)

	TM %	As	Cd	Cr	Cu mg kg ⁻¹ TM	Hg	Ni	Pb	Zn
Mastfutter, Zukauf	87,8	0,03	0,04	3,4	15,1	0,005	2,2	0,4	130
Mastfutter, Eigenmischung	86,9	0,08	0,04	1,4	29,4	0,005	1,5	0,4	256
Wasser, mg l ⁻¹	150	0,002	0,0003	0,005	0,01	0,0001	0,005	0,002	0,15
Schweine, Zuwachs	50	0,02	0,02	0,1	5	0,002	0,10	0,1	70
Gülle	10,7	0,2	0,27	6,9	140	0,01	6,8	2,05	896

Die Schwermetallgehalte bewegten sich im Rahmen von in der Schweinehaltung üblich ermittelten Werten. Die Eigenmischung weist gegenüber dem Zukauffutter höhere Cu- und Zn-Gehalte auf, die auf eine höhere Supplementierung schließen lassen. Der im Vergleich zu anderen Schweinegüllen hier festgestellte geringe Cu-Gehalt ist auf den relativ niedrigen Cu-Gehalt im zugekauften Mastfutter zurückzuführen.

5.2.2 Stallbilanz

Anhangtabelle 5-2 gibt einen Überblick über die Bestandsveränderungen sowie den damit verbundenen Gewichtszuwachs. In dem untersuchten Jahr fanden 3 Mastdurchgänge statt. Aus der betriebseigenen Sauenhaltung und Ferkelaufzucht wurden die Ferkel mit 45 - 50 kg, d. h. schwerer als sonst üblich, in den untersuchten Maststall gebracht (Zugang). Der Abgang umfasste die Verluste von 2,5 % und die Schlachttiere, die mit einem mittleren Gewicht von 115 kg verkauft wurden. Weitere Mengenangaben (Futter- und Wasserverbrauch, Gülleanfall) sind Anhangtabelle 5-3 zu entnehmen.

Signifikante Bilanzsalden sind bei Chrom und Nickel sowie bei Kupfer zu verzeichnen (Tab. 5-6). Für den höheren Eintrag bei Chrom und den höheren Austrag bei Kupfer konnten in diesem Betrieb keine Festlegungs- bzw. zusätzlichen Eintragswege gefunden werden.

Tab. 5-6: Stallbilanz, Betrieb 2 (Mastschweinehaltung)

	TM kg	Cd	Cr	Cu g GV ⁻¹ a ⁻¹	Ni	Pb	Zn
Alleinfutter, Zukauf	3659	0,1	12,4	55,3	8,1	1,5	475,7
Alleinfutter, Eigenmischung	1086	0,04	1,5	31,9	1,6	0,4	278,1
Wasser	3	0,01	0,1	0,2	0,1	0,003	2,6
Summe Eintrag	4748	0,2	14,0	87,4	9,8	1,9	756,4
Gesamtfehler Eintrag		0,05	3,1	13	1,7	0,5	70
Tiere, Zuwachs	879	0,02	0,1	4,4	0,1	0,1	61,5
Gülle	924	0,25	6,4	129,4	6,3	1,9	827,9
Summe Austrag	1803	0,3	6,5	133,8	6,4	2,0	889,4
Gesamtfehler Austrag		0,06	1,2	27	1,3	0,4	180
Bilanzsaldo	2946	-0,1	7,5	-46,4	3,4	0,1	-133
Mittlerer Fehler		0,1	3,3	30	2,1	0,6	193

5.3 Veredelungsbetrieb mit Mastschweinehaltung - Betrieb 3

5.3.1 Schwermetallgehalte

Die Schwermetallgehalte im Futter, Wasser, Zuwachs und in der Gülle zeigt Tabelle 5-7; es wurden 10 Futterproben, 7 Gölleproben und eine Leitungswasserprobe analysiert.

Tab. 5-7: Schwermetallgehalte, Betrieb 3 (Mastschweinehaltung)

	TM %	As	Cd	Cr	Cu mg kg ⁻¹ TM	Hg	Ni	Pb	Zn
Alleinfutter I	87,4	0,23	0,04	1,77	176	0,005	3,2	0,41	223
Alleinfutter II	88,1	0,08	0,04	1,85	35	0,005	1,9	0,27	174
Wasser, mg l ⁻¹	150	0,002	0,0003	0,001	0,01	0,0001	0,001	0,001	0,15
Zuwachs	50	0,02	0,02	0,1	5	0,002	0,1	0,1	80
Gülle, Herbst	5,25	0,30	0,16	8,45	880	0,013	13,2	2,8	1650
Gülle, Frühjahr	8,25	0,29	0,23	8,20	694	0,013	13,8	1,7	1376

Sowohl im Alleinfutter I (bis 16. Lebenswoche) als auch im Alleinfutter II orientieren sich die Cu-Gehalte an den Höchstgehalten der Anlage 5 der Futtermittelverordnung; dies gilt auch für Zink im Alleinfutter I. Daraus resultierten hohe Cu- und Zn-Gehalte in der Gülle. Trotz niedriger Trockensubstanzgehalte in der Gülle, die im Herbst angefallen ist, waren die darin enthaltenen Cu- und Zn-Gehalte höher als in der im Frühjahr angefallenen Gülle mit einem höheren Trockensubstanzgehalt. Hier ist davon auszugehen, dass in der Herbstgülle ein höherer Anteil aus der Anfangsphase der Mast mit den höheren Cu- und Zn-Gehalten im Futter enthalten ist. Darüber hinaus wurden die Tiere zu Beginn der Mast mit dem Tierarzneimittel Chlortetracyclin behandelt (vgl. Anhangtab. 5-6). Da bei einigen Tierarzneimitteln Zinkoxyd als Adjuvans zugegeben ist (SCHENKEL und BREUER 2002), könnten die hohen Zn-Gehalte in der Gülle z. T. auch dadurch bedingt sein. Da dies zunächst nicht als mögliche Eintragsquelle gesehen wurde, fanden hierzu keine näheren Untersuchungen statt. Die übrigen Schwermetallgehalte wiesen keine Besonderheiten auf.

5.3.2 Stallbilanz

Der Untersuchungszeitraum umfasste 282 Tage vom 07.07.00 bis 12.04.01. Am 04.07.00 wurden 410 Ferkel mit 28 kg Gewicht und am 30.11.00 wurden 409 Ferkel mit 33 kg Gewicht eingestellt. Der Verkauf erfolgte bei einem Gewicht von 115 kg bis 118 kg. Anhangtabelle 5-4 zeigt den Gewichtszuwachs des Tierbestandes für den Untersuchungszeitraum. Anhangtabelle 5-5 beinhaltet Mengenangaben für Tiere, Futter, Wasser und Gülle.

Die Schwermetalleinträge je GV liegen außer beim Chrom, Kupfer und Zink in ähnlicher Größenordnung wie in Betrieb 2 (Tab. 5-8). Die Ein- und Austräge waren bei Cadmium, Chrom, Nickel und Blei vergleichbar. Die Cu- und Zn-Einträge je GV lagen höher als in Betrieb 2. Dieses ist einerseits darauf zurückzuführen, dass in Betrieb 3 die Ferkel bereits mit 28-33 kg umgestellt wurden und somit zunächst noch ein Alleinfutter I mit Cu- und Zn-Gehalten erhielten, die nahe an den Höchstgehalten nach Anlage 5 der Futtermittelverordnung lagen (vgl. Tab. 5-7). Darüber hinaus enthielt auch das Alleinfutter II deutlich höhere Cu-Gehalte als in Betrieb 2, ebenfalls etwa in Höhe der Höchstgehalte nach FuttermittelVO. In der Gülle wurden hohe Cu- und Zn-Mengen analysiert. Die bei Kupfer und Zink signifikant höheren Austräge lassen vermuten, dass nicht alle Einträge erfasst wurden. Auf weitere mögliche Eintragspfade wurde oben hingewiesen. Fehler könnten darüber hinaus durch die unter Praxisbedingungen insbesondere bei Schweinegülle erschweren repräsentative Probenahme entstanden sein.

Tab. 5-8: Stallbilanz, Betrieb 3 (Mastschweinehaltung)

	TM kg	Cd	Cr	Cu g GV ⁻¹ a ⁻¹	Ni	Pb	Zn
Alleinfutter I	1650	0,1	2,9	290	5,0	0,6	368
Alleinfutter II	3102	0,1	5,7	109	6,0	0,6	540
Wasser	3	0,01	0,02	0,2	0,02	0,01	2,6
Summe Eintrag	4755	0,2	8,6	399	11,0	1,2	911
Gesamtfehler Eintrag		0,1	3,4	40	4,0	0,4	182
Tiere, Zuwachs	951	0,02	0,1	5	0,1	0,1	76
Gülle Herbst	300	0,05	2,5	264	3,9	0,8	494
Gülle Frühjahr	561	0,1	4,6	390	7,7	1,0	772
Summe Austrag	1812	0,2	7,2	658	11,7	1,9	1342
Gesamtfehler Austrag		0,1	1,4	132	5,5	0,7	336
Bilanzsaldo	2943	0	1,4	-259	-0,7	-0,7	-431
Mittlerer Fehler		0,1	3,7	138	6,8	0,8	382

5.4 Veredelungsbetrieb mit Zuchtsauen und Ferkelerzeugung - Betrieb 4a

5.4.1 Schwermetallgehalte

Die Schwermetallgehalte im Futter, Wasser, Zuwachs sowie in der Gülle sind in Tabelle 5-9 enthalten; es wurden 6 Proben des Futters für tragende Sauen bzw. säugende Sauen untersucht. Auffällig ist der hohe Zn-Gehalt in der Gülle. Die übrigen Gehalte lagen in der ansonsten in der Schweinehaltung häufig anzutreffenden Größenordnung.

Tab. 5-9: Schwermetallgehalte, Betrieb 4a (Zuchtsauen, Ferkelerzeugung)

	TM %	As	Cd	Cr	Cu mg kg ⁻¹ TM	Hg	Ni	Pb	Zn
Alleinfutter, tragende Sauen	88,0	0,16	0,03	1,75	28,2	0,003	1,5	0,20	156
Alleinfutter, lakt. Sauen	88,4	0,19	0,025	2,20	33,9	0,003	1,7	0,20	177
Ergänzungsfutter, Saugferkel	88,9	0,18	0,06	2,90	116,8	0,003	3,1	0,45	210
Wasser, mg l ⁻¹	150	0,002	0,003	0,001	0,01	0,0001	0,0006	<0,001	0,15
Ferkel u. Zuwachs	50	0,02	0,02	0,10	5	0,002	0,1	0,10	70
Gülle	2,0	0,60	0,38	6,77	307	0,01	9,6	2,90	1400

5.4.2 Stallbilanz

Der Sauenbestand umfasste im Mittel 216 Sauen und 3 Eber. Zur Remontierung des Bestandes wurden etwa alle 6 Wochen 12 Jungsauen hinzugekauft. Die Saugferkel gelangen mit einem Gewicht von 8-9 kg in den Ferkelaufzuchttall. Die Ferkel wurden nicht systematisch gewogen, ihr Gewicht wird mit 8,5 kg angesetzt. Die Gewichte des Tierbestandes und

der verendeten Tiere wurden geschätzt. Anhangtabellen 5-7 und 5-8 beinhalten Angaben zum Tierbestand und sonstige Mengenangaben.

Die Tränkwasseraufnahme lässt sich auf der Basis eines Wasser:Futter-Verhältnisses von 4:1 mit rd. 1100000 kg ansetzen. Bei einem geschätzten Anfall an Reinigungswasser von 300000 kg ergibt sich ein geschätzter Wasserverbrauch von mindestens 1400000 kg. Für die Mineralstoff- und Schwermetallgehalte im Tränkwasser wurden Literaturwerte verwendet.

Tabelle 5-10 zeigt die Stallbilanz für Betrieb 4a. Die Bilanzsalden von Kupfer und Zink waren nicht signifikant. Bei Cadmium und Blei lagen die Bilanzsalden mit -0,1 g bzw. -0,4 g $GV^{-1} a^{-1}$ nahe am mittleren Fehler. Hier ist zu berücksichtigen, dass es sich um geringe absolute Mengen handelt. Weiterhin wurde ein signifikant geringerer Cr-Austrag mit der Gülle festgestellt (vgl. Kap. 5.3.1). Aufgrund der insgesamt nur geringen Bilanzabweichungen lässt sich jedoch nicht direkt erkennen, dass neben dem Futter weitere bedeutende Quellen für den Schwermetalleintrag vorliegen.

Tab. 5-10: Stallbilanz, Betrieb 4a (Zuchtsauen, Ferkelerzeugung)

	TM kg	Cd	Cr	Cu $GV^{-1} a^{-1}$	Ni	Pb	Zn
Alleinfutter, tragende Sauen	2143	0,1	3,7	60,4	3,2	0,4	334,4
Alleinfutter, lakt. Sauen	1227	0,03	2,7	41,8	2,1	0,3	217,1
Ergänzungsfutter, Saugferkel	20	0,001	0,1	2,3	0,1	0,01	4,1
Wasser, mg l^{-1}	2	0,0005	0,02	0,2	0,009	0,02	2,3
Summe Eintrag	3392	0,1	6,5	104,7	5,4	0,7	557,9
Gesamtfehler Eintrag		0,04	2,6	14	1,3	0,1	51
Ferkel u. Zuwachs	365	0,07	0,04	1,8	0,04	0,04	25,5
Gülle	375	0,15	2,6	115,1	3,6	1,1	524,8
Summe Austrag	740	0,2	2,6	116,9	3,6	1,1	550,3
Gesamtfehler Austrag		0,1	1,0	23	0,9	0,3	110
Bilanzsaldo	2652	-0,1	3,9	-12,2	1,8	-0,4	7,6
Mittlerer Fehler		0,1	2,8	27	1,6	0,3	121

5.5 Veredelungsbetriebe - Betriebe 4b, 5a und 5b

Da für die Betriebe 4b (Ferkelaufzucht), 5a (Masthähnchenhaltung) und 5b (Mastputenhaltung) die Stoffflüsse aufgrund unvollständiger Datenlage nicht genau ermittelt werden konnten, wurden keine Bilanzen erstellt. Nachfolgend werden die Schwermetallgehalte im Futter, in der Einstreu und im Mist dargestellt. Die Ermittlung der Gehalte an Schwermetallen bei Betrieb 4b (Ferkel) sind in Tabelle 5-11, bei Betrieb 5a (Masthähnchen) in Tabelle 5-12 und bei Betrieb 5b (Mastputen) in Tabelle 5-13 aufgeführt.

In dem Ferkelstall wurden die Ferkel in dem Gewichtsabschnitt von 8-28 kg gehalten. Da Kupfer in diesem Mastabschnitt einen positiven Einfluss auf das Wachstum der Tiere hat, wurde auch in diesem Betrieb ein Alleinfutter für Aufzuchtferkel eingesetzt, das sich bei Kupfer und Zink an den zugelassenen Höchstwerten nach Anlage 5 der Futtermittelverord-

nung orientiert. Da zudem bei Ferkeln die Futterverwertung relativ hoch ist, Kupfer und Zink jedoch weitestgehend wieder ausgeschieden werden, ergeben sich daraus relativ hohe Cu- und Zn-Gehalte in der Gölletrockenmasse. Die übrigen Schwermetallgehalte bewegten sich in einem Bereich, der vergleichbar mit anderen Untersuchungen ist.

Tab. 5-11: Schwermetallgehalte, Betrieb 4b (Ferkelaufzucht)

Alleinfutter Aufzuchtferkel	TM %	As	Cd	Cr	Cu mg kg ⁻¹ TM	Hg	Ni	Pb	Zn
Lieferant A	88,2	0,14	0,06	3,43	71	0,005	3,1	0,7	272
Lieferant B	88,1	0,14	0,01	2,0	178	0,005	3,2	0,1	161
Gölle	3,5	0,9	0,34	8,47	1300	0,03	19,9	2,4	1867

Im Mittel der gesamten Futterration wurde ein Cu-Gehalt im Hähnchenmaststall (Betrieb 5a) von 44,7 mg kg⁻¹ TM ermittelt. Für Alleinfutter in der Hähnchenmast liegt, bezogen auf 88 % TM, der Höchstwert nach Futtermittelverordnung bei 35 mg Cu kg⁻¹ bzw. 250 mg Zn kg⁻¹, d. h. bezogen auf die Trockenmasse bei 40 mg Cu kg⁻¹ bzw. 284 mg Zn kg⁻¹. Unter Einbeziehung einer futtermittelrechtlichen Toleranz von 7,5 mg Kupfer (88 % TM) wurde bei der Futterration somit der rechtliche Rahmen noch eingehalten. Dennoch zeigt dieses Beispiel, dass sich die Gehalte im Alleinfutter für Geflügel für diesen Betrieb an den Grenzwerten der Verordnung orientieren. Bezogen auf die Trockenmasse führte dieses jedoch im Vergleich zu Schweinegölle in der Regel zu deutlich niedrigeren Cu- und Zn-Gehalten in den Misten.

Tab. 5-12: Schwermetallgehalte, Betrieb 5a (Masthähnchenhaltung)

	TM %	As	Cd	Cr	Cu mg kg ⁻¹ TM	Hg	Ni	Pb	Zn
Stroh, Gerste	93,3	0,16	0,17	5,6	7,8	0,01	2,5	0,3	28
Pferdemist	47,8	0,5	0,18	5,2	13,2	0,01	2,4	1,6	88
Broiler-Mastf. I	90,0	0,3	0,04	0,7	42,0	0,01	0,9	0,25	140
Broiler-Mastf. II	87,5	0,3	0,03	0,8	49,9	0,01	1,0	0,25	110
Broiler-Mastf. III	87,2	0,3	0,03	0,8	42,2	0,01	1,0	0,25	130
Hähnchenmist	57,3	1,0	0,18	7,5	139	0,04	5,1	5,6	448

Tab. 5-13: Schwermetallgehalte, Betrieb 5b (Mastputenhaltung)

	TM %	As	Cd	Cr	Cu mg kg ⁻¹ TM	Hg	Ni	Pb	Zn
Alleinfutter, Masttruthühner	89,5	0,13	0,035	1,6	33,1	0,01	1,34	0,35	130
Hobelspäne	86,9	0,1	0,120	9,3	5,1	0,01	3,9	9,30	15
Putenmist	52,0	0,4	0,170	13,2	110	0,06	8,0	1,70	430

5.6 Veredelungsbetriebe mit Legehennenhaltung - Betriebe 6 und 7

5.6.1 Schwermetallgehalte

Die Schwermetallgehalte in den untersuchten Proben des Betriebes 6 sind in Tabelle 5-14 und des Betriebes 7 in Tabelle 5-15 aufgeführt. Die Analysenwerte für das Alleinfutter sind vergleichbar mit Ergebnissen von RICHTER (2002). Die Anhangtabellen 5-9 und 5-10 enthalten die Produktionsdaten der beiden Legehennenbetriebe.

Tab. 5-14: Schwermetallgehalte, Betrieb 6 (Legehennenhaltung)

	TM %	As	Cd	Cr	Cu mg kg ⁻¹ TM	Hg	Ni	Pb	Zn
Alleinfutter Legehennen	90,3	0,14	0,062	3,7	17,3	0,003	3,1	1,0	145
Wasser, mg l ⁻¹	150	0,01	0,001	0,01	0,01	0,001	0,001	0,01	0,15
Eier	30,4	0,03	0,002	0,2	2,5	0,008	0,1	0,1	39
Zuwachs (Lit.)	35	0,02	0,03	0,2	5,0	0,002	0,7	0,4	60
Hühnertrockenkot	49,3	0,4	0,2	8,7	45	0,006	8,4	3,0	402

Tab. 5-15: Schwermetallgehalte, Betrieb 7 (Legehennenhaltung)

	TM %	As	Cd	Cr	Cu mg kg ⁻¹ TM	Hg	Ni	Pb	Zn
Alleinfutter Legehennen	88,4	0,14	0,07	3,9	12,2	0,005	3,8	0,45	96
Wasser, mg l ⁻¹	150	0,005	0,001	0,01	0,01	0,001	0,001	0,01	0,15
Eier	30,4	0,03	0,002	0,2	2,5	0,008	0,1	0,1	39
Zuwachs (Lit.)	35,0	0,02	0,03	0,1	5,0	0,01	0,1	0,1	60
Hühnertrockenkot	47,9	0,37	0,21	11,3	45	0,006	7,9	1,7	465

5.6.2 Stallbilanz

Die in den beiden Legehennenbetrieben ermittelten Stallbilanzen sind in Tabelle 5-16 und 5-17 aufgeführt. Insbesondere in Betrieb 6 wurde eine gute Übereinstimmung zwischen den Schwermetallein- und den Schwermetallasträgen festgestellt. Nur in 3 von 12 Einzelementbilanzen wurde ein negativer Saldo berechnet (Austrag größer als Eintrag). Insofern lässt sich nicht erkennen, dass in Legehennenbetrieben weitere Eintragspfade für Schwermetalle zu berücksichtigen sind. Weiterhin wurden signifikante Cr- und Ni-Bilanzen (nur Betrieb 7) errechnet.

Tab. 5-16: Stallbilanz, Betrieb 6 (Legehennenhaltung)

	TM kg	Cd	Cr	Cu g GV ⁻¹ a ⁻¹	Ni	Pb	Zn
Alleinfutter	10397	0,6	38,2	179,3	32,0	10,6	1507,5
Wasser	3	0,02	0,2	0,2	0,02	0,2	2,9
Summe Eintrag	10400	0,6	38,4	179,5	32,0	10,8	1510,4
Gesamtfehler Eintrag		0,05	4,3	12	2,2	2,4	167
Eier	1676	0,003	0,3	4,2	0,1	0,2	65,4
Tier, Zuwachs	20	0,001	0,004	0,1	0,01	0,01	1,2
Hühnertrockenkot	3463	0,7	30,0	155,8	29,1	10,4	1392,1
Summe Austrag	5159	0,7	30,3	160,1	29,2	10,6	1458,7
Gesamtfehler Austrag		0,1	3,2	13	1,8	1,3	94
Bilanzsaldo	5241	-0,1	8,1	19,4	2,8	0,2	51,7
Mittlerer Fehler		0,1	5,3	18	2,9	2,7	191

Tab. 5-17: Stallbilanz, Betrieb 7 (Legehennenhaltung)

	TM kg	Cd	Cr	Cu g GV ⁻¹ a ⁻¹	Ni	Pb	Zn
Alleinfutter	9820	0,7	38,8	120,1	37,3	4,4	945
Wasser	3	0,02	0,2	0,2	0,02	0,2	3,1
Summe Eintrag	9823	0,7	39,0	120,3	37,3	4,6	948
Gesamtfehler Eintrag		0,1	5,5	27	11,2	1,2	108
Eier	1452	0,003	0,3	3,6	0,1	0,2	56,6
Tier, Zuwachs	59	0,002	0,006	0,3	0,01	0,01	3,5
Hühnertrockenkot	2500	0,5	28,3	112,5	19,8	4,3	1162,5
Summe Austrag	4011	0,5	28,6	116,4	19,9	4,5	1223
Gesamtfehler Austrag		0,2	6,9	29	6,1	0,9	245
Bilanzsaldo	5812	-0,2	10,4	3,9	17,4	0,1	-275
Mittlerer Fehler		0,2	8,8	40	12,8	1,5	268

5.7 Diskussion

5.7.1 Schwermetallgehalte

Kupfer und Zink in Silagen

Vergleicht man die im Projekt ermittelten Ergebnisse für Gärfuttermittel mit den Ergebnissen aus der Routineanalytik der LUFA Oldenburg (Tab. 5-18, ENGLING 1999a, b, 2000), so zeigt sich, dass sich die Konzentrationen auf dem gleichen Niveau bewegen. Bei einer großen Variationsbreite der Einzelwerte liegen die durchschnittlichen Gehalte an Kupfer und Zink bei beiden Elementen unterhalb der Empfehlungen für Rindvieh.

Tab. 5-18: Mittlere Cu- und Zn-Gehalte in Gras- und Maissilagen (Analysenergebnisse Routineanalytik, LUFA Oldenburg 1997 bis 2000; ENGLING 1999 a, b, 2000)

	Cu	Zn
	mg kg ⁻¹ TM	
Grassilage (n = 1200)	8,1 (3,1-17,1)	38 (18-110)
Maissilage (n = 102)	4,4 (2,8-7,7)	36 (22-71)
Beratungsempfehlung	10	50

Klammerwerte: ermittelte Wertespannen

Kupfer und Zink in anderen Futtermitteln

Tabelle 5-19 zeigt die Cu- und Zn-Gehalte verschiedener Handelsfuttermittel aus der Routineanalytik. Hervorzuheben ist die große Variationsbreite. Die Futtermittelverordnung lässt für Mastschweine bis 16 Wochen einen Cu-Gehalt von 175 mg kg⁻¹ (\pm 15 % Analysentoleranz) zu, für andere Schweinefuttermittel 35 mg kg⁻¹ (\pm 7,5 mg kg⁻¹ Analysentoleranz).

Tab. 5-19: Mittlere Cu- und Zn-Gehalte in verschiedenen Handelsfuttermitteln (Analysenergebnisse Routineanalytik, LUFA Oldenburg 1998 bis 2001)

		Cu	Zn
		mg kg ⁻¹	
Alleinfutter Aufzuchtferkel (Cu: n = 52 / Zn: 20)	Mittelwert	129 (7-210)	225 (16-389)
	Median	138	246
andere Schweinefutter (n = 102 / 16)	Mittelwert	30 (7-67)	146 (99-209)
	Median	28	136
Geflügelfutter (n = 30 / 24)	Mittelwert	27 (10-48)	120 (50-176)
	Median	27	121

Klammerwerte: ermittelte Wertespannen

Für Zink liegt der Höchstgehalt für Alleinfuttermittel bei 250 mg kg⁻¹ (\pm 15 % Analysentoleranz). In einigen Fällen werden diese Werte überschritten. In der Regel ist aus den Probenbezeichnungen jedoch nicht zu erkennen, inwieweit es sich bei den Proben um Verdachtsproben handelt bzw. ob nicht auch eine falsche Probenbezeichnung vorliegt (z. B. Alleinfutter für Aufzuchtferkel anstelle von Schweinefutter). Die im Projekt ermittelten Ergebnisse für Kupfer und Zink bewegen in der gleichen Größenordnung wie die Ergebnisse aus der Routineanalytik.

Andere Schwermetalle

Tabelle 5-20 zeigt Gehalte von Blei, Cadmium, Quecksilber und Arsen in diversen Mischfuttern und Einzelfuttermitteln, die in den zurückliegenden Jahren an der LUFA Oldenburg untersucht wurden (außer Tiermehl, Fischmehl, Mineralfutter, Vormischungen, Gras, Heu und Silage und außer Proben mit bekannter Kontamination). Für Nickel und Chrom lagen aus der Routineanalytik nur wenige Untersuchungen vor, so dass diese Elemente hier nicht aufgeführt wurden. Für Blei, Cadmium, Quecksilber und Arsen lässt sich abschätzen, dass etwa 90 % der Werte im natürlichen Hintergrundbereich liegen.

Tab. 5-20: Anzahl und Verteilung von Schwermetallgehalten in Futterproben (mg kg^{-1} TM; Analyseergebnisse der Routineanalytik, LUFA Oldenburg)

	Pb Bereich	n	Cd Bereich	n	Hg Bereich	n	As Bereich	n
Verteilung	bis 0,5	128	bis 0,1	215	bis 0,01	67	bis 0,5	82
	>0,5-1	7	>0,1-1	10	0,01	5	0,6	1
	>1-8	6	>1-8	3	0,03	1		
	gesamt	141	gesamt	228	gesamt	73	gesamt	83
Nachweisgrenze	0,2		0,05		0,01		0,05	
Höchstgehalte n. Anl. 5 Futtermittel-VO.	5/10		0,5/1		0,1		2	

Wirtschaftseigene Dünger

Tabelle 5-21 zeigt die Cu-Gehalte von Schweinegülle aus der Routineanalytik; i. d. R. wird nur Schweinegülle häufiger auf Kupfer untersucht. Auffallend ist die große Spanne zwischen Minimal- und Maximalgehalt. Bei den höheren Gehalten ist anzunehmen, dass auch ein höherer Anteil an Ferkelgülle darin enthalten ist bzw. vom Auftraggeber Ferkelgülle als Schweinegülle gekennzeichnet werden.

Tab. 5-21: Mittlere Cu-Gehalte in Schweinegülle (Analysenergebnisse der Routineanalytik, LUFA Oldenburg 2000)

	Cu mg kg TM^{-1}
Schweinegülle n = 44	326 (109 - 1592)

Die im Projekt ermittelten Schwermetallkonzentrationen in Wirtschaftsdüngern liegen, ausgenommen Kupfer und Zink, alle in etwa einer Größenordnung (Tab. 5-22).

Tab. 5-22: Schwermetallkonzentrationen in Wirtschaftsdüngern (Teilprojekt Oldenburg)

	As	Cd	Cr	Cu mg kg^{-1} TM	Hg	Ni	Pb	Zn
Rindergülle 99/00, Betr. 1	0,3	0,46	6,0	49	0,01	4,9	7,2	285
Rindergülle 00/01	0,5	0,33	6,7	53	0,02	5,7	8,4	327
Schweinegülle, Betr. 2	0,2	0,27	6,9	140	0,01	6,8	2,1	896
Schweinegülle, Betr. 3	0,3	0,23	8,2	694	0,01	13,8	1,7	1376
Zuchtsauengülle, Betr. 4a	0,6	0,38	6,8	307	0,01	9,6	2,9	1400
Ferkelgülle, Betr. 4b	0,9	0,34	8,5	1300	0,03	19,9	2,4	1867
Hähnchenmist, Betr. 5a	1,0	0,18	7,5	139	0,04	5,1	5,6	448
Putenmist, Betr. 5b	0,4	0,17	13,2	110	0,06	8,0	1,7	430
Hühnertrockenkot Betr. 6	0,4	0,20	8,7	45	0,006	8,4	3,0	402
Hühnertrockenkot Betr. 7	0,4	0,21	11,3	45	0,006	7,9	1,7	465

Höhere Cu- und Zn-Gehalte in Wirtschaftsdüngern treten immer dann auf, wenn diese Elemente dem Futter zusätzlich in den nach Futtermittelrecht zulässigen Dosierungen zum Zweck der optimalen Versorgung des Tieres, der Gesunderhaltung und der Leistungsförderung zugesetzt werden.

5.7.2 Stallbilanz

Für die Untersuchungen auf 9 unterschiedlichen Tierhaltungsbetrieben (je Produktionsverfahren ein Stall, für die Schweinemast- und Legehennenhaltung jeweils 2 Ställe) konnten auf den einzelnen Betrieben nur eine begrenzte Anzahl von Erhebungen und Untersuchungen durchgeführt werden. Dies ist bei der Bewertung der Ergebnisse, insbesondere der Bilanzberechnungen zu berücksichtigen. Anhand einzelner Stallbilanzen kann somit in der Regel nicht mit Sicherheit abgeleitet werden, dass neben den untersuchten Eintragswege noch weitere Eintragswege bedeutsam sind.

Betrachtet man die Stallbilanzen von allen im Teilprojekt Oldenburg untersuchten Betrieben, so treten für Kupfer, Zink und Cadmium bei 5 bzw. 6 von 7 Stallbilanzen höhere ermittelte Austräge als Einträge auf (Tab. 5-23). Obwohl diese höheren Austräge in den einzelnen Betrieben vielfach nicht signifikant waren, deutet dieses Ergebnis darauf hin, dass bei den Untersuchungen offensichtlich nicht alle Cu- und Zn-Einträge erfasst wurden. Zur Frage inwieweit Zink durch Korrosion und Abrieb in bedeutsamen Mengen in Wirtschaftsdünger eingetragen werden kann, besteht noch weiterer Untersuchungsbedarf (vgl. Kap. 6). Dies gilt auch hinsichtlich eines möglichen Cu- und Zn-Eintrages im Zusammenhang mit Tierarzneimitteln. Hier können erhebliche Elementfrachten zustande kommen, sofern in den Präparaten Zn-Verbindungen als Adjuvans bzw. als Trägermaterial zugegeben sind (SCHENKEL und BREUER 2002). In Bezug auf die höheren Cd-Austräge im Vergleich zu den Einträgen konnten keine Anhaltspunkte gefunden werden.

Bei Chrom und Nickel sind in 7 von 14 Stallbilanzen die Einträge signifikant höher als die Austräge, was nicht erklärt werden kann.

Tab. 5-23: Bilanzsalden (Stall) der untersuchten Betriebe, Teilprojekt Oldenburg

	Cd	Cr	Cu g GV ⁻¹ a ⁻¹	Ni	Pb	Zn
Betrieb 1, Milchviehhaltung, Stallperiode 1999/2000	-0,1	+3,4	-43	+2,6	+1,1	-248*
Betrieb 1, Milchviehhaltung, Stallperiode 2000/2001	0	-1,3	-12	+2,0	-10,2	-209
Betrieb 2, Mastschweinehaltung	-0,1	+7,5*	-46*	+3,4*	0,1	-133
Betrieb 3 Mastschweinehaltung	0	+1,4	-259*	-0,7	-0,7	-431*
Betrieb 4a, Zuchtsauenhaltung	-0,1	+3,9*	-12	+1,8*	-0,4*	7,6
Betrieb 6, Legehennenhaltung	-0,1	+8,1*	+19*	+2,8	+0,2	+52
Betrieb 7, Legehennenhaltung	-0,2	+10,4*	+4	+17,4*	+0,1	-275*

+ = Eintrag > Austrag - = Austrag > Eintrag

* = signifikanter Unterschied

Die Untersuchungsergebnisse zeigen weiterhin, dass von den jeweils in die Untersuchung einbezogenen Eintragspfaden das Futter die überwiegende Komponente darstellt. Einstreu, Wasser zur Tränke und selbst das auf dem Milchviehbetrieb in erheblicher Menge in die

Gülle mit einfließende Hofabwasser sind demgegenüber von untergeordneter Bedeutung. Nur in einem Jahr blieb aufgrund eines höheren Bilanzunterschiedes beim Blei unsicher, ob nicht ein bedeutsamer Eintrag von Bodenmaterial, der in der betreffenden Region verstärkt mit Blei belastet ist, zu höheren Pb-Einträgen geführt haben könnte; der gesamte Bilanzunterschied ist damit allerdings nicht erklärbar.

6 Futteraufbereitung und Materialien im Stallbereich

Wirtschaftsdünger tierischer Herkunft können über Futteraufbereitung, Korrosion und Abrieb von Stalleinrichtungen und Lagerbehältern, Baumaterialien, Farben, usw. mit Schwermetallen angereichert werden. Alle in diesem Vorhaben behandelten Schwermetalle könnten in verwendeten Materialien enthalten sein und durch Abrieb oder Korrosion in die Wirtschaftsdünger gelangen. Neben den Cd-, Pb- und Zn-Gehalten in verzinkten Rohren finden zum Beispiel Cadmium und Chrom unter anderem in Pigmenten für Farben und Lacke (ALLOWAY 1995) sowie bei der Herstellung von Baumaterialien wie Beton (SCHINNER und SONNLEITNER 1997) Verwendung. Einige Metall-Legierungen, unter anderem auch rostfreier Stahl, können 10-26 % Chrom und auch erhebliche Mengen an Nickel enthalten (ALLOWAY 1995; SCHINNER und SONNLEITNER 1997). Über die Beständigkeit von baulichen Einrichtungen und eingesetzten Materialien berichten DE BELIE et al. (2000 a, b, c).

Futteraufbereitung

Im Teilprojekt Bayreuth wurde stichprobenhaft der Einfluss der Aufbereitung von wirtschaftseigenen Futtermitteln geprüft (UIHLEIN 2001). Mit einer Einzeluntersuchung wurden die Schwermetallgehalte von Getreide (Weizen, Triticale) vor und nach dem Schrotten ermittelt. Für Chrom wurde eine signifikante Zunahme der Konzentration im Weizen-Triticale-Schrotgemisch festgestellt (Abb. 6-1; Anhangtab. 6-1; UIHLEIN 2001), was auf Materialabrieb beim Mahlorgang zurückzuführen sein könnte.

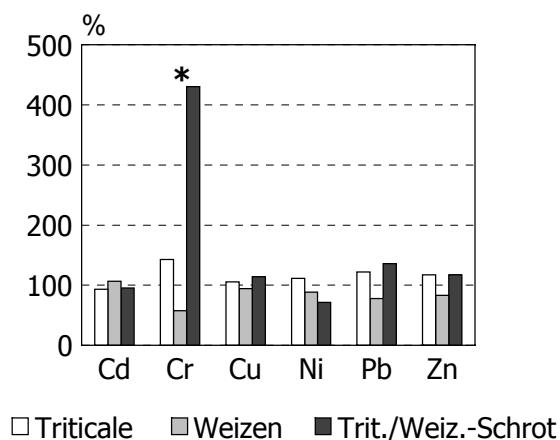


Abb. 6-1: Schwermetallgehalte von Triticale, Weizen und Triticale/Weizen-Schrot (Mittelwert der Gehalte in Triticale und Weizen wurde als 100 % angenommen; UIHLEIN 2001)

Korrosion und Abrieb der Stalleinrichtung

Zur Abschätzung des Zinkabtrages über die Korrosion und den Abrieb der Stalleinrichtung wurden Abtragsraten aus der Literatur sowie Ergebnisse eigener Untersuchungen herangezogen. Die Verwitterungsbeständigkeit oder Korrosion von Zinkbeschichtungen wird maßgeblich von der Atmosphäre (z. B. Luftfeuchtigkeit, Temperatur, Gehalt an Ammoniak und Schwefelwasserstoff), d. h. vom Stallklima beeinflusst (vgl. SCHRECK und STOCKMANN 1981, RAST und SEIFERT 1983). KOROTKEWITSCH (1981) gibt für Zinkbeschichtungen Abtragsraten

von 20 bis 30 g m⁻² a⁻¹ (25 g entsprechen 3,57 µm a⁻¹) an. Im Merkblatt 400 des STAHL-INFORMATION-ZENTRUMS (1990) wird eine Zinkabtragsrate von 4 µm a⁻¹ für den Bereich oberhalb 30 cm vom Stallboden angegeben. DE BELIE et al. (2000 b) geben für Metalle – je nach Stallklima (Feuchtigkeitsgehalt der Luft, Temperatur, Konzentration von Gasen, Säuren und Salzen), Position im Stall und Alter der Materialien – Korrosionsraten von bis zu 200 µm a⁻¹ an.

In eigenen Untersuchungen, die gemeinsam mit der Initiative Zink in der Wirtschaftsvereinigung Metalle, Düsseldorf, und dem Institut für Feuerverzinken, Düsseldorf, sowie der Universität Bonn durchgeführt wurden, zeigte sich mittels magnetisch-induktiver Messungen eine mittlere Abtragsrate von 1,6 µm a⁻¹ (bzw. 11,4 g m⁻² a⁻¹; ermittelt für Betrieb 3, Teilprojekt Bonn, Tab. 2-1); diese Rate ist sehr viel geringer als der in der Literatur angegebene Wert.

Die Abschätzung des Schwermetalleintrags durch Korrosion der Stalleinrichtung wurde für Betrieb 3, Teilprojekt Bonn und alle Betriebe im Teilprojekt Bayreuth vorgenommen. Für die Abtragsschätzung wurden die im vorliegenden Projekt gemessene Abtragsrate (1,6 µm a⁻¹) und ein Literaturwert (3,57 µm a⁻¹; KOROTKEWITSCH 1981) herangezogen. Für verzinkte Oberflächen werden vom Industrieverband Feuerverzinken (schriftliche Mitteilung) ein Zinkgehalt von 96 %, ein Pb-Gehalt von 0,5 % und ein Cd-Gehalt von 15 ppm angegeben. Im Teilprojekt Bonn wurde zur Bestimmung der Massenflüsse die gesamte Oberfläche der sich im Stall befindenden Stahlrohre berechnet. Im Teilprojekt Bayreuth wurde die Oberfläche der Boxenabtrennungen aus Stahlrohr im Stall ermittelt, die übrige Stalleinrichtung blieb unberücksichtigt. Die Einträge für Zink, Blei und Cadmium der fünf Milchviehbetriebe sind in Tabelle 6-1 zusammengestellt. Bezogen auf den prozentualen Anteil dieses Eintragspfades am Gesamteintrag in den Stall wird mit der in den eigenen Untersuchungen ermittelten Abtragsrate ein Zinkinput von 2-6 % des Gesamteintrages ermittelt. Die Berechnung mit den Abtragsraten nach KOROTKEWITSCH (1981) ergeben Zn-Einträge von 4-13 % des Gesamteintrages (Tab. 6-2).

Tab. 6-1: Elementeinträge (g GV⁻¹ a⁻¹) durch Korrosion und Abrieb der Stalleinrichtung; berechnet für zwei verschiedene Abtragsraten; Betriebe 3 (Bonn) und 1 bis 4 (Bayreuth)

Betrieb	Zinkeintrag durch Korrosion der Stalleinrichtung g GV ⁻¹ a ⁻¹						
	Abtragsrate (gemessen)			Abtragsrate (Literatur)			
	1,6 µm (= 11,4 g m ⁻² a)	3,57 µm (= 25 g m ⁻² a)	Cd	Pb	Zn		
3 (Bonn)	0,0002	0,10	18,5	0,0006	0,21	39,9	
1 (Bayreuth)	0,0001	0,06	11,3	0,0004	0,13	25,2	
2 (Bayreuth)	0,0001	0,03	5,7	0,0002	0,07	12,8	
3 (Bayreuth)	0,0001	0,02	4,6	0,0002	0,05	10,2	
4 (Bayreuth)	0,0001	0,03	6,4	0,0002	0,07	14,3	

Tab. 6-2: Zinkeinträge (in % des Gesamteintrags) durch Korrosion und Abrieb der Stalleinrichtung; berechnet für zwei verschiedene Abtragsraten; Betrieb 3 (Bonn), 1 bis 4 (Bayreuth)

Betrieb	Zinkeintrag durch Korrosion der Stalleinrichtung Angaben in % am Gesamteintrag in den Stall	
	Abtragsrate (gemessen) 1,6 μm (= 11,4 $\text{g m}^{-2} \text{a}^{-1}$)	Abtragsrate (Literatur) 3,57 μm (= 25 $\text{g m}^{-2} \text{a}^{-1}$)
3 (Bonn)	5	9
1 (Bayreuth)	6	13
2 (Bayreuth)	2	5
3 (Bayreuth)	2	4
4 (Bayreuth)	2	5

Bei den Praxisuntersuchungen trat eine besonders hohe Abnutzung der Legierungsschicht v. a. am Übergang zum Betonfundament, in das die Stahlrohre eingelassen wurden, auf. Dort ist das Material durch Kot und Harn sowie Futterreste dauerhaft feucht und dadurch besonders der Korrosion ausgesetzt. Sofern Kunststoffmanschetten das Metall schützen, war keine Abnutzung der Verzinkung zu registrieren.

Zur Minderung des Zinkabtrags verzinkter Stahlteile liefert einerseits ein optimiertes Stallklima (Lüftung, Vermeidung von Kondensationsschichten) einen wesentlichen Beitrag. Da Stalleinrichtungen im Bodenbereich einer verstärkten Korrosionsbelastung durch Kot, Harn, Futterreste, Reinigungs- und Desinfektionsmittel ausgesetzt sind, muss andererseits die Bodenzone feuerverzinkter Stahlteile vor der Montage zusätzlich geschützt werden. Hierzu haben sich über die Stahlrohre gezogene Schrumpfschläuche (5 cm tief im Beton und 30 cm über dem Stallboden), Betonsockel oder auch der Einsatz von Bodenzonenschutzbeschichtungen (z. B. Asphalt- oder Teerbeschichtungen) bewährt (STAHL-INFORMATIONS-ZENTRUM 1990, BERATUNG FEUERVERZINKEN o. J., DE BELIE et al. 2000 b).

Zur besseren Einschätzung von Abtragsraten für Zink sind aufgrund der hier durchgeföhrten Einzeluntersuchung (Betrieb 3, Teilprojekt Bonn) weitere systematische Messungen erforderlich.

Betonböden / Betonpalten / Wandputz

Nach Informationen des Bundesverbandes der Deutschen Zementindustrie sind die Schwermetallgehalte von Beton mit denen von Kulturböden vergleichbar (DEUTSCHER AUSSCHUSS FÜR STAHLBETON 1996); allerdings können in Kulturböden für einzelne Elemente auch höhere Gehalte auftreten, z. B. für Chrom und Nickel. Durch die chemisch-mineralogische und physikalische Einbindung von Schwermetallen in die Zementmatrix ist jedoch die Mobilisierbarkeit von Schwermetallen in Beton geringer als bei Kulturböden; dies gilt insbesondere für die Auslaugbarkeit (DEUTSCHER AUSSCHUSS FÜR STAHLBETON 1996). Der Abrieb von Betonbauteilen im Stallbau ist aufgrund der Anforderungen an die Gebrauchstauglichkeit durch betontechnologische Maßnahmen minimiert. Für (Palten-)Böden, Entmistungsbahnen und Abtrennbuchten werden bevorzugt Betonfertigteile eingesetzt, die sich durch eine besonders hohe Betongüte und Oberflächenqualität auszeichnen; aus diesen Gründen ist nach Meinung des Bundesverbandes der Deutschen Zementindustrie (schriftliche Mitteilung 2001) nicht mit einem nennenswerten Abrieb bei Betonbauteilen in Nutztierräumen und somit signifikanten Einflüssen auf den Schwermetallgehalt von Wirtschaftsdüngern zu rechnen. Auch

PUNTKE und SCHNEIDER (2001) konstatieren, dass die Elemente in der Betonmatrix sehr fest gebunden sind und nur zu einem sehr geringen Umfang herausgelöst werden können (vgl. SPRUNG und RECHENBERG 1994, HOHBERG et al. 1996, KUHLMANN und PASCHMANN 1996). Lediglich Chromate weisen einen verzögerten Einbau in die Hydratphase auf (PUNTKE und SCHNEIDER 2001) und können in Zementen oberhalb des Grenzwertes liegen (KERSTING et al. 2002).

Um weitergehende Informationen über Schwermetallgehalte von Beton (Estrich und Spaltenelemente) zu erhalten, wurden bei Betrieb 3 (Teilprojekt Bonn) Einzelproben von Estrich und Betonspalten entnommen. Die Ergebnisse sind in Tabelle 6-3 dargestellt. Auffallend sind vergleichsweise hohe Konzentrationen an Chrom und Nickel, die in der Größenordnung der Gehalte von Wandputz aus Schweinehaltungsbetrieben liegen, die von SCHENKEL und BREUER (2002) untersucht wurden. Bei Betrachtung der Ergebnisse von Wandputz zeigen sich erhebliche Schwankungsbreiten der Elementgehalte (Tab. 6-4). Über die Abtragsraten bzw. Einträge dieser Materialien in den Stall liegen bisher keine Informationen vor; weitere Untersuchungen sind somit erforderlich.

Tab. 6-3: Schwermetallgehalte verschiedener Betonproben; Betrieb 3 (Milchviehhaltung), Teilprojekt Bonn)

Material	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
mg kg ⁻¹						
Betonspaltenelement 1	0,04	15,1	9,5	17,6	7,6	22,9
Betonspaltenelement 2	0,03	15,0	10,4	17,8	7,9	10,4
Estrich Mistgang	0,11	13,5	12,2	12,5	6,5	5,8

Mineralische Einstreumittel / Güllezusatzstoffe / Kalke

Von SCHENKEL und BREUER (2002) wurden auch Analysen von mineralischen Einstreumitteln, Güllezusätzen und verschiedenen Kalken vorgenommen (Tab. 6-4). Die mineralischen Einstreumittel weisen erhebliche Streubreiten einzelner Elemente auf. Der Einsatz dieser Präparate kann nach Einschätzung der o. g. Autoren zu Cu-Einträgen führen, die vergleichbar sind mit den Cu-Einträgen über Futtermittel. Die Güllezusatzstoffe und die Kalke, die ebenfalls als Güllebehandlungsmittel oder Einstreumittel in der Praxis eingesetzt werden, weisen große Differenzen in der Konzentration auf; dies gilt insbesondere für Chrom, Nickel und z. T. auch Zink (Tab. 6-4).

Tab. 6-4: Schwermetallgehalte in mineralischen Einstreumitteln, Güllezusatzstoffen und anderen Materialien (Streubreite; SCHENKEL und BREUER 2002, gekürzt)

	n	As	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
mg kg ⁻¹								
Mineralische Einstreumittel	7	5,4-11	0,11-15,7	6,9-136	17-5361	7-31	5-7	18-169
Güllezusatzstoffe	8	<0,15-12,8	0,2-0,9	<0,15-76	2-24	4-77	1-42	32-224
Branntkalk, Hüttenkalk, Kohlensaurer Kalk	k. A.	0,2-2,4	<0,15-0,47	<0,15-65	2-16	2-47	0,7-7	<6-38
Putzproben Schweineställe	4	5,3-23,4	0,08-0,56	11-20	8-36	13-17	3-22	18-112

k. A.: keine Angabe

Holzschutzmittel

In Holzschutzmitteln können Chrom-, Kupfer- und Zinkverbindungen enthalten sein (DEUTSCHE BAUCHEMIE 1998, SCHOKNECHT et al. 1998). Für Schwermetalleinträge durch diese Mittel existieren in der Literatur keine Angaben, allerdings ist aufgrund der geringen Masse mit sehr geringen Frachten zu rechnen.

Farben und Lacke

Im Rahmen des Teilprojektes Bayreuth wurden die Schwermetalleinträge durch die Anstrichfarbe des Güllebehälters abgeschätzt (UIHLEIN 2001). Die Anstrichfarbe wies zwar erhöhte Gehalte an Blei und Zink auf (Tab. 6-5), die Frachtenberechnungen zeigen jedoch, dass der Anteil am Schwermetalleintrag gering ist. Nach Angaben von DE BELIE et al. (2000 b) beträgt die mittlere Lebensdauer für Farben und Lacke etwa 5 Jahre.

Tab. 6-5: Schwermetallgehalte und -flüsse von Anstrichfarbe sowie Anteil am Schwermetalleintrag außerhalb des Stalls an den Gesamt-Austrägen (UIHLEIN 2001)

Anstrichfarbe	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
Gehalte, mg kg ⁻¹	0,09 ± <0,005	6,9 ± 0,58	13 ± 1,3	6,3 ± 0,25	83 ± 4,5	520 ± 39
Eintrag, mg GV ⁻¹ a ⁻¹	0,01 ± <0,005	0,81 ± 0,07	1,6 ± 0,15	0,74 ± 0,03	9,7 ± 0,53	60 ± 4,6
Anteil am Gesamtaustrag (in %) ¹	0,04 ± <0,005	0,22 ± 0,02	<0,005 ± <0,005	0,05 ± <0,005	1,7 ± 0,09	0,14 ± 0,01

¹ Mittelwert von Betrieb 3 und 4

± Fehler des Mittelwerts

Fazit

Im Rahmen des Projektes wurden die Schwermetallgehalte verschiedener Materialien, die im Stall Verwendung finden, geprüft. Insgesamt wird konstatiert, dass für eine zuverlässige Einschätzung des Beitrages zur Schwermetallanreicherung von Wirtschaftsdüngern über die in den Ställen eingesetzten baulichen, technischen und protektiven Materialien der Wissensstand nicht ausreichend ist.

7 Spurenelemente

7.1 Allgemeines

Im Verlauf des Projektes zeigte sich, dass in einer Reduzierung der Cu- und Zn-Supplementierung zu Futtermitteln ein großes Potenzial zur Verminderung der Schwermetallgehalte in Wirtschaftsdüngern liegt. Dies war der Anlass zur Durchführung eines Workshops mit dem Ziel, den Wissensstand zum Spurenelementbedarf landwirtschaftlicher Nutztiere, zu Spurenelement- bzw. Schwermetallgehalten in Futtermitteln und in Wirtschaftsdüngern zu dokumentieren. Weiterhin sollte die Praktikabilität von Maßnahmen zur Verringerung der Spurenelementsupplementierung evaluiert werden (KTBL 2002 b, SCHULTHEIß et al. 2002). Nachfolgend werden futtermittelrechtliche Regelungen, Versorgungsempfehlungen für landwirtschaftliche Nutztiere und Aspekte zur Bioverfügbarkeit anorganischer und organischer Spurenelementverbindungen mitgeteilt. Die Elementgehalte von Futtermitteln und Wirtschaftsdüngern sind in Kapitel 8, Möglichkeiten zur Minderung von Schwermetalleinträgen in Kapitel 9 aufgeführt.

7.2 Futtermittelrechtliche Regelungen

Spurenelemente werden in einer futtermittelrechtlich zugelassenen Form insbesondere dann supplementiert, wenn

- für eine optimale Versorgung des Tieres die Elemente in unzureichender Menge im Futter enthalten sind,
- das Futter Stoffe enthält, die die Verwertung der Spurenelemente beeinträchtigen und
- die Elemente in einer physiologisch schwer verfügbaren Bindungsform vorliegen.

Für die essentiellen Spurenelemente Eisen, Jod, Kobalt, Kupfer, Mangan, Molybdän, Selen und Zink liegen derzeit EG-einheitliche Höchstgehalte für den Fall der Ergänzung in Form von Zusatzstoffen bei Mischfuttermitteln vor (RAT DER EUROPÄISCHEN GEMEINSCHAFTEN 1970). Diese Richtlinie wurde mit der Futtermittelverordnung in Bundesrecht umgesetzt (FMV 2000). Die in den Tabellen 7-1 und 7-2 genannten Höchstgehalte für Kupfer und Zink sind auf Alleinfuttermittel mit 88 % TM bezogen (FMV 2000; vgl. SCHENKEL und FLACHOWSKY 1999, 2000). Bei Supplementierung der Spurenelemente bis zum zulässigen Höchstgehalt sind die nativen Gehalte der Futtermittel einzubeziehen (PETERSEN 2002). Die Höchstgehalte gelten auch für die Gesamtration falls ein Betrieb mit Spurenelementen supplementierte Ergänzungsfuttermittel einsetzt. Ergänzungsfuttermittel dürfen höhere Gehalte an Spurenelementen aufweisen als für Alleinfuttermittel festgesetzt; dies ist allerdings zu kennzeichnen. Die Zumischung von Spurenelementverbindungen zu Einzelfuttermitteln ist generell nicht zulässig (FMV 2000, SÄCHSISCHE LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT 2001, PETERSEN 2002).

Für Futtermittel und Futterzusatzstoffe wurde innerhalb der EU-Kommission in den Arbeitsgruppen des "Wissenschaftlichen Ausschusses für Tierernährung" (SCAN) eine Herabsetzung zulässiger Höchstwerte für Spurenelemente, die als Futterzusatzstoffe supplementiert werden, diskutiert. Die Notwendigkeit der Herabsetzung der Höchstgehalte wird mit einer möglichen Beeinträchtigung der Gesundheit und Leistungsfähigkeit der Tiere, einer möglicherweise überhöhten Elementanreicherung in Lebensmitteln tierischer Herkunft sowie einer

möglichen Beeinträchtigung der Umwelt infolge eines erhöhten Elementeintrages über die Wirtschaftsdünger begründet (SCHENKEL und FLACHOWSKY 2002). Inzwischen wurde von der EU-Kommission eine Verordnung beschlossen, die die Zulassung von Spurenelementen als Futterzusatzstoffe neu regelt (EG 1334/2003).

Die Tabellen 7-1 und 7-2 beinhalten Werte der aktuellen Futtermittelverordnung (2000), Werte, die von bundesdeutscher Seite (Ständiger Futtermittelausschuss) in die Diskussion in Brüssel eingebracht wurden (PETERSEN 2002) und die im Juli 2003 von der EU-Kommission beschlossenen Spurenelementgehalte (EG 1334/2003). Die vom Ständigen Futtermittelausschuss vorgeschlagenen Werte sowie die in der EG-Verordnung verabschiedeten Werte liegen i. d. R. oberhalb der Versorgungsempfehlungen (Tab. 7-4), so dass nach SCHENKEL und FLACHOWSKY (2002) ausreichend Raum für die Gestaltung der Gesamtration gegeben ist.

Tab. 7-1: Höchstgehalte für Kupfer in Alleinfuttermitteln (88 % TM) nach Futtermittelverordnung (FMV 2000), nach Vorschlag des Ständigen Futtermittelausschusses (PETERSEN 2002) und EG-Verordnung 1334/2003 (EUROPÄISCHE KOMMISSION 2003)

	Futtermittelverordnung (2000)	Ständiger Futtermittelausschuss (2000)	EG-Verordnung (1334/2003)
Cu			
Schweine	175 / 35 ¹⁾ (< / > 16 Wo.)	30 / 20 (< / > 2 Mo.)	170 / 25 (< / > 12 Wo.)
Kälber			
Milchaustauscher	30	10 ²⁾	15
sonstige Alleinfuttermittel	50	15 ²⁾	
Rinder	35	30	35
Schafe	15	15 ³⁾	15
andere Nutztiere	35	20	25

¹⁾ In Mitgliedstaaten mit weniger als 175 Schweinen/ha LN: 17 Wochen - 6 Monate 100 ppm; über 6 Monate 35 ppm

²⁾ Kupferchelat und Kupferlysin nicht für Kälber zugelassen

³⁾ bei mehr als 10 ppm Hinweis auf empfindliche Schafrassen vorgesehen

Tab. 7-2: Höchstgehalte für Zink in Alleinfuttermitteln (88 % TM) nach Futtermittelverordnung (FMV 2000), nach Vorschlag des Ständigen Futtermittelausschusses (PETERSEN 2002) und EG-Verordnung 1334/2003 (EUROPÄISCHE KOMMISSION 2003)

	Futtermittelverordnung (2000)	Ständiger Futtermittelausschuss (2000)	EG-Verordnung (1334/2003)
Zn			
Schweine	alle Tierarten/-kategorien	100	150
Rinder		100 (Kühe 120)	150 (Milchaustauscher 200)
andere Nutztiere	250	120 (Pferde 80)	150

Über die Reduzierung der Höchstgehalte kann nicht zwangsläufig auf das Ausmaß der Verringerung von Elementgehalten in Wirtschaftsdüngern geschlossen werden. Die im Projekt ermittelten Praxisdaten zeigen allerdings, dass sich die Elementgehalte in Alleinfuttermitteln, vor allem in der Schweine- und Geflügelhaltung, oftmals im Bereich der Höchstgehalte der Futtermittelverordnung bewegen. Somit führt eine Herabsetzung der Höchstgehalte in Alleinfuttermitteln zu einer Verminderung der Schwermetallgehalte in Wirtschaftsdüngern.

Die Absenkung der Höchstgehalte in Alleinfuttermitteln bedingt bei einer Supplementierung zwangsläufig eine stärkere Berücksichtigung der nativen Elementgehalte und deren Verfügbarkeit. Dies gilt insbesondere, wenn native Gehalte und Höchstgehalt nahe beieinander liegen und zudem die Verfügbarkeit der nativen Spurenelemente durch bestimmte Faktoren (z. B. Phytat) beeinträchtigt sein kann (Kap. 9.2.2). Hohe Schwankungsbreiten der nativen Gehalte erschweren deren Einbeziehung für die Gesamtversorgung (DURST 2002), was bei einem hohen Einsatz wirtschaftseigener Futtermittel bedeutsam ist. Daher ist es sehr schwierig, im Hinblick auf Minderungsstrategien fixe Werte anzugeben. In diesem Zusammenhang kommt auch der Verfügbarkeit des Elementes aus dem Supplement eine große Bedeutung zu (Kap. 7.5).

Im Zusammenhang mit der Berücksichtigung nativer Elementgehalte in Futtermitteln erweist sich als problematisch, dass keine neueren systematischen Datensammlungen über Elementgehalte in Futtermitteln vorliegen. Die DLG-Futterwerttabelle „Mineralstoffgehalte in Futtermitteln“ (DLG 1973) ist nicht mehr aktualisiert worden und enthält, z. T. lückenhaft, Angaben zu den wichtigsten essentiellen Spurenelementen. Auch aktuelle Tabellenwerke, z. B. die niederländische Tabelle (CVB 2000) oder Tabellenanhänge zu den US-amerikanischen Fütterungsnormen (NRC 1998, 2001) führen nur Gehalte zu den essentiellen Elementen auf, zudem bestehen bei einzelnen Futtermitteln Datenlücken (vgl. Schenkel 2002 a).

Futtermittelrechtliche Ansätze zur Reduzierung anderer Schwermetalle bieten die Vorschriften über unerwünschte Stoffe, z. B. für Cadmium, Blei, Quecksilber und Arsen (FMG 2000). Hierfür wurden für Alleinfuttermittel und auch für bestimmte Einzel- bzw. Ergänzungsfuttermittel Höchstgehalte festgelegt (Tab. 7-3, FMV 2000, PETERSEN 2002). Für Chrom (als Kontaminante) kann auf die Möglichkeit des „Verbots bestimmter Stoffe“ zurückgegriffen werden (vgl. auch § 3 FMG 2000). Nickel ist derzeit futtermittelrechtlich nicht geregelt. Für Nickel wurde allerdings von der VDI-Kommission Reinhaltung der Luft eine Richtlinie zum Schutz landwirtschaftlicher Nutztiere erstellt, in der maximale Immissionsdosen in Form von Nickelkonzentrationen im Futter festgelegt wurden (VDI 1991).

Im Rahmen der amtlichen Futtermittelüberwachung wurden in der Jahresstatistik 2000 und 2001 für die Schwermetalle (As, Cd, Hg, Pb) innerhalb der Gruppe der unerwünschten Stoffe nur geringfügige Beanstandungen der Proben (0,4 bzw. 0,2 %), d. h. eine Überschreitung der in Tabelle 7-3 genannten Höchstgehalte, festgestellt (BMVEL 2001, 2002, vgl. auch SOMMERFELD 2002, WEINREICH 2002). Umfangreiche Auswertungen zur Cd- und Pb-Kontamination von Futtermitteln wurden von der Arbeitsgruppe Carry Over vorgenommen (BML 1981, 1986). Mögliche Eintragsquellen für diese Elemente in die Futterration können anorganische Supplamente (einzelne Mineralstoffträger) oder auch Einzelfuttermittel, die auf kontaminierten Standorten angebaut wurden, sein (SCHENKEL 2002 c; Kap. 3.1.1 und 5.1.1); insbesondere Blei, Cadmium und Arsen können durch Verunreinigungen des Futters mit Boden aufgenommen werden (ABRAHAMS und THORNTON 1994, MCBRIDE und SPIERS 2001). Zur Zeit ist es noch zulässig, Einzelfuttermittel mit höheren Gehalten an Cadmium oder Blei als futtermittelrechtlich festgesetzt an anerkannte Betriebe zur Verarbeitung abzugeben. In den

aktuellen Regelungen der Europäischen Union ist allerdings beabsichtigt, dass Futtermittel, die eine Überschreitung von Höchstgehalten für ein Element aufweisen, nicht zu Verdünnungszwecken mit gleichen oder anderen Futtermitteln gemischt werden dürfen (Verschneidungsregelung; ANONYM 2002, PETERSEN 2002).

Tab. 7-3: Höchstgehalte für Blei und Cadmium in Futtermitteln (88 % TM, FMV 2000, PETERSEN 2002)

Blei	mg kg ⁻¹
Einzelfuttermittel mit mehr als 8 % Phosphor	30
Grünfutter einschließlich Weidegras und Rübenblätter, Grünfuttersilage, Heu	40
Hefen	5
andere Einzelfuttermittel	10
Alleinfuttermittel für Kälber, Schaf- und Ziegenlämmer	20
Alleinfuttermittel für laktierende Rinder, laktierende Schafe, laktierende Ziegen	40
andere Alleinfuttermittel für Rinder, Schafe und Ziegen	30
andere Alleinfuttermittel	5
Mineralfuttermittel	30
andere Ergänzungsfuttermittel	10
Cadmium	mg kg ⁻¹
Einzelfuttermittel pflanzlichen Ursprungs	1
Einzelfuttermittel tierischen Ursprungs, ausgenommen Einzelfuttermittel für Heimtiere	1
Einzelfuttermittel mit mehr als 8 v.H. Phosphor	0,5 ¹⁾
Alleinfuttermittel für Rinder, Schafe und Ziegen, ausgenommen Alleinfuttermittel für Kälber, Schaf- und Ziegenlämmer	1
andere Alleinfuttermittel, ausgenommen Alleinfuttermittel für Heimtiere	0,5
Mineralfuttermittel	0,75 ¹⁾
andere Ergänzungsfuttermittel für Rinder, Schafe und Ziegen	0,5

¹⁾ je Prozent Phosphor des Futtermittel

7.3 Versorgungsempfehlungen

Die Ableitung von Versorgungsempfehlungen für Spurenelemente für landwirtschaftliche Nutztiere erfolgt sowohl mit Hilfe der faktoriellen Methode (Faktoren: Bedarf für Erhaltung, Wachstum, Laktation, Reproduktion, u. a.) als auch unter Berücksichtigung von Dosis-Wirkungs-Studien (GfE 1987, 1995, 1999, 2001, NRC 1994, 1996, 1998, 2001; UNDERWOOD und SUTTLE 1999). Für die Spurenelemente fehlen jedoch meist Daten für eine faktorielle Ableitung, so dass unter Berücksichtigung ihrer physiologischen Funktionen und Unterstellung einer mittleren Absorption sowie verschiedener Sicherheitszuschläge Empfehlungen zum Bruttobedarf für die einzelnen Spurenelemente abgeleitet wurden (Tab. 7-4; FLACHOWSKY 2002).

Die Absorption von Spurenelementen im Tier wird durch eine Vielzahl von Faktoren beeinflusst, z. B. Wertigkeit und Bindungsform der Elemente, Antagonisten, Futterzusammensetzung und –behandlung sowie physiologische Faktoren (FLACHOWSKY 2002, SCHENKEL und FLACHOWSKY 2002), was die Ableitung von Bruttobedarfswerten erschwert. Der Bruttobedarf ist die Spurenelementmenge, die vom Tier aufgenommen werden muss, um unter Berücksichtigung der Elementverwertung (Absorption, intermediäre Verwertung) den Nettobedarf

der Tiere für Erhaltung und die verschiedenen Tierleistungen (Wachstum, Eiproduktion, Milch, usw.) zu decken. Zu den wichtigsten Einflussfaktoren auf den Bruttobedarf an Spurenelementen gehört die Bioverfügbarkeit¹ der Elemente; diese beeinflusst entscheidend die Gesamtverwertung.

Bei zu geringer Spurenelementversorgung können primär unspezifische und in der Folge spezifische Mangelsymptome auftreten (FLACHOWSKY 2002). Andererseits werden in einigen Fällen Spurenelemente auch über die üblichen Versorgungsempfehlungen hinaus supplementiert, um zusätzlich ergotrope Effekte zu nutzen (Kap. 7.4).

Tab. 7-4: Empfehlungen zur Spurenelementversorgung landwirtschaftlicher Nutztiere (nach Gesellschaft für Ernährungsphysiologie (GfE 1987, 1995, 1999, 2001) und National Research Council (NRC 1994, 1996, 1998, 2001), dargestellt für Cu und Zn; in: FLACHOWSKY (2002))

Spurenelement	Wiederkäuer	Schwein mg kg ⁻¹ T	Geflügel
Cu	4-16 ¹⁾	4-10 ²⁾	6-8
Zn	20-65	40-100	30-70

¹⁾ Die unterschiedlichen Bandbreiten kommen dadurch zustande, dass einerseits verschiedene Tierkategorien (beim Schwein z. B. Ferkel, Mastschweine, Zuchtauen, Eber) zusammengefasst sind und andererseits unterschiedliche Verfahren zur Herleitung der Versorgungsempfehlung zugrunde gelegt werden.

²⁾ ergotroper Effekt: 150-250 mg Cu kg⁻¹ T

7.4 Über die Versorgungsempfehlungen hinausgehende Supplementierung

Insbesondere in der Ferkelfütterung werden Dosierungen von Kupfer über die Versorgungsempfehlungen hinaus zur Leistungsförderung eingesetzt und zudem wird eine prophylaktische Wirkung gegen Durchfall erzielt (WINDISCH und ROTH 2000, 2002). Die leistungsfördernde Wirkung beruht hierbei auf dem bakteriziden bzw. bakteriostatischen Effekt im Verdauungstrakt (durch Eindämmung unerwünschter Mikroorganismen) und der Stabilisierung der intestinalen Eubiose und beginnt erst bei Dosierungen nahe des derzeit zulässigen Höchstgehaltes gemäß Futtermittelrecht (Tab. 7-1). Demgegenüber werden für Zink ergotrope Wirkungen in der Regel erst in einem wesentlich höheren Dosierungsbereich (z. B. Zinkoxid: 1000 bis 3000 mg kg⁻¹, kurzzeitiger Einsatz bis zu drei Wochen) erzielt. Diese Mengen liegen allerdings deutlich oberhalb des futtermittelrechtlich geregelten Höchstgehaltes und kommen nur dann zum Tragen, wenn entsprechende Fütterungssarzneimittel zur Behandlung von Durchfallerkrankungen oder im Rahmen der Einstellungsprophylaxe zum Einsatz kommen (SCHENKEL und BREUER 2002). Weitere Effekte von Spurenelementgaben, die die Versorgungsempfehlungen überschreiten, zeigt Tabelle 7-5 (SCHENKEL 2002 b).

Homöostatische Kompensationsreaktionen des tierischen Organismus begrenzen den Übertritt von bedarfsüberschreitenden Mengen an Zink und Kupfer aus dem Verdauungstrakt in das Körperinnere. Somit werden über den Bedarf hinausgehende und nicht in tierische Pro-

¹⁾ Die Bioverfügbarkeit einer Spurenelementverbindung ist der maximal mögliche Anteil der über die Nahrung aufgenommenen Menge des Spurenelements, der für die biologischen Funktionen im Stoffwechsel verwertbar ist, und ist gleichbedeutend mit dem Produkt aus maximal möglicher Absorbierbarkeit und maximal möglicher intermedierer Verwertbarkeit des Spurenelements (WINDISCH 2002).

dukte überführte Elementmengen über den Kot ausgeschieden (WINDISCH und ROTH 2000). Die Kompensationsfähigkeit über die Homöostase ist jedoch begrenzt, so dass eine der Ernährungsphysiologie der Nutztiere nicht angepasste hohe Zufuhr dieser essentiellen Spurenelemente zu Akkumulationen in Organen und Störungen des Fe-Stoffwechsels führen kann.

Tab. 7-5: Wirkungen einer über die Versorgungsempfehlungen hinausgehenden Supplementierung von Spurenelementen (SCHENKEL 2002 b, verändert)

Element	Effekte	Tierart
Kupfer	Wachstum, Futterverwertung (Kotkonsistenz)	Schwein
Zink	Wachstum, Futterverwertung	Schwein
	Prophylaxe, Behandlung von Durchfallerkrankungen	Schwein, Ferkel
	Eutergesundheit, Fruchtbarkeit, Klaengesundheit	Milchkuh
Selen	Eutergesundheit, Fruchtbarkeit, Vermeidung von Gelenkproblemen	Milchkuh
Mangan	Fruchtbarkeit, Geschlecht der Nachkommen	Milchkuh

7.5 Anorganische und organische Spurenelementverbindungen

Bei den zur Supplementierung eingesetzten Spurenelementverbindungen kann man unterscheiden zwischen anorganischen und organischen Präparaten. Dabei spiegelt allerdings die Klassifizierung der Zn- und Cu-Quellen in anorganische und organische Herkünfte die Variation der Bioverfügbarkeit der einzelnen Verbindungen nur unzureichend wider (WINDISCH 2002). Nach WINDISCH (2002) weisen Carbonate und insbesondere Oxide bei Schweinen und anderen monogastrischen Nutztieren eine relativ niedrige Bioverfügbarkeit auf (vgl. AMMERMAN et al. 1995); gleichzeitig existieren in der Klasse der anorganischen Zn- und Cu-Quellen auch Verbindungen mit hoher Bioverfügbarkeit (Sulfate, Chloride), die wiederum mit vielen organischen Zn- und Cu-Quellen durchaus vergleichbar sind. Allerdings werden in anderen Untersuchungen aufgrund von spezifischen Herstellungsprozessen keine Unterschiede hinsichtlich der Bioverfügbarkeit von Zn-Oxiden und Zn-Sulfaten aufgezeigt (EMFEMA 2002).

In jüngster Zeit kommt organisch gebundenen Spurenelementverbindungen in der praktischen Schweinefütterung eine verstärkte Bedeutung zu (FLACHOWSKY 1997, SCHENKEL 2000, GRAFE und WESTENDARP 2002, WINDISCH 2002). Hierbei handelt es sich um Komplexe und Chelate mit Aminosäuren und Proteinen. Der Vorteil dieser Verbindungen wird der teilweise besseren Bioverfügbarkeit in Gegenwart von Phytat und anderen Antagonisten zugeschrieben. Somit könnten diese Verbindungen eine ausreichende Cu- und Zn-Versorgung möglicherweise auf einem niedrigeren Niveau sicherstellen als anorganische Quellen, was in der Praxis zur Minimierung der Cu- und Zn-Gehalte in Wirtschaftsdüngern führen kann. Hierbei ist allerdings zu berücksichtigen, dass auch die Bioverfügbarkeit anorganischer Cu- und Zn-Verbindungen durch die Supplementierung des Futters mit Phytase deutlich zu verbessern ist (WINDISCH 2002). Als Nachteil für den Einsatz von organischen gegenüber anorganischen Verbindungen in der Praxis wird oftmals der höhere Preis genannt.

8 Gesamtauswertung der Teilprojekte

8.1 Allgemeines

Nachfolgend werden zunächst die Elementgehalte für die im vorliegenden Projekt eingesetzten Futtermittel und sonstigen Betriebsmittel, der tierischen Produkte sowie der Wirtschaftsdünger mitgeteilt. Bei den Schwermetallgehalten handelt es sich um gewogene Mittelwerte (KÖHLER et al. 2002) aus den Untersuchungen aller Betriebe. Weiterhin wurde eine Zusammenfassung der Schwermetallströme für einzelne Tierarten vorgenommen; hierbei wurden für die Einträge bzw. Austräge der Betriebe arithmetische Mittel gebildet.

8.2 Schwermetallgehalte von Futtermitteln

8.2.1 Rinderhaltung

Die in der Rinderhaltung eingesetzten Grundfuttermittel wiesen für Gras, Heu und Silagen vergleichbare Schwermetallgehalte auf (Tab. 8-1); für CCM wurden geringere Elementkonzentrationen ermittelt. Für die Elemente Kupfer und Zink liegen die Projektergebnisse auf einem Niveau mit Literaturdaten (Tab. 8-2; DOBERSCHÜTZ et al. 1994, LUFA OLDENBURG 1997-2000, BLT GRUB (2002)). Für den Getreidemischschrot wurden höhere Konzentrationen an Kupfer, Zink und Nickel analysiert als für die einzelnen Getreidearten (Tab. 8-5). Die Gehalte der Elemente Cadmium, Chrom, Nickel und Blei waren in Grundfuttermitteln niedrig; für Grassilage wurde der höchste Cr- und Pb-Gehalt festgestellt. Insgesamt lagen die Werte für Cadmium und Blei, die als unerwünschte Stoffe futtermittelrechtlich geregelt sind, unterhalb der in der Futtermittelverordnung festgelegten Höchstgehalte (PETERSEN 2002).

Tab. 8-1: Schwermetallgehalte von wirtschaftseigenen Futtermitteln; Projektergebnisse

Futtermittel	n	Cd	Cr	Cu mg kg ⁻¹ TM	Ni	Pb	Zn
Grassilage	101	0,2	1,4	8,6	2,1	3,9	37,6
Gras	23	0,1	0,6	10,7	2,2	1,2	39,8
Heu	31	0,1	0,9	8,3	2,8	0,8	34,9
Maissilage	73	0,2	0,5	5,0	1,0	2,0	34,6
CCM*	19	0,03	0,3	3,1	0,3	0,2	27,2
Gerste-Erbsen-GPS	11	0,1	1,0	5,4	0,5	0,5	21,0
Getreidemischschrot	20	0,03	0,3	11,4	3,0	0,3	45,0
Kartoffelschlempe	9	0,2	1,1	40,1	0,9	0,6	48,7

* auch in der Schweinehaltung eingesetzt

Bei den zugekauften Einzel- und Mischfuttermitteln wurden, ausgenommen des Mineralfutters, die höchsten Cu- und Zn-Gehalte für das Milchleistungsfutter ermittelt (Tab. 8-3, ROTH et al. 2002), was durch die Supplementierung dieser Futtermittel mit Kupfer und Zink bedingt wird. Die mittleren Cu- und Zn-Konzentration des Milchleistungsfutters überschreiten zwar die mittleren Daten des VFT (Verein Futtermitteltest), liegen allerdings im angegebenen Wertebereich (Tab. 8-4, VFT 1996, LÜPPING 2002).

Tab. 8-2: Kupfer- und Zinkgehalte von Futtermitteln in der Rinderhaltung, Literaturwerte

	n	Cu		Zn	
		mg kg ⁻¹ TM			
Gras ¹⁾	25	8,2	(5,2-14)	42,9	(6,3-75,1)
Heu ¹⁾	106	7,8	(3,6-12,1)	47,9	(23,5-128,2)
Grassilage ¹⁾	992	9,5	(1,2-497)	53,3	(2,6-789)
Grassilage ²⁾	1200	8,1	(3,1-17,1)	38,0	(18-110)
Maissilage ¹⁾	684	4,6	(1,4-19,3)	56,5	(10,7-680)
Maissilage ²⁾	102	4,4	(2,8-7,7)	36,0	(22-71)

¹⁾ BLT GRUB (2002)

Werte in Klammern: ermittelte Wertespannen

²⁾ LUFA OLDENBURG (1997-2000)

Tab. 8-3: Schwermetallgehalte von zugekauften Einzel- und Mischfuttermitteln in der Rinderhaltung; Projektergebnisse

Futtermittel	n	Cd	Cr	Cu mg kg ⁻¹ TM	Ni	Pb	Zn
Ergänzungsfuttermittel, Milchkühe (Milchleistungsfutter)	35	0,1	2,4	31,4	3,9	0,9	176,1
Milchaustauscher	15	0,03	0,4	7,9	0,3	0,2	70,9
Maiskleber	5	0,03	1,5	6,6	3,8	0,2	61,7
Biertreber	28	0,1	0,5	15,0	0,5	0,3	76,1
Weizenschrot	6	0,1	0,4	4,8	0,2	0,2	45,6
Rapsextraktionsschrot	12	0,1	0,6	7,2	1,2	0,2	78,8
Sojaextraktionsschrot*	37	0,1	2,1	15,7	6,1	0,3	47,4
Melasseschnitzel	10	0,3	2,2	8,1	4,3	3,1	31,7
Zuckerrüben-Pressschnitzel	13	0,5	1,9	10,3	1,5	1,8	41,4
Futterkartoffeln	26	0,1	0,3	3,8	0,2	0,3	12,9
Kartoffelstärke	11	0,04	0,6	1,2	0,3	0,3	3,5
Kartoffelschalen	4	0,2	1,2	7,2	1,0	0,4	15,1
Graspellets	5	0,1	1,7	13,9	6,8	1,7	36
Mineralfutter Rind	70	0,4	38,1	747	25,6	5,2	3484
Futterkalk	16	0,1	3,5	8,1	2,1	5,3	10,4
Viehsalz	36	0,1	0,2	3,5	2,0	0,3	13,5

* auch in der Schweinehaltung eingesetzt

Tab. 8-4: Mittlere Kupfer- und Zinkgehalte von Mischfuttermitteln in der Rinderhaltung (VFT 1996)

Mischfuttermittel	n	Cu	Zn	
		mg kg ⁻¹ TM		
Milchleistungsfutter	431	14,2 (4,2-48,8)	87	(37-514)
Rindermast	26	17,2 (6,8-50)	113	(46-643)

Werte in Klammern: ermittelte Wertespannen

In den energie- und proteinreichen Einzel- und Mischfuttermitteln fallen höhere Ni- und z. T. Cr-Gehalte gegenüber Grundfuttermitteln auf (ROTH et al. 2002). Die höchsten Cr- und Ni-

Werte wiesen die Mineralfuttermittel auf (Tab. 8-3). Höhere Ni-Gehalte im Vergleich zu den anderen in Tabelle 8-3 aufgeführten Futtermitteln zeigten sich bei Sojaschrot, Melasse-schnitzeln und Graspellets. Die Pb-Gehalte bewegten sich zwischen 0,2 und 5,3 mg kg⁻¹ Trockenmasse; die höchsten Gehalte wiesen Mineralfuttermittel bzw. Futterkalk und Melas-seschnitzel auf.

8.2.2 Schweinehaltung

Die in der Schweinehaltung eingesetzten wirtschaftseigenen Futtermittel sind Tabelle 8-5 zu entnehmen. Die ermittelten Elementkonzentrationen bewegten sich auf einem Niveau und sind vergleichbar mit Ergebnissen aus der Literatur (SAUERBECK und LÜBBEN 1991, BRÜGGE-MANN 1999).

Tab. 8-5: Schwermetallgehalte von wirtschaftseigenen Futtermitteln; Projektergebnisse

Futtermittel	n	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
				mg kg ⁻¹ TM			
CCM	19	0,03	0,3	3,1	0,3	0,2	27,2
Weizen	65	0,1	0,2	3,3	0,2	0,2	21,1
Gerste	14	0,03	0,1	4,3	0,1	0,2	26,6
Triticale	31	0,1	0,1	4,3	0,2	0,2	28,4
Hafer	10	0,1	0,4	4,8	0,7	0,2	29,1

Für die Schweinehaltung sind die im vorliegenden Projekt ermittelten Konzentrationen an Kupfer und Zink in Mischfuttermitteln (Tab. 8-6) vergleichbar mit Ergebnissen von MEYER (2002) und Routineanalysen der LUFA OLDENBURG (1998-2001; Tab. 8-7).

Tab. 8-6: Schwermetallgehalte von Einzel- und Mischfuttermitteln in der Schweinehaltung, Projektergebnisse

Futtermittel	n	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
				mg kg ⁻¹ TM			
Fischmehl	4	0,4	1,5	4,3	1,6	0,8	89,6
Weizenkleie	5	0,1	0,6	10,4	0,6	0,4	87,0
Ergänzungsfutter Saugferkel (Prestarter)	9	0,1	1,7	120	1,9	0,3	221
Ergänzungsfutter Aufzuchtferkel	16	0,1	1,6	139	2,2	0,4	177
Alleinfutter Vormast	5	0,1	1,7	66	1,6	0,2	236
Alleinfutter Endmast	28	0,1	1,5	30,2	1,6	0,3	158
Alleinfutter Sauen	20	0,1	1,3	42	1,5	0,5	189
Mineraldutter Ferkel	3	0,3	24,0	3133	11,6	6,9	3648
Mineraldutter Mastschweine	2	0,8	17,8	818	16,6	3,7	4812
Mineraldutter Sauen	4	1,6	55,0	734	14,3	3,6	2361

Anmerkung: Werte für Sojaschrot in Tabelle 8-3

Die Mineralfuttermittel wiesen die höchsten Konzentrationen für alle Schwermetalle auf; dies deutet auf Verunreinigung der Rohstoffe bzw. Auswirkungen des Herstellungs- und Verarbeitungsprozesses für die Elemente Cadmium, Chrom, Nickel und Blei hin.

Die in Tabelle 8-7 angegebenen Maximalwerte für Kupfer und Zink machen deutlich, dass die derzeit gültigen Höchstgehalte der Futtermittelverordnung (Tab. 7-1 und 7-2, PETERSEN 2002) in Futtermitteln zur Ferkelaufzucht z. T. überschritten werden. Tendenziell werden die zulässigen Höchstgehalte ausgeschöpft, obwohl die Versorgungsempfehlungen (Tab. 7-4) deutlich darunter liegen. Hohe Cu-Gaben in Alleinfuttermitteln zur Ferkelaufzucht zielen auf den leistungssteigernden Effekt, der Kupfer bei Konzentrationen zwischen 150 und 250 mg kg⁻¹ TM zugeschrieben wird (Kap. 7.4; FLACHOWSKY 2002).

Tab. 8-7: Kupfer- und Zinkgehalte von Mischfuttermitteln in der Schweinehaltung, Literaturwerte

Mischfuttermittel	n	Cu		Zn	
		mg kg ⁻¹ TM			
Ferkelaufzucht ¹⁾	27	152	(39-195)	211	(132-281)
Ferkelaufzucht ²⁾	Cu 52 / Zn 20	129	(7-210)	225	(16-389)
Mastschweine ¹⁾	10	27,5	(21-35)	143	(100-206)
Mast-/Zuchtschweine ²⁾	Cu 102 / Zn 16	30	(7-67)	146	(99-209)

¹⁾ MEYER (2002)

Werte in Klammern: ermittelte Wertespansen

²⁾ LUFA OLDENBURG (1998-2001)

8.2.3 Geflügelhaltung

Bei Geflügelfutter liegen die ermittelten Elementkonzentrationen für Kupfer und Zink (Tab. 8-8) auf gleichem Niveau wie die Literaturwerte (Tab. 8-9).

Tab. 8-8: Schwermetallgehalte von Alleinfuttermitteln in der Geflügelhaltung; Projektergebnisse

Alleinfuttermittel	n	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	
							mg kg ⁻¹ TM	
Legehennen	13	0,06	3,8	14,6	3,5	0,7	119	
Broilermast	4	0,03	0,9	40,2	1,1	<0,2	123	
Putenmast	30	0,10	1,3	29,9	1,5	0,5	80	

Wie bereits für die Schweinehaltung beschrieben, ist auch hier die Tendenz zur Versorgung mit Kupfer und Zink über die Empfehlungen (Cu: 6-8 mg kg⁻¹ TM Alleinfutter; Zn: 30-70 mg kg⁻¹ TM Alleinfutter) hinaus zu beobachten; die Konzentrationen im Futter orientieren sich am futtermittelrechtlichen Höchstgehalt von 35 mg Cu/kg Alleinfutter (vgl. Kap. 5.5). Cadmium und Blei wurden nur in geringen Konzentrationen nachgewiesen; vereinzelt hohe Gehalte an Chrom und Nickel deuten auf Verunreinigungen der Ausgangsstoffe für einzelne Futtermittel hin (vgl. MITTENDORF 2000).

Tab. 8-9: Schwermetallgehalte von Alleinfuttermitteln in der Geflügelhaltung, Literaturwerte

Alleinfuttermittel	n	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
mg kg ⁻¹ TM							
Legehennen ¹⁾	k. A.	0,03	3,6	k. A.	1,8	0,5	k. A.
Legehennen ²⁾	k. A.	0,1	0,6	7* + 15**	0,6	0,3	40* + 90**
Broilermast ²⁾	k. A.	0,1	0,5	8* + 30**	0,5	0,2	40* + 90**
Putenmast ¹⁾	k. A.	0,1	2,7	k. A.	2,3	0,17	k. A.
Putenmast ²⁾	k. A.	0,1	0,5	7*+ 25**	0,5	0,2	40* + 120**
Geflügel ³⁾	Cu 37 Zn 19	k. A.	k. A.	27 (10-48)	k. A.	k. A.	120 (50-176)

¹⁾ RICHTER (2002)

k. A.: keine Angabe

²⁾ RICHTER (2002): Werte für Pb, Cd, Cr und Ni: nach GRÜN (2002); Werte für Cu und Zn: * Anteil aus Mischfutterkomponenten + Mineraffutter, ** Anteil aus Supplementen (Werte für Cu und Zn in Komponenten aus "täglich Mineraffutter" (ANONYM 2000); Cu und Zn in Supplementen nach Auskunft Mischfutterhersteller)³⁾ LUFA OLDENBURG (1998-2001); Klammerwerte: ermittelte Wertespannen

8.2.4 Fazit

Die Projektergebnisse zeigen, dass sich vor allem in der Schweinehaltung und z. T. auch in der Geflügelhaltung die Elementkonzentrationen für Kupfer und Zink in den Futtermitteln oftmals an dem futtermittelrechtlich zulässigen Höchstgehalt orientieren und somit die Versorgungsempfehlungen überschreiten. Insbesondere bei hohen Sicherheitsmargen zwischen den Gehalten in den Futtermitteln und den Versorgungsempfehlungen ergeben sich Möglichkeiten zur Optimierung der Spurenelementsupplementierung und somit auch zur Verminderung von Elementgehalten in Wirtschaftsdüngern.

Für Cadmium und Blei sind im Futtermittelrecht Höchstgehalte festgelegt, deren Einhaltung im Rahmen der amtlichen Futtermittelkontrolle geprüft wird. Die im Projekt gewonnenen Ergebnisse weisen darauf hin, dass sich durch eine Reduzierung der Cu- und Zn-Supplementierung auch der Eintrag dieser Elemente und auch von Chrom und Nickel verringern lässt (vgl. AMMERMAN et al. 1977).

8.3 Schwermetallgehalte sonstiger Betriebsmittel

Die Schwermetallgehalte der Einstreumaterialien und des Kupfervitriols werden in Tabelle 8-10 mitgeteilt. Die Elementgehalte der einzelnen Stroharten bewegten sich auf einem vergleichbaren Niveau. Sägemehl wies gegenüber Stroh höhere Ni-, Pb- und Zn-Konzentrationen auf. Bei dem zur Klauendesinfektion eingesetzten Kupfervitriol wurden neben hohen Cu-Gehalten auch bedeutsame Ni- und Zn-Gehalte ermittelt (vgl. KAISER et al. 1998).

Tab. 8-10: Schwermetallgehalte von sonstigen Betriebsmitteln; Projektergebnisse

	n	Cd	Cr	Cu mg kg ⁻¹ TM	Ni	Pb	Zn
Weizenstroh	97	0,2	0,7	2,5	0,6	0,6	9,6
Gerstenstroh	16	0,1	1,2	4,8	0,8	0,6	11,1
Triticalestroh	65	0,1	0,8	2,5	0,4	0,7	13,1
Roggenstroh	20	0,1	0,5	3,2	0,7	0,4	13,0
Sägemehl	18	0,2	1,0	3,0	2,4	1,9	21,3
Kupfervitriol, Salz	4	0,7	0,9	275155	536,4	65,3	103,5
Kupfervitriol, Lösung	15	0,3	3,0	203267	334,3	5,3	87,0

8.4 Schwermetallgehalte von Milch

Die in der Milch ermittelten Schwermetallkonzentrationen zeigt Tabelle 8-11. Die im Projekt ermittelten Ergebnisse überschreiten die von WILCKE und DÖHLER (1995) mitgeteilten Werte (vgl. GUSTAFSON 2000).

Tab. 8-11: Schwermetallgehalte in der Milch; Projektergebnisse

	n	Cd	Cr	Cu mg kg ⁻¹ TM	Ni	Pb	Zn
Milch	39	0,01	0,1	2,3	1,1	0,3	17,6

8.5 Schwermetallgehalte von Wirtschaftsdüngern

Die Schwermetallgehalte der auf den Betrieben untersuchten Wirtschaftsdünger zeigt Tabelle 8-12. Die Exkremeante aus der Rinderhaltung wiesen von allen angefallenen Wirtschaftsdüngern die geringsten Cu- und auch Zn-Gehalte auf (ausgenommen Cu-Gehalt des Hühnertrockenkotes). Die höchsten Cu-, Zn- und Ni-Konzentrationen wurden bei Ferkelgülle festgestellt. Hohe Cr-Gehalte gegenüber den anderen Wirtschaftsdüngern zeigten sich bei Putenmist. Die Wirtschaftsdünger aus der Schweinehaltung wiesen die höchsten Ni-Gehalte auf.

Gegenüber Literaturwerten (Tab. 8-13, BOYSEN 1992, MENZI et al. 1993, MENZI und KESSLER 1998, WILCKE und DÖHLER 1995, LEINWEBER 1996, GUSTAFSON 2000, KTBL 2000, SCHAAF und JANßen 2000, MÜLLER und EBERT 2002) wurden im vorliegenden Projekt vergleichbare oder höhere Cu- und Zn-Konzentrationen für Wirtschaftsdünger festgestellt. Für Chrom und Nickel wurden gegenüber den Werten der vom KTBL herausgegebenen Datenbank (Tab. 8-13) tendenziell höhere Gehalte ermittelt, während die Cd- und Pb-Werte vergleichbar waren.

Tab. 8-12: Schwermetallgehalte von Wirtschaftsdüngern; Projektergebnisse

Wirtschaftsdünger	n	Cd	Cr	Cu mg kg ⁻¹ TM	Ni	Pb	Zn
Rindergülle	127	0,4	6,1	48	7,7	8,9	305
Rindermist	74	0,3	6,1	25	4,1	5,2	122
Rinderjauche	7	0,3	2,9	17	2,2	2,2	86
Schweinegülle (Mischgülle)	65	0,4	10,3	531	11,5	5,7	1508
Ferkelgülle	7	0,4	7,1	1165	16,0	3,4	1884
Schweinemist	69	0,4	13,7	206	4,9	1,9	465
Schweinejauche	3	0,6	14,5	119	10,9	9,6	538
Putenmist	34	0,5	22,1	150	6,5	2,6	395
Hühnertrockenkot	9	0,2	9,8	45	8,2	2,4	430

Tab. 8-13: Schwermetallgehalte von Wirtschaftsdüngern (KTBL 2000)

Wirtschaftsdünger	n	Cd	Cr	Cu mg kg ⁻¹ TM	Ni	Pb	Zn
Rindergülle	130-135	0,3	5,3	37	6,2	4,1	190
Rindermist	5	0,3	3,7	35	6,1	3,2	161
Schweinegülle	35-37	0,5	6,9	184	8,1	4,8	647
Hühnergülle	4	0,3	6,4	68	6,2	5,1	466
Hühnertrockenkot	5	0,2	3,3	45	4,7	2,9	371

8.6 Sonstige Eintragsquellen für Schwermetalle

Aufgrund der im vorliegenden Projekt vorgenommenen Einzeluntersuchungen zum Beitrag der in den Ställen eingesetzten baulichen, technischen und protektiven Materialien (vgl. Kap. 6) kann abgeschätzt werden, dass in dieser Untersuchung die Verzinkung der Stalleinrichtung eine geringe, der Abrieb von Beton, Betonspalten und Wandputz sowie Farben, Lacke und Holzschutzmittel aufgrund der geringen Stoffströme vermutlich eine vernachlässigbare Rolle für die Schwermetallanreicherung von Wirtschaftsdüngern spielen. Der Kenntnisstand zu Abtragsraten und Massenströmen von im Stall verwendeten Materialien ist allerdings gering, so dass weitere systematische Untersuchungen erforderlich sind.

Mineralische Einstreumittel, die in der Schweinehaltung Verwendung finden, und Güllezusatzstoffe können höhere Elementgehalte aufweisen und je nach Einsatzmenge bedeutende Anteile am Schwermetalleintrag in die Wirtschaftsdünger erreichen. Über mineralische Einstreumittel können Cu-Einträge erreicht werden, die vergleichbar sind mit dem Eintrag über Futtermittel (SCHENKEL und BREUER 2002).

Als weitere Eintragsquelle ist die Verwendung von Tierarzneimitteln zu nennen. Zum einen hat der Einsatz von Zink in einem Dosierungsbereich von 1000 bis 3000 mg kg⁻¹ als Zinkoxid (kurzzeitiger Einsatz bis zu drei Wochen) zur Prophylaxe bzw. Behandlung von Durchfallerkrankungen in der praktischen Ferkelproduktion Bedeutung (vgl. WINDISCH und ROTH 2000). Zum anderen können beachtenswerte Elementfrachten dadurch zustande kommen, dass

Zinkoxid in einigen Präparaten als Trägermaterial fungiert. Dies ist insbesondere in der Ferkelaufzucht bedeutsam, wo diese Präparate (z. B. Tylosin-, Oxytetracyclin- Colistin-Präparate) als Einstellungsprophylaxe eingesetzt werden und es zu Konzentrationen von 2500 mg kg⁻¹ über eine Einsatzdauer von bis zu 28 Tagen kommen kann (SCHENKEL und BREUER 2002). Demgegenüber ist der Zn-Eintrag über zinkhaltige Wundsalben, wie eigene Untersuchungen gezeigt haben, aufgrund des geringen Stoffstroms offenbar von untergeordneter Bedeutung.

8.7 Schwermetallflüsse und Stallbilanzen

8.7.1 Milchviehhaltung

Die prozentualen Anteile der Stoffströme am Gesamteintrag in den Stall zusammengefasst für alle Milchviehhaltungen des Projektes (Bonn: Betriebe 1 bis 3, Bayreuth: alle vier Betriebe, Oldenburg: zwei Stallperioden des Betriebes 1) zeigt Abbildung 8-1. Die Betriebe setzen neben wirtschaftseigenen Futtermitteln mit unterschiedlichem Anteil auch Zukauffuttermittel ein. Die wirtschaftseigenen Futtermittel tragen mit ca. 40 bis 75 % zum Eintrag der Elemente Cadmium, Chrom, Nickel, Blei und Zink in den Stall bei und erreichen somit höhere Anteile als über die übrigen Stoffströme. Für Kupfer liegt der Anteil der wirtschaftseigenen Futtermittel bei 25 %.

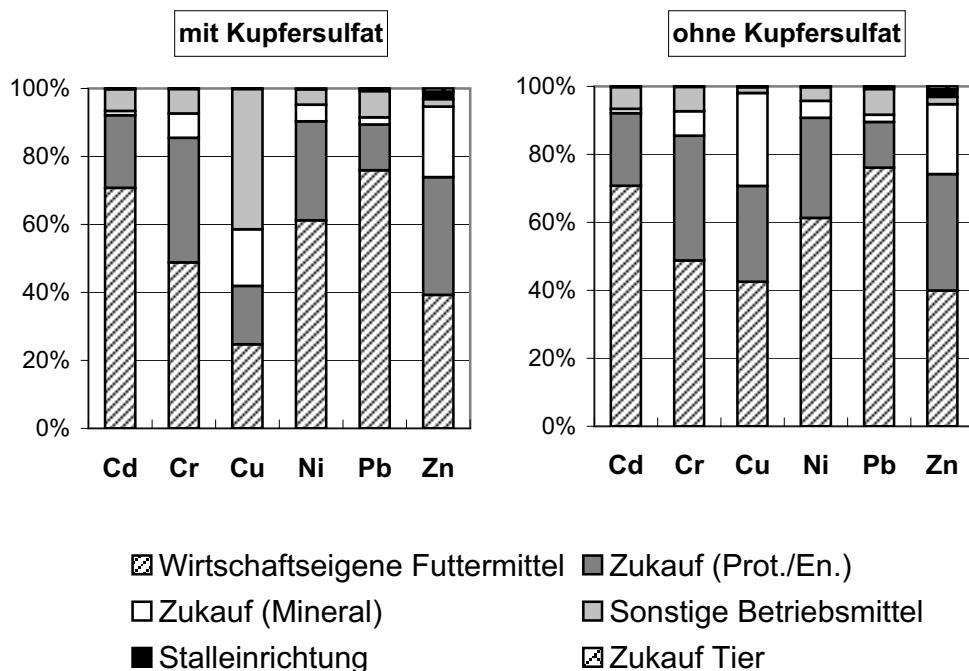


Abb. 8-1: Prozentualer Anteil der Stoffströme am Gesamteintrag der untersuchten Schwermetalle in den Stall (Mittelwerte für acht Betriebe mit Milchviehhaltung; mit und ohne Berücksichtigung des Einsatzes von Kupfersulfat zur Klauendesinfektion)

Die Anteile des Schwermetalleintrages durch protein- und energiereiche Zukauffuttermittel liegen für Cadmium, Chrom, Nickel und Blei zwischen 14 und 37 %; für Kupfer werden Anteile von 17 und für Zink von 35 % berechnet. Die Mineralfuttermittel weisen für Kupfer und Zink Anteile von 17 bzw. 21 % am Eintrag in den Stall auf; für die übrigen Elemente werden Anteile von 1 bis 7 % ermittelt.

Der o. g. Anteil der wirtschaftseigenen Futtermittel von 25 % am Cu-Eintrag begründet sich darin, dass das in fünf Betrieben verwendete Kupfervitriol, eingesetzt als Klauenbad, ca. 40 % des Cu-Eintrages ausmacht (vgl. Sonstige Betriebsmittel). In der Rinder- und auch Schafhaltung können somit über Kupferklauenbäder hohe Cu-Mengen in die Wirtschaftsdünger gelangen (vgl. CRÖSSMANN 1999, MCBRIDE und SPIERS 2001). Neben Kupfersulfat werden in der landwirtschaftlichen Praxis auch zinkhaltige Klauenbäder (Zinksulfat) eingesetzt, die wiederum zu bedeutsamen Zn-Einträgen führen können.

Sofern das Klauenbad bei der Berechnung der Schwermetallströme unberücksichtigt bleiben würde, würde der Anteil der wirtschaftseigenen Futtermittel 43 % am Cu-Eintrag in den Stall betragen; der Anteil der energie- und proteinhaltigen Zukauffuttermittel sowie der Mineralfuttermittel würde bei 28 bzw. 27 % liegen (Abb. 8-1). Dies verdeutlicht nochmals die hohe Bedeutung der Zukauffuttermittel für den Cu- und Zn-Eintrag in den Stall (Cu: 56 %, Zn: 55 %).

Die Ein- und Austräge von Schwermetallen der im Projekt untersuchten Milchviehbetriebe zeigt Abbildung 8-2. Bei den Elementen Chrom, Blei und Zink werden tendenziell höhere Austräge als Einträge festgestellt. Dies deutet darauf hin, dass nicht alle Eintragspfade erfasst worden sind.

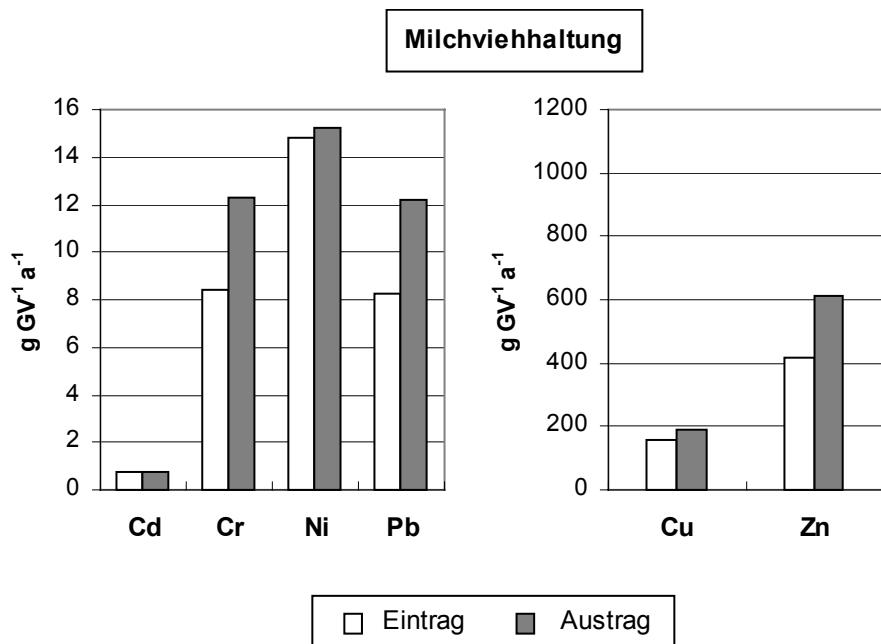


Abb. 8-2: Schwermetallflüsse (g GV⁻¹ a⁻¹) in den und aus dem Stall (Mittelwerte für acht Betriebe mit Milchviehhaltung)

8.7.2 Schweinehaltung

Die nachfolgende Auswertung umfasst die Betrachtung der Schwermetallströme von den Betrieben mit Sauen- und Ferkelhaltung sowie Mastschweinehaltung (Bonn: Betriebe 6 und 7; Oldenburg: Betriebe 2, 3 und 4a). Es wird keine Trennung in einzelne Tierkategorien vorgenommen, da die Grundgesamtheit jeweils zu gering ist.

Während Betrieb 7 (Teilprojekt Bonn) sowohl wirtschaftseigene Futtermitteln als auch Zukauffuttermittel verwendet, werden auf den übrigen Betrieben nur Zukauffuttermittel und hier in der Regel Alleinfuttermittel eingesetzt. Die Anteile der Zukauffuttermittel am Eintrag in den Stall betragen somit für alle untersuchten Elemente, ausgenommen Cadmium und Blei, mehr als 90 %. Für Cadmium und Blei ist der Eintrag über sonstige Betriebsmittel, insbesondere durch Stroheinstreu und Wasser zum Tränken bedeutsam Cd: 25 %, Pb: 31 %).

Die Ein- und Austräge der Schwermetalle für das System Stall sind in Abbildung 8-3 dargestellt. Mit Ausnahme von Cadmium werden für alle Elemente größere Austräge gegenüber den Einträgen ermittelt.

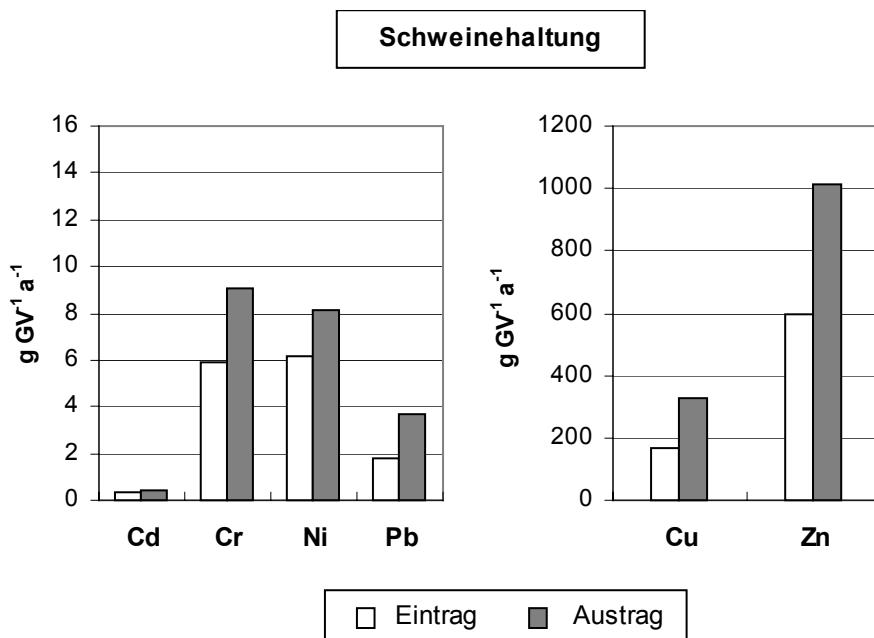


Abb. 8-3: Schwermetallflüsse (g GV⁻¹ a⁻¹) in den und aus dem Stall (Mittelwerte für fünf Betriebe mit Schweinehaltung)

8.7.3 Legehennenhaltung

Für die Legehennenhaltung konnten lediglich zwei Betriebe untersucht werden, dies ist bei der Beurteilung der Ergebnisse zu berücksichtigen. Auf beiden Betrieben wird zugekauftes Alleinfutter eingesetzt. Die Bilanzen zeigen für Chrom und Nickel tendenziell höhere Einträge und für Zink höhere Austräge. Die übrigen Elemente weisen keine Unterschiede zwischen Ein- und Austrag auf (vgl. Tab. 8-14).

8.7.4 Gesamtbetrachtung

Bei einem Vergleich der Schwermetallströme zwischen den einzelnen Tierhaltungsbetrieben zeigt sich, dass die untersuchten Schwermetalle in unterschiedlichen Mengen in den Stall ein bzw. aus dem Stall ausgetragen werden (Tab. 8-14); so bewegen sich die Werte für Chrom, Nickel, Blei und Zink auf sehr unterschiedlichem Niveau. Für die Schweinehaltung werden die geringsten Ein- und Austräge für die Elemente Cadmium, Chrom, Nickel und Blei festgestellt. Die höchsten Chrom- und Nickelflüsse werden für die Legehennenhaltung ermittelt. Die geringsten Cu-Einträge erfolgen in der Legehennenhaltung, die höchsten in der Milchviehhaltung, was auf den Einsatz von kupferhaltigen Klauenbädern zurückzuführen ist. Bei Nichtberücksichtigung der Klauenbäder würde der Cu-Eintrag der Milchviehbetriebe 95,7 g GV⁻¹ a⁻¹ betragen. Für Zink werden in der Milchviehhaltung die geringsten Ein- und Austräge berechnet.

Tab. 8-14: Ein- und Austräge von Schwermetallen für unterschiedliche Tierhaltungsbetriebe - System Stall

Tierhaltung	n	Cd	Cr	Cu g GV ⁻¹ a ⁻¹	Ni	Pb	Zn
Eintrag							
Milchviehhaltung	8	0,7	8,4	157,1	14,8	8,2	416,2
Schweinehaltung	5	0,4	5,9	167,5	6,1	1,8	599,4
Legehennenhaltung	2	0,7	38,7	149,9	34,7	7,7	1229
Austrag							
Milchviehhaltung	8	0,8	12,3	188,7	15,3	12,2	614,3
Schweinehaltung	5	0,4	9,1	325,6	8,1	3,7	1015
Legehennenhaltung	2	0,6	29,5	138,3	24,6	7,6	1341

In der Milchvieh- und Schweinehaltung konnten für Chrom, Blei und Zink oftmals größere Austräge gegenüber den Einträgen festgestellt werden; dies deutet auf bisher nicht identifizierte Quellen im Stall hin. Chrom ist in eisenhaltigen Metalllegierungen enthalten und kann somit über im Stall verwendete Materialien eingetragen werden. Für Blei könnte der Eintrag über die Atmosphäre von Bedeutung sein; schwermetallhaltige Aerosole aus der Außenluft können im Stall adsorbiert werden. In diesem Zusammenhang könnten mit Hilfe von Isotopenanalysen unterschiedliche Eintragsquellen erfasst werden.

8.7.5 Fazit

Die vorliegenden Untersuchungen zeigen, dass Futtermittel einen hohen Anteil am Schwermetalleintrag in den Stall aufweisen. In diesem Zusammenhang ist für die wirtschaftseigenen Futtermittel darauf hinzuweisen, dass Umsetzungen von Schwermetallen innerhalb des Betriebes von den Anbauflächen über den Stall und zurück zu den Anbauflächen, d. h. der betriebsinterne Kreislauf, vom Landwirt letztlich kaum zu beeinflussen sind. Dies hat insbesondere Bedeutung für Betriebe, die einen hohen Anteil wirtschaftseigener Futtermittel einsetzen. Handlungsspielräume ergeben sich erst in Bezug auf die Eintragspfade von Schwermetallen in den Betrieb, also über mineralreiche Zukauffuttermittel und andere elementhaltige Betriebsmittel. Minderungsansätze müssen somit an diesen Eintragsquellen ansetzen, um Schwermetallgehalte von Wirtschaftsdüngern zu verringern.

9 Maßnahmen zur Minderung des Schwermetalleintrags in Wirtschaftsdünger

9.1 Bewertungskriterien

Ausgehend von den Projektergebnissen ergeben sich zwei generelle Ansatzpunkte für die Reduzierung von Elementeinträgen in das System Stall und somit auch in die Wirtschaftsdünger:

- Reduktion der Cu- und Zn-Supplementierung zu Futtermitteln,
- Reduktion des Schwermetalleintrags über sonstige Betriebsmittel (z. B. kupferhaltige Klauenbäder) und aus Stalleinrichtungsmaterialien.

Die nachfolgend genannten Minderungsmaßnahmen werden anhand unterschiedlicher Kriterien bewertet. Neben dem umweltentlastenden Potenzial sind die Praxisreife, die politische Durchsetzbarkeit, die Zielgenauigkeit der Maßnahme und ihre Nebeneffekte sowie der Kontrollaufwand zu nennen:

Das **Potenzial** einer Maßnahme kann nur bei einem ausreichenden Wissensstand eingeschätzt werden. Die im Folgenden vorgenommene Beurteilung beinhaltet Aussagen zum absoluten Potenzial einzelner Maßnahmen und schließt darüber hinaus eine vergleichende Bewertung verschiedener Minderungsvorschläge ein. Eine auf Teilaspekte (z. B. Fütterung) beschränkte Betrachtung führt u. U. zur Überschätzung des Potenzials einzelner Maßnahmen; eine Gesamtbetrachtung ist somit erforderlich (vgl. Kap. 9.3). Inwieweit schließlich das Potenzial in der Praxis tatsächlich ausgeschöpft werden kann, hängt im Wesentlichen von der Umsetzbarkeit und Akzeptanz insbesondere auch gegenüber den gewählten Instrumenten ab (vgl. Kap. 9.5).

Für die Beurteilung der **Praxisreife** einer Minderungsmaßnahme wurde berücksichtigt, ob ausreichende wissenschaftliche Grundlagen vorhanden sind und die Maßnahme auch technisch umsetzbar ist. Darüber hinaus darf die Tiergesundheit nicht beeinträchtigt werden.

Die politische **Durchsetzbarkeit** hängt von den Verteilungswirkungen einer Maßnahme, möglichen Interessenskonflikten und den Aktivitäten bestehender Interessensvertretungen ab. Für eine effektive Umsetzung der vorgeschlagenen Maßnahmen ist die Akzeptanz in der Landwirtschaft bzw. der Industrie von großer Bedeutung.

Mit dem Kriterium **Zielgenauigkeit** wird bewertet, inwieweit die Maßnahme direkt zu einem Effekt führt und welche erwünschten bzw. unerwünschten **Nebeneffekte** zu erwarten sind.

Im Zusammenhang mit der Umsetzung einer Maßnahme ist der damit verbundene **Kontrollaufwand** von großer Bedeutung. Hierbei ist die rechtliche Verbindlichkeit von Auflagen zu berücksichtigen bzw. inwieweit Sanktionsmöglichkeiten bestehen.

9.2 Minderungsmaßnahmen im Stall

9.2.1 Maßnahmen mit hohem Potenzial

Herabsetzung der Spurenelementgehalte

Die im Projekt erzielten Ergebnisse zeigen, dass zur Reduzierung von Schwermetalleinträgen in Wirtschaftsdünger der Fütterung eine große Bedeutung zukommt (vgl. Kap. 3, 4, 5 und 8). Dieser Sachverhalt war Anlass für den im Rahmen des Projektes durchgeführten Workshop „Fütterungsstrategien zur Verminderung von Spurenelementen/Schwermetallen in Wirtschaftsdüngern“ (vgl. Kap. 7; KTBL 2002 b). Im Rahmen des Workshops stand auch die Diskussion von Minderungsstrategien für Schwermetalleinträge über die Tierhaltung und möglicher Hemmnisse für eine praktische Umsetzung (SCHENKEL 2002 c, SCHULTHEIS et al. 2002). Die Ergebnisse des Workshops liegen den nachfolgenden Ausführungen zu Maßnahmen im Bereich der Fütterung zugrunde.

Bei der Fütterung beziehen sich die Minderungsmöglichkeiten insbesondere auf die Elemente Kupfer und Zink. Die vorliegenden Untersuchungen haben gezeigt, dass Cu- und Zn-Supplemente auch mit anderen Schwermetallen verunreinigt sein können (Kap. 8; vgl. AMMERMANN et al. 1977, MITTENDORF 2000, MÜLLER und EBERT 2002); eine Herabsetzung der Höchstgehalte für Kupfer und Zink würde somit gleichzeitig zu einer Reduzierung des Eintrages von unerwünschten Elementen führen. Vergleichbare Nebeneffekte sind bei einer Minimierung des Einsatzes von Kupfer und Zink in anderen Bereichen (z. B. Arzneimittel, Klauenendesinfektion) zu erwarten. Im Vergleich zu Kupfer und Zink haben nicht fütterungsbedingte Quellen eine größere Bedeutung für den Eintrag der Elemente Cadmium, Chrom, Nickel und Blei (vgl. Kap. 8). Für diese Metalle ist das Minderungspotenzial von Maßnahmen, die die Fütterung betreffen, daher als deutlich geringer zu beurteilen (vgl. Kap. 9.3).

Die Minderungsmaßnahmen für den Bereich der Tierhaltung sind in Tabelle 9-1 zusammengestellt und nach den oben genannten Kriterien bewertet (Kap. 9.1). Bei der Darstellung der Minderungsmöglichkeiten wird im Folgenden zwischen Maßnahmen mit hohem bzw. geringem Potenzial sowie nach Tierarten bzw. Tierkategorien differenziert.

Ein erfolgversprechender Ansatz für die Verringerung der Schwermetallgehalte von Wirtschaftsdüngern liegt in der Reduzierung der Cu- und Zn-Supplementierung in Futtermitteln (Tab. 9-1). Als mögliches Instrument hierfür ist eine Herabsetzung zulässiger Höchstgehalte von Kupfer und Zink, eingesetzt als Futterzusatzstoffe, in der Futtermittelverordnung denkbar. Die Projektergebnisse zeigen, dass sich die Spurenelementkonzentrationen in Mischfuttermitteln für die Schweine- und auch für die Geflügelhaltung an den zulässigen Höchstwerten für Alleinfuttermittel (Tagesration) orientieren (Kap. 3, 5 und 8; vgl. auch MEYER 2002) und weisen somit auf das Minderungspotenzial dieser Maßnahme insbesondere für diese Tierarten hin. Durch eine Annäherung der Cu- und Zn-Dosierungen an die Versorgungsempfehlungen wissenschaftlicher Gesellschaften (GFE, NRC) wären deutliche Reduzierungen der Gehalte dieser Spurenelemente in Wirtschaftsdüngern realisierbar.

Im Juli 2003 wurde von der EU-Kommission eine Herabsetzung zulässiger Höchstgehalte für Spurenelemente, die als Futterzusatzstoffe eingesetzt werden, beschlossen (vgl. Kap. 7, EG 1334/2003). Neben rechtlichen Regelungen bieten auch Selbstverpflichtungen eine Möglichkeit, Cu- und Zn-Dosierungen in Futtermitteln herabzusetzen. So hat die niederländische Futtermittelindustrie durch eine Vereinbarung mit den Bauernverbänden die Cu- und Zn-

Gehalte in Mischfuttermitteln unter die derzeit geltenden EU-Höchstgehalte abgesenkt (BONNIER 2002).

Praxisversuche, in denen die Wirkung reduzierter Cu- und Zn-Supplementierung gegenüber derzeit zulässigen Höchstmengen nach Futtermittelverordnung geprüft wurde, zeigen, dass im Falle reduzierter Kupfergaben der in der Ferkelaufzucht meist beschriebene ergotrope Effekt von Kupfer entfällt (PECHER und MELOSCH 2002). In bisher nur in begrenztem Ausmaß durchgeführten vergleichenden Untersuchungen deutet sich an, dass gegenwärtig keine direkte Kompensation durch organische Säuren und deren Salze (s. u.), Mikroorganismen (Probiotika), Prebiotika und andere Substanzen möglich. Ein direkter Vergleich von Kupferzulagen und alternativen Zusatzstoffen ist nicht möglich, da unterschiedliche Wirkungsbereiche bzw. -mechanismen vorliegen; zudem werden die Effekte in der Literatur kontrovers diskutiert. Der nicht mehr nutzbare ergotrope Effekt bei drastischer Senkung der Cu-Höchstgehalte in der Ferkelaufzucht und das bevorstehende Verbot des Einsatzes von Antibiotika als leistungsfördernde Futterzusatzstoffe führen vor allem bei dieser Tierkategorie zur Forderung nach Alternativen.

Für die Mast wurden in einem Versuch von MEYER (2002) keine Minderleistungen ermittelt. In Untersuchungen von GRAFE und WESTENDARP (2002) und MEYER (2002) wurden bei der Versuchsgruppe mit reduzierter Supplementierung in der Ration erwartungsgemäß geringere Cu- und Zn-Gehalte in den Ausscheidungen festgestellt (vgl. MARQUERING et al. 1996 a, b, PABOEUF et al. 2000, BRUNKE 2001).

Bei Reduzierung der derzeit rechtsgültigen Cu- und Zn-Höchstgehalte auf die vorgeschlagenen Werte (Tab. 7-1 und 7-2) sind ausgenommen der Ferkelaufzucht für alle anderen Tierarten und -kategorien keine negativen Auswirkungen auf Tiergesundheit und Leistung zu erwarten (RICHTER 2002, SCHENKEL und FLACHOWSKY 2002), da diese bei Kupfer und Zink oberhalb der Versorgungsempfehlungen liegen (Tab. 7-3). Somit wäre weiterhin ausreichend Raum für die Gestaltung der Gesamtration gegeben (SCHENKEL und FLACHOWSKY 2002) und Minderungen der Elementgehalte in Wirtschaftsdüngern würden erreicht.

Während für die Schweine- und Geflügelhaltung die Reduzierung der Cu- und Zn-Supplementierung als umsetzbar und praxisreif gelten kann, besteht für die Rindermast und die Milchviehhaltung noch Bedarf an angewandter Forschung (Tab. 9-1). So ist vor dem Hintergrund der hohen Variabilität nativer Spurenelementgehalte in Futtermitteln (unterschiedliche Grundfuttersituation) und unterschiedlicher Bedarfsansprüche während der Mast- bzw. Laktationsperiode die Art und Weise der Supplementierung zu optimieren (DURST 2002, LÜPPING 2002). Systematische Untersuchungen zur leistungsangepassten Fütterung wurden allerdings noch nicht in ausreichendem Maße durchgeführt. Darüber hinaus fehlen Methoden für eine standortangepasste und betriebsindividuelle Supplementierung. Nach Informationen von LÜPPING (2002) käme eine einzelbetriebliche Optimierung der Mineralfutterzusammensetzung aus wirtschaftlichen Gründen lediglich für größere Betriebe (> 100 Milchkühe) in Frage. Da jedoch für die Rationsgestaltung die nativen Gehalte ebenfalls individuell ermittelt werden müssten, wäre dies mit erheblichem Analysenaufwand verbunden. Weitere Ansatzpunkte für Minderungsmöglichkeiten, z. B. durch den Einsatz von sogenanntem „Mikromineralfutter“, werden vom gleichen Autor aufgezeigt.

Das Minderungspotenzial einer reduzierten Spurenelementsupplementierung ist abhängig vom Anteil der Futtermittel am Gesamteintrag in den Stall, insbesondere dem Mineralfutteranteil in der Gesamtration (vgl. Kap. 9.3).

Tab. 9-1: Bewertung von Maßnahmen zur Minderung von Schwermetallgehalten in Wirtschaftsdüngern

Maßnahme	Poten-zial	Praxis-reife	polit. Durch-setzbarkeit	Zielgenauigkeit/ Nebeneffekte	Kontroll-aufwand
Herabsetzung der Spurenelementsupplementierung					
Ferkelaufzucht	+	+ ¹⁾	- ²⁾	+	+
Mastschweine	+	+	+	+	+
Geflügel	+	+	+	+	+
Rinder-/Milchviehhaltung	0	- ³⁾	+	+	+
Minimierung der Schwermetallgehalte in wirtschaftseigenen Futtermitteln					
Rinder-/Milchviehhaltung	-	-	+	+	n. r.
Cu/ZnSO ₄ Lösungen zur Klauendesinfektion					
Rinder-/Milchviehhaltung					
a) verbesserte Anwendungshinweise	+	+	+	+	-
b) Ersatz	+	-	+	+	+
Verzicht auf Cu- und Zn-haltige Trägersubstanzen in Futterungsarzneimitteln	+	n. e.	-	+	+
Erhöhung der Bioverfügbarkeit nativer Spurenelementgehalte durch Zugabe von Phytase					
Ferkelaufzucht/Mastschweine	-	+	+	-	n. r.
Geflügel	-	+	+	-	n. r.
Zielgerichtete Auswahl von Cu- und Zn-Verbindungen (Art der chemischen Spurenelementverbindung) angepasst an Fütterungssituation	-	- ⁴⁾	-	-	+
Verwendung von Futterzusatzstoffen, z. B. organischer Säuren, zur Leistungssteigerung					
Ferkelaufzucht	-	+	-	+	n. r.
Einsatz gering verunreinigter Spurenelementverbindungen (Herkunft, Herstellungsprozess)	-	-	+	+	-
Stall- und Fütterungseinrichtung					
a) Korrosionsschutz verzinkter Stahlteile	-	+	+	+	-
b) Verwendung gering schwermetallhaltiger Materialien (Farben, Lacke, Beton etc.)	-	n. e.	+	+	-

Potenzial: + hoch; 0 mittel; - gering

Praxisreife: + gegeben, ausreichender Kenntnisstand; - nicht gegeben, noch Untersuchungs- bzw. Demonstrationsbedarf
n. e. nicht einschätzbar

politische Durchsetzbarkeit: + keine Widerstände von Seiten betroffener Interessenvertretungen; - Widerstände zu erwarten

Zielgenauigkeit und Nebeneffekte: + zugleich verringerte Einträge an anderen Schwermetallen

Kontrollaufwand: + gering; - hoch; n. r. nicht relevant

¹⁾ wirtschaftliche Einbußen möglich²⁾ zur Zeit nicht immer vollständige Kompensation des ergotropen Effektes hoher Cu-Gaben möglich³⁾ Praxisreife lediglich für größere Betriebe (> 100 Kühe) in Abhängigkeit von technischer Ausstattung gegeben (LÜPPING 2002)⁴⁾ keine ausreichenden (Rinder/Milchvieh) bzw. widersprüchliche Erkenntnisse (Mastschweine/Geflügel)

Minderungsmöglichkeiten bei wirtschaftseigenen Futtermitteln

Die Ergebnisse der Bilanzierung zeigen die Bedeutung der wirtschaftseigenen Futtermittel für den Schwermetalleintrag in den Stall, insbesondere für Betriebe, mit einem hohen Anteil dieser Futtermittel. Besonders deutlich wird dies für die Rinderhaltung an den Elementen Cadmium und Blei (vgl. Abb. 8-1), die zu 71 bzw. 76 % über diesen Pfad in den Stall gelangen. Insbesondere in erosionsgefährdeten Gebieten, Überschwemmungsbereichen, Vordeichländerien und geogen belasteten Regionen bringen wirtschaftseigene Futtermittel eine zusätzliche Schwermetallbelastung in die Bilanz ein, die nur durch eine Vorsorgestrategie bewältigt werden kann. Diese Einträge sind nicht nur bedingt durch die im Vergleich zu unbelasteten Standorten erhöhten Schwermetallgehalte der Futtermittel, sondern auch durch den Anteil an belastetem Bodenmaterial, der bei der Futterbergung in die Futtermittel gelangt.

Verschiedene ackerbauliche Maßnahmen kommen zur Minimierung von Schwermetalleinträgen über wirtschaftseigene Futtermittel in Frage. Hierzu zählen z. B. eine auf die Bodenart abgestimmte pH-Anhebung.

Im Jahr 2002 wurde die Aufnahme eines generellen Verschneidungsverbots in das EU-Futtermittelrecht beschlossen (ANONYM 2002), mit einer Frist für die Umsetzung in nationales Recht bis zum 1. August 2003. In Zukunft besteht nicht mehr die Möglichkeit, belastete Futtermittelausgangsstoffe mit unbelasteten Rohstoffen zu vermischen, um die gesetzlichen Höchstgehalte an unerwünschten Stoffen einzuhalten. Die Höchstgehalte der Futtermittelverordnung (FMV 2000; vgl. Kap. 7) gelten zukünftig neben Mischfuttermitteln für alle Futtermittelausgangsstoffe, und somit auch für wirtschaftseigene Futtermittel.

Cu/ZnSO₄-Lösungen zur Klauendesinfektion

Die Bedeutung Cu-haltiger Desinfektionslösungen in der Rinder- und Milchviehhaltung für den Eintrag an Kupfer, aber auch Nickel wurde in den vorliegenden Untersuchungen aufgezeigt (Kap. 3, 4 und 8). Daneben werden in der Praxis auch Zn-haltige Präparate verwendet; in diesem Falle ist mit vergleichbaren Kontaminationen zu rechnen. Bessere Dosierungsvorgaben und klare Anwendungsvorschriften könnten zu einer deutlichen Verringerung der Einträge dieser Schwermetalle in Wirtschaftsdünger beitragen. Dennoch wird dies in Herstellerhinweisen und durch die Beratung zurzeit nur unzureichend berücksichtigt. Eine Abschätzung der Auswirkungen eines Verzichtes auf Cu-haltige Klauenbäder ist in Kapitel 9.3.3 dargestellt.

Inwieweit ein Ersatz von Cu- oder Zn-haltigen Klauenbädern durch andere Verbindungen, z. B. formalinhaltige Klauenbäder, möglich ist, kann nicht abgeschätzt werden. Zum gegenwärtigen Zeitpunkt liegen keine ausreichenden Forschungsergebnisse vor, um deren Praxisreife zu beurteilen. Allerdings können bereits Maßnahmen zur Förderung der Klauengesundheit (Stallbau, Fütterung, Züchtung) zu einer Minderung des Bedarfs an Desinfektionsmitteln führen.

Cu- und Zn-haltige Arzneimittel

Zum Ausmaß der Schwermetalleinträge über Cu- und Zn-haltige Arzneimittel existieren bisher geringe Kenntnisse. Neben den bereits erwähnten Arzneimitteln mit Zn-haltigen Trägersubstanzen (SCHENKEL und BREUER 2002) sind in diesem Zusammenhang vor allem Fütterungsarzneimittel von Bedeutung. Insbesondere in der Ferkelaufzucht werden Zn-haltige Fütterungsarzneimittel zur Prophylaxe bzw. Behandlung von Durchfallerkrankungen verwendet (Konzentrationen von bis zu 3000 mg kg⁻¹ TM). Dies lässt auf ein großes Minderungspotenzial zumindest für diese Tierkategorie schließen. Aufgrund des ungenügenden Kenntnisstandes, v. a. hinsichtlich alternativen Behandlungen, können entsprechende Maßnahmen nicht als praxisreif beurteilt werden. Mögliche wirtschaftliche Einbußen würden zudem die Akzeptanz in der Praxis und damit die Durchsetzbarkeit beeinträchtigen.

Aussagen über die Bedeutung von Zn-haltigen Fütterungsarzneimitteln für andere Tierarten-/kategorien können angesichts des geringen Kenntnisstandes zum gegenwärtigen Zeitpunkt nicht getroffen werden.

9.2.2 Maßnahmen mit geringem Potenzial

Die im Folgenden diskutierten Maßnahmen weisen im Vergleich zu den o. g. Minderungsmöglichkeiten ein deutlich geringeres Potenzial auf (vgl. Tab. 9-1) und sind daher lediglich als ergänzende Maßnahmen zu betrachten.

Einsatz von Phytase

Versorgungsempfehlungen und Höchstgehalte für Spurenelemente beziehen sich auf die Gesamtration und schließen die nativen Spurenelementgehalte der Grundfuttermittel ein. Diese können einerseits sehr stark variieren (DURST 2002), andererseits kann deren Bioverfügbarkeit durch andere Inhaltsstoffe beeinträchtigt sein (FLACHOWSKY 2002). Zur Einschätzung der Bioverfügbarkeit nativer Elemente aus Grundfuttermitteln besteht insgesamt noch erheblicher Forschungsbedarf. In der Praxis zählen Interaktionen mit Phytat zu den quantitativ wichtigsten Störfaktoren der Absorption von Zink und Kupfer (WINDISCH 2002). Von Bedeutung ist dies in der Schweine- und Geflügelfütterung, die einen hohen Anteil an phytatreichen wirtschaftseigenen Futtermitteln (Getreide und Getreideprodukte) aufweisen. Neben der besseren Ausnutzung des Phosphors kann durch Phytasezugabe eine bessere Verwertung nativer Cu- und Zn-Gehalte dieser Futtermittel erreicht (WINDISCH und KIRCHGESSNER 1996, PALLAUF und RIMBACH 1997) und so eine Verringerung der Cu- und Zn-Supplementierung ermöglicht werden (WINDISCH 2002). Insbesondere in der Mastschweine- und Geflügelhaltung wird Phytase bereits unter dem Aspekt der besseren Phosphorausnutzung eingesetzt und kann daher als praxisreif beurteilt werden.

Substanzen mit leistungsförderndem Potenzial

Deutlich über den physiologischen Bedarf hinausgehende Cu-Dosierungen zur Leistungssteigerung sind vor allem in der Ferkelaufzucht bedeutsam. Da z. B. organische Säuren den leistungssteigernden Effekt von Kupfer teilweise ersetzen können (WINDISCH und ROTH 2002), gewinnen diese inzwischen an Bedeutung (vgl. ECKEL 1997, KIRCHGESSNER und ROTH 1998). Allerdings liegen noch keine ausreichenden Ergebnisse aus Untersuchungen unter Praxisbedingungen vor.

Art der Spurenelementverbindung

Die zielgerichtete Auswahl von Cu- und Zn-Verbindungen, angepasst an die Fütterungssituation, d. h. der Einsatz von Spurenelementverbindungen mit hoher Bioverfügbarkeit, bietet eine weitere Möglichkeit zur Senkung der Schwermetalleinträge in Wirtschaftsdünger. Die Bioverfügbarkeit der unterschiedlichen Verbindungen (anorganisch, organisch) wird widersprüchlich beurteilt (Kap. 7.5).

Da entsprechende Empfehlungen bislang nicht gesichert abzuleiten sind, kann für den Erhalt bzw. Verzicht auf bestimmte Spurenelementverbindungen keine Praxisreife attestiert werden (Tab. 9-1).

Verwendung gering verunreinigter Spurenelementverbindungen

Ein Teil der Cd-, Cr-, Ni- und Pb-Konzentrationen in den untersuchten Mineralfuttermitteln (Tab. 8-3 und 8-6) lässt sich vermutlich auf Verunreinigungen der Rohstoffe mit diesen Metallen zurückführen. Hohe Spurenelementgaben können somit erhöhte Gehalte an anderen Metallen bedingen (MÜLLER und EBERT 2002, ROTH et al. 2002). Auf das damit verbundene Minderungspotenzial einer reduzierten Cu- und Zn-Supplementierung auch für die übrigen Elemente wurde bereits hingewiesen. Es bleibt zu prüfen, inwieweit durch die Verwendung gering verunreinigter Rohstoffe und die Optimierung der Herstellungsprozesse weitere Möglichkeiten zur Reduzierung von Einträgen unerwünschter Schwermetalle in Futtermittel bestehen.

Minimierung des Schwermetalleintrags aus Stalleinrichtungsmaterialien

Die Ergebnisse des Vorhabens zeigen, dass die Stalleinrichtung für Zink einen zu berücksichtigenden Eintragspfad darstellen kann. Für diese Quelle wurden Anteile am gesamten Zn-Eintrag von maximal 6 % berechnet (Kap. 6), für Cadmium und Blei wurden keine nennenswerten Einträge ermittelt. Eine Minderung des Zinkabtrags feuerverzinkter Stahlteile kann durch verschiedene bauliche Maßnahmen zum Korrosionsschutz, wie sie zum Teil bereits „Stand der Technik“ und somit praxisreif sind, erreicht werden (vgl. Kap. 6; STAHL-INFORMATIONS-ZENTRUM 1990, BERATUNG FEUERVERZINKEN (o. J.)). Die Bedeutung dieses Eintragspfades im Vergleich zu anderen Schwermetallquellen ist jedoch aufgrund der Einzeluntersuchung nicht ausreichend geklärt. Zur besseren Einschätzung von Abtragsraten für Zink sind daher weitere Untersuchungen erforderlich.

Die Verwendung alternativer, gering schwermetallhaltiger Materialien bietet einen weiteren Ansatzpunkt zur Verringerung des Schwermetalleintrags aus Stalleinrichtungen. Während Kunststoffe in vielen Bereichen bereits Eingang in die Praxis gefunden haben, z. B. in der Schweinehaltung oder im Bereich der Wasserversorgung, ist dies für den Einsatz anderer Materialien mit geringen Schwermetallgehalten bei der Stalleinrichtung (z. B. Edelstahl) und der Wirtschaftsdüngerlagerung nicht bekannt.

Nur wenige Untersuchungen existieren zur Bedeutung von Materialien wie Farben, Lacken, Beton etc. für den Schwermetalleintrag (vgl. Kap. 6).

9.3 Abschätzung des Minderungspotenzials im Bereich der Fütterung

9.3.1 Rinderhaltung

In der Milchviehhaltung stammt der überwiegende Teil der mit den Futtermitteln eingetragsenen Schwermetalle aus den wirtschaftseigenen Grundfuttermitteln sowie zugekauften Energie- und Proteinträgern. Bei Kupfer und Zink erfolgen ca. 42 % der fütterungsbedingten Einträge über wirtschaftseigene und 29 bzw. 37 % über zugekaufte protein- und energiehaltige Ergänzungsfuttermittel, aus den Mineralfuttermitteln stammen ca. 28 (Cu) bzw. 22 % (Zn). Bei den anderen Metallen beträgt demgegenüber der Anteil der wirtschaftseigenen Futtermittel zwischen 53 (Cr) und 83 % (Pb). Die energie- und proteinreichen Futtermittel sind zu 15 (Pb) bis 40 % (Cr) am Schwermetalleintrag über Futtermittel beteiligt. Somit ist der Elementeintrag über Mineralfuttermittel gegenüber Kupfer und Zink deutlich geringer (1 (Cd) bis 8 % (Cr)).

Insbesondere für Cadmium und Blei sind die Einträge über wirtschaftseigene Futtermittel beträchtlich. Die Schwermetallgehalte dieser Futtermittel sowie der zugekauften, nicht supplementierten Energie- und Proteinträger, spiegeln die Hintergrundbelastung der Böden wider (vgl. Kap. 9.4) und können daher nur in beschränktem Ausmaß beeinflusst werden. Verschiedene ackerbauliche Maßnahmen könnten jedoch zu einer Minimierung des Eintrages an Schwermetallen, zumindest in sensiblen Regionen (geogen belastete Gebiete, erosionsgefährdete und Überschwemmungsgebiete etc.), beitragen (vgl. Kap. 9.2.1).

Der Eintrag von Schwermetallen über Mineralfuttermittel oder mineralreiche Ergänzungsfuttermittel, denen i. A. das größte Potenzial für die Reduzierung von Schwermetalleinträgen zugesprochen wird, ist jedoch in der Rinderhaltung gegenüber der Schweinehaltung von vergleichsweise geringer Bedeutung (vgl. Kap. 9.3.2). Die Versorgungsempfehlungen der GfE für Kupfer und Zink (Tab. 7-4) können z. T. bereits über die nativen Gehalte der wirtschaftseigenen und zugekauften Grundfuttermittel erreicht werden. Dies trifft auch für die hier untersuchten Betriebe zu; es zeigt sich aber zugleich eine hohe Variabilität der nativen Spurenelementgehalte.

Vor dem Hintergrund fehlender Methoden zur standortbezogenen, leistungsangepassten und betriebsindividuell optimierten Supplementierung sind Möglichkeiten zur Reduzierung der fütterungsbedingten Schwermetalleinträge in der Rinderhaltung nur beschränkt vorhanden. Eine drastische Senkung der gesetzlichen Höchstgehalte scheint somit derzeit nicht möglich.

Bei der Beurteilung von Minderungsmaßnahmen im Bereich der Fütterung sind zudem die Schwermetalleinträge in die Wirtschaftsdünger aus weiteren Quellen zu berücksichtigen. Diese können für Betriebsmittel wie Einstreumaterial und Wasser einen Anteil von bis zu 8 % am Gesamteintrag ausmachen (vgl. Abb. 8-1). Im Fall von besonders elementreichen Stoffen verliert der Elementeintrag über Futtermittel an Bedeutung (vgl. Abb. 8-1, rechts, für den Einsatz von Kupfervitriol zur Klauendesinfektion). Dadurch reduziert sich zugleich das Potenzial einer veränderten Fütterungspraxis, insbesondere einer reduzierten Spurenelementsupplementierung, zur Minderung der Schwermetalleinträge in Wirtschaftsdünger.

9.3.2 Schweinehaltung

Für die Schweinehaltung werden die Minderungsmöglichkeiten beispielhaft an einem Ferkelerzeugungs- und Schweinemastbetrieb (Betrieb 7, Teilprojekt Bonn; Kap. 3) aufgezeigt. Die

anderen im Vorhaben untersuchten Betriebe verwenden vor allem Alleinfuttermittel, weshalb eine Gesamtauswertung aller Betriebe keine Aussage zur Bedeutung der einzelnen Futtermittelgruppen zulassen würde. Die Ergebnisse des Beispielbetriebs können jedoch für die Abschätzung des Minderungspotenzials in der Schweinehaltung herangezogen werden, da es sich um einen für diesen Produktionszweig repräsentativen Betrieb handelt und zudem die ermittelten Schwermetallgehalte der Betriebsmittel mit Werten aus der Literatur übereinstimmen.

Der Anteil der Mineralfuttermittel am Eintrag von Kupfer und Zink über Futtermittel kann in der Schweinehaltung bis zu 90 (Cu) bzw. 80 % (Zn) betragen (Abb. 9-1, links). Bei den anderen betrachteten Elementen ist die Spannbreite groß. Nur 24 % des Cadmiums der Futtermittel werden über Mineralfuttermittel eingetragen, während deren Anteil für Chrom 80 % beträgt. Über wirtschaftseigene Futtermittel erfolgen bei Chrom und Nickel lediglich 7 % der Einträge aller Futtermittel, bei Cadmium und Blei sind dies 55 bzw. 32 %.

Die der Abbildung 9-1 zugrunde liegende Berechnung des Anteils der Mineralfuttermittel am Eintrag an Schwermetallen in der Schweinehaltung berücksichtigt alle Tierkategorien. Wie Kupfer wird auch Zink in der Regel während der Endmast in geringeren Konzentrationen eingesetzt als während der Ferkelaufzucht oder z. T. auch in der Sauenhaltung.

Für die Schweinehaltung zeigt der Vergleich der Versorgungsempfehlungen (Tab. 7-4) mit den nativen Gehalten der hier eingesetzten Grundfuttermittel (Getreide, -produkte), dass ein größerer Spielraum zur Reduzierung von Schwermetalleinträgen über die Fütterung vorhanden ist als in der Milchviehhaltung. Dies gilt insbesondere für das Element Kupfer, da hier die gesetzlichen Höchstgehalte zur Nutzung des ergotropen Effektes in der Ferkelhaltung in der Regel ausgeschöpft werden.

Im Vergleich zur Rinderhaltung wirkt sich in der Schweinehaltung die Einbeziehung weiterer Einträge in den Stall (Abb. 9-1, rechts) auf die Anteile der Futtermittel am Cu- und Zn-Eintrag nur wenig aus; im Beispielbetrieb erfolgen auch unter Berücksichtigung sonstiger Eintragsquellen 89 bzw. 76 % der Cu- und Zn-Einträge über Mineralfuttermittel. Für die anderen Schwermetalle, ausgenommen Cadmium, resultiert dies in einer geringeren Bedeutung der Mineralfuttermittel. So beträgt deren Anteil am Gesamteintrag für Blei lediglich 20 % (Abb. 9-1, rechts) im Vergleich zu 45 % bei ausschließlicher Betrachtung der Futtermittel (Abb. 9-1, links).

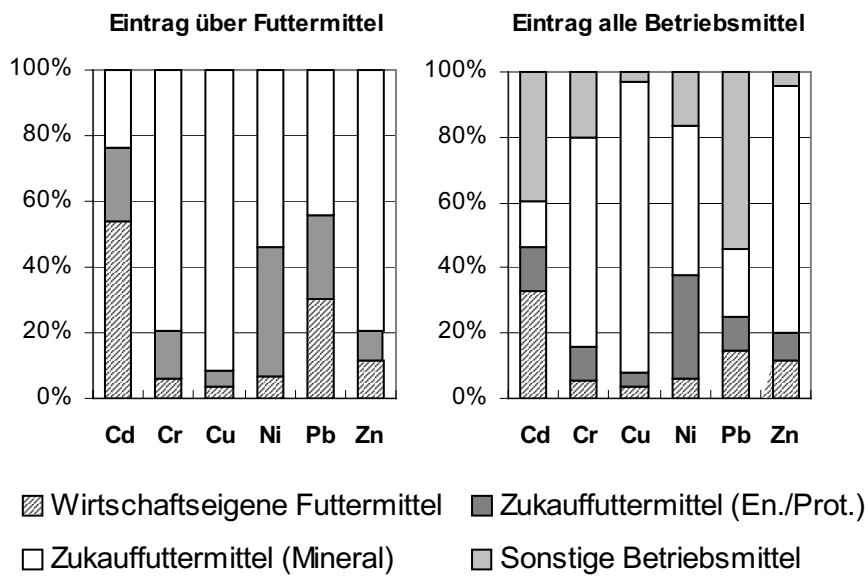


Abb. 9-1: Prozentualer Anteil von wirtschaftseigenen, zugekauften protein- und energiehaltigen Ernährungsfuttermitteln sowie von Mineralfuttermitteln am Schwermetalleintrag über Futtermittel (links) bzw. am Gesamteintrag über alle Betriebsmittel (rechts) in einem Betrieb mit Ferkelerzeugung und Schweinemast (Bezugsystem Stall)

Sowohl für die Schweine- als auch für die Rinderhaltung gilt, dass aufgrund der größeren Bedeutung nicht fütterungsbedingter Einträge bei den Metallen Cadmium, Chrom, Nickel und Blei (vgl. Abb. 8-1 und 9-1) eine Reduzierung der Einträge in Wirtschaftsdünger durch eine veränderte Fütterungspraxis nur in wesentlich geringerem Ausmaß möglich ist als für Kupfer und Zink (vgl. Tab. 9-2 und 9-3). Bei der Abschätzung des Potenzials von Maßnahmen zur Eintragsbegrenzung im Bereich der Fütterung müssen daher diese zusätzlichen Eintragspfade zwingend mit in Betracht gezogen werden. Eine deutliche Senkung der Schwermetallgehalte in Wirtschaftsdüngern kann demzufolge nur erreicht werden, wenn Minderungsstrategien nicht nur bei der Fütterungspraxis ansetzen, sondern im Rahmen einer Gesamtkonzeption durch entsprechende Maßnahmen zur Reduzierung weiterer Einträge ergänzt werden.

9.3.3 Rechenmodell

Es wurde ein auf dem Programm Excel basiertes Rechenmodell entwickelt, mit dem ausgehend von den Schwermetallgehalten und Stoffströmen der verschiedenen Eintrags- und Austragspfade Stallbilanzen erstellt werden können. Dieses Modell ermöglicht neben der Veranschaulichung des Ist-Zustandes für die untersuchten Ställe auch die Darstellung der Auswirkungen von Minderungsmaßnahmen. Inwieweit die zugrunde gelegten Minderungsmaßnahmen praxisreif oder umsetzbar sind, kann jedoch nur unter Berücksichtigung der in Kapitel 9.1 genannten Faktoren beurteilt werden. Ebenso ist die Wahl des politischen Instruments von entscheidender Bedeutung (vgl. Kap. 9.5).

Das hier verwendete Rechenmodell beschränkt sich zunächst auf die Darstellung des Systems Stall, eine Erweiterung auf die Betriebsebene ist möglich.

Nachfolgend soll am Beispiel von zwei Betrieben die Auswirkung von Minderungsmaßnahmen dargestellt werden. Aufgrund der großen Bedeutung hoher Cu-Supplementierung in der Ferkelaufzucht (vgl. Kap. 7) soll zum einen der Effekt einer reduzierten Cu- und Zn-Supplementierung in einem Betrieb mit Schweinehaltung modellhaft berechnet werden. Zum anderen wird geprüft, wie sich ein Verzicht auf Cu-haltige Klauenbäder in der Milchviehhaltung auf die Schwermetalleinträge in den Stall auswirkt.

Da in Tierproduktionsbetrieben über 95 % des Schwermetallaustaus aus dem Stall über die Wirtschaftsdünger erfolgen (vgl. Abb. 4-4), wird bei den Berechnungen davon ausgegangen, dass sich Veränderungen auf der Eintragseite (Einträge in den Stall) proportional auf die Wirtschaftsdüngergehalte auswirken.

Verringerung der Cu- und Zn-Supplementierung am Beispiel eines Ferkelerzeugungs- und Schweinemastbetriebes

Annahmen für die Berechnung

Grundlage der Berechnungen ist ein im Vorhaben untersuchter Ferkelerzeugungs- und Schweinemastbetrieb, der über 70 % des für die Mischfuttermittel verwendeten Getreides selbst produziert (Betrieb 7, Teilprojekt Bonn; Kap. 3). Neben Mineralfuttermitteln werden Energie- und Proteinträger (Getreide, Soja, Fischmehl, Weizenkleie) zugekauft.

Die ermittelten Schwermetallgehalte der im Betrieb eingesetzten Futtermittel stellen den Ist-Zustand (**IST**) dar. Im Beispielbetrieb werden die Höchstgehalte der Futtermittelverordnung nicht immer ausgeschöpft. So sind die Kupfergehalte der Tagesrationen für Sauen und auch für die Ferkelaufzucht deutlich geringer (26 bzw. 99 mg kg⁻¹ TS; bezogen auf 88 % TS: 23 und 87 mg kg⁻¹ Futter; vgl. Tab. 7-1). Auch bei Zink wurden abgesehen von der Vormast (224 mg kg⁻¹ TS) Gehalte deutlich unter dem zulässigen Höchstwert der Futtermittelverordnung ermittelt (Sauen 110, Ferkel 140 und Endmast 136 mg kg⁻¹ TS; vgl. Tab. 7-2). Neben den Alleinfuttermitteln wurde ein Ergänzungsfuttermittel für Saugferkel mit einem Zn-Gehalt von 270 mg kg⁻¹ TM eingesetzt. Ausgehend vom Ist-Zustand wurde der Effekt einer Reduzierung der Cu- und Zn-Supplementierung auf die vom Ständigen Futtermittelausschuss vorgeschlagenen Werte (vgl. Tab. 7-1 und 7-2) auf den Eintrag von Schwermetallen in den Stall abgeschätzt (**RED**).

Die Ergebnisse dieses Vorhabens lassen auf Verunreinigungen der verwendeten Mineralfuttermittel mit anderen Schwermetallen schließen. Allerdings kann dies nicht nur durch die zur Spurenelementversorgung zugesetzten Cu- und Zn-Verbindungen sondern auch durch weitere Komponenten der Mineralfuttermittel bedingt sein. In diesem Zusammenhang sind insbesondere Futterphosphate zu nennen, die ähnlich wie mineralische Phosphatdünger mit Cadmium und anderen Schwermetallen belastet sein können (vgl. Kap. 9-4). Ergebnisse von Untersuchungen der Einzelkomponenten sind derzeit nur in unzureichendem Ausmaß verfügbar. Eine direkte Ableitung des Effektes einer verringerten Spurenelementsupplementierung auf die anderen Elemente ist somit nicht möglich. Für Cadmium, Chrom, Nickel und Blei wurde die Modellrechnung daher unter Annahme sowohl einer geringen als auch einer hohen Verunreinigung der eingesetzten Spurenelementverbindungen durchgeführt: Es wurde eine pauschale Reduzierung der Einträge dieser Elemente über die zugekauften Mineralfuttermittel um 10 (**RED** Szenario A) bzw. 50 % (**RED** Szenario B) angenommen (bezogen auf den Gesamteintrag über alle Futtermittel werden 23 % des Cadmiums, 80 % des Chroms,

55 % des Nickels und 45 % des Bleis über die Mineralfuttermittel in den Stall eingetragen; vgl. Abb. 9-1, links).

Bedeutung der nicht identifizierbaren Quellen für das Minderungspotenzial in der Fütterung

Die Bilanzierungen der Schwermetallströme in Ställen haben ergeben, dass über die bisher erfassten Quellen hinaus bislang nicht identifizierte Eintragspfade in den Stall existieren müssen; in den fünf untersuchten Betrieben mit Schweinehaltung wurde dabei für Cadmium die geringste und für Blei die größte Differenz zwischen Aus- und Einträgen festgestellt (vgl. Kap. 8.7.4). Bei der Abschätzung von Minderungspotenzialen muss dies in die Betrachtung einbezogen werden, da nicht identifizierte Quellen von den diskutierten Handlungsoptionen nicht erfasst werden und somit eine weitere Verringerung des Reduktionspotenzials bewirken. Demzufolge wurde der Anteil dieser Quellen am Eintrag in den Stall für den Beispielbetrieb berechnet (Abb. 9-2; absolute Schwermetallflüsse Tab. 9-2 und 9-3) und in die Modellberechnung einbezogen. Hierzu wurde die Differenz von den Austrägen über Wirtschaftsdünger sowie tierische Produkte und der Summe der erfassten Einträge in den Stall (Futtermittel, Stroh und Wasser) gebildet.

Der Anteil des Eintrags aus ungeklärten Quellen beträgt zwischen 2 (Cd) und 65 % (Cr; Abb. 9-2). Lediglich für Cadmium konnten die Einträge somit weitestgehend erfasst werden. Als möglicher zusätzlicher Eintragspfad in die Wirtschaftsdünger könnten Korrosion und Abrieb der Stalleinrichtung Bedeutung haben, dies wurde im Beispielbetrieb nicht untersucht. Die ermittelten Ergebnisse zeigen, dass diese Quelle in Rinderställen bis zu 6 % des Gesamteintrags ausmacht und vorwiegend für Zink zu berücksichtigen ist. Für die Schweinehaltung liegen hierzu keine Untersuchungen vor. Somit besteht insbesondere für Chrom, Kupfer, Nickel und Blei noch Bedarf für weitere Untersuchungen zu möglichen Einträgen in den Stall.

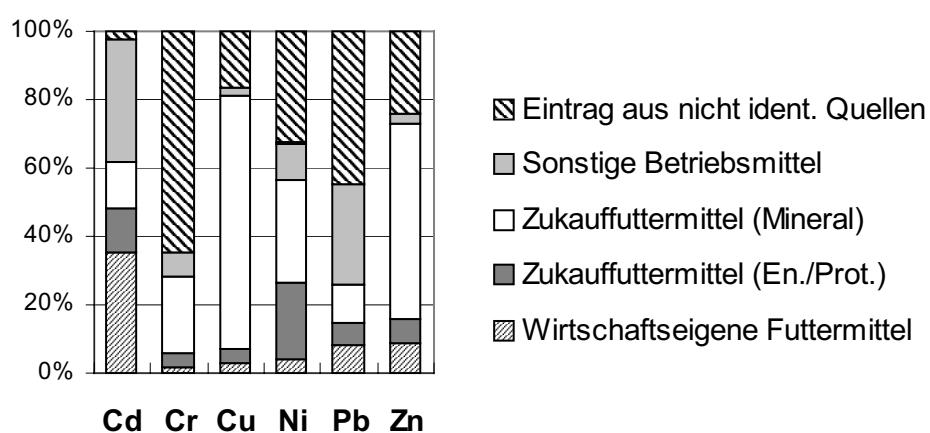


Abb. 9-2: Prozentualer Anteil der Stoffströme am Gesamteintrag der untersuchten Schwermetalle in den Stall eines Ferkelerzeugungs- und Schweinemastbetriebs unter Berücksichtigung des Eintrags aus unbekannten Quellen

Auswirkung einer reduzierten Cu- und Zn-Supplementierung in der Schweinehaltung

Die Ergebnisse der Modellrechnung für den beschriebenen Schweinehaltungsbetrieb (Ferkelerzeugung und Schweinemast) unter Praxisbedingungen (= im Betrieb gemessene Schwermetallgehalte) und bei reduzierter Cu- und Zn-Supplementierung (= Vorschlag Ständiger Futtermittelausschuss) sind in den Tabellen 9-2 und 9-3 dargestellt.

Tab. 9-2: Cu- und Zn-Einträge in den Stall eines Ferkelerzeugungs- und Schweinemastbetriebs (80,5 GV) unter Praxisbedingungen (IST-Zustand) bzw. bei reduzierter Cu- und Zn-Supplementierung (RED-Zustand, Vorschlag Ständiger Futtermittelausschuss) unter Berücksichtigung von Einträgen aus nicht identifizierten Quellen

Stoffstrom	Cu		Zn	
	IST	RED	IST	RED
	[g GV ⁻¹ a ⁻¹]			
Wirtschaftseigene Futtermittel	9,3	9,3	94	94
Zukauffuttermittel (En./Prot.)	12	12	75	75
Zukauffuttermittel (Mineral)	222	104	600	432
<i>Reduzierung um [%]</i>		53		28
Sonstige Betriebsmittel	7,1	7,1	31	31
Zukauf Tier	0,1	0,1	1,1	1,1
Eintrag nicht identifizierte Quellen	49	49	253	253
Eintrag Gesamt	300	182	1054	886
<i>Reduzierung um [%]</i>		39		16

Der Verzicht auf die in der Ferkelaufzucht übliche hohe Cu-Supplementierung zur Leistungsförderung führt zu einer Reduzierung der Cu-Einträge für alle Tierkategorien über die Mineralfuttermittel um 53 % (Tab. 9-2). Bezogen auf die einzelnen Tierkategorien entspricht dies einer Senkung um 67 % während Ferkelaufzucht und Vormast. Diese Kategorien werden gemeinsam betrachtet, da der Zeitpunkt, zu dem der Wechsel von höheren zu den niedrigeren Kupfergaben stattfindet, bei den beiden Szenarien sehr unterschiedlich ist; vgl. Tab. 7-1. Für die Tierkategorien Sauen und Endmast beträgt die Reduktion für Kupfer 15 bzw. 46 %. Unter Einbeziehung weiterer Betriebsmittel und der Einträge aus unbekannten Quellen wird allerdings bezogen auf den Gesamteintrag lediglich eine Reduzierung von 39 % erreicht (Tab. 9-2). Die Senkung der Zinkgehalte in den Futtermitteln aller Produktionsabschnitte (Ferkelerzeugung, Ferkelaufzucht, Schweinemast) auf 100 mg kg⁻¹ resultiert in einer Verminderung der Gesamteinträge um 16 % im Vergleich zu den momentan im Beispielbetrieb eingesetzten Gehalten; bedingt durch einen Rückgang der Einträge über die Mineralfuttermittel um 28 % (Tab. 9-2). Aufgrund der bereits unter den Praxisbedingungen niedrigeren Zn-Gaben für die Sauen kommt es für diese Tierkategorie zu keiner Reduzierung des Eintrags über die Mineralfuttermittel. Für den Zeitraum von Ferkelaufzucht und Vormast sinkt der Zn-Eintrag durch diese Futtermittel um 45 %, während für die Endmast eine Reduzierung um lediglich 21 % erreicht wird.

Bei den Schwermetallen Cadmium, Chrom, Nickel und Blei hängt die Reduzierung des Gesamteintrages in den Stall neben dem Anteil der Mineralfuttermittel im Wesentlichen ab von

den weiteren Einträgen (Wasser, Einstreu etc. sowie unbekannten Quellen; Tab. 9-3; vgl. Abb. 9-1 und 9-2). Bei Cadmium, dessen Eintragspfade zwar weitgehend erfasst sind, spiegelt sich die vergleichsweise geringe Bedeutung der Mineralfuttermittel in einem Rückgang des Gesamteintrags von nur 1 % (Szenario A) bzw. 7 % (Szenario B) wider (Tab. 9-3). Während bei Chrom und Nickel insbesondere unbekannte Eintragspfade das Minderungspotenzial einer reduzierten Spurenelementsupplementierung einschränken, spielen bei Blei auch die Einträge über Betriebsmittel wie Einstreu und Wasser eine wichtige Rolle (vgl. Abb. 9-2). Selbst unter Annahme einer relativ hohen Belastung der Mineralfuttermittel (Szenario B, 50 %) kommt es bei diesen Elementen lediglich zu einer Reduzierung des Gesamteintrags von 11 (Cr), 15 (Ni) bzw. 6 % (Pb), (Tab. 9-3).

Tab. 9-3: Cd-, Cr-, Ni-, und Pb-Einträge in den Stall eines Ferkelerzeugungs- und Schweinemastbetriebs (80,5 GV) unter Praxisbedingungen (IST-Zustand) bzw. bei reduzierter Cu- und Zn-Supplementierung (RED-Zustand, Vorschlag Ständiger Futtermittelausschuss) unter Berücksichtigung von Einträgen aus nicht identifizierten Quellen. Szenario A: geringe Verunreinigung der Mineralfuttermittel, Reduzierung der Einträge über diese Futtermittel um 10 %; Szenario B: starke Verunreinigung, Reduzierung um 50 %

Stoffstrom	Cd		Cr		Ni		Pb	
	IST	RED	IST	RED	IST	RED	IST	RED
[g GV ⁻¹ a ⁻¹]								
Wirtschaftseigene Futtermittel	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5
Zukauffuttermittel (En./Prot.)	0,1	0,1	0,8	0,8	2,6	2,6	0,4	0,4
Zukauffuttermittel (Mineral)	0,14		4,6		3,4		0,7	
Szenario A		0,12		4,1		3,1		0,6
B		0,07		2,3		1,7		0,3
Reduzierung [%]	A	10		10		10		10
	B	50		50		50		50
Sonstige Betriebsmittel	0,4	0,4	1,4	1,4	1,2	1,2	1,8	1,8
Zukauf Tier	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Eintrag nicht identifizierte Quellen	0,02	0,02	13,1	13,1	3,7	3,7	2,8	2,8
Eintrag Gesamt	1,0		20,3		11,3		6,3	
Szenario A		1,0		19,9		11,0		6,2
B		1,0		18,0		9,6		5,9
Reduzierung [%]	A	1		2		3		1
	B	7		11		15		6

Die Ergebnisse verdeutlichen nochmals, dass zur Abschätzung des Potenzials der Fütterung für die Reduzierung von Schwermetalleinträgen in Wirtschaftsdünger die nicht fütterungsbedingten Eintragspfade mitberücksichtigt werden müssen.

In Tabelle 9-4 wird die Reduktion der Cu- und Zn-Einträge in den Stall des Beispielbetriebs bei Zugrundelegung verschiedener Minderungsszenarien gegenübergestellt; zum einen werden die Einträge im Ist-Zustand mit denen bei maximal zulässiger Supplementierung nach Futtermittelverordnung (FMV), EG-Verordnung 1334/2003 (EG1334) sowie dem Vorschlag des Ständigen Futtermittelausschusses (FMA; Höchstgehalte vgl. Tab. 7-1 und 7-2) verglichen.

Im Beispielbetrieb werden die bisherigen Höchstgehalte der Futtermittelverordnung nicht ausgeschöpft (s. o. „Annahmen für die Berechnung“); die Gehalte der Tagesration liegen für einzelne Tierkategorien auch unterhalb der neuen Höchstgehalte nach EG-Verordnung 1334/2003. Da beide Verordnungen höhere Werte vorgeben als unter Praxisbedingungen gehabt wird, würde eine Ausschöpfung der zulässigen Höchstgehalte für diesen Betrieb letztendlich zu einer Erhöhung der gesamten Cu- und Zn-Einträge in den Stall im Vergleich zum Ist-Zustand führen (Szenario IST - FMV, Szenario IST - EG1334, Tab. 9-4). Selbst auf Basis der vom Ständigen Futtermittelausschuss vorgeschlagenen deutlich niedrigeren Höchstgehalte könnte hier lediglich eine Gesamtreduzierung der Einträge in die Wirtschaftsdünger von 39 (Cu) bzw. 16 % (Zn) erreicht werden (Szenario IST - FMA, Tab. 9-4).

Wird statt des Ist-Zustandes eine Supplementierung gemäß Futtermittelverordnung als Ausgangsbasis herangezogen, würde eine Senkung auf die Cu- und Zn-Höchstgehalte der EG-Verordnung 1334/2003 eine Reduzierung der Gesamteinträge an diesen beiden Elementen um 27 (Cu) bzw. 34 % (Zn) bewirken (Szenario FMV - EG1334, Tab. 9-4). Da jedoch diese Verordnung die Nutzung des ergotropen Effekts von Kupfer während der Ferkelaufzucht weiterhin ermöglicht, wird hierdurch eine geringere Reduzierung erreicht als bei einer Senkung auf den Vorschlag des Ständigen Futtermittelausschusses (Szenario FMV - FMA, Tab. 9-4). Das Potenzial einer reduzierten Cu- und Zn-Supplementierung ist durch die neuen Höchstgehalte nicht vollständig ausgeschöpft, wie der Vergleich der Einträge bei Zugrundelegung der EG-Verordnung 1334/2003 und dem Vorschlag des Ständigen Futtermittelausschusses zeigt (Szenario EG1334 - FMA).

Tab. 9-4: Reduktion des Gesamteintrags an Kupfer und Zink in den Stall eines Ferkelerzeugungs- und Schweinemastbetriebs (80,5 GV) bei Zugrundelegung verschiedener Szenarien für die Cu- und Zn-Supplementierung der Futtermittel; IST: Praxisbedingungen; FMV: Höchstgehalte der Futtermittelverordnung, EG1334: Höchstgehalte der EG-Verordnung 1334/2003; FMA: Höchstgehalte laut Vorschlag Ständiger Futtermittelausschuss

Szenarien	Cu	Zn
		Reduktion [%] ¹⁾
IST - FMV	-64	-70
IST - EG1334	-19	-13
IST - FMA²⁾	39	16
FMV - EG1334	27	34
FMV - FMA	63	50
EG1334 - FMA	49	25

fett gedrucktes Szenario = 100%

¹⁾ negatives Vorzeichen: Erhöhung der Einträge im Vergleich zum Ausgangsszenario

²⁾ = obige Modellrechnung; vgl. Tab. 9-2

Verzicht auf Kupfervitriol zur Klauendesinfektion in der Milchviehhaltung

Neben hohen Cu-Einträgen kann Kupfervitriol, das in der Milchviehhaltung zur Klauendesinfektion eingesetzt wird, auch zu bedeutenden Ni-Einträgen führen (z. B. Betrieb 1, Teilprojekt

Bonn, Kap. 3.1.3). Auf Grundlage dieses Betriebes wurden die Einträge in den Stall bei Verzicht auf Kupfervitriol berechnet und dem IST-Zustand gegenübergestellt.

Das Minderungspotenzial von Maßnahmen, die den Verzicht von Cu-Desinfektionslösungen ermöglichen, für den Eintrag von Kupfer, und in geringerem Ausmaß auch für den Ni-Eintrag in den Stall ist in den Tabellen 9-5 und 9-6 dargestellt. So lässt sich für Kupfer der Gesamteintrag um 68 % vermindern. Bei Nickel wirkt sich der Verzicht auf Kupfervitriol und die damit verbundene Reduzierung des Eintrags über die sonstigen Betriebsmittel um 57 % auf den Gesamteintrag jedoch nur bedingt aus: aufgrund des überwiegenden Anteils der Futtermittel am Gesamteintrag (vgl. Abb. 8-1) kann für dieses Element nur eine Verringerung um ca. 5 % erreicht werden. Bei den anderen Schwermetallen zeigt sich kein nennenswerter Effekt, was zum einen durch die geringe Verunreinigung der Kupferlösung, zum anderen durch den überwiegenden Anteil der Futtermittel am Gesamteintrag bedingt ist (vgl. Abb. 8-1).

Tab. 9-5: Cu- und Zn-Einträge in den Stall eines Milchviehbetriebs bei Verwendung (IST-Zustand) von und bei Verzicht (RED-Zustand) auf Kupfervitriol zur Klauendesinfektion

Stoffstrom	Cu IST	Cu RED	Zn IST	Zn RED
	[g GV ⁻¹ a ⁻¹]			
Wirtschaftseigene Futtermittel	35	35	158	158
Zukauffuttermittel	74	74	470	470
Sonstige Betriebsmittel	242	2,0	18,2	18,1
<i>Reduzierung um [%]</i>		99		1
Zukauf Tier	0,45	0,45	6,1	6,1
Summe Eintrag	351	111	652	652
<i>Reduzierung um [%]</i>		68		0

Tab. 9-6: Cd-, Cr-, Ni- und Pb-Einträge in den Stall eines Milchviehbetriebs bei Verwendung (IST-Zustand) von und bei Verzicht (RED-Zustand) auf Kupfervitriol zur Klauendesinfektion

Stoffstrom	Cd IST	Cd RED	Cr IST	Cr RED	Ni IST	Ni RED	Pb IST	Pb RED
	[g GV ⁻¹ a ⁻¹]							
Wirtschaftseigene Futtermittel	0,7	0,7	4,7	4,7	4,5	4,5	4,6	4,6
Zukauffuttermittel	0,5	0,5	3,0	3,0	4,8	4,8	1,9	1,9
Sonstige Betriebsmittel	0,1	0,1	0,4	0,4	0,8	0,4	0,6	0,5
<i>Reduzierung um [%]</i>		0	0	0		57		10
Zukauf Tier	< 0,01	< 0,01	0,02	0,02	0,07	0,07	0,03	0,03
Summe Eintrag	1,4	1,4	8,1	8,1	10,2	9,7	7,1	7,0
<i>Reduzierung um [%]</i>		0		0		5		1

Die Modellberechnungen zur Verringerung von Schwermetalleinträgen in Wirtschaftsdünger verdeutlichen die Notwendigkeit einer Gesamtkonzeption, die alle Eintragspfade berücksichtigt. Zugleich werden Wissenslücken zu Schwermetallströmen in Tierproduktionsbetrieben aufgezeigt, die weitere Untersuchungen auf Betriebsebene erforderlich machen.

9.4 Minderungsmaßnahmen außerhalb des Stalls

Mineraldünger

Die Minderung von Schwermetalleinträgen in den Boden wirkt sich über die wirtschaftseigenen Futtermittel infolge des Transfers Boden-Pflanze (SAUERBECK 1982, UBA 1999) auch auf die Gehalte in Wirtschaftsdüngern aus. Die aktuellen Bodengehalte spiegeln neben der Deposition auch die wirtschaftsbedingten Einträge der Vergangenheit wieder, so z. B. Einträge über Mineraldünger. Diese können je nach Rohstoff zum Teil hohe Gehalte an Schwermetallen aufweisen. Dies gilt insbesondere für Cadmium, das v. a. in Rohphosphaten bestimmter Provenienz in erhöhten Konzentrationen enthalten ist. Aber auch für Schwermetalle wie Nickel und Blei kann der Eintrag mit Mineraldüngern eine Rolle spielen. Eine Selbstverpflichtung der Düngemittelindustrie sieht für den Cd-Gehalt in Düngemitteln eine Senkung auf 60 mg Cadmium pro kg P₂O₅ bis 2007 vor. Die Einbeziehung weiterer Schwermetalle zur Senkung der Gehalte in die Selbstverpflichtung wäre wünschenswert. Hierbei gilt jedoch, wie auch im Bereich der Futtermittel, dass eine solche Maßnahme nur dann wirksam sein kann, wenn die Zielwerte deutlich unter den zur Zeit üblichen Gehalten in Mineraldüngern liegen.

Weiterhin könnte bereits über die Optimierung der Düngung eine Einsparung von Mineraldünger erreicht werden. Nach Berechnungen von DÖHLER et al. (2002), die den internen Schwermetallkreislauf über wirtschaftseigene Futtermittel und Wirtschaftsdünger berücksichtigen, bewirkt auch die Substitution von Mineraldünger durch Wirtschaftsdünger geringere Einträge v. a. an Cadmium, aber auch an Chrom, Nickel und Blei. Höhere Einträge ergaben sich jedoch erwartungsgemäß für Kupfer und Zink. Bei der vergleichenden Bewertung von Schwermetalleinträgen in Böden über unterschiedliche Düngemittel wird der betriebsinterne Kreislauf von Schwermetallen über wirtschaftseigene Futtermittel, Stroh zur Einstreu und Wirtschaftsdünger allerdings oftmals nicht berücksichtigt.

Atmosphärische Deposition

Die Ergebnisse des Projektes zeigen, dass der Anteil der wirtschaftseigenen Futtermittel am Eintrag von Schwermetallen in Wirtschaftsdünger im Einzelfall bis zu 80 % betragen kann. Die Gehalte im wirtschaftseigenen Futter spiegeln die Bodengehalte wider. Neben den geogenen Gehalten ist zusätzlich zu den bewirtschaftungsbedingten Einträgen (wie z. B. Mineraldünger) auch die atmosphärische Deposition zu berücksichtigen.

WILCKE und DÖHLER (1995) haben Schwermetallbilanzen für landwirtschaftliche Nutzflächen auf nationaler Ebene berechnet und einen Anteil der Deposition am Gesamteintrag von 7 % (Chrom) bis 66 % (Blei) ermittelt (Cadmium: 50 %, Kupfer: 20 %, Nickel: 31 %, Zink: 44 %). Aufgrund verschiedener Maßnahmen zur Emissionsminderung ist aktuell für einzelne Schwermetalle mit niedrigeren Werten zu rechnen (z. B. Einführung von bleifreiem Benzin).

Eine kurzfristige Auswirkung der Verringerung von Immissionen auf die Bodengehalte und somit auch auf die Gehalte in wirtschaftseigenen Futtermitteln ist nicht zu erwarten. Langfristig können Maßnahmen zur Immissionsminderung (vgl. UBA 1998) allerdings einen entscheidenden Beitrag zu einer geringeren Anreicherung von Schwermetallgehalten in Böden leisten.

9.5 Umsetzung von Minderungsmaßnahmen

Zur Umsetzung der oben diskutierten Minderungsmaßnahmen kommen neben gesetzlichen Regelungen auch freiwillige Vereinbarungen und Selbstverpflichtungen der beteiligten Akteure oder auch die Anpassung von Beratungsinhalten in Frage.

Bei gesetzlichen Regelungen, wie z. B. der Festlegung von Höchstgehalten von Spurenelementen in Futtermitteln, ist zwar eine Kontrolle vergleichsweise einfach zu gewährleisten, allerdings kann eine Umsetzung aufgrund von Übergangsfristen oder vorrangigem Regelungsbedarf auf EU-Ebene langwierig sein. Über freiwillige Vereinbarungen, Selbstverpflichtungen und Beratung hingegen ist im Allgemeinen eine höhere Akzeptanz bei den Betroffenen (Futtermittelhersteller und Landwirte) zu erreichen; dies kann im Einzelfall zu einer weit-aus effektiveren und schnelleren Umsetzung einer Maßnahme beitragen und/oder den Verzicht auf eine gesetzliche Regelung ermöglichen. Gerade in Bereichen, in denen eine Kontrolle aufwendig oder schlecht durchführbar ist und eine freiwillige Umsetzung in die Praxis aussichtsreich erscheint, spielt die intensive Beratung der Landwirte von offizieller Seite wie auch von Seiten der Industrie eine entscheidende Rolle.

Generell sind Instrumente, die dem Prinzip „Ansatz an der Quelle“ folgen, im Vergleich zu sogenannten „end-of-pipe“-Lösungen als Erfolg versprechender zu beurteilen, da diese eher nachvollziehbar und in der Praxis besser zu vermitteln sind. Hinzu kommt die höhere Zielgenauigkeit von direkten Maßnahmen. Daher ist z. B. die Herabsetzung der Spurenelement-höchstgehalte in Futtermitteln gegenüber der Festsetzung von Grenzwerten in Wirtschaftsdüngern vorzuziehen. Neben zu erwartenden größeren Widerständen von Seiten der Interessensvertretungen ist bei letzterem auch ein deutlich höherer Umsetzungs- und Kontrollaufwand zu erwarten.

Hinsichtlich der Kontrolle ist zu beachten, dass z. B. technische oder bauliche Maßnahmen mit Investitionen für Maschinen, Gebäude und deren Einrichtungen i. d. R. leichter zu kontrollieren sind als Managementmaßnahmen wie Änderungen des Fütterungsregimes. Dies gilt zumindest bei einer Kontrolle auf einzelbetrieblicher Basis. Wird auf bereits bestehende Instrumente zurückgegriffen (z. B. amtliche Futtermitteluntersuchung), kann der Aufwand minimiert werden. Ist dies nicht möglich, können neue Kontrollverpflichtungen zu erheblichen Kosten und administrativem Aufwand führen, wie z. B. durch die Einführung der Nährstoffbilanzverpflichtung im Rahmen des Nährstoffanmeldesystems MINAS in den Niederlanden.

10 Darstellung der Ergebnisse im internationalen Vergleich

10.1 Rechtliche Regelungen auf europäischer Ebene

Auf europäischer Ebene existiert eine Reihe von Regelungen, die den Eintrag von Schwermetallen in landwirtschaftliche Betriebe direkt oder indirekt betreffen. Als wichtiger Bereich ist hierbei das Futtermittelrecht zu nennen, das innerhalb der EU weitgehend harmonisiert ist. Regelungen im Futtermittelrecht dienen in erster Linie der Sicherstellung der Qualität tierischer Produkte und der Tiergesundheit. In der Richtlinie 70/524/EWG werden Zusatzstoffe in der Tierernährung geregelt. Die Richtlinie gibt EU-einheitliche Höchstgehalte für die Zusatzstoffe Kupfer, Zink, u. a. zur Supplementierung in Mischfuttermitteln vor (RAT DER EUROPÄISCHEN GEMEINSCHAFTEN 1970). Von deutscher Seite wurde bei der EU-Kommission ein Vorschlag zur Absenkung der Höchstgehalte für Zusatzstoffe in Mischfuttermitteln eingebracht. Die vorgeschlagenen Höchstgehalte (Tab. 7-1 und 7-2) werden zur Zeit im „Wissenschaftlichen Ausschuss für Tierernährung“ (SCAN) der Europäischen Kommission diskutiert.

Zur Festsetzung von Höchstgehalten für unerwünschte Stoffe in der Tierernährung gilt die Richtlinie 1999/29/EG, die durch Richtlinie 2002/32/EG geändert wurde (umzusetzen bis zum 01.05.2003, anzuwenden ab 01.08.2003). Für die im UBA-Projekt betrachteten Schwermetalle Blei und Cadmium entsprechen die Höchstgehalte dieser EU-Richtlinie (Tab. 10-2) den Werten, die in der deutschen Futtermittelverordnung (FMV 2000) und auch in Regelungen einer Reihe anderer europäischer Staaten für die Begrenzung von Gehalten unerwünschter Schwermetalle in Futtermitteln festgelegt sind. In Ungarn, als Beispiel für einen Staat, der in Kürze der EU beitreten wird, gelten vergleichbare Regelungen für Höchstgehalte von Cadmium und Blei in Futtermitteln. Außerdem sind die zulässigen Gehalte von Cadmium, Chrom, Kupfer, Nickel und Blei in Wirtschaftsdüngern limitiert.

Weiterhin wird über die Klärschlammrichtlinie (86/278/ EWG) der Eintrag von Schwermetallen in landwirtschaftliche Böden begrenzt. In der Richtlinie sind Grenzwerte für Schwermetalle in Böden und Schlamm festgesetzt. Sie befindet sich derzeit in Überarbeitung; dabei wird u. a. eine Absenkung der zulässigen Obergrenzen für Schadstoffe im Klärschlamm vor- diskutiert.

Die meisten Mineraldünger werden nach Anforderungen der Düngemittelrichtlinie (76/116/ EWG) zugelassen; diese Richtlinie sieht keine Schwermetallgrenzwerte vor. In einigen EU-Mitgliedstaaten bestehen allerdings befristete Regelungen zu Höchstgehalten von Cadmium in Mineraldüngern.

Im 6. Umweltaktionsprogramm der EU-Kommission wird erstmals die Entwicklung einer Strategie für den Bodenschutz angekündigt. Der erste Schritt dazu ist die Publikation einer „Soil Communication“ (EUROPÄISCHE KOMMISSION 2002), in der Ziele einer möglichen gemeinsamen Bodenschutzpolitik formuliert werden.

Eine Übersicht über wesentliche Regelungen und Vorschläge der EU mit Bezug zu Schwermetallen in der Landwirtschaft zeigt Tabelle 10-1.

Tab. 10-1: Regelungen und Arbeitsdokumente der EU mit Bezug zu Schwermetallen in der Landwirtschaft

Kategorie		Regelung / Vorschlag	Inhalt	Bemerkung
Futtermittel	Spuren-elemente	Richtlinie 70/524/EWG des Rates vom 23.11.1970 über Zusatzstoffe in der Tierernährung	Höchstgehalte für Kupfer, Zink und einige andere Elemente	in Überarbeitung
	unerwünschte Stoffe	Richtlinie 1999/29/EG für unerwünschte Stoffe in der Tierernährung, geändert durch 2002/32/EG (bis zum 01.03.2003 umzusetzen)	Höchstgehalte für Arsen, Blei, Cadmium und Quecksilber	Anhang in Überarbeitung
Abfall	Klär-schlamm	Richtlinie 86/278/EWG des Rates vom 12.6.1986 über den Schutz der Umwelt und insbesondere der Böden bei der Verwendung von Klärschlamm in der Landwirtschaft	Grenzwerte für Blei, Cadmium, Chrom, Kupfer, Nickel, Quecksilber Zink, in Schlämmen und beaufschlagten Böden Maximale Applikationsmengen	in Überarbeitung
	Bioabfälle	Arbeitspapier: Die biologische Behandlung von Bioabfällen" DG ENV/12.2.2001	Umweltqualitätsklassen für Komposte und stabilisierte Bioabfälle (Grenzwerte für Cadmium, Kupfer, Nickel, Blei, Zink, Quecksilber und Chrom)	in der Diskussion
Düngemittel	Mineral-dünger	Vorschlag für eine Verordnung des europäischen Parlaments und des Rates über Düngemittel/ KOM/2001/0508 endgültig	Harmonisierung der düngemittelrechtlichen Vorschriften in Europa ¹	in der Diskussion

¹ Eine „Cadmium-Arbeitsgruppe“ befasst sich zur Zeit mit der Auswertung eines Cadmium-Assessments in Europa und mit der Prüfung einer Grenzwertsetzung für Cadmium in mineralischen Düngern.

Tab. 10-2: Höchstgehalte für Cadmium und Blei in Futtermitteln (ANONYM 2002)

Schwermetall	Futtermittel	mg kg ⁻¹ 88 %TM
Blei	Futtermittel-Ausgangserzeugnisse, ausgenommen:	
	- Grünfutter	10
	- Phosphate	40
	- Hefen	30
	Alleinfuttermittel	5
	Ergänzungsfuttermittel, ausgenommen:	5
Cadmium	- Mineralfuttermittel	10
	Futtermittel-Ausgangserzeugnisse pflanzlichen Ursprungs	30
	Futtermittel-Ausgangserzeugnisse tierischen Ursprungs, ausgenommen:	1
	- Phosphate	2
	Alleinfuttermittel für Rinder, Schafe und Ziegen, ausgenommen:	10 ¹
	- Alleinfuttermittel für Kälber, Lämmer und Ziegenlämmer	1
	Andere Alleinfuttermittel	0,5
	Mineralfuttermittel	5 ²
	Andere Ergänzungsfuttermittel für Rinder, Schafe und Ziegen	0,5

¹ Alternativ können Mitgliedstaaten einen Cadmiumhöchstgehalt von 0,5 mg je 1 % Phosphor vorschreiben.

² Alternativ können Mitgliedstaaten einen Cadmiumhöchstgehalt von 0,75 mg je 1 % Phosphor vorschreiben.

10.2 Schwermetallgehalte von Futtermitteln und Wirtschaftsdüngern

Für die Schwermetallgehalte in Futtermitteln im europäischen Vergleich liegen nur wenige Daten vor. Im Rahmen der von der EU-Kommission geförderten konzentrierten Aktion AROMIS (Assessment and reduction of heavy metal input into agro-ecosystems) werden zur

Zeit Daten zu Schwermetallgehalten in Futtermitteln, mineralischen und organischen Düngemitteln aus allen Mitgliedsstaaten der EU und einigen weiteren Nicht-EU-Ländern zusammengestellt. In Tabelle 10-3 sind Schwermetallgehalte in Futtermitteln aus verschiedenen europäischen Ländern aufgeführt. Die Werte liegen im Bereich der im UBA-Projekt ermittelten Daten.

Tab. 10-3: Schwermetallgehalte in Futtermitteln im europäischen Vergleich (Ergebnisse der konzertierten Aktion AROMIS und Projektergebnisse)

Futtermittel	Land*	n	Cd	Cr	Cu mg kg ⁻¹ TM	Ni	Pb	Zn
Gras	D	23	0,14	0,61	10,7	2,18	1,22	39,8
	Fin	9 (Cr,Ni 200)	0,04	0,30	6,0	0,48	0,40	29,0
	I	k.A.	0,04	0,59	10,7	4,37	0,75	28,6
Getreide	D (Gerste)	14	0,03	0,10	4,2	0,09	0,15	26,6
	Fin (Gerste)	9 (Cr,Ni 2)	0,03	0,03	7,0	0,28	0,10	36,0
	Hu (k.A.)	k.A.	0,02	0,40	4,2	0,60	0,80	35,1
	I (Winterweizen)	k.A.	0,06	1,14	5,6	3,04	0,13	53,5
Mineraldünger Rinder	D	71 (Cd,Zn 70)	0,38	38,09	746,0	25,59	5,21	3484
	Fin	k.A.	0,50	7,00	400,0	3,80	1,4	3100
	Ir	k.A.	0,80	9,70	4335	15,30	8,3	4151
Ergänzungsfuttermittel Milchkühe (Energie/Protein)	D	31	0,08	1,85	20,4	3,59	0,89	141,7
	Ir	k.A.	0,20	1,70	58,0	1,20	3,80	110,0
Mischfutter Ferkelaufzucht	D	16 (Cu, Zn 19)	0,09	1,57	139,0	2,16	0,40	176,6
	F	k.A.	0,11	1,60	122,0	k.A.	0,16	191
Mischfutter Zuchtsauen	D	20 (Cu, Zn 22)	0,11	1,29	41,8	1,52	0,45	188,7
	F	k.A.	0,17	4,2	22	0,61	0,29	250

- D = Deutschland, Es = Spanien, F = Frankreich, Fin = Finnland, Hu = Ungarn, I = Italien, Ir = Irland
- k.A. = keine Angabe

Ein Vergleich der vorgeschlagenen Höchstgehalte für die unerwünschten Schwermetalle Cadmium und Blei in Futtermitteln im Richtlinienentwurf der Kommission mit den Ergebnissen des UBA-Projektes zeigt, dass die Vorgaben in jedem Fall eingehalten werden können (Tab. 10-2 und 10-3).

Die Konzentrationen von Schwermetallen in Wirtschaftsdüngern aus verschiedenen europäischen Ländern sind in Tabelle 10-4 dargestellt. Die Elementgehalte sind vergleichbar mit den im UBA-Projekt erhobenen Daten.

Tab. 10-4: Schwermetallgehalte in Wirtschaftsdüngern (ECKEL et al. 2001 und Projektergebnisse)

Wirtschaftsdünger	Land*	n	Cd	Cr	Cu (mg kg ⁻¹ TM)	Ni	Pb	Zn
Rindergülle	D	95	0,46 (0,23-0,92)	6,79 (2,24-48,22)	43,4 (4,8-96,0)	7,98 (3,10-46,24)	10,36 (2,23-44,88)	323,0 (141,4-1356)
	Hu	20	0,55 (0,10-2,63)	4,25 (0,29-19,54)	38,9 (10,71-105,7)	6,20 (0,64-11,01)	6,03 (0,9-37)	151,02 (46,8-691,0)
	Fin	k.A.	0,24 (0,12-0,62)	k.A. k.A.	47,0 k.A.	k.A. k.A.	3,73 (1,22-44,28)	275,0 k.A.
	Es	k.A.	1,00 k.A.	24,00 k.A.	33,0 k.A.	20,0 k.A.	14 k.A.	133,0 k.A.
Schweinegülle (Ferkel)	D	7	0,37 (0,20-0,60)	7,12 (2,00-14,00)	1165 (890-1500)	16,0 (5,2-20,8)	3,39 (1,2-5,9)	1884 (1431-2800)
	F	k.A.	0,30 k.A.	5,00 k.A.	742,0 k.A.	k.A. k.A.	4,15 k.A.	1886 k.A.
Schweinegülle (Zuchtsauen)	D	11	0,34 (0,21-0,68)	3,64 (0,79-7,20)	184,8 (77-330)	6,52 (3,12-9,90)	3,19 (1,82-5,23)	1122 (804-1500)
	F	k.A.	0,77 k.A.	13,3 k.A.	180 k.A.	8,6 k.A.	1,5 k.A.	1414 k.A.
Schweinegülle (alle Kategorien)	D	65	0,44 (0,10-0,70)	10,28 (1,46-25,00)	530,6 (67,1-1500)	11,45 (3,13-23,1)	5,68 (1,2-21,8)	1507 (582,6-2800)
	S	15	0,13 (0,06-0,26)	2,32 (1,17-3,43)	49,0 (20,0-139,0)	3,62 (2,09-6,22)	0,92 (0,49-1,81)	190,0 (140,0-280,0)
	Hu	3	1,00 k.A.	14,27 k.A.	k.A. k.A.	16,30 k.A.	25 k.A.	k.A. k.A.

- D = Deutschland, Es = Spanien, F = Frankreich, Fin = Finnland, Hu = Ungarn, S = Schweden

- k.A. = keine Angabe

- Werte in Klammern = ermittelte Wertespannen

In Bezug auf die Elemente Kupfer und Zink lassen die vorliegenden Daten zu Futtermitteln und Wirtschaftsdüngern den Schluss zu, dass die auf EU-Ebene diskutierte Herabsetzung der Höchstgehalte für die Supplementierung auch in den hier betrachteten Ländern eine wirksame Maßnahme zur Reduzierung der Schwermetallgehalte in Wirtschaftsdüngern wäre. Aufgrund der insgesamt jedoch geringen Datenverfügbarkeit zu Schwermetallgehalten in Futtermitteln und Wirtschaftsdüngern sind weitergehende Aussagen über Ausmaß und Ursachen der Schwermetallbelastung in Wirtschaftdüngern im europäischen Vergleich zum jetzigen Zeitpunkt nur eingeschränkt möglich.

11 Zusammenschau der Ergebnisse und Handlungsbedarf

Im Rahmen des Projektes wurden auf 20 Tierproduktionsbetrieben in Deutschland, davon ein ökologisch wirtschaftender Betrieb, die Ein- und Austräge der Elemente Kupfer und Zink sowie Blei, Cadmium, Chrom und Nickel für das System Stall bilanziert und Möglichkeiten zur Minderung der Schwermetallgehalte von Wirtschaftsdüngern tierischer Herkunft aufgezeigt und bewertet.

Von den o. g. Elementen sind Kupfer und Zink als Spurenelemente für die Aufrechterhaltung zahlreicher physiologischer Prozesse im Tier notwendig und müssen in ausreichender Menge mit dem Futter aufgenommen werden, um Störungen der Tiergesundheit und Leistungsminderungen zu vermeiden. Die Supplementierung von Spurenelementen als Futterzusatzstoffe ist futtermittelrechtlich geregelt.

Die vorliegenden Untersuchungen haben gezeigt, dass Futtermittel und Futterzusatzstoffe die wesentliche Eintragsquelle für Schwermetalle in Wirtschaftsdünger darstellen. Dies begründet sich darin, dass nur ein relativ geringer Elementanteil (i. d. R. weniger als 5 % der aufgenommenen Menge) im tierischen Organismus retiniert bzw. enteral absorbiert und der Rest über die Exkremeanteile ausgeschieden wird. Zwischen der Elementaufnahme und der Elementkonzentration in den Wirtschaftsdüngern besteht daher eine enge Beziehung.

Trotz ihrer i. d. R. geringen Schwermetallgehalte stellen wirtschaftseigene Futtermittel aufgrund ihrer großen Einsatzmasse, insbesondere auf Futterbaubetrieben, den Haupteintragspfad für Schwermetalle in Wirtschaftsdünger dar. Die zugekauften Ergänzungs- und Alleinfuttermittel weisen oftmals größere Schwermetallgehalte auf als wirtschaftseigene Futtermittel, was auf die Supplementierung dieser Futtermittel mit Spurenelementen zurückzuführen ist. Dies führt vor allem bei Veredelungsbetrieben zu bedeutsamen Schwermetalleinträgen; neben Kupfer und Zink werden nennenswerte Einträge für Chrom über Mineralfuttermittel festgestellt.

Neben Futtermitteln haben Desinfektionsmittel (z. B. kupferhaltige Klauenbäder) einen großen Anteil am Schwermetalleintrag in die Wirtschaftsdünger. Für den Bereich der Klauen-desinfektion sind gezielte Anwendungshinweise zu Einsatzmengen und Einsatzhäufigkeit kupfer- und zinkhaltiger Klauenbäder bzw. die Schaffung von Alternativpräparaten notwendig. Zu klären ist weiterhin, wie bzw. ob man durch Klauenpflege auf den Einsatz von Klauenbädern verzichten kann.

Demgegenüber kommt weiteren Eintragspfaden wie Korrosion und Abrieb von Stalleinrichtungen oder Lagerbehältern eine geringere und Baustoffen und Farben eine offenbar untergeordnete Bedeutung zu. Neuere Untersuchungen zeigen, dass durch den Einsatz von mineralischen Einstreumitteln, Güllezusatzstoffen oder Trägermaterialien von Fütterungsarzneimitteln Elementfrachten in den Stall und somit in die Wirtschaftsdünger gelangen können, die z. T. Größenordnungen erreichen, welche mit dem Eintrag über Futtermittel vergleichbar sind.

Die Ergebnisse der Bilanzierung zeigen, dass insbesondere für die Elemente Zink und Chrom die Austräge oftmals größer sind als die Einträge. Demnach müssen weitere, bisher nicht identifizierte Eintragspfade im Stall existieren. Eine abschließende Bewertung des Potenzials von Maßnahmen zur Eintragsbegrenzung kann daher nur erfolgen, wenn neben den

bereits genannten bekannten Quellen (Fütterung, Einstreu, Wasser, Desinfektionsmittel etc.) auch bisher nicht identifizierte Pfade in Betracht gezogen werden.

Im Rahmen der aktuellen Diskussion um die Schwermetallgehalte in Wirtschaftsdüngern bzw. dem Anteil der Tierhaltung am Gesamteintrag von Schwermetallen in Böden ist zu berücksichtigen, dass je nach Betriebsstruktur ein mehr oder weniger großer Elementanteil über wirtschaftseigenes Futter und Stroh zur Einstreu im Betriebskreislauf gehalten wird. Der interne und vom Landwirt nicht direkt beeinflussbare Schwermetallfluss hat besondere Bedeutung auf Betrieben mit einem hohen Anteil wirtschaftseigener Futtermittel. Allerdings kann durch qualitativ hochwertiges Grundfutter der Schwermetalleintrag in den Betrieb über energie- und proteinhaltige Zukauffuttermittel vermindert werden. Minderungsstrategien müssen an den Eintragspfaden, d. h. bereits mit Spurenelementen supplementierten Zukauffuttermitteln und sonstigen elementreichen Betriebsmitteln, wie z. B. Kupfervitriol zur Klauendesinfektion, ansetzen, wenn die Schwermetalleinträge in tierhaltende Betriebe substanzial verringert werden sollen. Gleichzeitig muss die optimale Versorgung landwirtschaftlicher Nutztiere gewährleistet bleiben.

Möglichkeiten zur Verminderung der Schwermetalleinträge über Futtermittel sind die Herabsetzung von Spurenelementgehalten, so z. B. die von der EU-Kommission im Juli 2003 beschlossene Verordnung zur Herabsetzung der Spurenelementgehalte als Futterzusatzstoffe (d. h. Verschärfung des EU-Futtermittelrechtes, EG 1334/2003) oder freiwillige Vereinbarungen zwischen Futtermittelindustrie und Landwirtschaft bzw. Selbstverpflichtungen. Neben der Absenkung der Cu- und Zn-Höchstgehalte können zusätzliche Maßnahmen, z. B. die zielgerichtete Auswahl von an die Fütterungssituation angepasste Cu- und Zn-Verbindungen (an-organisch/organisch) oder der Zusatz von Phytase, die Absenkung ergänzen bzw. eine weitere Minderung ermöglichen.

Bei Absenkung der derzeit rechtsgültigen Cu- und Zn-Höchstgehalte auf die o. g. von der EU-Kommission beschlossenen Werte sind für die meisten Tierarten und –kategorien keine negativen Auswirkungen auf Leistung und Tiergesundheit zu erwarten. Für eine weitere Herabsetzung der würde in der Praxis allerdings noch Bedarf für angewandte Forschung und Demonstration bestehen. Dies betrifft einerseits die Ferkelaufzucht, da Alternativen zu hohen Cu-Gaben, z. B. organische Säuren und ihre Salze, Pre- und Probiotika, die leistungssteigernde Wirkung von Kupfer nicht ausreichend kompensieren können. Andererseits sind in der Rinderhaltung vor dem Hintergrund der hohen Variabilität nativer Spurenelementgehalte in Futtermitteln (unterschiedliche Grundfuttersituation) und unterschiedlicher Bedarfsansprüche während der Mast bzw. Laktationsperiode die leistungsangepasste Fütterung, die standortbezogene und vor allem auch die betriebsindividuelle Supplementierung zu optimieren.

Im Hinblick auf die Reduktion der Spurenelementsupplementierung ist allerdings auch zu berücksichtigen, dass dies eine Vielzahl von Begleitmaßnahmen (z. B. betreffend die Fütterung, die Hygiene, das Stallklima usw.) erfordert. Neben Futtermitteln ist insbesondere auch der Bereich der Tierarzneimittel entsprechend zu berücksichtigen, um zu verhindern, dass eine Reduktion im Bereich der Fütterung durch einen vermehrten Einsatz elementhaltiger Fütterungsarzneimittel kompensiert wird.

Für direkt an den Eintragspfaden ansetzende, leicht umsetzbare und damit effiziente Minderungsmaßnahmen spricht weiterhin, dass eine Entsorgung schwermetallhaltiger Wirtschaftsdünger im Hinblick auf eine gesamt-ökologische Bewertung keine Alternative darstellt, da dies mit anderen negativen Folgen für die Umwelt wie Energieverbrauch, Rohstoffverbrauch

(z. B. Phosphat), Transportaufwand, usw. verbunden wäre. Im Sinne einer nachhaltigen Kreislaufwirtschaft sowie begrenzten fossilen Nährstoffvorkommen ist daher die Verwertung von Nährstoffen, Kalk (Sicherung der Basenversorgung) und organischer Substanz über die Wirtschaftsdünger zu gewährleisten. Verwertungsbeschränkungen von Wirtschaftsdüngern könnten z. B. auch dazu führen, dass cadmiumarme Wirtschaftsdünger durch cadmiumreiche Mineraldünger ersetzt würden.

Die im vorliegenden Projekt gewonnenen Ergebnisse beruhen auf einem einmaligen Screening von ausgewählten Betrieben. Die wesentlichen Eintragspfade und -mengen sowie die aus den Ergebnissen ableitbaren Zusammenhänge konnten bereits identifiziert und analysiert werden. Um die Gültigkeit dieser Erkenntnisse für die gesamte Tierproduktion in Deutschland bestätigen zu können, werden ergänzende, die Repräsentativität der Betriebsarten erweiternde Studien in der landwirtschaftlichen Praxis nachdrücklich empfohlen. Dabei wird ein abschließendes Monitoring aller Schwermetallflüsse von landwirtschaftlichen Unternehmen für dringend erforderlich gehalten. In folgenden Bereichen sollten Maßnahmen ergriffen werden:

- *Futtermittel*

Im Hinblick auf die Umsetzung von Minderungsmaßnahmen ist eine Ausweitung der Datenbasis zu Futtermitteln, d. h. Aufbau einer allgemein verfügbaren Datenbank für Spurenelemente in Futtermitteln und Verfügbarmachung vorhandener Daten erforderlich. Dies ist aufgrund der hohen Variabilität nativer Spurenelementgehalte in wirtschaftseigenen Futtermitteln insbesondere für regional erhobene Werte bedeutsam. Neben den essentiellen Spurenelementen, auf die sich die Untersuchungen in der Vergangenheit konzentrierten, sind in Zukunft auch andere Elemente systematisch zu erfassen.

- *Sonstige Betriebsmittel und Eintragsquellen*

In diesem Zusammenhang bedürfen neben Fütterungszusatzmitteln auch elementreiche Einstreumaterialien, Güllezusatzstoffe sowie die Korrosion und der Abrieb von Stalleinrichtungen, Baumaterialien und Farben einer systematischen Überprüfung. Darüber hinaus sind Reinigungs- und Desinfektionsmittel (z. B. für den Melkstand), die über die Gülle entsorgt werden, in die Untersuchungen einzubeziehen.

- *Wirtschaftsdünger*

Für Wirtschaftsdünger liegen viele Einzeldaten vor, die systematisch ergänzt, zusammengefasst und bewertet werden müssen.

- *Bilanzierung*

Um generell Aussagen über die Anreicherung von Schwermetallen in landwirtschaftlich genutzten Böden treffen zu können, reicht aufgrund des betriebsinternen Schwermetallflusses eine Bilanzierung für das System Stall nicht aus und erfordert eine systematische Bilanzierung auf Betriebsebene. Ein breit angelegtes Monitoring aller Schwermetallflüsse in landwirtschaftlichen Betrieben würde zudem die Identifizierung bzw. Quantifizierung bisher nicht ausreichend erfassende Ein- und Austragspfade erlauben.

Um eine Umsetzung aller im Projekt vorgeschlagenen Maßnahmen in die Praxis zu gewährleisten bedarf es daher systematischer Praxisversuche und Demonstrationsvorhaben bei Multiplikatoren (z. B. Versuchsanstalten, Pilotbetriebe), in Verbindung mit einer fachlichen Begleitung durch Beratung und angewandte Wissenschaft. Dies sichert auch die nötige Akzeptanz in der Landwirtschaft. Sowohl für Demonstrationsvorhaben als auch bei Monitoring-

programmen sind Erhebungen für unterschiedlich wirtschaftende Betriebe – konventionell / ökologisch – durchzuführen, da hierzu bisher kaum systematische Untersuchungen vorliegen und ein Systemvergleich auch nicht Gegenstand des vorliegenden Projektes war.

Die Einbindung der genannten Untersuchungen und Monitoringvorhaben in ein europäisches Netzwerk ist anzustreben.

12 Literatur

- ABRAHAMS, P.W.; THORNTON, J. (1994): The contamination of agricultural land in the metalliferous province of south-west England: implications to livestock. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 48: 125–137
- ALLOWAY, B.J. (1995): *Heavy Metals in Soils* (Ed.). Blackie Academic & Professional, London
- ALONSO, M.L.; BENEDITO, J.L.; MIRANDA, M.; CASTILLO, C.; HERNANDEZ, J.; SHORE, R.F. (2000 a): Arsenic, cadmium, lead, copper and zinc in cattle from Galicia, NW Spain. *Science of the total environment* 264 (2-3): 237-248
- ALONSO, M.L.; BENEDITO, J.L.; MIRANDA, M.; CASTILLO, C.; HERNANDEZ, J.; SHORE, R.F. (2000 b): Toxic and trace elements in liver, kidney and meat from cattle slaughtered in Galicia. *Food additives and contaminants* 17 (6): 447-457
- AMMERMAN, C.B.; BAKER, D.H.; LEWIS, A.J. (1995): *Bioavailability of nutrients for animals*. Academic Press, San Diego
- AMMERMAN, C.B.; MILLER, S.M.; FICK, K.R.; HANSARD, S.L. (1977): Contaminating elements in mineral supplements and their potential toxicity: a review. *J. Anim. Sci.* 44: 485–508
- ANONYM (2002): Richtlinie 2002/32/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 7. Mai 2002 über unerwünschte Stoffe in der Tierernährung. *Amtsbl. EG L140*: 10-21
- ANONYM (2000): täglich Mineralfutter. Hrsg. FV der Futtermittelindustrie e. V. Bonn: 41-42
- AUGUSTINI, C. (2000): Bundesanstalt für Fleischforschung, Kulmbach, schriftliche Mitteilung
- BELLOF, A.; WOLF, H.; TENHUMBERG, H.; KNÖPPLER, H.O. (1999): Zur Belastung von tragenden Junggrindern mit Schwermetallen unter besonderer Berücksichtigung von Blei. *VDLUFA-Schriftenreihe* 52: 365-368
- BERATUNG FEUERVERZINKEN (Hrsg.) (o. J.): Produktblatt Viehzucht und Viehhaltung. *Information Feuerverzinken* Nr. 6: 4 S.
- BLT, Bayerische Landesanstalt für Tierzucht, Grub (2002): schriftliche Mitteilung
- BMU UND BMVEL (2002): Gute Qualität und sichere Erträge - Wie sichern wir die langfristige Nutzbarkeit unserer landwirtschaftlichen Böden? Vorschlag zur Begrenzung des Eintrags von Schadstoffen bei der Düngung landwirtschaftlicher Nutzflächen. Als Download verfügbar unter http://www.bmu.de/download/b_konzept_020603.php
- BMVEL (2002): Jahresstatistik 2001 über die amtliche Futtermittelüberwachung in der Bundesrepublik Deutschland mit Erläuterungen. Kurzfassung <http://www.verbraucherministerium.de/landwirtschaft/futtermittel/statistik-2001-kurzfassung.htm>
- BMVEL (2001): Jahresstatistik 2000 über die amtliche Futtermittelüberwachung in der Bundesrepublik Deutschland mit Erläuterungen. Kurzfassung <http://www.verbraucherministerium.de/landwirtschaft/futtermittel/statistik-2000-kurzfassung.htm>
- BML, Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (1986): Zum Carry over von Cadmium. Schr.reihe Bundesmin. Ern., Landw., Forsten, Reihe A, Angewandte Wissenschaft, Heft 335, Landwirtschaftsverlag, Münster
- BML, Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (1981): Zum Carry over von Blei. Schr.reihe Bundesmin. Ern., Landw., Forsten, Reihe A, Angewandte Wissenschaft, Heft 254, Landwirtschaftsverlag, Münster
- BONNIER, P. (2002): Anforderungen an die landwirtschaftliche Verwertung von Klärschlamm und anderen Düngemitteln in den Niederlanden – Gründe und Konsequenzen. In: *Landwirtschaftliche Verwertung von Klärschlamm, Gülle und anderen Düngern unter Berücksichtigung des Umwelt- und Verbraucherschutzes*. KTBL-Schrift 404: 265-270
- BOYSEN, P. (1992): Schwermetalle und andere Schadstoffe in Düngemitteln. *UBA-Texte* 55/92: 54 S.

- BRÜGGERMANN, J. (1999): Erwünschte und unerwünschte Spurenelemente in Getreide, Kartoffeln, und Ölsaaten. – In: BUNDESMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN (Hrsg.): Kreisläufe erwünschter und unerwünschter Stoffe - ihre Bedeutung in der Nahrungskette. Schr.reihe Bundesmin. Ern., Landw., Forsten, Reihe A, Angewandte Wissenschaft 483: 32-51
- BRUNKE, H. 2001: Tier- und Umwelteffekte exzessiver Dosierungen von Kupfer und Zink in der Fütterung von Mastschweinen, Diplomarbeit an der Fachhochschule Osnabrück, 125 S.
- CHAMBERS, B.J.; NICHOLSON, F.A. (1998): Heavy Metal and Nutrient Balances for Pig and Poultry Production Systems. Final Report for MAFF Contract SP0119. MAFF, London
- CHAMBERS, B.J.; NICHOLSON, F.A. (2001): Heavy Metal and Nutrient Balances for Pig and Poultry Production Systems. Final Report for MAFF Contract SP0129. MAFF, London
- CRÖßMANN, G. (1999): Mengenfluß und Bilanz von Zink und Kupfer in der Landwirtschaft. – In: BUNDESMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN (Hrsg.): Kreisläufe erwünschter und unerwünschter Stoffe - ihre Bedeutung in der Nahrungskette. Schr.reihe Bundesmin. Ern., Landw., Forsten, Reihe A, Angewandte Wissenschaft 483: 52-66
- CVB, Centraal Veevoederbureau (2000): Veevoedertabel 2000
- DE BELIE, N.; RICHARDSON, M.; BRAAM, C.R.; SVENNERSTEDT, B.; LENEHAN, J.J.; SONCK, B. (2000 a): Durability of Building Materials and Components in the Agricultural Environment: Part I, The agricultural environment and timber structures. J. agric. Engng Res. 75: 225-241
- DE BELIE, N.; SONCK, B.; BRAAM, C.R.; LENEHAN, J.J.; SVENNERSTEDT, B., RICHARDSON, M. (2000 b): Durability of Building Materials and Components in the Agricultural Environment, Part II: Metal structures. J. agric. Engng Res. 75, 4: 333-347
- DE BELIE, N.; LENEHAN, J.J.; BRAAM, C.R.; SVENNERSTEDT, B.; RICHARDSON, M.; SONCK, B. (2000 c): Durability of Building Materials and Components in the Agricultural Environment, Part III: Concrete Structures. J. agric. Engng Res., 76: 3-16
- DEUTSCHER AUSSCHUSS FÜR STAHLBETON (1996): Umweltverträglichkeit zementgebundener Baustoffe, Sachstandsbericht, Heft 458, Berlin, Beuth Verlag
- DEUTSCHE BAUCHEMIE (1998): Holzschutzmittel und Umwelt - Sachstandsbericht
- DEUTSCHER WETTERDIENST (1997): Deutsches Meteorologisches Jahrbuch, Offenbach
- DLG (1973): Mineralstoffgehalte in Futtermitteln, Futterwerttabellen, Arbeiten der DLG, Bd. 62, DLG-Verlag, Frankfurt/M.
- DOBERSCHÜTZ, K.-D.; STOYKE, M.; LIPPERT, A.; TENNER, G. (1994): Untersuchungsbericht zum Forschungsprojekt „Gehalt an Schwermetallen (Cd, Pb, Hg und Ni) in ausgewählten Futtermitteln von Repräsentativstandorten des Landes Brandenburg und Wiederfindung im Tier im Verlauf von drei Jahren.“ Institut für Veterinär-Pharmakologie und Toxikologie GmbH, Bernau im Auftrag des Ministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten des Landes Brandenburg
- DÖHLER, H.; SCHULTHEISS, U.; ECKEL, H.; ROTH, U. (2002): Schwermetallgehalte von Wirtschaftsdüngern in Deutschland und der EU – Vergleich mit anderen Düngemitteln und Minderungsansätze. In: Landwirtschaftliche Verwertung von Klärschlamm, Gülle und anderen Düngern unter Berücksichtigung des Umwelt- und Verbraucherschutzes. KTBL-Schrift 404: 309-315
- DURST, L. (2002): Strategien zur Reduktion des Spurenelementeintrags in Wirtschaftsdünger - Probleme bei der praktischen Umsetzung. In: Fütterungsstrategien zur Verminderung von Spurenelementen/Schwermetallen in Wirtschaftsdüngern. KTBL-Schrift 410: 139-143
- ECKEL, B. (1997): Fütterungssäuren in der Ferkelfütterung. Krafftutter 1: 22-27
- ECKEL, H.; DÖHLER, H.; ROTH, U. (2001): Concerted Action „Assessment and reduction of heavy metal input into agro-ecosystems“. 1. Bericht an die Europäische Kommission (unveröffentlicht)
- EMFEMA (2002): Position of the European feedgrade Zinc oxide industry concerning Zinc bioavailability of zinc oxide in ruminants, pigs and poultry (in press)
- ENGLING, F.-P. (2000): Grassilage: Im Schnitt gute Futterwerte. Landwirtschaftsblatt Weser-Ems 41: 10-14, Landwirtschaftsverlag, Oldenburg
- ENGLING, F.-P. (1999 a): Milchviehfütterung: 99er Grassilage durchweg gut. Landwirtschaftsblatt Weser-Ems 40: 18-22, Landwirtschaftsverlag, Oldenburg

- ENGLING, F.-P. (1999 b): Maissilage: Stark schwankende Qualitäten. *Landwirtschaftsblatt Weser-Ems* 52: 19-21, Landwirtschaftsverlag, Oldenburg
- EUROPÄISCHE KOMMISSION (2003): Verordnung (EG) Nr. 1334/2003 der Kommission vom 25. Juli 2003 zur Änderung der Bedingungen für die Zulassung einer Reihe von zur Gruppe der Spurenelemente zählenden Futtermittelzusatzstoffen. *Amtsblatt Nr. L 187 vom 26/07/2003: 11-15*
- EUROPÄISCHE KOMMISSION (2002): Communication from the Commission to the Council, the European Parliament, the Economic and Social Committee and the Committee of the Regions: Towards a Thematic Strategy for Soil Protection (COM(2002) 179 final)
- EUROPEAN COMMISSION (1995): Certified Reference Material – Certificate of Analysis. Community Bureau of Reference
- FIEDLER, H.J.; RÖSLER, H.J. (1993): Spurenelemente in der Umwelt. Gustav Fischer Verlag, Jena
- FISCHER, K. (2002): Bundesanstalt für Fleischforschung, Kulmbach, schriftliche Mitteilung
- FLACHOWSKY, G. (1997): Bewertung organischer Spurenelementverbindungen in der Tierernährung. In: Mengen- und Spurenelemente, 17. Arbeitstagung, Jena: 599-619
- FLACHOWSKY, G. (2002): Zum Spurenelementbedarf landwirtschaftlicher Nutztiere. In: Fütterungsstrategien zur Verminderung von Spurenelementen/Schwermetallen in Wirtschaftsdüngern. KTBL-Schrift 410: 14-22
- FMG, Futtermittelgesetz (2000): Futtermittelgesetz vom 25. August 2000 (zuletzt geändert durch Artikel 188 der Verordnung vom 29. Oktober 2001. BGBl. I S. 2785). BGBl. I S. 1358
- FMV, Futtermittelverordnung (2000): Futtermittelverordnung vom 23. November 2000 (zuletzt geändert durch Artikel 2 Abs. 1 der Verordnung vom 21. Januar 2002. BGBl. I S.437). BGBl. I S. 1605
- GFE, GESELLSCHAFT FÜR ERNÄHRUNGSPHYSIOLOGIE (2001): Empfehlungen zur Energie- und Nährstoffversorgung von Milchkühen und Aufzuchtrindern, Nr. 8, DLG-Verlag, Frankfurt
- GFE, GESELLSCHAFT FÜR ERNÄHRUNGSPHYSIOLOGIE (1999): Empfehlungen zur Energie- und Nährstoffversorgung der Legehennen und Masthühner (Broiler), Nr. 7, DLG-Verlag, Frankfurt
- GFE, GESELLSCHAFT FÜR ERNÄHRUNGSPHYSIOLOGIE (1995): Energie- und Nährstoffbedarf landwirtschaftlicher Nutztiere, Empfehlungen zur Energie- und Nährstoffversorgung der Mastrinder, Nr. 6, DLG-Verlag, Frankfurt
- GFE, GESELLSCHAFT FÜR ERNÄHRUNGSPHYSIOLOGIE (1987): Energie- und Nährstoffbedarf landwirtschaftlicher Nutztiere. Nr. 4, Schweine, DLG-Verlag, Frankfurt
- GRAFE, A; WESTENDARP, H. (2002): Organisch gebundene Spurenelemente in der Schweinefütterung. In: Fütterungsstrategien zur Verminderung von Spurenelementen/Schwermetallen in Wirtschaftsdüngern. KTBL-Schrift 410: 105-111
- GRÜN, M. (2002): persönliche Mitteilung
- GUSTAFSON, G.M. (2000): Partitioning of nutrient and trace elements in feed among milk, faeces and urine by lactating dairy cows. *Acta Agric. Scand. Sect. A Animal Science* 50: 111-120
- HECHT, H. (1997): Belastung von Fleisch und Fleischerzeugnissen mit umweltbedingten Rückständen. *Mitteilungsblatt der Bundesanstalt für Fleischforschung Kulmbach* 36 (137): 230-325
- HECHT, H.; KUMPULAINEN, J. (1995): Essentielle und toxische Elemente in Fleisch und Eiern. *Mitteilungsblatt der Bundesanstalt für Fleischforschung Kulmbach* 34 (127): 1-107
- HERNANDEZ, J.; SHEARER, K. (2000): Efficacy of oxytetracycline for treatment of papillomatous digital dermatitis lesions on various anatomic locations in dairy cows. *Journal of American Veterinary Medical Association* 216: 1288-1290
- HOHBERG, I.; MÜLLER, C.; SCHIEBL, P. (1996): Umweltverträglichkeit zementgebundener Baustoffe – Zusammenfassung eines Sachstandsberichts des DafStb. *Beton* 46, Heft 3: 156-160
- HONIKEL, K.O. (1995): Inhaltsstoffe von Fleisch und Wurstwaren. *Mitteilungsblatt der Bundesanstalt für Fleischforschung, Kulmbach* 34 (130): 347-450
- HONIKEL, K.O. (2000): Daten zur Schwermetallkontamination von Nutz- und Wildtieren aus dem Datenbestand der Bundesanstalt für Fleischforschung, Kulmbach, schriftliche Mitteilung

- KAISER, T.; SCHWARZ, W.; FROST, M. (1998): Einträge von Stoffen in Böden – eine Abschätzung des Gefährdungspotentials. Logos Verlag, Berlin
- KERSTING, K.; WEHDE, J.; LEIMBROCK, W.; BREUER, D. (2002): Bestimmung des Chrom(IV)-Gehaltes in Zementen. Teil 3: Bestimmung des Chromgehaltes in der Zementsackware. Gefahrstoffe – Reinhaltung der Luft 62, Nr. 7/8: 303-306
- KIRCHGESSNER, M. (1997): Tierernährung. 10. Aufl., DLG-Verlag, Frankfurt/M., 582 S.
- KIRCHGESSNER, M.; ROTH, F.X. (1998): Ergotrope Effekte durch organische Säuren in der Ferkelaufzucht und Schweinemast. Übers. Tierernährung 16: 93-108
- KOFLER, J. (2001): Beziehungen zwischen Fütterung und Gliedmaßenerkrankungen bei Rindern - Diagnostik, Therapie und Prophylaxe. Bundesanstalt für alpenländische Landwirtschaft Gumpenstein, 28. Viehwirtschaftliche Fachtagung, 2.-3. Mai 2001: 75-92
- KOROTKEWITSCH, W.A. (1981): Untersuchungen zur Korrosion von Metallen in Anlagen der Tierproduktion und Verfahren des Korrosionsschutzes. Agrartechnik, 31. Jg., H. 6: 266-267
- KÖHLER, W.; SCHACHTEL, G.; VOLESKE, P. (2002): Biostatistik, 3. aktual. u. erweit. Auflage, Springer-Verlag Berlin, Heidelberg
- KTBL (2002 a): Landwirtschaftliche Verwertung von Klärschlamm, Gülle und anderen Düngern unter Berücksichtigung des Umwelt- und Verbraucherschutzes. Ktbl-Schrift 404. Ktbl, Darmstadt, 403 S.
- KTBL (2002 b): Fütterungsstrategien zur Verminderung von Spurenelementen/Schwermetallen in Wirtschaftsdüngern. Ktbl-Schrift 410. Ktbl, Darmstadt, 163 S.
- KTBL (2000): Organische/mineralische Abfälle und Wirtschaftsdünger (Datenbank, Version 1.0)
- KUHLMANN, K.; PASCHMANN, H. (1996): Umweltverträglicher Baustoff Beton von den Ausgangsstoffen bis zur Wiederverwertung. Sonderdruck aus Betonwerk + Fertigteil-Technik BFT, Heft 1
- KUPFER, M. (2000): Landwirtschaftsamt Hildburghausen, Versuchsstation Heßberg; schriftliche Mitteilung
- LEINWEBER, P. (1996): Schwermetallgehalte und Schwermetallbindungsvermögen der Böden im agrarischen Intensivgebiet Südoldenburg. In: Institut für Strukturforschung und Planung in agrarischen Intensivgebieten (ISPA) (Hrsg.), 94 S. Vechta.
- LBP (1997): Boden-Dauerbeobachtungs-Flächen (BDF), Teil 2, Stoffeinträge, Stoffausträge, Schwermetall-Bilanzierung verschiedener Betriebstypen, Bayrische Landesanstalt für Bodenkultur und Pflanzenbau Nr. 5, 190 S., Freising-München
- LUFA OLDENBURG (1997-2000): Ergebnisse der Routineuntersuchungen an Futtermitteln der Rinderhaltung (Spurenelemente); schriftliche Mitteilung
- LUFA OLDENBURG (1998-2001): Ergebnisse der Routineuntersuchungen an Futtermitteln der Schweine- und Geflügelhaltung (Spurenelemente); schriftliche Mitteilung
- LÜPPING, W. (2002): Spurenelementversorgung in der Wiederkäuerfütterung aus Sicht der Beratung. In: Fütterungsstrategien zur Verminderung von Spurenelementen/Schwermetallen in Wirtschaftsdüngern. Ktbl-Schrift 410: 85-88
- MARQUERING, B.; WESTENDARP, H.; HEITMANN, S. (1996 a): Kupferreduzierung bei Mastschweinen: Die Bodenbelastung verringern. DGS Magazin 14: 49-51
- MARQUERING, B.; WESTENDARP, H.; DIRKS, U. (1996 b): Kupferabsenkung bei Ferkeln: Umweltschonend füttern. DGS Magazin 5: 54-56
- MCBRIDE, M.B.; SPIERS, G. (2001): Trace element content of selected fertilizers and dairy manures a determined by ICP-MS. Commun. Soil Sci. Plant Anal., 32 (1&2): 139-156
- MENZI, H.; KESSLER, J. (1998): Heavy metal content of manures in Switzerland. RAMIRAN-conference, Rennes, May 1998
- MENZI, H.; HALDEMANN C.; KESSLER, J. (1993): Schwermetalle in den Hofdüngern – ein Thema mit Wissenslücken. Schweizerische landwirtschaftliche Forschung 32 (1/2): 159-167
- MEYER, A. (2002): Spurenelementversorgung in der Mastschweinefütterung aus Sicht der Beratung. In: Fütterungsstrategien zur Verminderung von Spurenelementen/Schwermetallen in Wirtschaftsdüngern. Ktbl-Schrift 410: 112-115

- MITTENDORF, J. (2000): Spurenelemente und Schwermetalle in Futtermittelrohstoffen. Tagungsband Landwirtschaft und Umwelt, 77-87, Linz.
- MOOLENAAR, S.W.; LEXMOND, T.M. (1998): Heavy-metal balances of agro-ecosystems in the Netherlands. *Netherlands Journal of Agricultural Science* 46 (2): 171-192
- MÜLLER, C.; EBERT, T. (2002): Schwermetall-Einträge durch Wirtschaftsdünger von 1986 bis heute - Ergebnisse aus dem bayerischen Boden-Dauerbeobachtungsprogramm. *VDLUFA-Kongressband 2002* (im Druck)
- NICHOLSON, F.A.; CHAMBERS, B.J.; WILLIAMS, J.R.; UNWIN, R.J. (1999): Heavy metal contents of livestock feeds and animal manures in England and Wales. *Bioresource Technology* 70: 23-31
- NIEDERSÄCHSISCHES UMWELTMINISTERIUM (1999): Cadmiumanreicherung in Böden - Einheitliche Bewertung von Düngemitteln. 126 S.
- NRC, NATIONAL RESEARCH COUNCIL (2001): Nutrient Requirements of Dairy Cattle. 7th Rev. Ed., National Academy Press, Washington D.C., 381 p.
- NRC, NATIONAL RESEARCH COUNCIL (1998): Nutrient requirements of Swine. National Academy Press, Washington D.C.
- NRC, NATIONAL RESEARCH COUNCIL (1996): Nutrient Requirements of Beef Cattle. National Academy Press, Washington D.C.
- NRC, NATIONAL RESEARCH COUNCIL (1994): Nutrient Requirements of Poultry. National Academy Press, Washington D.C.
- PABOEUF, F. ; NYS, Y.; CORLOUËR, A. (2000): Réduction des rejets en cuivre et en zinc chez le porc charcutier par la diminution de la supplémentation minérale. *Journées Rech. Porcine en France* 32 : 59-66
- PALLAUF, J. (1993): In: *Faustzahlen für Landwirtschaft und Gartenbau*, 12. Aufl., Hydro Agri Dülmen GmbH (Hrsg.), Verlagsunion Agrar, 618 S.
- PALLAUF, J.; RIMBACH, G. (1997): Nutritional significance of phytic acid and phytase. *Arch. Anim. Nutr.* 50: 301-319
- PECHER, H.-P.; MELOSCH, V. (2002): Einfluss reduzierter Cu- und Zn-Versorgung auf die Aufzuchtleistung von Ferkeln. In: *Fütterungsstrategien zur Verminderung von Spurenelementen/Schwermetallen in Wirtschaftsdüngern*. KTBL-Schrift 410: 98-101
- PETERSEN, U. (2002): Futtermittelrechtliche Vorschriften über Spurenelemente und unerwünschte Stoffe. In: *Fütterungsstrategien zur Verminderung von Spurenelementen/Schwermetallen in Wirtschaftsdüngern*. KTBL-Schrift 410: 36-41
- PUNTKE, S.; SCHNEIDER, M. (2001): Das Verhalten von Schwermetallen in Zement und Beton. *ZKG International* 54 (2): 106-113
- RAST, E.; SEIFERT, C. (1983): Korrosionsanalysen in Anlagen der Schweineproduktion. *Agrartechnik* 33, Heft 9: 416-418
- RAT DER EUROPÄISCHEN GEMEINSCHAFTEN (1970): Richtlinie 70/524/EWG des Rates vom 23. November 1970 über Zusatzstoffe in der Tierernährung
- RICHTER, G. (2002): Spurenelementversorgung in der Geflügelfütterung aus Sicht der Beratung. In: *Fütterungsstrategien zur Verminderung von Spurenelementen/Schwermetallen in Wirtschaftsdüngern*. KTBL-Schrift 410: 116-124
- ROTH, U.; SCHULTHEISS, U.; DÖHLER, H.; ECKEL, H.; KÜHNEN, V.; FRÜCHTENICHT, K.; UHLEIN, A. (2002): Spurenelement- bzw. Schwermetallgehalte in Futtermitteln und Wirtschaftsdüngern. In: *Fütterungsstrategien zur Verminderung von Spurenelementen/Schwermetallen in Wirtschaftsdüngern*. KTBL-Schrift 410: 50-58
- RUTZMOSER, K.; PERETZKI, F. (1997): Ableitung des Anfalles an Gülle, Rottemist und Jauche aus Mengen- und Nährstoffumsetzungen am Beispiel Milchkühe. *VDLUFA-Schriftenreihe* 46: 211-214
- SÄCHSISCHE LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT (2001): Informationsmaterial zu Futterzusatzstoffen, 65 S.

- SAUERBECK, D.; LÜBBEN, S. (1991 a): Zusammenfassung des BMFT-Verbundvorhabens „Auswirkungen von Siedlungsabfällen auf Böden, Bodenorganismen und Pflanzen.“ Berichte aus der ökologischen Forschung 6: 1-32. Forschungszentrum Jülich
- SAUERBECK, D.; LÜBBEN, S. (1991 b): Auswirkungen von Siedlungsabfällen auf Böden, Bodenorganismen und Pflanzen.“ Berichte aus der ökologischen Forschung 6 (Hrsg.), Forschungszentrum Jülich
- SAUERBECK, D. (1982): Welche Schwermetallgehalte in Pflanzen dürfen nicht überschritten werden, um Wachstumsbeeinträchtigungen zu vermeiden? Landw. Forsch. SH 39: 108-129
- SCHAAF, H., JANßen, E. (2000): Schwermetallgehalte von Wirtschafts- und Sekundärrohstoffdüngern sowie Schwermetallfrachten bei Anwendung nach den anerkannten Regeln der guten fachlichen Praxis. VDLUFA-Schriftenreihe 55/VI: 144-150
- SCHENKEL, H. (2002 a): Spurenelemente in Futtermitteln und Futterzusatzstoffen. In: Fütterungsstrategien zur Verminderung von Spurenelementen/Schwermetallen in Wirtschaftsdüngern. KTBL-Schrift 410: 9-13
- SCHENKEL, H. (2002 b): Stoffwechseleffekte und Umweltwirkungen einer gezielten Spurenelementsupplementierung. In: Fütterungsstrategien zur Verminderung von Spurenelementen/Schwermetallen in Wirtschaftsdüngern. KTBL-Schrift 410: 31-35
- SCHENKEL, H. (2002 c): Minderungsmöglichkeiten und Konsequenzen für Produktqualität, Leistung, Gesundheit und Umwelt. In: Fütterungsstrategien zur Verminderung von Spurenelementen/Schwermetallen in Wirtschaftsdüngern. KTBL-Schrift 410: 131-138
- SCHENKEL, H. (2000): Einsatz organischer Spurenelementverbindungen zur Versorgung landwirtschaftlicher Nutztiere. In: Themen zur Tierernährung, Deutsche Vilomix: 29-45
- SCHENKEL, H.; BREUER, J. (2002): Untersuchungen zu nicht fütterungsbedingten Spurenelementeinträgen in die Tierhaltung. In: ANKE, M., MÜLLER, R., SCHÄFER, U., STOEPPLER, M. (Hrsg.): Mengen- und Spurenelemente, 21. Arbeitstagung, Jena
- SCHENKEL, H.; FLACHOWSKY, G. (2002): Zur Spurenelementversorgung landwirtschaftlicher Nutztiere. Kraftfutter feed magazine, Heft 9: 318-329
- SCHENKEL, H.; FLACHOWSKY, G. (2000): Zur Diskussion um Höchstwerte für Spurenelemente aus Sicht der Tierernährung. In: Mengen- und Spurenelemente, 20. Arbeitstagung, Jena: 1018-1033
- SCHENKEL, H.; FLACHOWSKY, G. (1999): Bewertung zulässiger Spurenelementhöchstgehalte aus der Sicht der Tierernährung. In: Kreisläufe erwünschter und unerwünschter Stoffe – ihre Bedeutung in der Nahrungskette. Schr.reihe Bundesmin. Ern., Landw., Forsten. Angewandte Wissenschaft 483: 67-95
- SCHEUNERT, A.; TRAUTMANN, A. (1987): Lehrbuch der Veterinär-Physiologie. Verl. P. Parey, Berlin-Hamburg
- SCHINNER, F.; SONNLEITNER, R. (1997): Bodenökologie: Mikrobiologie und Bodenenzymatik. Band 3, Springer Verlag, Berlin
- SCHOKNECHT, U.; GUNSCHERA, J.; MARX, H.-N.; MARX, G.; PEYLA, A.; SCHWARZ, G. (1998): Holschutzmittelanalytik – Daten- und Literaturzusammenstellung für Wirkstoffe in geprüften Holzschutzmitteln. Hrsg.: Bundesanstalt für Materialforschung und –prüfung (BAM), Forschungsbericht 225, 156 S.
- SCHRECK, W.; STOCKMANN, G. (1981): Korrosionsverhalten an tragenden Stahlkonstruktionen in Tierproduktionsanlagen – Maßnahmen zum Wiederholschutz. Agrartechnik 31, Heft 2: 76-78, 89
- SCHULTHEISS, U.; DÖHLER, H.; SCHENKEL, H. (2002): Möglichkeiten der Fütterungspraxis zur Verminderung von Spurenelementen/Schwermetallen in Wirtschaftsdüngern. In: Fütterungsstrategien zur Verminderung von Spurenelementen/Schwermetallen in Wirtschaftsdüngern. KTBL-Schrift 410: 149-162
- SEVERIN, K.; KÖSTER, W.; MATTER, Y. (1991): Zufuhr von anorganischen Schadstoffen in Agrarökosysteme mit mineralischen Düngemitteln, Wirtschaftsdüngern, Klärschlämmen und Komposten. VDLUFA-Schriftenreihe 32: 387-391
- SOMMERFELD, I. (2002): Deutscher Raiffeisenverband: Datenbank „Unerwünschte Stoffe“ unter besonderer Berücksichtigung von Cd und Pb. In: Fütterungsstrategien zur Verminderung von Spurenelementen/Schwermetallen in Wirtschaftsdüngern. KTBL-Schrift 410: 49
- SOUCI, S.W.; FACHMANN, W.; KRAUT, H. (2000): Die Zusammensetzung der Lebensmittel; Nährwert-Tabellen. medpharm, Stuttgart

- SPIEKERS, H.; JANKNECHT, G.; LÜPPING, W.; POTTAST, V. (1991): Erhebungen über Spurenelementgehalte in Grund- und Kraftfutter für Milchrinder. Das wirtschaftseigene Futter 37, Heft 1+2: 55-67
- SPRUNG, S.; RECHENBERG, W. (1994): Schwermetallgehalte im Klinker und im Zement. Sonderdruck ZKG International, Heft 5: 258-263
- SÜLFLOHN, K. (2000): Grüne Broschüre 2000. Das geltende Futtermittelrecht mit Typenliste für Einzel- und Mischfuttermittel. Stand August 2000. Agrar Service Bonn
- STAHL-INFORMATIONS-ZENTRUM (1990): Korrosionsverhalten von feuerverzinktem Stahl. Merkblatt Nr. 400, 5. Aufl., 27 S.
- STATISTISCHES BUNDESAMT (2000): Land- und Forstwirtschaft, Fischerei. Viehbestand und tierische Erzeugung. Fachserie 3/Reihe 4, Wiesbaden, 80 S.
- UBA, UMWELTBUNDESAMT (2001): Grundsätze und Maßnahmen für eine vorsorgeorientierte Begrenzung von Schadstoffeinträgen in landbaulich genutzten Böden. Texte 59/01, 126 S.
- UBA, UMWELTBUNDESAMT (1999): Schwermetalltransfer Boden-Pflanze. Texte 11/99, 213 S.
- UBA, UMWELTBUNDESAMT (1998): Kriterien für die Erarbeitung von Immissionsminderungszielen zum Schutz der Böden und Abschätzung der langfristigen räumlichen Auswirkungen anthropogener Stoffeinträge auf die Bodenfunktion. Texte 19/98, 251 S.
- UIHLEIN, A. (2001): Stallbilanzen von Schwermetallen am Beispiel ausgewählter Milchviehbetriebe. Diplomarbeit Universität Bayreuth, 64 S.
- UMK-AMK-LABO-AG (2000): Cadmiumanreicherung in Böden/Einheitliche Bewertung von Düngemitteln. Bericht für die 26. ACK der UMK am 11./12.10.2000, 49 S.
- UNDERWOOD, E-J.; SUTTLE, N.F. (1999): The mineral nutrition of livestock. 3rd Ed. CABI Publ. Wallingford
- VDI, VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE (2000): Richtlinie 3474 Emissionsminderung, Tierhaltung Geruchsstoffe. Entwurfsstand 09/2000
- VDI, VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE (1991): Maximale Immissionswerte für Nickel zum Schutz der landwirtschaftlichen Nutztiere. VDI 2310 Blatt 30
- VDLUFA, Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (2001): Nachhaltige Verwertung von Klärschlämmen, Komposten und Wirtschaftsdüngern in der landwirtschaftlichen Pflanzenproduktion. Grundlagen zur Beurteilung möglicher Risiken. Fakten, sachlogische Zusammenhänge und Positionen. VDLUFA, Darmstadt
- VEMMER, H.; PETERSEN, U. (1980): Untersuchungen über den Einfluß von Bleizulagen auf die Entwicklung von Mastschweinen und auf die Rückstandsbildung in verschiedenen Geweben. 2. Mitteilung: Bleirückstände in verschiedenen Geweben. Landw. Forschung 33, H. 4: 424-435
- VEMMER, H.; PETERSEN, U. (1979): Untersuchungen über den Einfluß steigender Cadmiumzulagen auf die Entwicklung von Mastschweinen und auf die Rückstandsbildung in verschiedenen Geweben. 1. Mitteilung: Cadmiumrückstände in verschiedenen Geweben. Landw. Forschung 32, H. 3: 303-315
- VEMMER, H.; PETERSEN, U. (1977): Blei- und Cadmiumgehalte in verschiedenen Geweben von Mastschweinen bei normaler Fütterung. Landw. Forschung, Sonderheft 34/I: 62-71
- VFT, Verein Futtermitteltest e.V. (1996): Spurenelemente im Milchleistungs- und im Rindermastfutter; schriftliche Mitteilung
- WEINREICH, O. (2002): Deutscher Verband Tiernahrung: Datenbank Futtermittel. In: Fütterungsstrategien zur Verminderung von Spurenelementen/Schwermetallen in Wirtschaftsdüngern. KTBL-Schrift 410: 42-48
- WEINREICH, O.; KRÜSKEN, B.; RADEWAHN, P. (1999): Futtermittelrechtliche Vorschriften: Textsammlung mit Erläuterungen. 11. Aufl. – Bergen/Dumme (Buchedition Agri Media), 246 S.
- WILCKE, W.; DÖHLER, H. (1995): Schwermetalle in der Landwirtschaft. KTBL-Arbeitspapier 217. KTBL, Darmstadt, 98 S.
- WINDISCH, W. (2002): Organische contra anorganische Zink- und Kupferverbindungen in der Schweinfütterung. In: Fütterungsstrategien zur Verminderung von Spurenelementen/Schwermetallen in Wirtschaftsdüngern. KTBL-Schrift 410: 89-97

WINDISCH, W., KICHESSNER, M. (1995): Zum Effekt von Phytase auf die scheinbare Verdaulichkeit und Gesamtverwertung von Eisen, Kupfer, Zink und Mangan bei abgestufter Ca-Versorgung in der Ferkelaufzucht und in der Broilermast. Agribiol. Res. 49: 23-29

WINDISCH, W.; ROTH, F.X. (2002): Leistungsfördernde Wirksamkeit überhöhter Kupfermengen im Ferkelfutter: Einfluss der Menge und chemischen Verbindung des Kupfers sowie anderer leistungsfördernder Futterzusätze. In: Fütterungsstrategien zur Verminderung von Spurenelementen/Schwermetallen in Wirtschaftsdüngern. KTBL-Schrift 410: 144-148

WINDISCH, W.; ROTH, F.X. (2000): Tier- und Umwelteffekte exzessiver Dosierungen von Zink und Kupfer in der Schweinefütterung. In: 6. Tagung „Schweine- und Geflügelernährung“. RODEHUTSCORD et al. (Hrsg.), Fachverlag Köhler, Gießen, ISBN 3-934229-76-X: 84-89

Anhang

Anhangtabellen

- Anhangtab. 2-1: Betriebsspiegel Teilprojekt Bonn, Betriebe 1 bis 5
- Anhangtab. 2-2: Betriebsspiegel Teilprojekt Bonn, Betriebe 6 bis 9
- Anhangtab. 2-3: Betriebsspiegel Teilprojekt Bayreuth, Betriebe 1 bis 4
- Anhangtab. 2-4: Betriebsspiegel Teilprojekt Oldenburg, Betrieb 1
- Anhangtab. 2-5: Betriebsspiegel Teilprojekt Oldenburg, Betriebe 2, 3, 4a und 4b
- Anhangtab. 2-6: Betriebsspiegel Teilprojekt Oldenburg, Betriebe 5a, 5b, 6 und 7
- Anhangtab. 2-7: Nachweisgrenzen für Schwermetalle in Futtermitteln und Wirtschaftsdüngern
- Anhangtab. 2-8: Nachweisgrenzen für Schwermetalle in Wasser und Niederschlag
- Anhangtab. 2-9: Schwermetallgehalte der Proben der Ringuntersuchung: Messwerte (Doppelanalyse) der beteiligten Institute
- Anhangtab. 2-10: Schwermetallgehalte der Referenzproben: Messwerte und Angaben (Teilprojekt Bayreuth, UHLEIN 2001)
- Anhangtab. 2-11: Schwermetallgehalte verschiedener Schlachtkörperproben
- Anhangtab. 2-12: Standardwerte für mittlere Einzeltiermassen aus VDI-Richtlinie 3474 (VDI 2000, Entwurf)
- Anhangtab. 3-1: Schwermetallflüsse, Betrieb 1
- Anhangtab. 3-2: Schwermetallflüsse, Betrieb 2
- Anhangtab. 3-3: Schwermetallflüsse, Betrieb 3
- Anhangtab. 3-4: Schwermetallflüsse, Betrieb 4
- Anhangtab. 3-5: Schwermetallflüsse, Betrieb 6
- Anhangtab. 3-6: Schwermetallflüsse, Betrieb 7
- Anhangtab. 4-1: Schwermetallflüsse, Betrieb 1
- Anhangtab. 4-2: Schwermetallflüsse, Betrieb 2
- Anhangtab. 4-3: Schwermetallflüsse, Betrieb 3
- Anhangtab. 4-4: Schwermetallflüsse, Betrieb 4
- Anhangtab. 4-5: Anteile der Schwermetalleinträge außerhalb des Stalls an den Gesamt-Austrägen (Mittelwert aller Betriebe \pm Fehler des Mittelwerts)
- Anhangtab. 4-6: Schwermetallgehalte der Proben zu Futteraufbereitung (Schrotten; \pm Fehler des Mittelwerts)
- Anhangtab. 5-1: Zusammensetzung der Mischsilage (TMR), Betrieb 1 (Milchviehhaltung; Anteile auf Basis Frischmasse)
- Anhangtab. 5-2: Gewichtszuwachs Mastschweinebestand, Betrieb 2 (Mastschweinehaltung)
- Anhangtab. 5-3: Mengenangaben pro Jahr und errechnete Kennzahlen, Betrieb 2 (Mastschweinehaltung)
- Anhangtab. 5-4: Gewichtszuwachs Mastschweinebestand, Betrieb 3 (Mastschweinehaltung)
- Anhangtab. 5-5: Mengenangaben pro Jahr und errechnete Kennzahlen, Betrieb 3 (Mastschweinehaltung)
- Anhangtab. 5-6: Eingesetzte Desinfektions- und Tierarzneimittel, Betrieb 3 (Mastschweinehaltung)
- Anhangtab. 5-7: Angaben zum Tierbestand, Betrieb 4a (Zuchtsauen, Ferkelerzeugung)
- Anhangtab. 5-8: Mengenangaben, Betrieb 4a (Zuchtsauen, Ferkelerzeugung)
- Anhangtab. 5-9: Mengenangaben und errechnete Kennzahlen, Betrieb 6 (Legehennenhaltung)
- Anhangtab. 5-10: Mengenangaben und errechnete Kennzahlen, Betrieb 7 (Legehennenhaltung)

Anhangabbildungen

Anhangabb. 2-1: Gemessene Schwermetallgehalte der Referenzprobe für Pflanzenmaterial (Rye Grass) mit den zertifizierten Angaben (gemessene Werte in % der angegebenen Mittelwerte; Fehlerbalken sind Standardabweichungen; Teilprojekt Bayreuth, UIHLEIN 2001)

Anhangabb. 4-1: C-, N- und S-Bilanzen der Ställe (Einträge als 100 % angenommen, * = signifikanter Unterschied; Fehlerbalken sind Fehler der Mittelwerte)

Anhang - Material und Methoden

Anhangtab. 2-1: Betriebsspiegel Teilprojekt Bonn, Betriebe 1 bis 5

Betrieb	1	2	3	4	5
Art des Betriebes	Futter-/Marktfruchtbau	Futter-/Marktfruchtbau; Bioland-VO	Futterbau	Futter-/Marktfruchtbau	Futter-/Marktfruchtbau
Naturräumliche Lage	Niederrheinische Bucht	Niederrheinische Bucht	Bergisches Land	Münsterland	Weserbergland
LF (ha)	136,5	57	41,5	55	97
Ackerland	95	41	-	55	56
Grünland	41,5	16	41,5	-	41
Tierhaltung	Milchvieh, Kälberaufzucht, Mastbullen (auslaufend) 184 Kühe inkl. Kalbinnen, 27 Kälber, 10 Mastbullen, 1 Zuchtbulle	Milchvieh mit Nachzucht 34 Kühe inkl. Kalbinnen, 23 Fresser und Färseen bis zur 1. Kalbung, 11 Kälber	Milchvieh mit Nachzucht 57 Kühe inkl. Kalbinnen, 23 Fresser und Färseen bis zur 1. Kalbung, 15 Kälber	Bullenmast 270 Mastplätze (180-630 kg)	Mutterkühe mit Nachzucht 103 Kühe 72 Kälber 28 Absetzer 30 Färseen
GV gesamt GV ha⁻¹	203 1,5	42 0,9	73 1,9	270 4,9	172 1,8
Leistungsparameter abgelieferte Milch (kg a⁻¹) durchschnittliche Milchleistung bzw. erreichtes LG Zeit⁻¹	1817000 9400 kg Milch a ⁻¹	231000 6700 kg Milch a ⁻¹	467828 8200 kg Milch a ⁻¹	- 630 kg in 345 Masttagen	- Absetzen Kälber mit 8-11 Mon. u. 250-350 kg LG
Futter/Fütterung	TMR, Ganzjahresstallhaltung (Ausnahme: Trockensteher, im Sommer: Weidegang)	Handvorlage der Futtermittel, Sommer: zusätzlich Weidegang	Grundfutter und Feuchtfutterkomponenten via Verteilwagen, proteinhaltige Ergänzungs- und Mineralfutter über Handvorlage, Transponderfütterung; Sommer: zusätzlich Weidegang	TMR	Handvorlage der Futtermittel; Sommer: Weidegang
Aufstellung	Boxenlaufstall mit Betonspaltenboden, Einstreu mit Sägemehl, Kälberstall und Abkalbebox mit Stroheinstreu	Boxenlaufstall mit planbefestigten Betonflächen für Tretmist; Kälber- und Jungviehstall mit Stroheinstreu	Boxenlaufstall mit Betonspaltenboden, Einstreu mit Sägemehl; Jungvieh im Laufstall mit Vollspalten aus Beton, Kälberstall mit Stroheinstreu	Laufstall mit Vollspalten aus Beton	Kühe und Kälber: Tiefstreu-Laufstall mit Stroheinstreu; Jungvieh: Laufstall mit Vollspalten aus Beton

TMR = Totale Mischnahrung

LG = Lebendgewicht

Anhangtab. 2-2: Betriebsspiegel Teilprojekt Bonn, Betriebe 6 bis 9

Betrieb	6	7	8	9
Art des Betriebes	Veredelung/ Marktfruchtbau	Veredelung/ Marktfruchtbau	Marktfruchtbau/ Veredelung	Veredelung
Naturräumliche Lage	Niederrheinische Bucht	Niederrheinische Bucht	Östl. Westfalen	Niederrheinische Bucht
LF (ha)	43	60	56,25	39,5
Ackerland	43	60	53,25	32,5
Grünland	-	-	3	7
Tierhaltung	Ferkelerzeugung, 124 Sauen + 9 leere Jungsaufen 1 Eber 180 säugende Ferkel 440 abgesetzte Ferkel	Ferkelerzeugung, Aufzucht und Mast im geschlossenen System 70 Sauen 1 Eber 360 Mastplätze	Mastschweine 470 Mastplätze	Putenmast 20800 Mastplätze
Remontierungsrate Sauen	ca. 34 %	ca. 30 %	-	-
Ferkel pro Sau und Jahr	Ø 22	Ø 22	-	-
GV gesamt	57,7	80,5	60	252
GV ha⁻¹	1,3	1,3	1,1	6,8 *
Dauer und Endgewicht der Haltungsphasen	Saugferkel: 3,5 Wo. bis ca. 9 kg <u>Aufzuchtferkel</u> : 5,5 Wo. bis ca. 30 kg (Endmast bis ca. 100 kg, sofern Aufzuchtferkel nicht verkaufbar; ca. 65 Stück/a)	<u>Saugferkel</u> : 5 Wo. bis ca. 12 kg <u>Aufzuchtferkel</u> : 5,5 Wo. bis ca. 35 kg <u>Aufstellung Vormast</u> : 5 Wo. bis ca. 55-60 kg <u>Aufstellung Endmast</u> : 8 Wo. bis ca. 100 kg	<u>Aufstellung</u> : 25-30 kg <u>Ausstellung</u> : nach ca. 125 Tagen mit ca. 105 kg	<u>Aufstellung als</u> Eintagsküken <u>Ausstellung</u> : Hähne: ca. 19 kg (19-20 Wochen) Hennen: ca. 9,5 kg (15-16 Wochen)
Futter/Fütterung	zugekauftes Misch- futter (Trocken- fütterung)	Eigenfuttermischung (Trockenfütterung); Zukauf: Mineralfutter und proteinhaltige Ergänzungsfuttermittel	zugekauftes Misch- futter (Breifütterung)	zugekauftes Misch- futter
Aufstellung	<u>Ställe mit Beton- bzw. Gitterspalten- böden aus Metall:</u> <u>säugende Sauen:</u> Buchten mit Ferkelschutzkorb <u>Aufzuchtferkel:</u> Liegebuchten <u>Ställe mit</u> <u>Stroheinstreu:</u> <u>leere + tragende</u> <u>Sauen:</u> Kastenaufstellung mit rückwärtigem Laufgang <u>Endmast:</u> Gruppenliegebucht	<u>Ställe mit</u> <u>Stroheinstreu</u> <u>säugende Sauen:</u> Buchten mit Ferkelschutzkorb <u>güste Sauen:</u> Kastenstände mit rückwärtigem Laufgang <u>Aufzuchtferkel, Vor-</u> <u>und Endmast:</u> Liegebuchten	Laufstall Teil- und Vollspalten aus Beton	planbefestigte Betonböden mit Hobelspan- und Stroheinstreu

* feste Abnahmeverträge für den anfallenden Putenmist

Anhang - Material und Methoden

Anhangtab. 2-3: Betriebsspiegel Teilprojekt Bayreuth, Betriebe 1 bis 4

Betrieb	1	2	3	4
Art des Betriebes	Futterbau	Futterbau	Futterbau	Futterbau
Naturräumliche Lage	Oberfranken	Oberfranken	Südl. Thüringer Wald	Südl. Thüringer Wald
LF (ha)	46	42	2417	4405
Ackerland	30	25	2156	2556
Grünland	16	17	261	1849
Tierhaltung	Milchvieh mit Nachzucht 60 Kühe	Milchvieh mit Nachzucht, Bullenmast 40 Kühe	Milchvieh mit Nachzucht 600 Kühe	Milchvieh mit Nachzucht, Schweinemast 2000 Kühe
GV gesamt	72	48	720	2400
GV ha⁻¹	1,6	1,1	0,3	0,5
Leistungsparameter abgelieferte Milch (kg a⁻¹)	270000	200000	3375000	12000000
durchschnittliche Milchleistung (kg a⁻¹)	4500	5000	5625	6000
Futter/Fütterung	Mais- und Grassilage, Getreideschrot, Heu, Ganzjahresstallhaltung			
Aufstellung	Boxenlaufstall mit Betonpalten	Anbindestall mit Gitterrosten	Boxenlaufstall mit Gusseisenspaltenboden	Boxenlaufstall mit Betonpalten

Anhangtab. 2-4: Betriebsspiegel Teilprojekt Oldenburg, Betrieb 1

Betrieb	1	
	1999/2000	2000/2001
Art des Betriebes	Futterbau	Futterbau
Naturräumliche Lage	Brackmarsch	Brackmarsch
LF (ha)	69,8	63,8
Ackerland	--	--
Grünland	67,47	61,5
Tierhaltung	Milchkühe, Kälberaufzucht, Zuchtfärse, Zuchtrinder, Mastbulle	Milchkühe, Kälberaufzucht, Zuchtfärse, Zuchtrinder, Mastbulle
GV gesamt	119 GV	118 GV
GV ha⁻¹	1,7	1,8
Leistungsparameter Abgelieferte Milch (kg a⁻¹)	791842	764105
durchschnittl. Milchleistung (kg a⁻¹)	9316	8990
Futter/Fütterung	<u>Sommer</u> : ganztägig Weidegang <u>Winter</u> : Teil TMR	<u>Sommer</u> : ganztägig Weidegang <u>Winter</u> : Teil TMR
Aufstellung	Kühe: Liegeboxenlaufstall, planbefest./Einstreu Sägemehl Rinder/Bullen: Vollspaltenboden Kälber: Einstreu Stroh	Kühe: Liegeboxenlaufstall, planbefest./Einstreu Sägemehl Rinder/Bullen: Vollspaltenboden Kälber: Einstreu Stroh

Anhang - Material und Methoden

Anhangtab. 2-5: Betriebsspiegel Teilprojekt Oldenburg, Betriebe 2, 3, 4a und 4b

Betrieb	2	3	4a	4b
Art des Betriebes	Veredelung	Veredelung/Marktfruchtbau	Veredelung	Veredelung
Naturräumliche Lage	Süd-Oldenburg	Geestrücken/Endmoräne	Wildeshauser Geest	Wildeshauser Geest
LF (ha)	29,3	84 ha	84 ha	84 ha
Ackerland	29,3	84 ha	84 ha	84 ha
Grünland	--	--	--	--
Tierhaltung	Schweinemast 340 Mastschweine	Ferkelerzeugung mit teilw. Aufzucht, Schweinemast ca. 410 Mastschweine	Ferkelerzeugung 216 Sauen + 3 Eber	Ferkelaufzucht 533 Tiere
GV gesamt * GV ha⁻¹	53 **	60 **	65 **	17 **
Leistungsparameter Dauer und Endgewicht der Haltungsphasen	Einstallung: ca. 40 kg Ausstellung: nach 3 Mon. mit ca. 116 kg	Einstallung: 28-33 kg Ausstellung: 115-118 kg	Einstallung: ca. 90 kg Ausstellung: je nach Leistung bzw. nach Ø 2,2 Jahren	Einstallung: 8-9 kg Ausstellung: ca. 28 kg
Futter/Fütterung	Eigenmischung und Mischfutter (Zukauf)	Mischfutter (Zukauf)	Mischfutter (Zukauf)	Mischfutter (Zukauf)
Aufstellung	Vollspaltenboden (Beton)	Vollspaltenboden (Beton)	Betonspaltenboden (strohlos)	Kunststoffboden (strohlos)

* jeweils berechnet aus dem Produktionsverfahren (1 GV = 500 kg Lebendmasse)

** es wurde in den Betrieben nur der in die Untersuchung einbezogene Stall erfasst

Anhangtab. 2-6: Betriebsspiegel Teilprojekt Oldenburg, Betriebe 5a, 5b, 6 und 7

Betrieb	5a	5b	6	7
Art des Betriebes	Veredelung	Veredelung	Veredelung	Veredelung
Naturräumliche Lage	Wildeshauser Geest	Wildeshauser Geest	Ausläufer Wiehengebirge	Weser-Ems
LF (ha)	258 ha	258 ha	1,75 ha (nur Stallgebäude mit Hof)	240 ha Flächennachweis
Ackerland	258 ha	258 ha	--	240 ha
Grünland	--	--	--	--
Tierhaltung	17.000 Masthähnchen	11.600 Mastputen	Legehennen 81.596 Stallplätze	Legehennen-Lohnhaltung 32.060 Hennen
GV gesamt * GV/ha	23 **	33 **	279 **	112 **
Dauer und Endgewicht der Haltungsphasen	Einstallung: Eintagsküken Ausstellung: ca. 25 % mit 1.500 g ca. 75 % mit 2.000 g 1 Durchgang = 49 Tage	Einstallung: Eintagsküken Ausstellung: Hennen mit ca. 10 kg Hähne mit ca. 21 kg	Einstallung: 1.600 g Ausstellung: 1.900 g Legeperiode 390 Tage, ca. 290 Eier je Huhn und Jahr	Einstallung: 1.375 g Ausstellung: 1.938 g Legeperiode: 385 Tage, ca. 290 Eier je Huhn und Jahr
Futter/Fütterung	Mischfutter (Zukauf)	Mischfutter (Zukauf)	Mischfutter (Zukauf)	Mischfutter (Zukauf)
Aufstellung	planbefestigte Betonböden mit Stroheinstreu		Käfighaltung	Käfighaltung

* jeweils berechnet aus dem Produktionsverfahren (1 GV = 500 kg Lebendmasse)

** es wurde in den Betrieben nur der in die Untersuchung einbezogene Stall erfasst

Anhang - Material und Methoden

Anhangtab. 2-7: Nachweisgrenzen für Schwermetalle in Futtermitteln und Wirtschaftsdüngern

Teilprojekt	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
mg kg ⁻¹								
Bonn	-	0,05*	0,025*	1**	-	0,15*	0,075*	4,1**
Bayreuth ¹⁾	-	0,001*	0,125*	0,125*	-	0,25*	0,25*	12,5**
Oldenburg ²⁾	0,05	0,05	0,1	0,1	0,01	0,1	0,2	0,1

* Graphitrohr-AAS

** Flammen-AAS

1) Probenmasse : Lösungsvolumen = 1:125; hohe Cu-Konzentrationen im Flammen-AAS gemessen

2) ICP/OES, ausgenommen Hg (FIMS) und Arsen (Graphitrohr-AAS)

Anhangtab. 2-8: Nachweisgrenzen für Schwermetalle in Wasser und Niederschlag

Teilprojekt	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
mg l ⁻¹								
Bonn	-	0,001*	0,0005*	0,02**	-	0,003*	0,0015*	0,082**
Bayreuth	-	0,00001*	0,001*	0,001*	-	0,002*	0,002*	0,1**
Oldenburg ¹⁾	0,01	0,001	0,01	0,01	0,002	0,01	0,01	0,1

* Graphitrohr-AAS

** Flammen-AAS

1) ICP/OES, ausgenommen Hg (FIMS) und Arsen (Graphitrohr-AAS)

Anhangtab. 2-9: Schwermetallgehalte der Proben der Ringuntersuchung: Messwerte (Doppelanalyse) der beteiligten Institute

Probe	Projektpartner	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
mg kg ⁻¹ TM							
Kälbermist 1/37	LUFA Oldenburg	0,30	3,1	17	2,5	2,7	100
	IPE Bonn	0,27	1,8	16	2,2	2,5	73
	Uni Bayreuth	0,25	3,1	39	3,7	3,1	85
Kälbermist 2	LUFA Oldenburg	0,22	1,6	16	1,9	1,5	94
	IPE Bonn	0,21	1,1	14	1,6	1,8	72
	Uni Bayreuth	0,16	1,3	25	3,0	1,6	100
Bullengülle 17	LUFA Oldenburg	0,39	4,0	80	3,6	4,8	440
	IPE Bonn	0,35	3,4	66	3,9	6,1	360
	Uni Bayreuth	0,31	4,6	88	9,7	4,1	350
Rüben	LUFA Oldenburg	0,20	0,5	4,6	2,1	0,60	25
	IPE Bonn	0,17	0,35	4,6	0,28	0,35	19
	Uni Bayreuth	0,19	0,79	4,4	2,2	0,48	24
Ergänzungsfuttermittel für Milchkühe	LUFA Oldenburg	0,05	1,8	29	2,1	0,60	120
	IPE Bonn	0,04	1,3	28	1,1	0,46	110
	Uni Bayreuth	0,03	1,3	18	2,3	0,50	120

Anhang - Material und Methoden

Anhangtab. 2-10: Schwermetallgehalte der Referenzproben: Messwerte und Angaben (Teilprojekt Bayreuth, UIHLEIN 2001)

Material	mg kg ⁻¹ TS											
	Cd		Cr		Cu		Ni		Pb		Zn	
Rye Grass	µ	s	µ	s	µ	s	µ	s	µ	s	µ	s
	0,17	0,04	1,93	0,27	11,9	1,93	3,14	0,19	2,77	0,45	36,9	7,83
Referenzwert	0,12	0,00	2,14	0,13	9,65	0,66	3,00	0,28	2,38	0,21	31,5	2,22

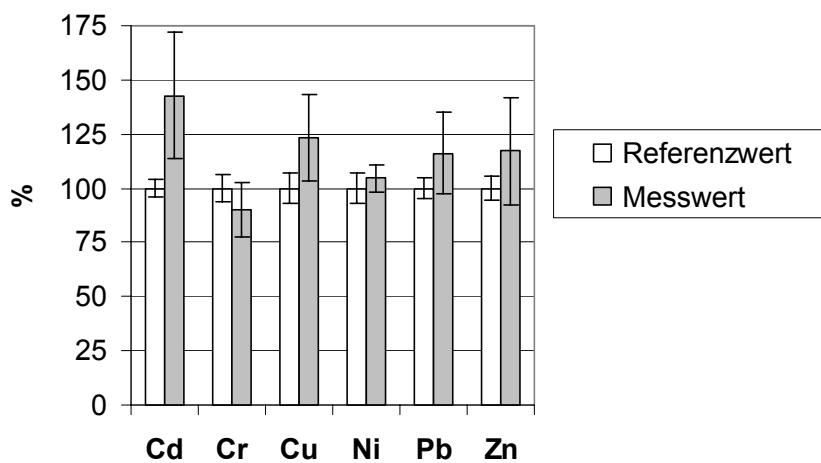
Anhangtab. 2-11: Schwermetallgehalte verschiedener Schlachtkörperproben

	Gewebe	n	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
			mg kg ⁻¹ TM					
Milchvieh- haltung	Muskelfleisch	1	15,6	958	7,23	1,90	0,41	171
	Fett	1	45,3	962	2,09	1,42	0,30	5,46
Bullenmast	Muskelfleisch	2	16,6	239	3,73	1,61	0,50	201
	Fett	2	29,5	195	1,92	2,15	0,42	5,59
	Darm	2	33,0	179	8,34	1,32	0,39	87,6
	Magen	2	18,7	360	5,08	1,49	0,36	45,4
	Leber	2	126	97,1	4,34	2,68	0,45	127
	Niere	2	406	386	2,24	1,39	0,46	76,0
	Haut / Haare	2	36,3	297	3,79	1,23	0,40	21,2
	Blut	2	26,3	69,5	6,20	1,87	0,17	17,7
	Knochen	2	42,8	534	1,81	0,63	0,19	58,5
	Muskelfleisch	2	38,9	155	5,60	1,59	0,50	132
	Fett	2	58,8	270	2,11	1,08	0,25	8,19
	Gemisch Fett / Fleisch	2	78,3	183	1,66	0,84	0,25	25,3
	Herz	2	23,3	34,5	2,22	0,89	0,36	66,5
Schweinemast	Leber	2	65,2	95,6	2,76	4,94	0,36	165
	Niere	1	268	111	2,72	1,17	0,37	103
	Lunge	4	106	217	7,12	1,53	0,55	72,8
	Haut / Schwarze	2	39,6	294	3,57	1,56	0,19	6,04
	Knochen / Dornfortsatz	1	78,0	217	2,36	1,59	0,25	84,3
	Blut	1	15,2	129	4,60	1,62	0,20	22,7

Anhang - Material und Methoden

Anhangtab. 2-12: Standardwerte für mittlere Einzeltiermassen aus VDI-Richtlinie 3474 (VDI 2000, Entwurf)

Tierart	Einzeltiermasse GV
Schweine	
Niedertragende und leere Sauen, Eber	0,3
Sauen mit Ferkeln bis 10 kg	0,4
Sauen mit Ferkeln bis 20 kg	0,5
Ferkelaufzucht (7 bis 35 kg, Durchschnitt 17 kg)	0,03
Jungsauen (30 bis 90 kg, Durchschnitt 60 kg)	0,12
Mastschweine (20 bis 105 kg, Durchschnitt 65 kg)	0,13
Mastschweine (35 bis 120 kg, Durchschnitt 80 kg)	0,16
Rinder	
Kühe und Rinder über 2 Jahre	1,2
Rinder 1 bis 2 Jahre (Mast)	0,7
Weibliches Jungvieh 1 bis 2 Jahre	0,6
Jungvieh und Kälberaufzucht unter 1 Jahr	0,3
Mastkälber	0,3
Geflügel	
Legehennen braun (Durchschnitt 2 kg)	0,004
Legehennen weiß (Durchschnitt 1,7 kg)	0,0034
Junghennen braun oder weiß (Durchschnitt 1,1 kg)	0,0022
Masthähnchen Kurzmast 25 Tage (Durchschnitt 0,41 kg)	0,0008
Masthähnchen Langmast 36 Tage (Durchschnitt 0,7 kg)	0,0014
Pekingenten (Durchschnitt 1,1 kg)	0,0022
Putenhennen (Durchschnitt 3,9 kg)	0,0079
Putenhähne (Durchschnitt 8,2 kg)	0,0164
Putenaufzucht (Durchschnitt 1,1 kg)	0,0022
Pferde	
Fohlen unter 6 Monate und Ponys	0,5
Pferde 6 Monate bis 1 Jahr	0,7
Pferde über 1 Jahr	1,0



Anhangabb. 2-1: Gemessene Schwermetallgehalte der Referenzprobe für Pflanzenmaterial (Rye Grass) mit den zertifizierten Angaben (gemessene Werte in % der angegebenen Mittelwerte; Fehlerbalken sind Standardabweichungen; Teilprojekt Bayreuth, UIHLEIN 2001)

Anhang - Ergebnisse Teilprojekt Bonn

Anhangtab. 3-1: Schwermetallflüsse, Betrieb 1

	Stoffstrom	Schätzfehler [%]	Cd		Cr		Cu g a ⁻¹		Ni		Pb		Zn	
Einträge														
Wirtschaftseigene Futtermittel	Silomais	10	μ 58,89	s^* 9,93	μ 194,61	s^* 39,01	μ 2.452,23	s^* 593,32	μ 286,17	s^* 72,91	μ 266,85	s^* 54,64	μ 11.212,15	s^* 2.200,64
	Weide, Silage	15	27,56	6,54	292,22	65,12	1.315,20	279,82	233,86	53,59	258,18	53,09	7.257,31	1.705,87
	Weide, Beweidung	15	15,12	3,58	132,00	20,19	1.457,50	258,68	134,89	24,63	130,62	20,95	7.754,98	1.536,37
	Feldgras, Silage	15	42,57	12,66	332,16	146,77	1.260,82	298,99	257,01	74,52	256,27	102,76	5.153,35	1.067,93
	Raygrasstroh	15	3,86	1,36	6,39	1,51	706,41	370,19	13,01	5,88	23,40	7,09	786,41	417,65
Zukauffuttermittel (Protein/Energie)	Futterkartoffeln	5	6,07	0,91	9,68	4,87	162,76	17,66	12,74	1,79	10,95	4,84	562,92	65,08
	Pressschnitzel*	5	51,70	8,75	185,55	28,98	1.593,37	469,18	144,27	24,42	161,81	25,28	5.780,82	1.084,65
	Biertreber**	5	6,14	0,99	31,01	13,55	1.142,91	485,13	32,27	16,22	25,27	11,80	7.666,92	3.995,08
	Sojaschrot	5	7,22	1,68	34,72	4,84	1.424,21	81,57	378,91	85,78	12,40	2,38	4.483,60	365,48
	Rapsschrot	5	10,64	1,73	62,46	21,02	703,90	129,65	131,60	36,67	21,66	4,86	6.493,70	1.259,37
	Weizen	5	7,76	0,87	27,09	18,32	338,65	50,25	14,53	3,05	12,13	4,00	3.219,29	950,82
	Ergänzungsf. Milch- kühe (Milchleistungsf.)	5	1,57	0,13	61,50	5,59	748,21	50,33	115,84	40,90	30,23	3,12	4.615,77	1.423,38
	CCM	5	1,88	0,77	28,06	15,11	196,18	42,41	16,65	4,34	15,24	4,01	1.852,77	418,74
	Ergänzungsf. Kälber (Milchaustauscher)	5	0,08	0,01	1,27	0,46	23,73	5,35	1,15	0,25	0,61	0,22	198,09	38,20
	Ergänzungsfuttermittel Kälberaufzucht	5	1,09	0,12	9,89	1,17	169,15	18,61	23,19	3,55	4,78	1,18	1.051,30	156,22
Zukauffuttermittel (Mineral)	Mineral Kühe	5	2,85	0,53	134,95	22,16	8.035,02	579,27	84,72	19,89	57,76	19,09	54.018,02	3.737,29
	Mineral Bullen	5	0,12	0,02	12,07	1,62	383,39	31,16	3,59	0,78	3,32	0,22	5.463,47	1.892,64
	Futterkalk	5	2,45	0,30	3,32	0,40	9,80	1,13	5,20	0,57	27,36	3,05	5,66	0,29
	Viehsalz	5	0,32	0,16	0,13	0,05	6,48	2,87	0,24	0,17	0,05	0,02	30,26	23,33
Sonstige Betriebsmittel	Zugekauftes Weizen- stroh	10	21,72	4,55	60,03	7,94	359,90	106,62	59,51	15,00	81,49	18,27	2.679,95	829,30
	Sägemehl	5	4,02	0,53	17,07	5,91	50,08	13,53	13,16	3,74	28,98	10,01	447,67	33,05
	Wasser	15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	551,64	123,69
	Kupfer triol, Klauen- bad v	20	0,13	0,04	0,16	0,04	48.686,01	11.769,83	94,91	70,07	11,55	2,77	18,32	6,48
Zukauf Tier	Tier	10	0,45	0,02	4,69	2,89	90,53	51,83	13,62	10,77	5,90	2,89	1231,54	416,03
Gesamteintrag			274,20	56,18	1.641,04	427,50	71.316,43	15.707,38	2.071,05	569,50	1.446,84	356,54	132.535,91	23.747,55
Austräge														
Tierische Erzeugnisse	Fleisch	5	0,89	0,13	9,24	5,68	178,28	102,07	26,83	21,21	11,63	5,70	2.425,25	819,28
	Milch	5	1,82	1,64	18,17	1,82	410,66	138,10	41,79	76,32	85,40	107,21	12.683,24	4.322,84
Wirtschaftsdünger	Mist	30	33,19	10,36	818,24	315,51	4.429,67	1.759,32	506,69	179,52	1.260,54	523,52	12.413,47	4.075,44
	Gülle	20	176,41	35,54	1.870,12	382,18	115.067,93	25.502,32	2.519,37	546,74	1.589,04	323,17	113.697,71	22.967,94
	Exkremeante	40	5,15	2,07	54,78	22,07	3.366,53	1.386,42	73,66	30,17	46,46	18,69	3.326,40	1.335,90
Gesamtaustrag			217,46	49,43	2.770,55	727,27	123.453,06	28.888,23	3.168,34	853,95	2.993,08	978,28	144.546,06	33.521,41
Saldo			56,74		-1.129,5		-52.136,63		-1.097,29		-1.546,24		-12.010,15	

*: 10 % Silierverlust nach LK Rheinland (2002)

**: 25 % Wasser- und Silierverlust nach LK Rheinland (2002)

Anhang - Ergebnisse Teilprojekt Bonn

Anhangtab. 3-2: Schwermetallflüsse, Betrieb 2

	Stoffstrom	Schätzfehler [%]	Cd		Cr		Cu g a ⁻¹		Ni		Pb		Zn	
Einträge														
Wirtschaftseigene Futtermittel	Weizen	20	0,42	0,10	0,27	0,14	28,08	5,87	1,02	0,31	0,78	0,23	175,46	55,73
	Triticale	20	0,35	0,07	0,77	0,22	29,23	6,48	1,01	0,27	0,73	0,21	168,90	35,26
	Roggen	20	0,09	0,02	0,18	0,10	47,12	29,06	0,74	0,17	0,88	0,33	102,43	21,81
	Weide/1. Schnitt Heu	20	6,52	1,89	24,03	8,31	119,94	32,53	21,39	7,85	18,29	5,35	852,13	257,50
	Gerste-Erbsen-GPS	20	1,90	0,53	15,70	11,55	85,76	24,04	8,45	3,38	8,32	4,06	335,37	90,26
	Kleegras 2. Schnitt n.	15	1,33	0,35	7,65	2,52	34,56	6,91	7,14	1,96	10,78	4,35	142,63	29,15
	Gerste-Erbsen-GPS													
	Weide/1. Schnitt Silagebereitung	15	2,18	0,49	18,32	4,96	115,54	24,10	15,18	4,61	14,12	3,06	578,05	192,38
	Weide/Standweide 1.-4. Schnitt	15	0,19	0,08	1,73	0,73	19,76	8,22	1,82	0,75	1,66	0,68	102,12	46,13
	Weide/Standweide 2.-4. Schnitt	15	1,57	0,53	14,71	5,11	167,70	57,64	15,43	5,21	14,11	4,74	866,51	334,85
	Kleegras/1. Schnitt Silagebereitung	15	8,06	1,65	95,59	39,14	455,49	106,14	58,16	16,47	69,10	24,63	2.088,01	613,38
	Kleegras/2.-4. Schnitt, Beweidung	25	8,62	3,72	31,56	22,59	1.247,77	558,30	37,87	33,84	75,50	37,22	3.740,89	1.454,70
	Kartoffeln	20	1,38	0,38	2,81	0,89	38,95	8,89	2,75	1,00	2,70	1,19	273,98	160,36
Zukauffuttermittel (Mineral)	Mineralfutter 1	5	0,27	0,04	11,20	3,09	382,55	68,46	13,03	4,79	1,23	0,30	2.659,05	602,51
	Mineralfutter 2	5	0,62	0,12	23,25	2,24	610,75	55,88	53,89	8,50	10,99	8,26	5.467,65	796,02
	Leckstein (Kalk)	5	0,01	0,00	0,03	0,00	0,33	0,11	0,08	0,04	0,04	0,03	2,09	1,74
	Viehsalz	5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Sonstige Betriebsmittel	Weizenstroh	20	2,44	0,64	17,92	3,84	56,47	11,71	14,52	3,70	10,99	2,26	166,14	41,81
	Triticalestroh	20	0,29	0,06	3,44	0,70	17,60	9,39	2,43	0,56	2,84	0,59	46,50	9,89
	Roggenstroh	20	1,12	0,25	10,42	2,17	68,74	23,59	15,25	7,57	8,89	1,93	276,23	86,96
	Wasser	20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,74
Gesamteintrag			37,76	10,91	279,69	108,34	3.526,55	1.034,40	270,25	101,03	252,14	99,48	17.896,30	4.728,65
Austräge														
Tierische Erzeugnisse	Fleisch	5	0,08	0,01	0,84	0,52	16,26	9,31	2,45	1,93	1,06	0,52	221,17	74,71
	Milch	5	0,19	0,58	0,19	0,19	71,30	16,38	1,35	1,35	0,77	0,39	2.013,72	300,61
Wirtschafts- dünger	Mist	30	25,00	7,54	478,24	196,14	2.185,63	674,96	238,29	73,94	337,61	109,30	10.615,64	3.417,97
	Jauche	30	0,65	0,22	11,98	5,46	39,35	14,41	10,85	3,61	156,87	147,89	250,14	91,41
	Exkremeante	50	12,23	6,20	179,21	91,31	1.075,46	552,43	155,60	79,32	138,43	70,77	4.851,70	2.456,54
Gesamtaustrag			38,16	14,55	670,46	293,62	3.388,00	1.267,49	408,54	160,15	634,74	328,86	17.952,37	6.341,25
Saldo			-0,80		-390,78		138,55		-138,28		-382,61		-56,06	

Anhang - Ergebnisse Teilprojekt Bonn

Anhangtab. 3-3: Schwermetallflüsse, Betrieb 3

	Stoffstrom	Schätzfehler [%]	Cd		Cr		Cu g a ⁻¹		Ni		Pb		Zn	
Einträge														
Wirtschaftseigene Futtermittel	Weide, Silage 4 Schnitte	15	µ 15,96	s* 4,20	µ 91,80	s* 30,25	µ 414,59	s* 83,12	µ 85,62	s* 23,49	µ 129,30	s* 52,21	µ 1.711,17	s* 350,62
	Weide, Silage 1+2. Schnitt	15	27,32	7,21	154,83	50,69	699,28	140,19	144,71	40,02	218,59	88,10	2.886,17	591,38
	Weide int. Standweide Weide 3+4. Schnitt Beweidung	25 25	6,21 12,42	2,28 4,64	14,61 29,67	5,20 10,51	254,81 520,95	86,00 175,82	36,69 75,21	12,52 25,63	17,31 35,19	5,88 11,96	860,29 1.758,80	290,21 593,31
Zukauffuttermittel (Protein/Energie)	Pressschnitzel* Trockenschnitzel** Biertreber Ergänzungsf. Milch- kühe (Milchleistungsf.) Sojaschrot Ergänzungsf. Kälber (Milchaustauscher) Ergänzungsf. Kälber) (Vollmilchergänzer)	10 5 10 5 5 5 5 5	20,01 6,67 1,66 5,13 1,03 0,03 0,00	1,94 0,93 0,19 0,75 0,04 0,01 0,00	80,66 34,56 14,35 85,29 2,70 0,55 0,04	6,42 3,04 2,75 10,52 0,70 0,38 0,01	172,57 71,35 554,39 1.211,26 129,19 6,99 5,95	12,01 6,21 35,91 253,03 13,51 0,85 2,00	60,69 51,44 17,75 172,16 45,51 0,26 0,10	17,99 10,32 7,51 43,12 8,20 0,12 0,02	81,02 39,17 6,74 54,70 0,43 0,05 0,01	16,21 7,06 1,46 28,32 382,56 85,34 41,56	953,25 420,55 1.829,43 9.754,77 26,45 11,75 4,24	60,01 30,25 375,99 2.218,55
Zukauffuttermittel (Mineral)	Mineral Kühle Mineralleckstein Viehsalz	5 5 5	1,46 0,33 0,08	0,76 0,28 0,06	48,93 11,47 0,23	26,51 10,19 0,19	470,96 39,85 34,69	71,16 32,26 34,74	91,47 2,42 0,19	52,96 0,59 0,14	9,58 2,58 0,02	5.084,79 271,79 0,16	879,34 145,03 0,17	
Sonstige Betriebsmittel	Sägemehl Wasser Kupfervitriol, Klauen- bad	5 30 20	4,40 0,00 0,01	0,65 0,00 0,02	6,28 0,00 0,01	1,40 0,00 0,01	18,52 0,00 5.409,56	4,34 0,00 2.723,71	5,91 0,00 10,55	1,72 0,00 9,07	23,67 0,00 1,28	3,25 0,00 0,64	176,43 0,00 2,03	24,96 13,21 1,15
Stalleinrichtung Zukauf Tier	Korrosion/Abrieb Tier		0,02 0,04	0,00 0,00	0,00 0,45	0,00 0,28	0,00 8,70	0,00 4,96	0,00 1,31	0,00 1,03	7,00 0,57	1,41 0,28	1.357,30 118,36	271,49 39,59
Gesamteintrag			102,79	23,94	576,44	159,04	10.023,61	3.679,81	801,99	254,47	627,21	223,75	27.694,77	5.972,72
Austräge														
Tierische Erzeugnisse	Fleisch Milch	5 5	0,15 0,47	0,02 1,40	1,60 0,47	0,98 0,47	30,79 9,36	17,63 9,36	4,63 3,27	3,66 3,27	2,01 1,87	0,98 0,00	418,85 1.964,88	141,49 360,23
Wirtschaftsdünger	Mist Gülle Exkremeante	30 15 50	4,74 74,65 12,48	2,30 11,63 6,33	211,30 1.093,53 182,87	123,04 178,45 93,18	475,22 6.562,51 1.097,41	257,34 1.152,81 563,70	143,82 949,61 158,78	89,09 155,83 80,94	47,74 844,70 141,26	3.035,70 142,12 72,21	1.581,83 4.526,20 4.950,71	1.581,83 2.506,68
Gesamtaustrag			92,50	21,69	1.489,76	396,11	8.175,28	2.000,84	1.260,11	323,15	1.078,93	263,06	39.975,41	9.116,43
Saldo			10,30		-913,32		1848,33		-458,12		-451,72		-12.280,64	

*: 10 % Silerverlust nach LK Rheinland (2002)

**: 25 % Wasser- und Silerverlust nach LK Rheinland (2002)

Anhang - Ergebnisse Teilprojekt Bonn

Anhangtab. 3-4: Schwermetallflüsse, Betrieb 4

	Stoffstrom	Schätzfehler [%]	Cd		Cr		Cu g a ⁻¹		Ni		Pb		Zn	
			μ	s^*	μ	s^*	μ	s^*	μ	s^*	μ	s^*	μ	s^*
Einträge														
Wirtschaftseigene Futtermittel	Silomais CCM Kartoffelschlempe	10 15 15	45,06 1,12 0,55	8,66 0,76 0,10	107,72 7,20 2,70	16,75 5,36 0,47	1.137,06 114,43 101,41	156,83 58,12 19,89	63,37 19,35 2,14	13,31 17,59 0,56	158,77 11,42 1,47	26,29 8,00 0,31	6.716,76 1.125,92 123,31	891,70 322,11 22,26
Zukauffuttermittel (Protein/Energie)	Kartoffelstärke* Kartoffelschalen* Biertreber** Maiskleber Soyaschrot Rapsschrot Ergänzungsfuttermittel Kälberaufzucht	10 10 10 5 5 5 5	24,51 16,96 3,43 0,88 3,20 3,00 0,58	1,31 3,39 0,71 0,11 0,73 0,97 0,02	37,66 91,81 19,49 54,36 15,38 8,90 6,62	15,75 38,10 6,83 8,15 2,05 0,62 0,20	72,07 565,72 394,37 231,66 630,70 107,77 128,78	6,72 206,70 33,02 10,46 25,78 3,28 7,05	17,08 74,78 11,48 133,27 167,80 12,72 6,20	6,70 16,38 3,01 21,70 37,38 3,01 8,63	17,50 34,30 6,70 6,84 5,49 2,42 3,03	3,73 12,23 2,35 1,15 1,03 1,10 0,09	209,45 1.199,42 237,18 2.175,13 1.985,53 904,80 372,22	22,63 176,34 237,18 124,81 140,89 27,51 12,06
Zukauffuttermittel (Mineral)	Mineral Bullen Futterkalk Magnesiumoxid	5 5 5	6,32 0,33 0,04	0,96 0,13 0,04	117,92 17,38 7,60	16,88 3,30 5,73	3.727,15 39,38 5,37	1.092,42 7,11 0,81	92,03 7,15 84,96	13,29 1,53 46,13	391,42 30,85 0,40	51,31 16,15 0,24	22.751,17 32,16 2,17	3.241,26 13,24 0,76
Sonstige Betriebsmittel	Wasser	15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	39,00	8,74
Zukauf Tier	Tier	2	0,76	0,02	7,82	4,80	150,88	86,09	22,71	17,92	9,84	4,80	2.052,56	686,58
Gesamteintrag			106,74	17,91	502,58	124,99	7.406,77	1.714,29	715,04	207,16	680,45	128,78	41.769,34	5.928,08
Austräge														
Tierische Erzeugnisse	Fleisch	5	3,14	0,42	32,46	19,89	626,11	357,03	94,23	74,34	40,83	19,89	8.517,45	2.843,69
Wirtschaftsdünger	Gülle	10	56,78	6,13	625,66	66,24	9.961,55	1.026,37	1.459,88	156,80	697,17	74,83	50.785,68	5.206,22
Gesamtaustrag			59,92	6,55	658,12	86,13	10.587,66	1.383,40	1.554,11	231,14	738,00	94,72	59.303,13	8.049,91
Saldo					46,81		-155,54		-3.180,90		-839,08		-57,55	

*: 10 % Silier- und Wasserverlust nach LK Rheinland (2002)

**: 25 % Wasser- und Silierverlust nach LK Rheinland (2002)

Anhang - Ergebnisse Teilprojekt Bonn

Anhangtab. 3-5: Schwermetallflüsse, Betrieb 6

	Stoffstrom	Schätzfehler [%]	Cd		Cr		Cu g a⁻¹		Ni		Pb		Zn	
Einträge			μ	s^*	μ	s^*	μ	s^*	μ	s^*	μ	s^*	μ	s^*
Zukauffuttermittel (Protein/Energie)	Alleinfutter Sauen tragend	5	10,58	1,49	55,58	12,02	2.216,11	483,53	102,81	16,87	55,86	14,11	17.935,61	1.280,77
	Alleinfutter Sauen säugend	5	3,85	0,61	37,64	6,87	1.483,57	403,98	84,21	22,85	19,30	3,37	8.970,40	856,48
	Ergänzungsfuttermittel Saugferkel (Prestarter)	5	0,08	0,01	0,47	0,04	59,06	17,17	0,51	0,04	0,07	0,02	100,51	6,67
	Alleinfutter Absetzerferkel	5	10,28	1,49	140,97	30,28	9.734,00	2.044,43	198,79	71,09	56,18	9,94	17.277,99	1.724,48
	Alleinfutter Endmast	5	1,20	0,07	15,61	9,96	402,50	118,87	17,67	6,58	9,26	2,87	1.477,96	91,00
Sonstige	Weizenstroh	10	2,74	0,32	7,76	0,83	37,45	3,94	7,65	1,57	9,14	1,06	109,77	12,81
Betriebsmittel	Wasser	20	0,00	0,00	12,00	2,40	0,00	0,00	8,57	2,42	46,28	27,33	385,65	107,87
Zukauf Tier	Tier	10	0,12	0,01	0,59	0,08	10,94	1,57	2,07	0,30	1,18	0,17	164,66	23,91
Gesamteintrag			28,84	4,01	270,61	62,48	13.943,63	3.073,48	422,28	121,72	197,27	58,86	46.422,56	4.103,99
Austräge														
Tierische Erzeugnisse	Fleisch	5	2,05	0,23	10,27	1,16	190,05	21,38	35,96	4,04	20,55	2,31	2.861,07	321,82
Wirtschaftsdünger	Mist	20	3,60	0,65	40,11	7,25	1.237,81	220,79	46,81	8,45	22,36	4,00	4.921,25	918,77
	Gülle	20	15,12	3,16	448,08	102,88	22.678,16	4.609,31	354,08	76,45	363,66	84,15	63.475,01	12.971,05
Gesamtaustrag			20,78	4,04	498,46	111,28	24.106,03	4.851,48	436,85	88,95	406,56	90,46	71.257,33	14.211,63
Saldo			8,06		-227,86		-10.162,40		-14,57		-209,29		-24.834,77	

Anhang - Ergebnisse Teilprojekt Bonn

Anhangtab. 3-6: Schwermetallflüsse, Betrieb 7

	Stoffstrom	Schätzfehler [%]	Cd		Cr		Cu g a ⁻¹		Ni		Pb		Zn	
Einträge														
Wirtschaftseigene Futtermittel	Weizen Triticale Gerste Hafer CCM	10 10 10 10 10	μ 18,65 1,04 4,19 0,98 0,12	s* 2,95 0,16 0,54 0,14 0,04	μ 13,90 0,74 10,93 3,32 0,53	s* 4,79 0,21 2,80 1,24 0,11	μ 354,39 53,18 252,30 35,22 22,19	s* 52,48 12,83 76,25 3,93 14,86	μ 12,51 5,88 10,83 6,73 1,39	s* 5,92 1,95 2,70 1,02 0,50	μ 20,61 1,30 15,63 1,42 0,55	s* 9,35 0,44 2,39 0,27 0,12	μ 3.029,71 508,83 3.346,24 280,33 178,95	s* 536,51 72,86 769,29 32,95 25,25
Zukauffuttermittel (Protein/Energie)	Gerste Sojaschrot Fischmehl Weizenkleie Ergänzungsfuttermittel Endmast	10 5 5 5 5	μ 1,88 1,92 1,59 0,49 7,90	s* 0,17 0,59 0,42 0,06 0,85	μ 4,91 21,46 5,75 2,29 135,23	s* 1,18 3,34 1,89 0,47 78,79	μ 113,37 417,99 122,56 39,34 6.956,57	s* 32,68 122,56 113,94 6,43 522,03	μ 4,87 113,94 39,16 2,07 223,64	s* 1,13 39,16 6,69 0,37 43,12	μ 7,02 1,12 3,31 1,54 30,58	s* 0,86 1,64 1,64 0,35 8,74	μ 1.503,68 1.671,06 377,93 330,43 21.797,17	s* 317,50 132,35 66,00 43,36 4.425,81
Zukauffuttermittel (Mineral)	Mineral Sauen Mineral Ferkel Mineral Vormast	5 5 5	μ 4,03 0,63 2,21	s* 1,28 0,34 0,24	μ 142,28 51,65 51,67	s* 38,56 38,39 2,61	μ 1.896,65 6.740,36 2.372,08	s* 515,18 670,77 1.286,86	μ 37,06 24,93 48,09	s* 3,80 9,36 17,47	μ 17,87 7,74 10,79	s* 4,37 1,21 5,45	μ 9.430,88 5.079,65 13.953,32	s* 1.081,75 518,06 1.205,93
Sonstige Betriebsmittel	Weizenstroh Gerstenstroh Wasser	10 10 20	μ 23,81 6,11 0,00	s* 3,08 0,73 0,00	μ 56,21 57,08 0,00	s* 8,11 8,96 17,05	μ 256,66 298,84 17,39	s* 30,82 62,13 0,00	μ 53,35 43,28 0,00	s* 6,52 8,14 0,00	μ 47,38 42,89 57,97	s* 5,56 4,60 28,08	μ 1.430,55 653,52 409,20	s* 346,06 75,67 106,53
Zukauf Tier	Tier	10	μ 0,06	s* 0,01	μ 0,30	s* 0,04	μ 5,62	s* 0,81	μ 1,06	s* 0,15	μ 0,61	s* 0,09	μ 84,59	s* 12,28
Gesamteintrag			μ 75,61	s* 11,59	μ 558,25	s* 191,46	μ 19.848,75	s* 3.436,34	μ 596,05	s* 142,44	μ 273,91	s* 74,42	μ 64.066,04	s* 9.768,17
Austräge														
Tierische Erzeugnisse	Fleisch	5	μ 3,75	s* 0,42	μ 18,75	s* 2,11	μ 346,88	s* 39,02	μ 65,63	s* 7,38	μ 37,50	s* 4,22	μ 5.221,88	s* 587,37
Wirtschaftsdünger	Mist Jauche	20 15	μ 77,25 0,20	s* 17,13 0,05	μ 1.612,95 4,54	s* 561,40 1,08	μ 23.761,02 37,04	s* 6.373,15 19,61	μ 839,94 3,41	s* 326,90 0,60	μ 463,37 2,98	s* 143,11 0,87	μ 79.446,30 168,12	s* 19.505,61 50,81
Gesamtaustrag			μ 81,21	s* 17,60	μ 1.636,24	s* 564,59	μ 24.144,93	s* 6.431,77	μ 908,97	s* 334,87	μ 503,85	s* 148,20	μ 84.836,29	s* 20.143,79
Saldo			μ -5,59	s* -1.077,99			μ -4.296,18		μ -312,92		μ -229,94		μ -20.770,25	

Anhang - Ergebnisse Teilprojekt Bayreuth

Anhangtab. 4-1: Schwermetallflüsse, Betrieb 1

Stoffstrom	g a ⁻¹												
	Cd		Cr		Cu		Ni		Pb		Zn		
	μ	s*	μ	s*	μ	s*	μ	s*	μ	s*	μ	s*	
Wirtschaftseigene Futtermittel	Maissilage	5,87	0,75	23,7	2,80	647	68,8	333	35,3	49,6	5,80	1739	212
	Grassilage	4,64	0,73	65,6	8,11	1222	159	405	55,2	74,4	10,7	2134	260
	Heu	0,37	0,07	6,26	0,72	82,3	12,3	57,2	6,07	4,47	0,56	159	35,6
	Getreideschrot	0,59	0,07	8,44	1,40	487	56,2	80,4	8,11	3,15	0,35	1512	216
Zukauffuttermittel (Protein/Energie)	Sojaschrot	0,24	0,03	19,3	2,07	58,2	6,54	37,3	4,13	0,55	0,06	185	28,8
	Milchleistungsf.	3,10	0,31	21,9	2,47	446	47,0	97,3	9,96	11,4	1,29	5585	1.670
	Melassesesch.	0,07	0,01	1,13	0,14	5,47	0,94	2,56	0,34	1,77	0,23	17,9	3,60
Zukauffuttermittel (Mineral/Salze)	Viehsalz	0,12	0,02	0,30	0,05	3,16	0,33	2,05	0,23	0,96	0,12	20,9	2,31
Sonstige Betriebsmittel	Wasser	0,24	0,02	3,05	0,31	4,75	1,08	11,7	1,55	0,26	0,10	38,4	12,6
	Sägespäne	0,23	0,04	0,48	0,09	11,2	1,20	13,0	1,46	2,05	0,22	72,0	8,26
	Stroh	1,38	0,14	22,9	5,51	238	25,2	78,0	12,8	19,2	1,98	881	143
	Kupfervitriol	0,24	0,03	0,01	0,00	2,14 ¹	0,34 ¹	9,51	1,23	0,05	0,01	0,77	0,14
Stalleinrichtung	Korrosion/Abrieb	0,01	0,00	k.A. ²	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	4,23	0,21	812	40,6
Summe Einträge¹		0,02	0,00	0,17	0,02	5,35	0,71	1,13	0,14	0,17	0,02	13,16	2,64
Tierische Erzeugnisse	Milch Tierkörper	0,26	0,05	2,51	0,56	59,5	11,7	48,8	11,7	4,80	1,93	476	95,5
Wirtschaftsdünger	Gülle	0,05	0,01	0,49	0,30	9,32	5,42	1,40	1,11	0,61	0,31	126,9	44,5
Summe Austräge¹		0,04	0,00	0,31	0,03	4,62	0,59	1,21	0,14	0,30	0,04	53,8	6,12

¹ Angaben in kg a⁻¹

² k.A. = keine Angabe

Anhangtab. 4-2: Schwermetallflüsse, Betrieb 2

Gruppe	Stoffstrom	Cd		Cr		Cu		Ni		Pb		Zn	
		μ	s*	μ	s*	μ	s*	μ	s*	μ	s*	μ	s*
Wirtschaftseigene Futtermittel	Maissilage	3,23	0,38	99,6	15,4	471	53,4	160	18,4	50,3	6,08	2197	248
	Grassilage	2,57	0,41	40,8	11,2	632	84,8	201	29,0	89,1	15,8	1768	327
	Heu	0,27	0,03	3,73	0,86	113	14,4	32,4	9,83	3,07	0,32	325	51,3
	Getreideschrot	1,86	0,21	23,1	3,80	853	100	193	194	23,5	3,91	3871	574
Zukauffuttermittel (Protein/Energie)	Graspellets	1,71	0,27	30,8	3,09	258	26,2	125	16,2	31,2	3,93	668	87,0
	Sojaschrot 1	0,35	0,05	26,4	2,78	115	11,5	26,6	5,88	2,92	0,34	363	41,2
	Sojaschrot 2	0,44	0,04	14,6	1,73	128	16,3	107	10,8	1,90	0,21	339	36,8
Zukauffuttermittel (Mineral/Salze)	Mineralf. 1	0,18	0,10	8,86	0,98	131	14,1	8,05	1,01	1,42	0,19	501	80,9
	Mineralf. 2	0,39	0,04	24,1	2,75	2673	337	21,5	2,20	7,44	1,42	2031	215
	Viehsalz	0,01	0,00	0,06	0,01	2,83	0,30	2,54	0,27	0,08	0,01	6,04	1,25
Sonstige Betriebsmittel	Wasser	0,23	0,03	0,49	0,23	63,6	6,37	11,8	2,54	0,15	0,01	86,0	11,8
	Arzneimittel	Min/Max: 0,00001 – 0,005											
Stalleinrichtung	Korrosion	<0,00 1	<0,0 01	k.A. ²	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	1,43	0,07	274	13,7
Summe Einträge¹		<0,0 0,01 01 0,27 0,04 5,44 0,67 0,89 0,12 0,21 0,03 12,4 1,69											
Tierische Erzeugnisse	Milch	0,25 ¹	0,13	1,07	0,27	45,0	8,09	17,2	3,02	5,97	1,22	196	71,1
	Tierkörper	0,04	0,01	0,39	0,24	7,46	4,33	1,12	0,89	0,49	0,24	102	35,6
Wirtschafts- dünger	Gülle	14,0	1,64	450	52,1	5805	595	844	121	279	29,5	31417	3329
Summe Austräge¹		0,01 0,00 0,45 0,05 5,86 0,61 0,86 0,13 0,29 0,03 31,7 3,44											

¹ Angaben in kg a⁻¹

² k.A. = keine Angabe

Anhang - Ergebnisse Teilprojekt Bayreuth

Anhangtab. 4-3: Schwermetallflüsse, Betrieb 3

Gruppe	Stoffstrom	Cd		Cr		Cu		Ni		Pb		Zn	
		μ	s*	μ	s*	μ	s*	μ	s*	μ	s*	μ	s*
Wirtschaftseigene Futtermittel	Maissilage	73,4	9,09	277	37,7	8,46 ¹	1,05 ¹	4096	445	661	97,2	46,7 ¹	10,7 ¹
	Grassilage	58,9	10,2	876	97,5	15,1 ¹	1,98 ¹	3622	416	1689	228	40,6 ¹	5980
	Heu	5,83	1,06	116	14,1	1,75 ¹	0,18	798	81,2	175	17,9	6180	650
	Getreideschrot	39,7	5,07	261	39,3	6,88 ¹	0,70	2760	341	395	56,1	32,4 ¹	4520
Zukauffuttermittel (Protein/Energie)	Milchleistungf.	27,6	3,10	740	173	7451	824	1984	224	130	15,5	45,2 ¹	4540
Zukauffuttermittel (Mineral/Salze)	Mineralf. 3	1,51	0,18	210	25,0	29,9 ¹	6,17 ¹	332	34,8	88,6	9,86	15,5 ¹	1850
	Mineralf. 4	1,56	0,25	537	57,3	1284	245	84,2	10,1	1,30	0,29	3214	498
	Viehsalz 1	0,00	0,00	0,05	0,01	0,66	0,13	0,51	0,06	0,02	0,00	2,82	0,28
	Viehsalz 2	0,16	0,07	1,34	0,37	15,3	2,91	13,5	1,46	0,80	0,16	29,8	15,2
Sonstige Betriebsmittel	Wasser	2,75	0,53	2,09	0,58	244	35,3	19,1	3,52	31,2	4,15	836	114
	Kupfervitriol	0,05	0,01	4,20	0,47	89,7 ¹	13,6 ¹	8,36	1,14	0,28	0,04	87,8	11,0
Arzneimittel		Min/Max: 0,001 – 28,0											
Stalleinrichtung	Abrieb	0,05	0,00	k.A. ²	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	17,1	0,86	3.290	165
Summe Einträge¹		0,21	0,03	3,03	0,45	161	24,7	13,7	1,56	3,19	0,43	194	29,1
Tierische Erzeugnisse	Milch	2,46	0,35	45,6	6,17	638	102	611	91,8	87,6	12,7	4921	706
	Tierkörper	0,96	0,17	8,83	5,34	168	97,5	25,2	20,1	11,0	5,50	2284	801
Wirtschafts- dünger	Gülle ¹	0,15	0,02	4,92	0,68	134	15,6	12,9	1,34	2,56	0,34	246	25,0
Summe Austräge¹		0,15	0,02	4,97	0,69	135	15,6	13,5	1,45	2,66	0,36	254	26,6

¹ Angaben in kg a⁻¹

² k.A. = keine Angabe

Anhang - Ergebnisse Teilprojekt Bayreuth

Anhangtab. 4-4: Schwermetallflüsse, Betrieb 4

Gruppe	Stoffstrom	Cd		Cr		Cu ¹		Ni		Pb		Zn ¹	
		μ	s*	μ	s*	μ	s*	μ	s*	μ	s*	μ	s*
	Maissilage	236	35,6	1138	150	23,0	2,47	5220	787	5920	831	114	14,5
Wirtschaftseigene	Grassilage	282	41,2	4992	724	37,3	5,77	15,9 ¹	2,37 ¹	5870	854	102	17,2
Futtermittel	Getreideschrot	66,2	7,69	448	59,4	13,9	1,50	6043	1204	425	82,0	52,6	6,55
	Gras	58,2	11,4	202	42,7	21,4	2,80	7748	969	1154	157	40,2	5,83
Zukauffuttermittel (Protein/Energie)	Milchleistungs-futter	251	35,7	3157	338	80,6	8,26	9621	1529	7447	1330	317	33,2
	Mineralf. 5	5,33	0,22	443	326	55,0	8,47	2107	317	221	25,3	64,1	10,0
Zukauffuttermittel (Mineral/Salze)	Mineralf. 6	2,01	0,77	44,0	6,08	5,56	0,90	308	36,2	19,4	2,20	11,1	1,35
	Mineralf. 7	0,49	0,07	1117	153	2,49	0,269	68,6	8,07	12,8	2,83	0,21	0,06
	Salzleckstein	0,04	0,01	0,26	0,10	0,01	0,00	5,36	1,83	0,86	0,09	0,04	0,01
Sonstige	Wasser	11,7	3,34	10,7	3,26	0,33	0,06	115	24,3	106	25,7	0,46	0,09
Betriebsmittel	Kupfervitriol	0,48	0,07	1,48	0,16	244	37,6	36,4	4,55	10,8	1,61	0,04	0,02
Stalleinrichtung	Abrieb	0,24	0,01	k.A. ²	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	80,0	4,00	15,4	0,77
Summe Einträge¹		0,91	0,14	11,6	1,80	484	68,0	47,1	7,25	21,3	3,32	717	89,5
Tierische	Milch	3,21	2,29	28,4	15,7	0,61	0,36	247	179	46,8	30,0	3,46	1,89
Erzeugnisse	Tierkörper	3,59	0,63	33,1	20,0	0,63	0,37	94,4	75,2	41,4	20,6	8,56	3,00
Wirtschafts-dünger	Gülle ¹	1,14	0,12	16,9	1,80	643,7	75,2	33,3	5,12	25,9	3,16	1183	123
Summe Austräge¹		1,15	0,12	16,9	1,84	645	75,9	33,6	5,38	26,0	3,21	1195	128

¹ Angaben in kg a⁻¹

² k.A. = keine Angabe

Anhangtab. 4-5: Anteile der Schwermetalleinträge außerhalb des Stalls an den Gesamt-Austrägen
(Mittelwert aller Betriebe ± Fehler des Mittelwerts)

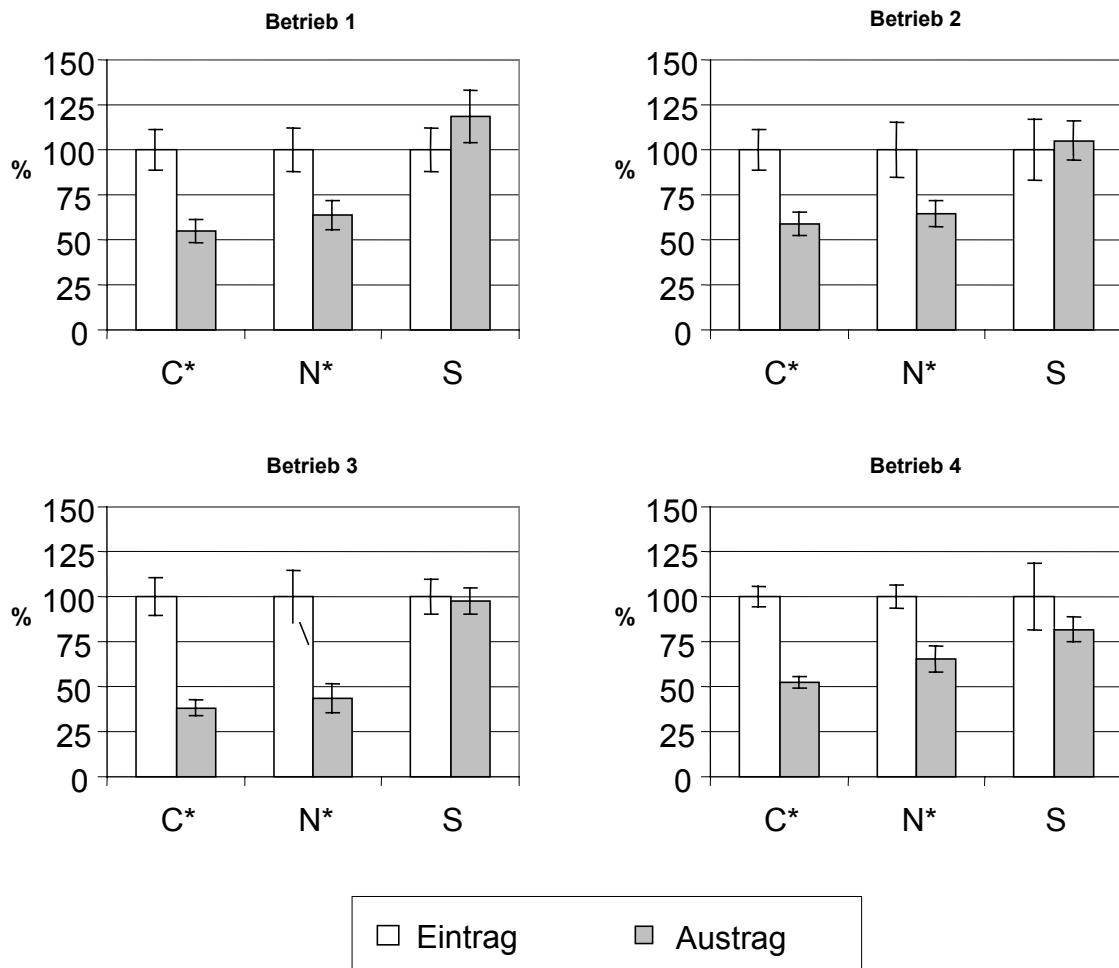
Stoffstrom	Anteil am Gesamtaustrag in %					
	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
Atmosphärische Deposition	0,17 ± 0,02	0,13 ± 0,02	3,5 ± 0,06	1,7 ± 0,09	0,56 ± 0,02	12 ± 0,55
Anstrichfarbe ¹	0,04 ± 0,00	0,22 ± 0,02	0,00 ± 0,00 ²	0,05 ± 0,00	1,7 ± 0,09	0,14 ± 0,01

¹ Anstrichfarbe: Mittelwert von Betrieb 3 und 4

² 0,00 = Anteil kleiner 0,005 %

Anhangtab. 4-6: Schwermetallgehalte der Proben zu Futteraufbereitung (Schroten; ± Fehler des Mittelwerts)

	mg kg ⁻¹ TM					
	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
Triticale	0,03 ± 0,002	0,09 ± 0,001	5,87 ± 0,33	2,45 ± 0,56	0,33 ± 0,08	30,93 ± 0,67
	0,03 ± 0,01	0,03 ± 0,03	5,24 ± 0,06	1,95 ± 0,84	0,21 ± 0,10	22,20 ± 0,40
Weizen	0,03 ± 0,01	0,26 ± 0,04	6,32 ± 0,04	1,57 ± 0,20	0,37 ± 0,11	30,82 ± 0,19
	0,03 ± 0,004	0,03 ± 0,04	0,06 ± 0,04	0,84 ± 0,20	0,10 ± 0,11	30,82 ± 0,19



Anhangabb. 4-1: C-, N- und S-Bilanzen der Ställe (Einträge als 100 % angenommen, * = signifikanter Unterschied; Fehlerbalken sind Fehler der Mittelwerte)

Anhang - Ergebnisse Teilprojekt Oldenburg

Anhangtab. 5-1: Zusammensetzung der Mischsilage (TMR), Betrieb 1 (Milchviehhaltung; Anteile auf Basis Frischmasse)

1999/2000		2000/2001	
	%		
Grassilage	38,0	Grassilage	38,5
Zuckerschnitzel	23,6	Maissilage	28,8
Kartoffelstärke	21,5	Kartoffelschnitzel	15,4
Biertreber	10,7	Biertreber	9,6
Kraftfutter "Kern"	6,2	Zuckerschnitzel	7,7

TMR: Totale Mischration

Anhangtab. 5-2: Gewichtszuwachs Mastschweinebestand, Betrieb 2 (Mastschweinehaltung)

Bezeichnung	Anzahl	Gewicht je Tier	Gewicht gesamt kg
(1) Anfangsbestand	338	65,0	21970
(2) Zugang	969	47,2	45736
(3) Abgang	1007	115,0	115824
(4) Endbestand	300	73,9	22175
Bilanz (1+2-3-4)	0	-	70293
= Zuwachs			

Anhangtab. 5-3: Mengenangaben pro Jahr und errechnete Kennzahlen, Betrieb 2 (Mastschweinehaltung)

	Bezugsgröße und Anzahl				
	Stall	Tierplatz	mittlerer Tierbesatz	gemästetes Tier	GV
Anzahl	-	340	254	1007	0,157*
Lebendmasse, kg	19990	58,8	78,7	115	500
Zuwachs, kg	70293	206,7	276,7	69,8	1757,3
Tageszuwachs je Tier, kg	0,758				
Futterverbrauch, kg	216712	637	853	215	5418
Futterverwertung	3,1				
Wasserverbrauch, l	692000	2035	2724	687	17300
Wasser/Futter	3,2				
Gülleanfall, kg	462000	1359	1819	459	11550

* GV je Tier

Anhangtab. 5-4: Gewichtszuwachs Mastschweinebestand, Betrieb 3 (Mastschweinehaltung)

	Anzahl	Gewicht je Tier	Gewicht gesamt kg
Zugang am 04.07.00	410	28,0	11480
Zugang am 30.11.00	409	33,1	13522
Zugang, Summe	819	30,5	25002
Abgang, Summe	819	117,3	96029
Bilanz = Zuwachs	0	86,8	71027

Anhangtab. 5-5: Mengenangaben pro Jahr und errechnete Kennzahlen, Betrieb 3 (Mastschweinehaltung)

	Bezugsgröße				
	Stall	Tierplatz	mittlerer Tierbesatz	gemästetes Tier	GV (500 kg)
Anzahl	-	410	318	1031	0,148*
Lebendmasse, kg	23500	57,3	73,9	117	47
Zuwachs, kg	89423	218,1	281,2	86,7	1903
Tageszuwachs je Tier, kg	0,767	-	-	-	-
Futterverbrauch, kg	254001	620	799	246	5404
Futterverwertung	2,84				
Wasserverbrauch, l	829052	2022	2607	804	17639
Wasser/Futter	3,3				
Gülleanfall, kg	587953	1434	1849	570	12510

*GV je Tier

Anhangtab. 5-6: Eingesetzte Desinfektions- und Tierarzneimittel, Betrieb 3 (Mastschweinehaltung)

Desinfektion:

nach dem ersten Mastgang 2 l Lysovet (Stall) und 3 kg Ätznatron (Futterbehälter)

Tierarzneimittel:

CTC (ca. 20 kg), Bisolvon, Amoxicillin bei der Einstallung

Amoxillin als Injektion zu Einzeltierbehandlung (ca. 30 ml)

Flubenol zur Entwurmung (2 kg)

Lincospectin Premix, Tylan, Chlortetracyclin zur Behandlung von PIA

Marbocyl zur Einzeltierbehandlung von Pneumonie

Vitamin E plus Selen zur Vorbeugung von Herztod

Anhang - Ergebnisse Teilprojekt Oldenburg

Anhangtab. 5-7: Angaben zum Tierbestand, Betrieb 4a (Zuchtsauen, Ferkelerzeugung)

	in 13 Monaten			pro Jahr		
	Anzahl	Gewicht je Tier [kg]	Gewicht gesamt [kg]	Anzahl	Gewicht je Tier [kg]	Gewicht gesamt [kg]
Eber	3	200	600	3	200	600
Sauen zu Beginn	202	160	32320			
Sauen am Ende	214	125	26750			
Sauenbestand im Mittel	216	142	30740	216	142	30740
Saugferkel, Bestand im Mittel	349	5	1745	349	5	1745
mittlerer Tierbestand in GV (500 kg)	65	500	32485	65	500	32485
Jungsaufen, Zugang	92 = 43 %	79	7296	85 = 40 %	79	6715
Altsauen, Abgang	80 = 37 %	161	12907	74 = 34 %	161	11914
Gewichtszunahme Altsauen, 79-161 kg	80	82	6560	74	82	6068
Bestandszunahme Sauen, 79-125 kg	12	46	552	11	46	506
Ferkel, lebend	5.106	8,5	43401	4713	8,5	40062
produzierte lebende Ferkel je Sau	23,7			21,9		
Ferkel, tot	667	1,3	867	616	1,3	800
produzierte Tiermasse			51380			47436

Anhangtab. 5-8: Mengenangaben, Betrieb 4a (Zuchtsauen, Ferkelerzeugung)

	Bezugsgröße		
	Stall (216 Sauen, 13 Monate)	je Sau und Jahr	je GV und Jahr (65 GV)
Tierbestand, kg (Sauen + Ferkel)	32485	139	461
Zuwachs Sauen, kg	7112	30,5	101
Ferkel, kg	44268	190,1	632
Zuwachs, insgesamt, kg	51380	220,6	862
Futterverbrauch, kg	270789	1163	3865
Futterverwertung	5,3	-	-
Wasserverbrauch, kg	1400000	6011	19975
Wasser : Futter	5:1	-	-
Gülleanfall, kg	1320000	5667	18832

Anhang - Ergebnisse Teilprojekt Oldenburg

Anhangtab. 5-9: Mengenangaben und errechnete Kennzahlen, Betrieb 6 (Legehennenhaltung)

	Stall Legeperiode	Bezugsgröße		GV u. Jahr **
		Tierplatz u. Jahr*	mittl. Tierbesatz u. Jahr*	
Anzahl	-	81596	79413	279
Lebendmasse, kg	139449	1,709	1,756	500
Zuwachs, kg	17761	0,179	0,203	58
Eimasse, kg	1698443	18854	19373	5514
Zuwachs + Ei, kg	1715523	19051	19576	5572
Futterverbrauch, kg	3546224	39367	40449	11514
Futterverwertung	2,07			
Wasserverbrauch, kg	5864000	65096	66886	19039
Wasser/Futter	1,65			
Kotanfall, kg	2163410	24016	24676	7024

* Divisor 1,104

** Divisor 308,0

Anhangtab. 5-10: Mengenangaben und errechnete Kennzahlen, Betrieb 7 (Legehennenhaltung)

	Stall Legeperiode	Bezugsgröße		GV u. Jahr**
		Tierplatz u. Jahr*	mittl. Tierbesatz u. Jahr*	
Anzahl	-	32060	31568	112
Lebendmasse, kg	55917	1,744	1,771	500
Zuwachs, kg	20538	0,587	0,596	168
Eimasse, kg	584599	16,683	16,943	4776
Zuwachs + Ei, kg	605137	17,269	17,538	4944
Futterverbrauch, kg	1362814	38,891	39,498	11134
Futterverwertung	2,25			
Wasserverbrauch, kg	2516288	71,809	72,928	20558
Wasser/Futter	1,85			
Kotanfall, kg	600000	17,123	17,389	4902

* Divisor 1,093

** Divisor 122,4

Anlage

**Workshop „Schwermetalleinträge in
Agrarökosysteme über Wirtschaftsdünger“
16.05.2003 im Umweltbundesamt; Berlin**

Protokoll und Kurzstatements bzw. Folien der Experten

Protokoll des Workshops
„Schwermetalleinträge in Agrarökosysteme über Wirtschaftsdünger“

Ziel des Workshops:

Evaluierung von Minderungsmöglichkeiten zur Verringerung der Schwermetalleinträge über Wirtschaftsdünger

TOP 1: Begrüßung

Herr Gottlob

TOP 2: Vorstellung der Teilnehmer
(Teilnehmerliste siehe Anlage)

TOP 3: kurze Einführung/Organisatorisches

Frau Eichler

TOP 4: Vorstellung der Ergebnisse des
UBA F+E-Vorhabens „Schwermetalleinträge in
Agrarökosysteme über Wirtschaftsdünger“

Frau Schultheiss

Das Vorhaben (1999 – 2003) ist im Rahmen einer Projektgemeinschaft (KTBL Darmstadt, Uni Bayreuth, Uni Bonn und LUFA Oldenburg) bearbeitet worden. Ziel war die Erfassung von Schwermetallströmen in landwirtschaftlichen Tierproduktionsbetrieben und Erarbeitung einer Konzeption zur Verringerung der Schwermetalleinträge durch Wirtschaftsdünger tierischer Herkunft in Agrarökosysteme. Dazu wurden Untersuchungen auf 20 Betrieben (10 Rinder-; 5 Schweine- und 5 Geflügelhaltung) durchgeführt. Ziel des Gesamtvorhabens war, gängige Verfahren im konventionellen Landbau zu untersuchen.

Es wurde herausgestellt, dass die Anzahl der durchgeführten Untersuchungen zwar keine allgemeingültige Aussage für die gesamte Tierhaltung in Deutschland erlauben, dass die ausgewählten Betriebe allerdings repräsentativ für die jeweilige Tierhaltung sind und eine gute Übersicht über die potenziellen Eintragspfade/mengen geben. Im Vergleich zu bisherigen Erkenntnissen liegen die im Projekt ermittelten Schwermetalldaten in Futtermitteln und Wirtschaftsdüngern in ähnlicher Größenordnung.

Im Rahmen des Projektes wurden die Elemente Cu, Zn, Ni, Pb, Cr und Cd, [in Stichproben As und Hg] untersucht. Der Haupteintragspfad für diese Elemente ist das Futter (wirtschaftseigene Futtermittel und Zukauffuttermittel. Für die Rinderhaltung ist zusätzlich der Eintrag über elementreiche Klauenbäder (z.B. CuSO₄-Lösungen) zu beachten.

Die Bilanzierung (Bezugssystem Stall) hat ergeben, dass in der Rinder- und Schweinehaltung für die Elemente Cr, Pb, Zn und in der Schweinehaltung zusätzlich Ni und Cu die Austräge oftmals höher sind als die Einträge, wobei die Ursachen nicht immer geklärt werden konnten.

Kupfer und Zink sind essentielle Elemente, die den Futtermitteln zur Sicherstellung der Deckung des physiologischen Bedarfs zugesetzt werden. Die gemäß FuttermittelVO derzeit zulässigen Höchstwerte hinsichtlich der Supplementierung von Zn und Cu liegen um ein Vielfaches höher als die Versorgungsempfehlungen der GfE für einzelne Tierarten bzw. -kategorien. Von allen Beteiligten wird die Herabsetzung der Höchstgehalte für Kupfer und Zink in der FuttermittelVO als die effektivste Möglichkeit zur Minderung der Schwermetall-Einträge angesehen.

Allerdings wird das Einsparungspotential durch die Bezugnahme auf den Bedarfswert erheblich überschätzt, deshalb sollte als Bezugsgröße die Versorgungsempfehlung gewählt werden. Auch können aus den Höchstwerten der Futtermittelverord-

nung keine sicheren Ableitungen hinsichtlich der tatsächlichen Gehalte in der Tagesration, und nur dies kann die Kalkulationsbasis sein, abgeleitet werden, denn der tatsächliche mittlere Gehalt der Alleinfuttermittel ist nicht bekannt.

TOP 5: Expertenstatements

(die Beiträge/Folien sind in der Anlage beigefügt)

Herr Schenkel

Herr Schenkel erläuterte die Notwendigkeit der Supplementierung bestimmter essentieller Spurenelemente. Je nach Bioverfügbarkeit werden bis zu 95 % der aufgenommenen Spurenelemente wieder ausgeschieden. In der Diskussion stellte er dar, dass eine (aus Umweltsicht teilweise geforderte) Supplementierung in Höhe der Versorgungsempfehlungen in der Praxis nur sehr eingeschränkt möglich ist, weil Toleranzen, z.B. auf Grund der Verfahrensvielfalt und der Variabilität der nativen Gehalte notwendig sind. Für dringend erforderlich hält er eine bessere Kenntnis der nativen Gehalte und der vorhandenen Antagonisten der essentiellen Spurenelemente im wirtschaftseigenem Futter.

Herr Pecher

Herr Pecher stellte die Ergebnisse von Ferkelfütterungsversuchen vor und erläuterte an Hand dieses Beispiels die ökonomischen Auswirkungen künftig reduzierter Cu- und Zn-Gehalte im Schweinefutter. Es ist bei reduzierter Cu und Zn Gabe im Ferkelfutter von Einkommenseinbußen durch geringere Verkaufsgewichte von 3.000 – 11.000 € - je nach Betriebsgröße - zu rechnen. Aus der Sicht der Futtermittelhersteller sind praktikable Lösungen (insbesondere im Ferkelbereich) dringend erforderlich. Eine längere Haltungsdauer infolge geringeren Wachstums (aufgrund zu geringer Supplementierungen) ist ohne Aufstockung der Stallkapazitäten und damit verbundenen Zusatzinvestitionen nicht möglich.

Herr Spiekers

Herr Spiekers stellte die Aussagen der Fütterungsberatung als Vorsitzender des Bundesarbeitskreises der Fütterungsreferenten dar. Auf der Basis der von der GfE empfohlenen Werte zur Versorgung der Nutztiere erfolgt die Ergänzung der Futterrationen mit Spurenelementen. Anhand aktueller Untersuchungen des Vereins Futtermitteltest (VFT) wurde die Spannbreite der Gehalte an Zink, Kupfer und Selen im verkauften Mischfutter für Rinder und Schweine dargestellt. Er weist auf das (insbesondere bei Cu) vorhandene Minderungspotenzial hin, gleichzeitig empfiehlt er das Monitoring für Grobfutter und Einzelkomponenten zu verstärken. Auf der Basis dieser Werte und einer intensiveren Rationsplanung und -kontrolle kann eine Minderung der Spurenelementeinträge bei Sicherstellung der erforderlichen Versorgung erfolgen. Die derzeit im ständigen Futtermittelausschuss der EU (SCAN) diskutierten Werte sind als obere Richtschnur anzusetzen. In der Ferkelfütterung kann eine Verängerung der zugeführten Spurenelemente zu erheblichen gesundheitlichen Problemen und/oder Leistungseinbußen führen. Weitere Versuche mit Jungtieren sind daher angezeigt.

Herr Lüpping

Die Versorgung ist am Bedarf zu orientieren. Die teilweise noch übliche Standardgabe an Mineraffutter ist nicht empfehlenswert, es sind bei der Beratung die Gehalte und die Verfügbarkeiten des wirtschaftseigenen Futtermittels zu berücksichtigen. Bei der Berechnung von Schwermetallasträgen ist der betriebsinterne Kreislauf zu berücksichtigen, Bilanzierung auf der Basis von Hofbilanzen. Die Mineraffuttermittel sollten einzelbetrieblich optimiert werden, außerdem sollte eine Entkopplung der Mengen- und Spurenelementvorsorgung erfolgen.

Frau Meyer

Frau Meyer stellte Ergebnisse von Schweinefutteranalysen und von einem Fütterungsversuch der LWK Hannover und der Tierärztlichen Hochschule Hannover vor. Im Mastschweineversuch führten die deutlich unter den derzeit zulässigen Grenzwerten liegenden Cu- und Zn-Gehalte zu einer um 75 g geringeren Tageszunahme, die Gesamtleistung war jedoch nicht beeinträchtigt. Die Reduktion der Spurenelemente im Wirtschaftsdünger lagen bei dieser Versuchsreihe für Cu bei 42 % und für Zn bei 22 %. Für die Mastschweine ist demzufolge eine Reduzierung der Supplementierung möglich, im Ferkelbereich muss dies als kritisch angesehen werden. Die derzeit diskutierten Zielwerte für Cu- und Zn-Gehalte in Wirtschaftsdüngern (BMU/BMVEL-Konzept) sind zu hinterfragen, die Einhaltung dieser Zielwerte würde in vielen Fällen zu einer nicht ausreichenden Versorgung mit Kupfer und Zink führen. Bei gerade noch ausreichender Versorgung ist es nicht möglich, dass Schweinegülle den für Sandböden vorgesehenen Grenzwert erreicht.

Herr Windisch

Herr Windisch betonte, dass die Supplementierung des Tierfutters mit Zink und Kupfer unverzichtbar ist. Innerhalb des praktikablen Bereichs (SCAN-Werte) ist jedoch anzunehmen, dass die Ausbringung von Zn und Cu über die Wirtschaftsdünger auf die landwirtschaftliche Nutzfläche die momentan diskutierten Grenzwerte überschreiten kann, und zwar selbst bei Unterstellung einer niedrigen Viehdichte („ökologisches Niveau“). Somit könnten die diskutierten Grenzwerte Teile der Tierhaltung handlungsunfähig machen. Gleichwohl sind gezielte Variationen im Futtermittel (weg vom Standard-Mineraffuttermittel) und eine Verringerung der Bestandsdichten in einigen Regionen durchaus wirksame Maßnahmen zur Reduzierung der Zn- und Cu-Emissionen aus der Tierhaltung.

Herr Jahn

Herr Jahn erläuterte kurz den Herstellungsprozess von ZnO und informierte über Verunreinigungen des Oxides mit As, Cd, Hg und Pb. Grundlage für die Herstellung von ZnO sind die Aschen aus den Verzinkereien. Hinsichtlich der Bioverfügbarkeit gibt es im Bereich der Rinder- und Schweinefütterung keine Unterschiede, dagegen ist im Geflügelbereich eine geringere Verfügbarkeit von ZnO zu verzeichnen. Diese Aussage wird in einem derzeit laufenden Fütterungsversuch überprüft.

Herr Kamphues

Ohne Supplementierung der essentiellen Spurenelemente wären auch heute die klassischen Mangelerkrankungen (z.B. Hautkrankheiten) zu verzeichnen. Dies gilt z.B. auch für ökologisch wirtschaftende Betriebe. Aber auch eine Nichtexistenz von sichtbaren Mangelsymptomen bedeutet nicht, dass das Tier optimal versorgt ist. Zu beachten ist, dass die Verwertbarkeit/angenommene Verfügbarkeit der Elemente nicht genau bestimmbar ist, diese hängt u. a. von den einzelbetrieblichen Variationen sowie anderen Futterkomponenten (z.B. Futterkalk) und deren Wechselwirkungen ab. Neben den nativen Gehalten des Grundfutters ist auch die Leistung des Tierbestandes als limitierender Faktor zu beachten. Aus der Sicht von Herrn Kamphues sind nicht die Gehalte einzelner Elemente in der Gülle wichtig, sondern die optimale Ernährung des Tieres und die Minimierung von Überhängen um potenzielle Akkumulationen zu vermeiden. Dringend erforderlich sind bessere Kenntnisse hinsichtlich der Verfügbarkeit von Spurenelementen, der Stand des Wissens entspricht in etwa dem Wissen zur Energieversorgung der Tiere von vor 100 Jahren.

Herr Linn

In der Geflügelproduktion gibt es derzeit keine Probleme hinsichtlich der Versorgung mit Spurenelementen, da zwischen dem Bedarf und den zulässigen Werten (FuttermittelVO) noch ausreichend Spielraum besteht. Den vorgeschlagenen SCAN-Werten kann Herr Linn zustimmen. Lediglich bei großer Hitzebelastung wird derzeit eine zusätzliche Cu-Supplementierung diskutiert. Zu beachten ist außerdem, dass es bei einer Unterversorgung mit Cu zu Problemen der Aortenelastizität bei den Puten kommen kann. Das Fütterungsverbot von tierischem Eiweiß, führt zu verstärktem Einsatz von phytinreichem Soja, dadurch entsteht ein Problem in der Zinkversorgung.

Herr Petersen

Herr Petersen knüpft an seinen Vortrag in Göttingen im April vorigen Jahres an. Bereits damals hat er ausgeführt, dass es zweifelhaft sei, dass die diskutierten Relationen in der Gülle – und dann auch noch bodenabhängig – durch Fütterungsmaßnahmen realisiert werden können. Der wissenschaftliche Ausschuss für Tierernährung der Kommission geht jedenfalls davon aus, dass es auf der Grundlage der EG-Bodenschutzwerte keine Probleme durch die derzeitige Spurenelementsupplementierung der Futtermittel gebe. In diesem Licht sind die am Vortrag von der Kommission vorgeschlagenen aktuellen Werte zu sehen. Das EG-Futtermittelrecht lässt zudem keinen Spielraum für nationale Abweichungen. Im übrigen sind Kommissionsvorschläge erfahrungsgemäß relativ verhandlungsresistent. Der neue Vorschlag der Kommission sieht folgende Höchstmengen (Milligramm pro Kilogramm) vor:

Zink:	Heimtiere	250
Fische		200
andere Tiere		150
Kupfer:	Schweine bis 10 Wochen	170
	Milchaustauschfutter für Kälber	10
	Futtermittel für sonstige Kälber	15
	Futtermittel für sonstige Rinder	30
Schafe		15
Fische		25
Crustaceen		50
andere Tiere		25

Futtermittelmaßnahmen sind im übrigen nur eine Seite der Medaille. Die derzeitigen Güllegehalte spiegeln auch Einträge aus anderen nicht geregelten Bereichen oder aus illegalen Praktiken wieder, so z.B. hohe Zinkgehalte in Tierarzneimittelvorschüngen, Kupfersulfat-supplementierung über Tränkwasser bei Geflügel (vor allem Puten), Einstreu mit Zinkoxid. Die Praktiken bei Zink sind vermutlich eine Reaktion auf das Verbot der antibiotischen Leistungsförderer.

Herr Kroker

Herr Kroker war kurzfristig verhindert, er stellte seinen Beitrag in schriftlicher Form zur Verfügung. Derzeit wird die Senkung des Anteils ZnO als Trägersubstanz von derzeit 400 – 700 g/kg auf 250 g/kg Vormischung diskutiert. Nach seiner Einschätzung stellen (entgegen den Ergebnissen des F+E-Projektes) die Einträge über zugelassene Klauenbäder (1 Produkt) aus ökonomischen Gründen ein zu vernachlässigendes Eintragspotenzial dar. Die Verwendung von ZnO in hohen Konzentrationen (z.B. zur Durchfallprophylaxe) ist illegal.

Herr Sundrum

Für die Ökologische Landwirtschaft liegen derzeit keine konkreten Daten zu den Gehalten von Schwermetallen in Wirtschaftsdüngern vor. Herr Sundrum geht aber davon aus, dass auf 'Bio-Betrieben' der Gehalt an Schwermetallen in den Wirtschaftsdüngern eher geringer ist als in der konventionellen Landwirtschaft. Dies resultiert u.a. aus dem deutlich geringeren Anteil an Zukaufsfuttermitteln (Kraftfutter- und Mineralstoffmischungen), dem deutlich geringeren Tierbesatz pro Nutzfläche und dem Verzicht auf den prophylaktischen Einsatz von Tierarzneimitteln und Cu-haltigen Desinfektionsmitteln. In der Ökologischen Landwirtschaft steht die Kreislaufwirtschaft sowie die Flächenbindung der Tierhaltung im Vordergrund. Die zugekauften Mineralstoffmischungen entsprechen derzeit in vielen Fällen noch denen im konventionellen Landbau. Allerdings wird von den Verbänden an einer Zertifizierung gearbeitet, mit denen Mineralfuttermischungen, die über den Versorgungsempfehlungen der GfE liegende Gehalte an Cu und Zn aufweisen, vom Einsatz in der Ökologischen Tierhaltung ausgeschlossen werden können.

Bei der Bewertung der Cu- und Zn-Problematik ist seiner Ansicht nach ein system-orientierter Ansatz zwingend erforderlich. Die Ökologische Landwirtschaft kann hier auf entsprechende Erfahrungen zurückgreifen, die konzeptionell und in modifizierter Form auch für anderen Wirtschaftssysteme nutzbar gemacht werden können.

Das gegenwärtig diskutierte BMU/BMVEL-Konzept ist aus seiner Sicht keine sinnvolle Lösung, da es sich um einen 'End-of-Pipe' Ansatz handelt, der weder hinreichend zielführend zu sein scheint noch im Hinblick auf die Aufwand-Nutzen-Relation zu überzeugen vermag. Vielmehr sollte durch den Gesetzgeber ein Handlungsrahmen vorgegeben werden, der betriebsindividuelle Lösungen zulässt. Nur auf diese Weise können effiziente Lösungen erarbeitet, Synergieeffekte realisiert und diverse Zielkonflikte betriebsspezifisch entschärft bzw. minimiert werden. Mit dem Instrument der Betriebsbilanzierung sind entsprechende Frachtenabschätzungen möglich, mit denen sowohl die Ausgangssituation als auch der Erfolg entsprechender Minimierungsstrategien überprüft werden kann, ohne dass damit erhebliche Aufwendungen einhergehen.

Herr Schumacher

Im ÖLB gelten die gleichen Versorgungswerte wie im konv. LB, auch die FuttermittelVO ist hier gültig. Herr Schumacher betonte, dass eine Lösung nur durch Reglementierung der Eintragsquellen nicht durch eine Grenzwertsetzung im Bereich der Wirtschaftsdünger möglich ist (zu aufwendig zu teuer). Eine Hoftorbilanz erscheint ihm als gangbaren Weg, entsprechende Richtwerte und Monitoring können den Vollzug vereinfachen. Lösungswege des konventionellen LB, z.B. Einsatz von Phytase (bessere Bioverfügbarkeit) sind im ÖLB z.T. nicht möglich, da derzeit keine gentechnischfreie Phytase auf dem Markt angeboten wird. Besonders problematisch sind, wie im konventionellen LB die Ausscheidungen an Cu und Zn im Ferkelbereich.

Herr Kaupenjohann

Grundlage für die Beurteilung einer Bodengefährdung durch Schwermetalleintrag ist aus der Sicht des Bodenschutzes die Schwermetallfracht. Es müssen dabei sämtliche Eintragspfade berücksichtigt werden. Die Art der Quelle (atmosphärische Deposition, Mineraldünger, Wirtschaftsdünger, Klärschlamm, Bioabfallkompost, Pflanzenschutzmittel, andere Aufträge) spielt dabei - zumindest auf lange Sicht - keine Rolle. Die Gehalte an organischer Substanz in Böden werden im Wesentlichen durch Bodeneigenschaften, Klima und Bewirtschaftung bestimmt. Sie können durch einmalige Zufuhr von organischer Substanz nicht dauerhaft erhöht werden. Daher sollte für die Berechnung von Verdünnungseffekten nur die langfristig im Boden verbleibende mineralische Substanz berücksichtigt werden. Dies ist in erster Näherung der Aschegehalt.

Spurennährälemente und die übrigen Schwermetalle sollten differenziert behandelt werden. Spurennährälemente müssen den Pflanzen in ausreichender Menge zur Verfügung stehen, um Ernährungsstörungen zu vermeiden. Im Rahmen einer Gesamtbilanz müssen die Spurenelementflüsse daher nach dem Substitutionsprinzip berücksichtigt werden. Für die übrige Schwermetalle, insbesondere die schon in geringer Konzentration toxisch wirkenden sollten die Einträge möglichst gering gehalten werden (Minimierungsprinzip).

Diskussion – Minderungsmöglichkeiten oder -potenziale

Als ein erfolgversprechender Ansatz für die Verringerung der Schwermetallgehalte von Wirtschaftsdüngern wurde von den Workshopteilnehmern die Reduzierung der Cu- und Zn-Supplementierung betrachtet. Für Futtermittel und Futterzusatzstoffe wird innerhalb der EU-Kommission in den Arbeitsgruppen des "Wissenschaftlichen Ausschusses für Tierernährung" (SCAN) eine Herabsetzung zulässiger Höchstwerte für Spurenelemente, die als Futterzusatzstoffe supplementiert werden, diskutiert.

Weiterhin sind im Tierarzneimittelrecht Anpassungen in der Diskussion (z.B. Nutzung Zn-armen Trägersubstanzen):

Im Vergleich zur Schweinehaltung sind die Minderungspotenziale in der Rinderhaltung geringer, da der Anteil an wirtschaftseigenen Futtermitteln entsprechend höher ist. Generell gelangen Spurenelemente nicht nur über Mineralfuttermittel in die Ration, sondern auch über andere Mischfuttermittel, die oftmals supplementiert sind; hierauf hat der Landwirt keinen Einfluss.

Für die Schweinehaltung ergaben exemplarische Berechnungen (vorgestellt von Herrn Döhler) an einem Beispielsbetrieb, dass durch die Reduzierung der Höchstgehalte bei den Mineralfuttermitteln mit Minderungen von 58 % (Cu) bzw. 40 % (Zn) und unter Berücksichtigung aller Eintragspfade von 51 % (Cu) bzw. 30 % (Zn) angenommen werden können. (Bezugsbasis: derzeit gültige Höchstgehalte der Futtermittelverordnung versus der Werte, die vom Ständigen Futtermittelausschusses vorgeschlagen wurden).

In der Diskussion wurde herausgestellt, dass die im vorliegenden Projekt gewonnenen Ergebnisse und daraus ableitbaren Zusammenhänge auf einem einmaligen Screening ausgewählter konventioneller Betriebe beruhen. Dies stellt somit eine erste Beschreibung des Ist-Zustandes dar. Der Schwerpunkt der Untersuchungen lag auf Betrieben mit Rinderhaltung, da diese die größte Bedeutung (Anzahl der Betriebe, Viehbestand (GV), Einkommen aus der Tierhaltung) in Deutschland haben. Es wurden unterschiedliche Betriebsgrößen und verschiedene Haltungsverfahren berücksichtigt, um den potenziellen Einfluss dieser Faktoren zu erfassen. Auftragsgemäß sind Betriebe in verschiedenen Regionen Deutschlands ausgewählt worden. Die Anzahl der durchgeführten Untersuchungen erlaubt zwar keine repräsentative Aussage für die gesamte Tierhaltung in Deutschland, zeigt aber durchaus die potenziellen Eintragspfade/-mengen auf. Die Projektergebnisse sind durch weitere systematische Untersuchungen abzusichern. Hierbei sind Betriebe des Ökologischen Landbaus einzubeziehen. Für einen umfassenden Informationsgewinn und -transfer wird ein Monitoring aller Schwermetallflüsse in landwirtschaftlichen Betrieben und Agrarunternehmen für dringend erforderlich gehalten.

Von den Teilnehmern wurden folgende Punkte schwerpunktmäßig diskutiert:

- Verbesserung der Datenbasis für Futtermittel (ggf. regionalisierte Darstellung von Elementgehalten im wirtschaftseigenen Futter), Kennzeichnung der Spurenelementgehalte in Futtermitteln)
- Erweiterung und Aktualisierung der Futterwerttabellen
- Ausdehnung und Verbesserung der Fütterungsberatung im Bereich der Spurelemente (Ansatzpunkte: Monitoring, Rationsplanung, Rationskontrolle, Bilanzierung der Ausscheidung, Beispielsbetriebe)
- Notwendigkeit der systematischen Datenerhebung in ökologisch wirtschaftenden Betrieben
- Einrichtung von Leitbetrieben (konv. und ökologisch wirtschaftende Betriebe), die die Einsparpotenziale aufzeigen (Minderungsmaßnahmen dokumentieren) und eine konsequente Bilanzierung ermöglichen
- Erhebung von Daten und Diskussion von Minderungsansätzen in den Bereichen:
- Eintragsmengen über Klauenbäder (kompletter Verzicht auf Klauenbäder möglich? oder Entwicklung von entsprechenden Alternativen)
- Einsatz von Zn- und Cu-freien Einstreumaterialien oder Verbot Zn- und Cu-haltiger Einstreumaterialien
- Einsatz SM-haltiger Tierarzneimittel sowie der Reinigungs- und Desinfektionsmittel
- Prüfung der Möglichkeiten des Cr(Ni)-Eintrags von Edelstahleinrichtungen (z.B. Abrieb von Melkmaschinen) sowie Einträge weiterer Elemente über Stalleinrichtungsmaterialien
- Notwendigkeit der intensiven (hochleistungs-)Tierhaltung in Deutschland

Teilnehmerliste

Berlin, d. 16.05.03

für die Sitzung/Veranstaltung:

„Workshop Schwermetalleinträge in Agrarökosysteme durch Wirtschaftsdünger“

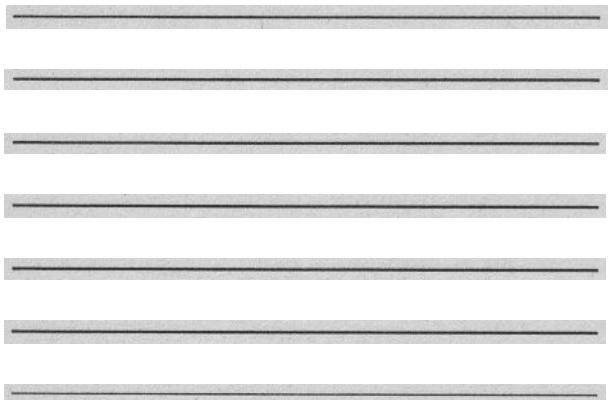
Veranstaltungsort: UBA; R 1134 (Bismarckplatz) von: 10:00 Uhr; bis: 15:30 Uhr

lfd. Nr.	Name	vertretende Behörde/ Organisation	Tel.-Nr.	e-mail-Adresse
1	Gottlob	UBA	2246	
2	Fichter	UBA	-2116	f.fichter@uba.de
3	Döhler	KTBL	06151 7001187	h.dohler@ktbl.de
4	Schultheiss	KTBL	-148	u.schultheiss@ktbl.de
5	Kamphues	Tierärztl. Hochschule Hannover	0511-8567301	josef.kamphues@tib-hannover.de
6	Spielers	LWK Rheinland	0228/7031424	h.spielers@lk-rheinland.nrw.de
7	Schenkels	Univ. Hohenheim	0711/1459-2671	Schenkels@chemie.uni-hohenheim.de
8	Windisch	BOKU WIEN	0043 1 471543281	Windisch@boku.ac.at
9	Meyer	LWK Hannover	0511/3665-1479	Meyer.Andrea@Lwkhan.de
10	Große	BMBF, NGS	0228/305-2652	willhelm.Große@bmbf.bund.de
11	Lüppking	Loudh.Kun STT	0431/9797258	w.lueppking@eksh.de
12	Kampf	Orffa (Deutschland) GmbH	02811-279200	Kampf@orffa.de
13	Linn	ZDG	0228-5300241	info@zdg-online.de
14	Lahrsen	BfR	030/8412 2362	M.Lahrsen@Bfr.bund.de
15	Kaupenjohann	TU Berlin	030-314-73530	Heiko.Kaupenjohann@tu-berlin.de
16	Fahn	GrimmLichtstadtBüH	05321 68153	b.fahn@grimmo-2no.de
17	Sundrum	Uni-Kassel	05542-981710	Sundrum@wiz.uni-kassel.de
18	Schumann	Bioland	05205-950816	Schumann@-biot-online.de

lfd. Nr.	Name	vertretende Behörde/ Organisation	Tel.-Nr.	e-mail-Adresse
19	PECHER	Schäumann Pinneder	04101- 218-228	Hans-Pek. Pecher schäumann-online.de
20	Huck	UBA, Bodenschutz ^{II 5.1}	2325	sabine.huck@uba.de
21	RÜCK	UBA II 5.1.	-2854	friedrich.rueck@uba.de
22	BARNICK	UBA, ^{III} 3.2	-3563	claus.barnick@uba.de
23	Koßler	UBA, ^{III} 3.2	-3757	hermann.koßler@uba.de
24	FERING	UBA I 1.4		
25	Persson	AMVBL	-8624	3189@bunuel.fund.de
26				
27				
28				
29				
30				
31				
32				
33				
34				
35				
36				
39				
40				

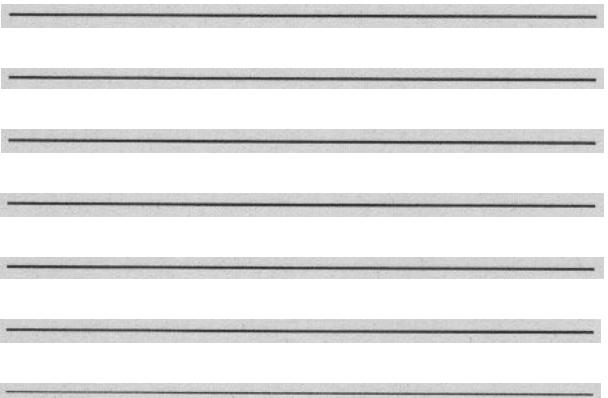
Frans Schubert, KTB

Erfassung von Schwermetallströmen in landwirtschaftlichen Tierproduktionsbetrieben



Zielsetzung

- Quantitative Erfassung der Ein- und Austräge für Schwermetalle im System Stall
- Identifizierung von Minderungsansätzen
- Ableitung von Forschungsbedarf
- Entscheidungshilfen für Politik



UBA-Projekt: Schwermetallströme.....

Kontaktlinie für
Bauwerke und Bauwesen
an der Universität

KTBL

Projektgemeinschaft

```

graph TD
    Ktbl[KTBL Darmstadt] --- UBB[Universität Bonn (ACI)]
    UBB --- UBO[Universität Bayreuth (LFBB)]
    UBO --- LUFA[LUFA Oldenburg]
    LUFA --- Ktbl
  
```

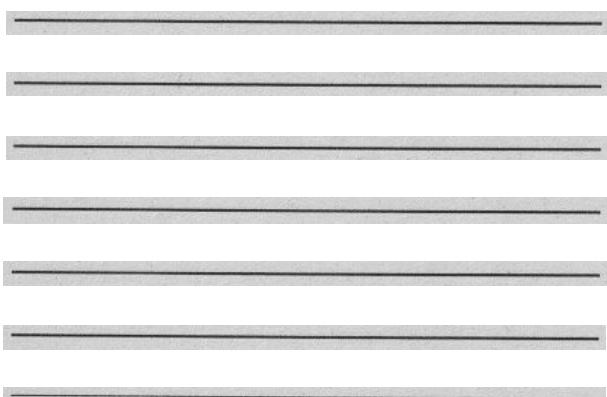
Universität Bonn (ACI)

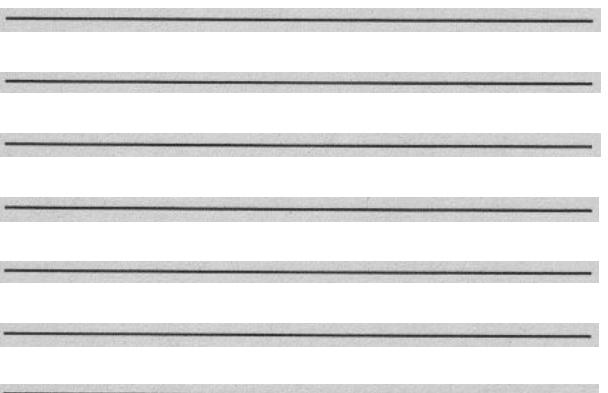
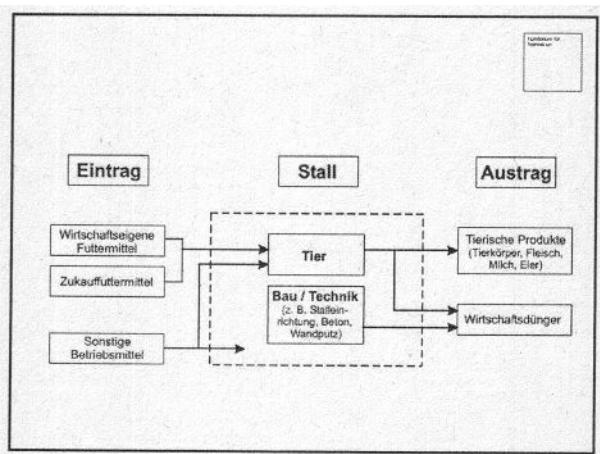
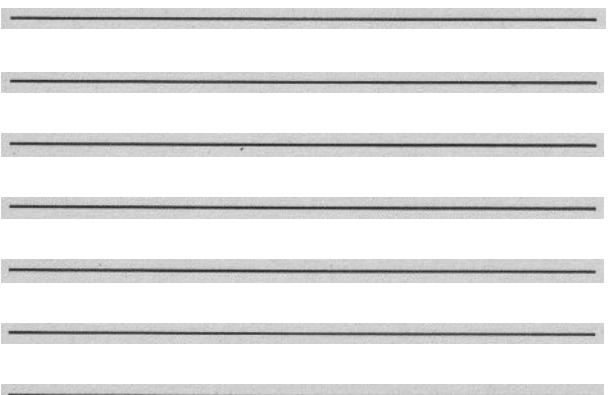
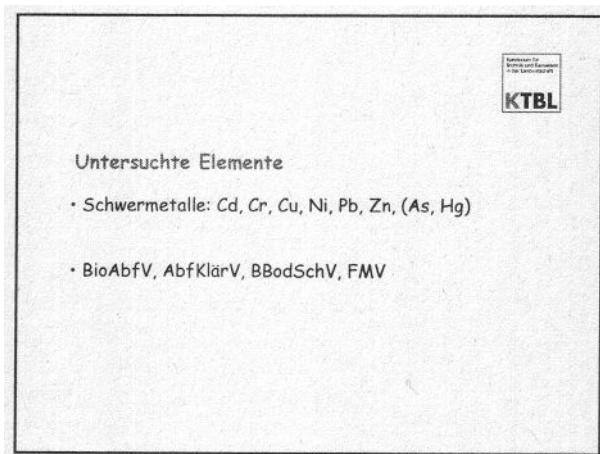
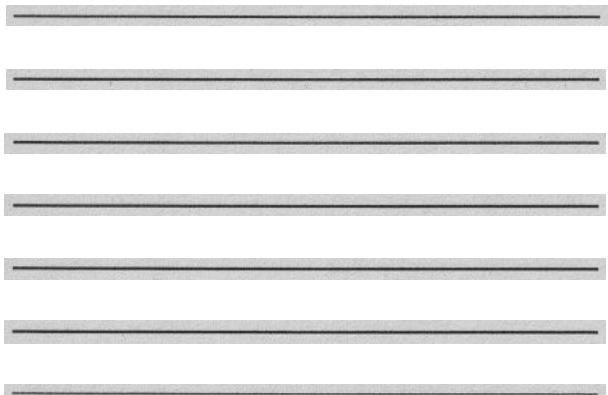
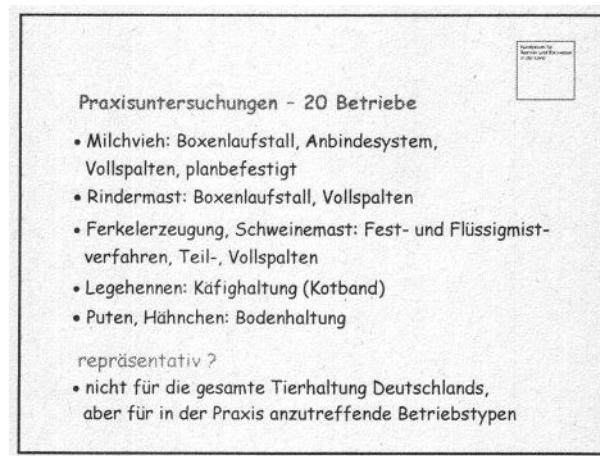
Universität Bayreuth (LFBB)

LUFA Oldenburg

Projektbegleitende Arbeitsgruppe

Laufzeit: 01.10.99 - 31.12.02



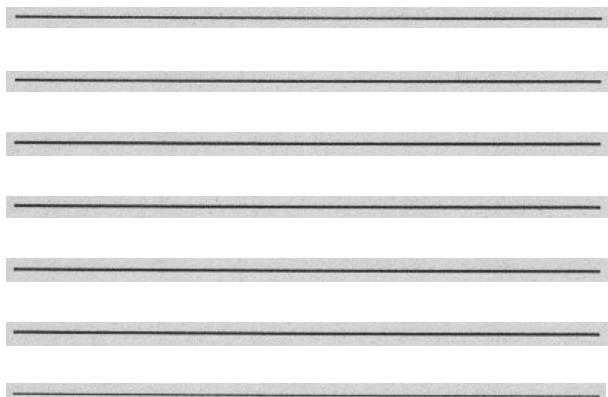


Landesamt für
Technologie und
Wirtschaftsförderung
in der Landwirtschaft

KTBL

Schwermetallgehalte von Rindergülle (mg/kg TS)

	Cd	Cu	Cr	Ni	Pb	Zn
Uhllein, 2001, n = 20	0,17	68	3,0	7,1	2,5	246
Boysen, 1992, n = 5	0,34	45	3,6	5,2	6,9	217
zit. in Tritt, 1994	0,46	45	5,4	3,8	10,9	222
zit. in UMK-AMK- LABO-AG, 2000	0,28	44,5	7,3	5,9	7,7	270
KTBL, 2000 n = 138	0,29	37	5,3	6,2	4,1	190



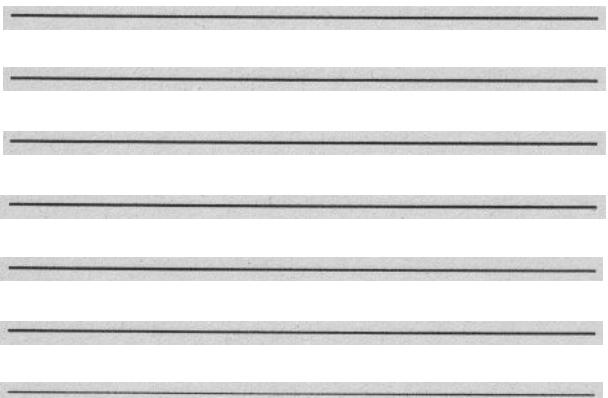
Landesamt für
Technologie und
Wirtschaftsförderung
in der Landwirtschaft

KTBL

Schwermetallgehalte in Futtermitteln

	n	Cu mg kg ⁻¹ TM	Zn
Gras - Projekt	23	10,7	39,8
Gras ¹⁰	25	8,2	42,9
Heu - Projekt	31	8,3	34,9
Heu ¹¹	106	7,8	47,9
Grassilage - Projekt	101	8,6	37,6
Grassilage ¹⁰	992	9,5	53,3
Grassilage ¹¹	1200	8,1	38,0
Maisilage - Projekt	73	5,0	34,6
Maisilage ¹⁰	684	4,6	56,5
Maisilage ¹¹	102	4,4	36,0

¹⁰ BLT GRUB (2002) ¹¹ LUFA OLDENDORF (1997-2000)

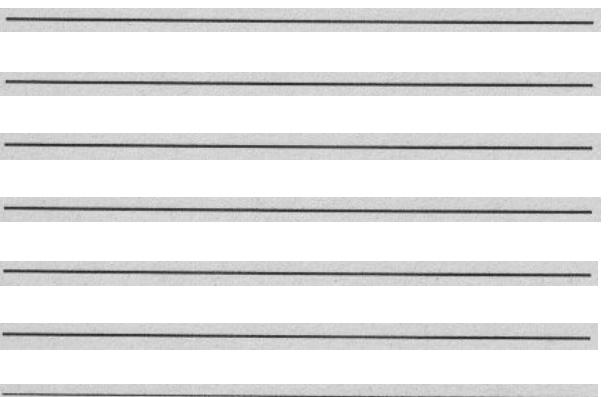


Landesamt für
Technologie und
Wirtschaftsförderung
in der Landwirtschaft

KTBL

Schwermetallgehalte in Futtermitteln

	n	Cu mg kg ⁻¹ TM	Zn
Milchleistungsfutter VFT (1996)	431	14,2 (4,2-49)	87 (37-514)
Projekt	35	31,4	176



Institut für
Soil Science und
Bioverarbeitung
in der Landwirtschaft

KTBL

Schwermetallgehalte in Futtermitteln

Mischfuttermittel	n	Cu	Zn
		mg kg ⁻¹ TM	
Ferkelaufzucht ¹⁾	27	152	211
Ferkelaufzucht ²⁾	Cu 52 / Zn 20	129	225
Ferkelaufzucht - Projekt	16	139	177
Mastschweine ¹⁾	10	28	143
Mast-/Zuchtschweine ²⁾	Cu 102 / Zn 16	30	146
Mastschweine - Projekt	28	30	158

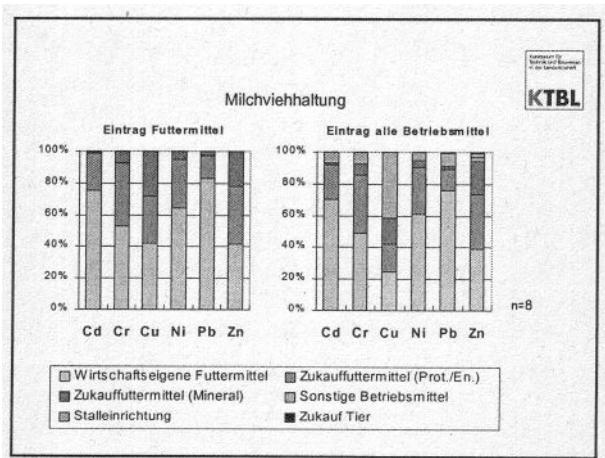
¹⁾ MEYER (2002) ²⁾ LUFA OLDENBURG (1998-2001)

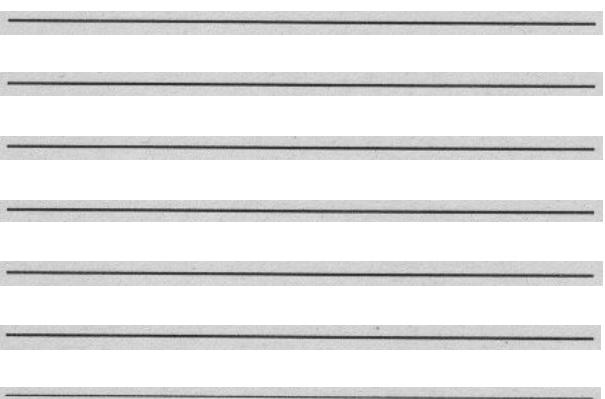
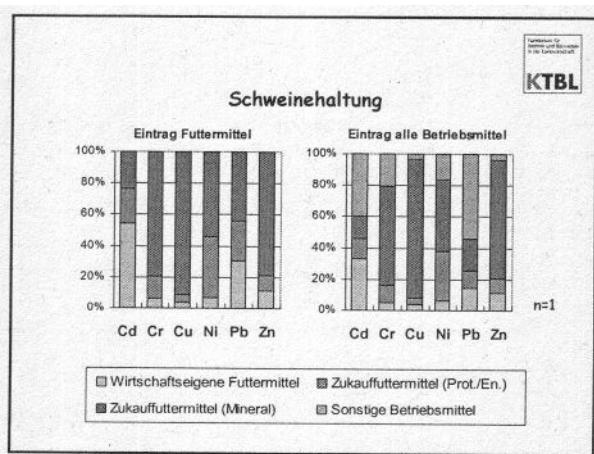
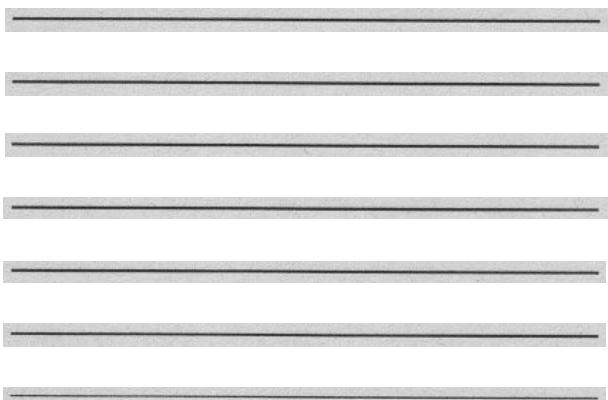
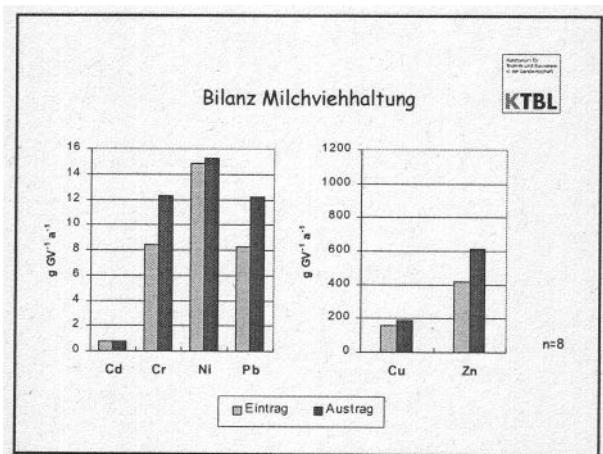
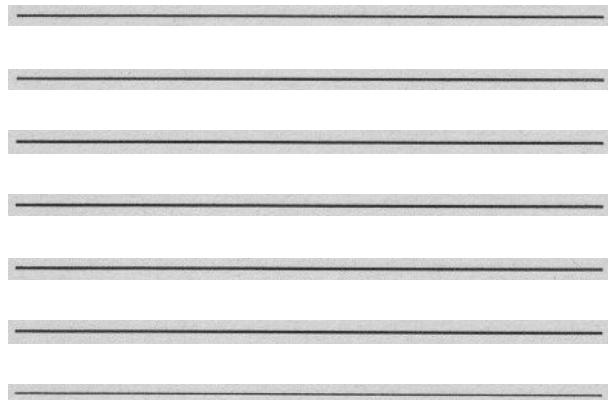
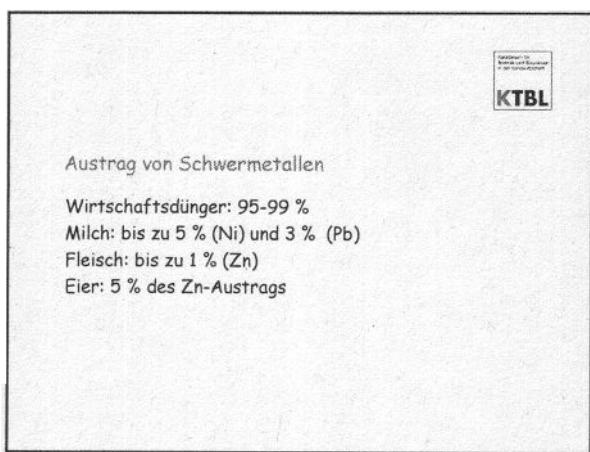
Institut für
Soil Science und
Bioverarbeitung
in der Landwirtschaft

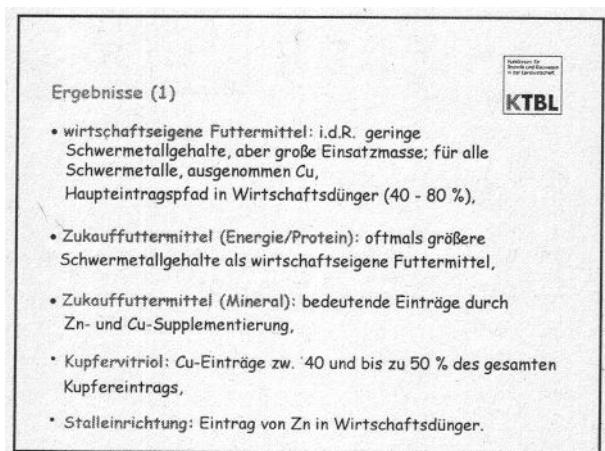
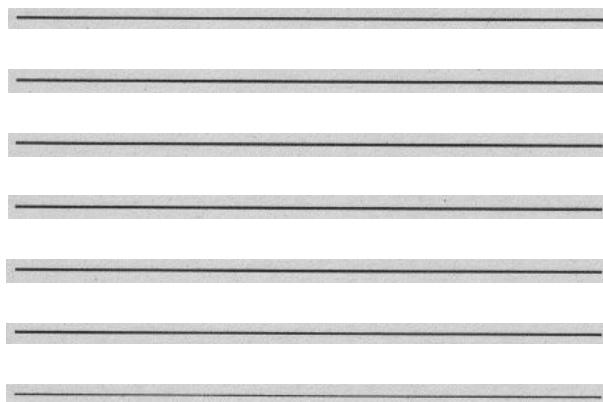
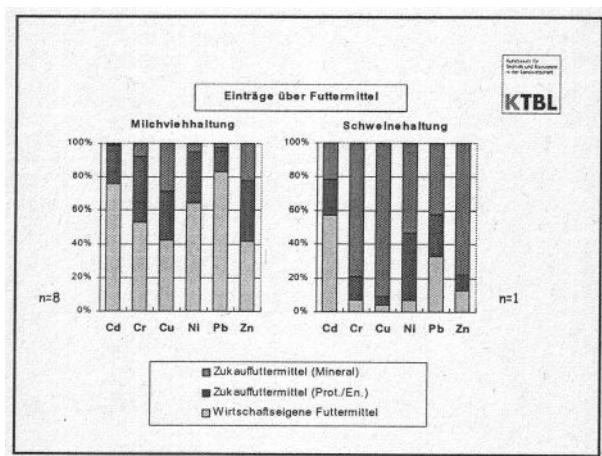
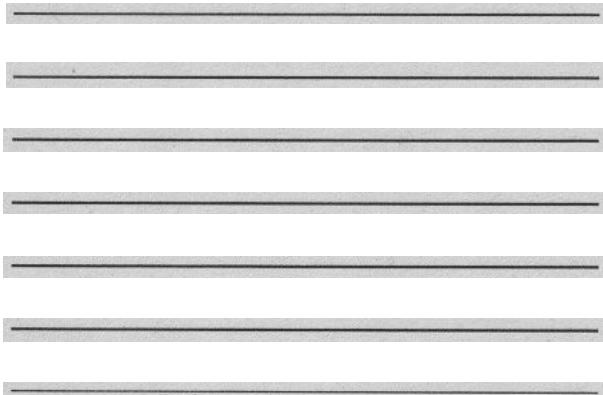
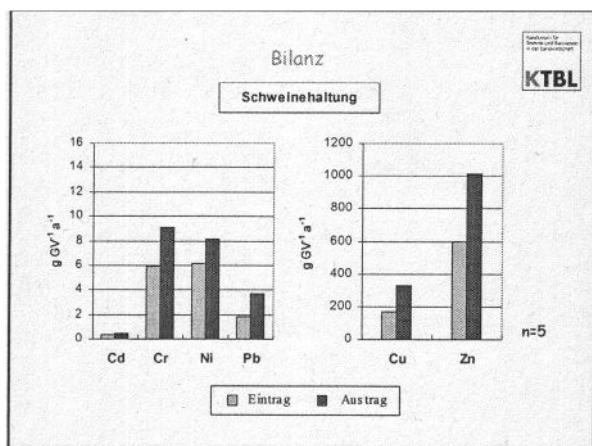
KTBL

Warum werden Spurenelemente supplementiert ?

- Deckung des physiologischen Bedarfs der Tiere
- Futter enthält Inhaltsstoffe, die die Verwertung der Spurenelemente beeinträchtigen
- Elemente liegen in schwer verfügbaren Bindungsform vor
- Leistungssteigerung
Krankheits-Prophylaxe (Durchfall, Klauen, ...),







Ergebnisse (2)

- Bilanz: Schwermetallausträge über tierische Erzeugnisse und Wirtschaftsdünger oftmals größer als Einträge in die Ställe,
- insbesondere für Chrom, Zink und Blei müssen weitere Eintragsquellen existieren,
- Betriebsgröße hat keinen erkennbaren Einfluss auf die Ergebnisse der Stallbilanz.

Handlungsbedarf

Ein breit angelegtes Monitoring aller Schwermetallflüsse in landwirtschaftlichen Betrieben würde die Identifizierung bzw. Quantifizierung bisher nicht ausreichend erfasster Ein- und Austragspfade erlauben

- Futtermittel/Wirtschaftsdünger: Ausweitung der Datenbasis (Grundgesamtheit, regional erhobene Daten, native SE, Datenbank),
- Systematische Überprüfung sonstiger Eintragsquellen in den Stall (Futterungsarzneimittel, Einstreumaterialien, Güllezusatzstoffe, Stalleinrichtungen, Baumaterialien, Farben).

**Kurzstatement beim Workshop
„Schwermetalleinträge in Agarökosysteme über Wirtschaftsdünger“**

Hans Schenkel, Universität Hohenheim

Die ausreichende Versorgung landwirtschaftlicher Nutztiere mit essentiellen Spurenelementen ist zur Aufrechterhaltung der Gesundheit und Leistungsfähigkeit zwingend notwendig.

Verschiedene nationale wissenschaftliche Gremien haben auf der Basis der in der Literatur vorliegenden Befunde Versorgungsempfehlungen für verschiedene Spurenelemente abgeleitet. Versorgungsempfehlungen unterscheiden sich vom Bedarf v.a. durch die Einbeziehung eines gewissen Sicherheitsspielraums (Sicherstellung der Versorgung bei ungünstiger Rationszusammensetzung, verminderter Futteraufnahme etc.). Gewisse Unterschiede zwischen den Empfehlungen einzelner Gremien erklären sich u.a. aus der verschiedenen Datengrundlage und einer unterschiedlichen Vorgehensweise bei der Bedarfsableitung (Dosis-Wirkungs-Versuche oder faktorielle Ableitung).

Die im Zusammenhang mit den futtermittelrechtlichen Regelungen zum Einsatz von Spurelementverbindungen als Futterszusatzstoffe festgelegten Höchstwerte in der Gesamtration (FMVO Anlage 3), liegen zum Teil erheblich über den Versorgungsempfehlungen. Die Bemühungen um eine mögliche Reduktion des Elementeintrages in die Wirtschaftsdünger seitens der Fütterung drehen sich daher um die Frage, ob und in wieweit die bisher geregelten Höchstwerte den Versorgungsempfehlungen angenähert werden können, ohne eine ausreichende Versorgung der Tiere zu gefährden.

Eine Absenkung bis auf Werte der Versorgungsempfehlungen ist nur bedingt möglich. Zwischen Höchstwertregelung und Versorgungsempfehlungen sollte in Abhängigkeit von Tierart und Nutzungsrichtung eine gewisse Spanne aufrechterhalten werden:

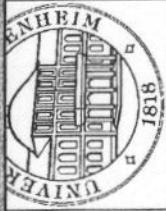
- Native Gehalte können die Versorgungsempfehlungen überschreiten. Liegen die Elemente in schlecht verfügbarer Form vor (Bindungsform, Präsenz von Antagonisten) ist keine Sicherstellung der Versorgung durch eine Supplementation möglich. Ein sehr enger Spielraum zwischen Versorgungsempfehlung und Höchstwert setzt eine exakte Kenntnis der nativen Gehalte voraus (aufwendige Untersuchungen bzw. detaillierte Tabellenwerke)
- Bedingt eine sehr umfangreiches Sortiment an mineralischen Ergänzungsfuttermitteln um den jeweiligen Betriebssituationen gerecht zu werden
- Bedingt spezielle Regelungen, wenn eine höhere Supplementation aus diätetischen Gründen (Prophylaxe und Therapie) nötig ist.

Der wissenschaftliche Ausschuss für Tierernährung (SCAN) hat im Auftrage der EU-Kommission für Kupfer und Zink Vorschläge für eine Absenkung der bislang festgelegten Höchstwerte erarbeitet. Dies erfolgte im Hinblick auf den möglichen Übergang der Elemente in Lebensmittel tierischer Herkunft, einer Beeinträchtigung der Gesundheit und Leistungsfähigkeit der Tiere sowie des Austrags der Elemente über Wirtschaftsdünger. Die Einhaltung dieser Höchstwerte würde bei den meisten landwirtschaftlichen Nutztiere zu einer sehr deutlichen Reduktion der Elementgehalten in den Wirtschaftsdüngern führen. Man wird abwarten müssen, wie rasch und in welcher Weise diese Werte in futtermittelrechtliche Lösungen umgesetzt werden. Entscheidend für den Eintrag in die landwirtschaftliche Flächen

ist aber weniger die Konzentration in den Wirtschaftsdüngern sondern die jeweiligen Elementfrachten. In einer Modellrechnung für Milchkühe wird der Zusammenhang zwischen Elementkonzentration im Futter und den Wirtschaftsdüngern sowie der Kupfer- und Zinkfracht in die Fläche dargestellt.

Stadien Spurenelementversorgung

- Mangel Erkrankung
- Bedarf Minimalbedarf/Optimalbedarf
- Versorgungsempfehlung Sicherheitzuschlag
- Höchstwerte bei Supplementation
- Praktikabilität, Sicherstellung der Versorgung
- Maximal tolerierbare Aufnahme Toleranz
- Toxizität Erkrankung



Landesanstalt für
Landwirtschaftliche Chemie

**Bedarfsgerechte Versorgung -
Futtermittelrechtliche Höchstwerte
Versorgungsempfehlungen sind gesetzlich nicht bindend**

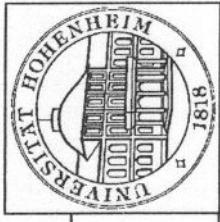
**Ableitung von wissenschaftlichen Gremien unter
unterschiedlichen Ansätzen der Herleitung (Dosis-
Wirkungs- Versuche, faktorielle Herleitung) auf Basis
einer umfassende Auswertung von experimentellen
Befunden, Berücksichtigung von Sicherheitsfaktoren
(ungünstige Verwertung) - Variationsbreite**



Workshop Berlin

Bedarfsgerechte Versorgung - Futtermittelrechtliche Höchstwerte

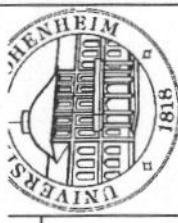
- Eine Absenkung der Spurenelementversorgung der landwirtschaftlichen Nutztiere auf Werte, die keine ausreichende Versorgung gewährleisten, ist tierschutzrelevant und nicht vertretbar.
- Eine Einzelelementbetrachtung kann in Bereichen, in denen mit ausgeprägten Antagonismen zu rechnen ist, zu erheblichen Problemen führen (Beispiel Cu - Mo beim Wiederkäuer < 4:1)



Landesanstalt für
Landwirtschaftliche Chemie

Bedarfsgerechte Versorgung - Futtermittelrechtliche Höchstwerte

- Futtermittelrechtliche Höchstwerte (Alleinfutter)
- (bei Supplementen):
- Ableitung unter Beachtung:
 - Übergang in Lebensmittel tierischer Herkunft
 - Einfluß auf Gesundheit und Leistung der Tiere
 - Umweltwirkung der Exkreme



Landesanstalt für
Landwirtschaftliche Chemie

Workshop Berlin

Bedarfsgerechte Versorgung - Futtermittelrechtliche Höchstwerte

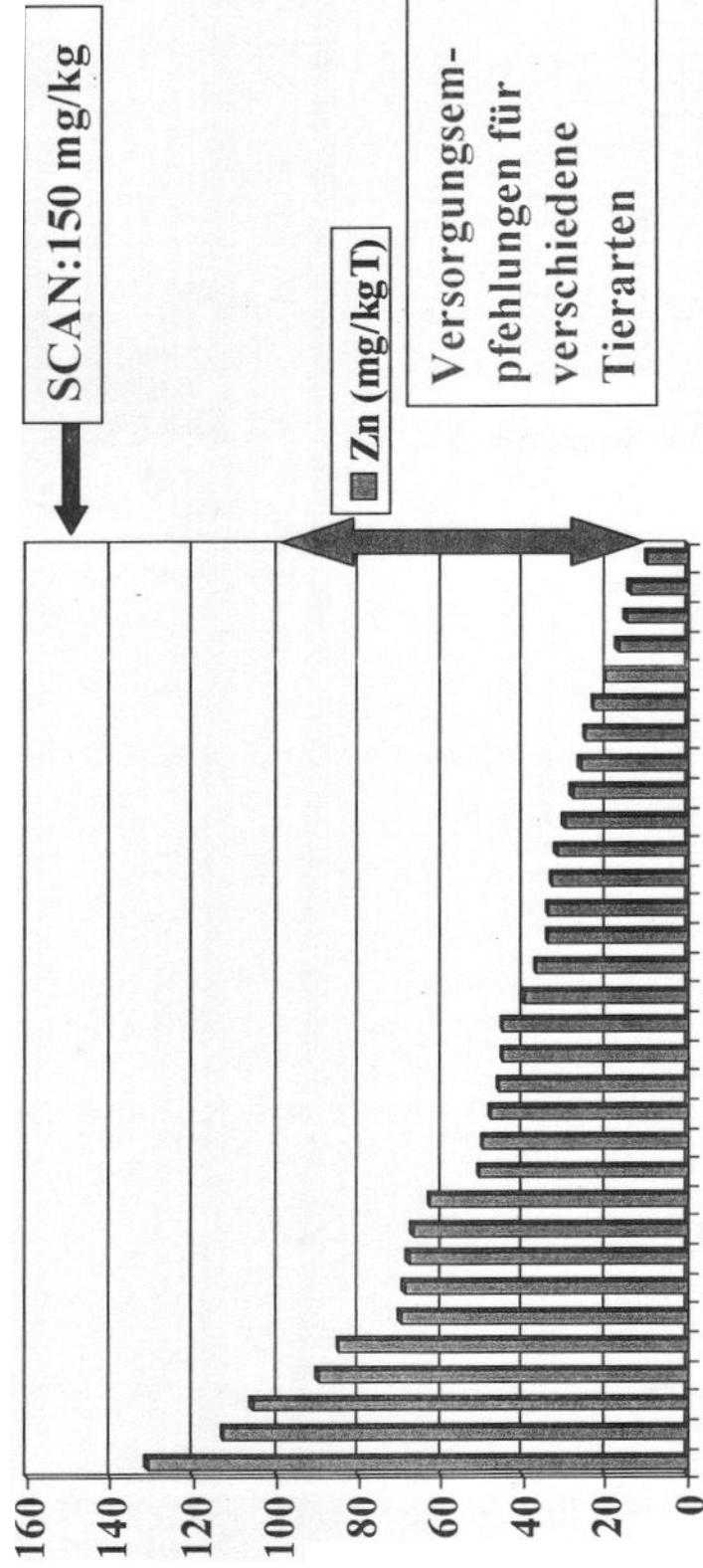
Versorgungsempfehlung < Höchstwerte

- native Gehalte können Versorgungsempfehlung überschreiten
- (*Einsetzbarkeit in der Fütterung, alternative Verwertung ?*)
- Praktikabilität der Supplementierung
- Kenntnis der nativen Gehalte (*Aussagefähigkeit Tabellenwerke*)
- Sortiment an mineralischen Ergänzungsfuttermitteln
- Antagonisten im Futter
- Techniken für erhöhte Versorgung erforderlich (Diätetik und Therapie)



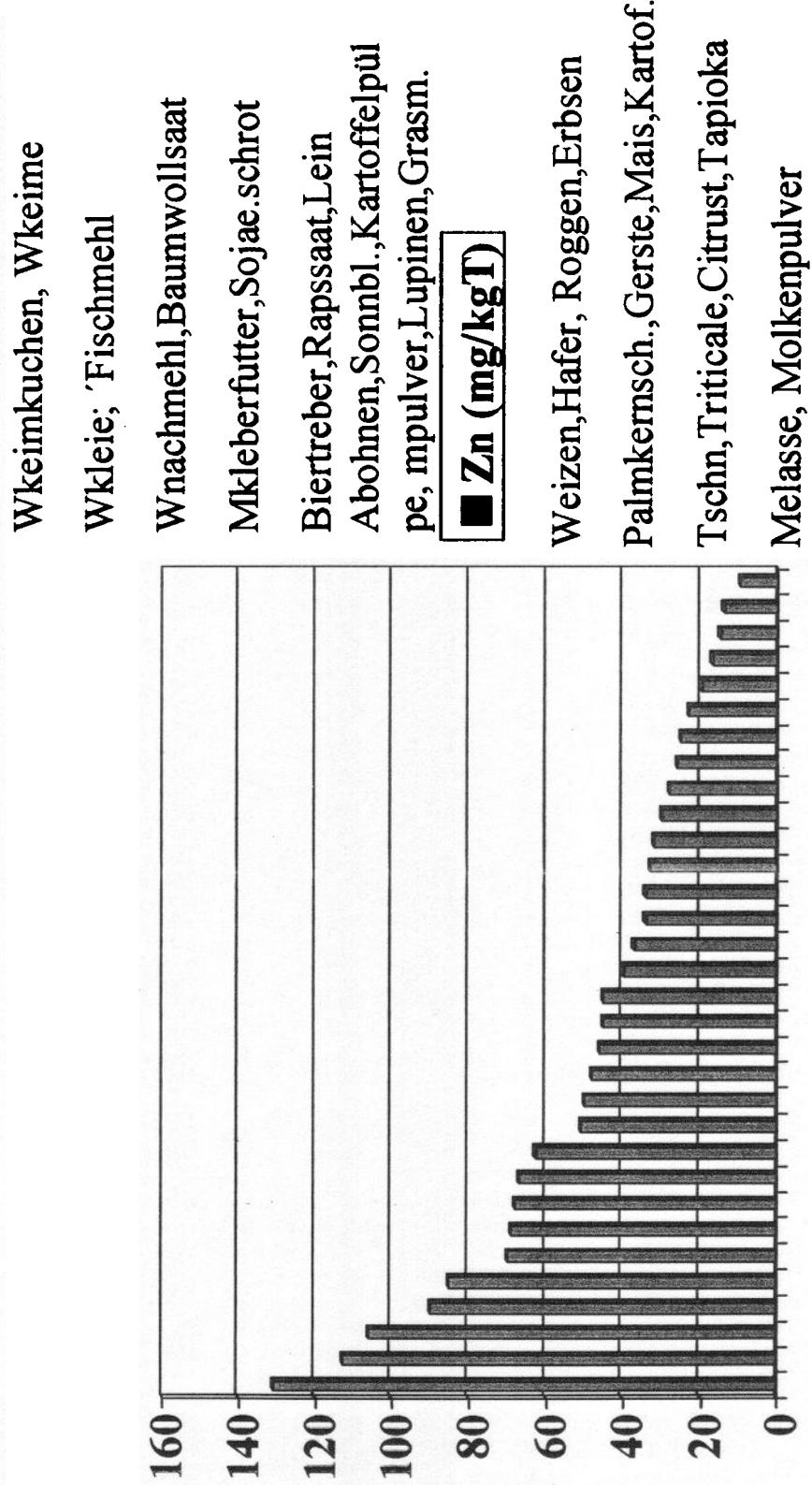
Landesanstalt für
Landwirtschaftliche Chemie

Zinkkonzentrationen in verschiedenen Einzelfuttermitteln



Landesanstalt für
Landwirtschaftliche Chemie

Zinkkonzentrationen in verschiedenen Einzelfuttermitteln



Landesanstalt für
Landwirtschaftliche Chemie

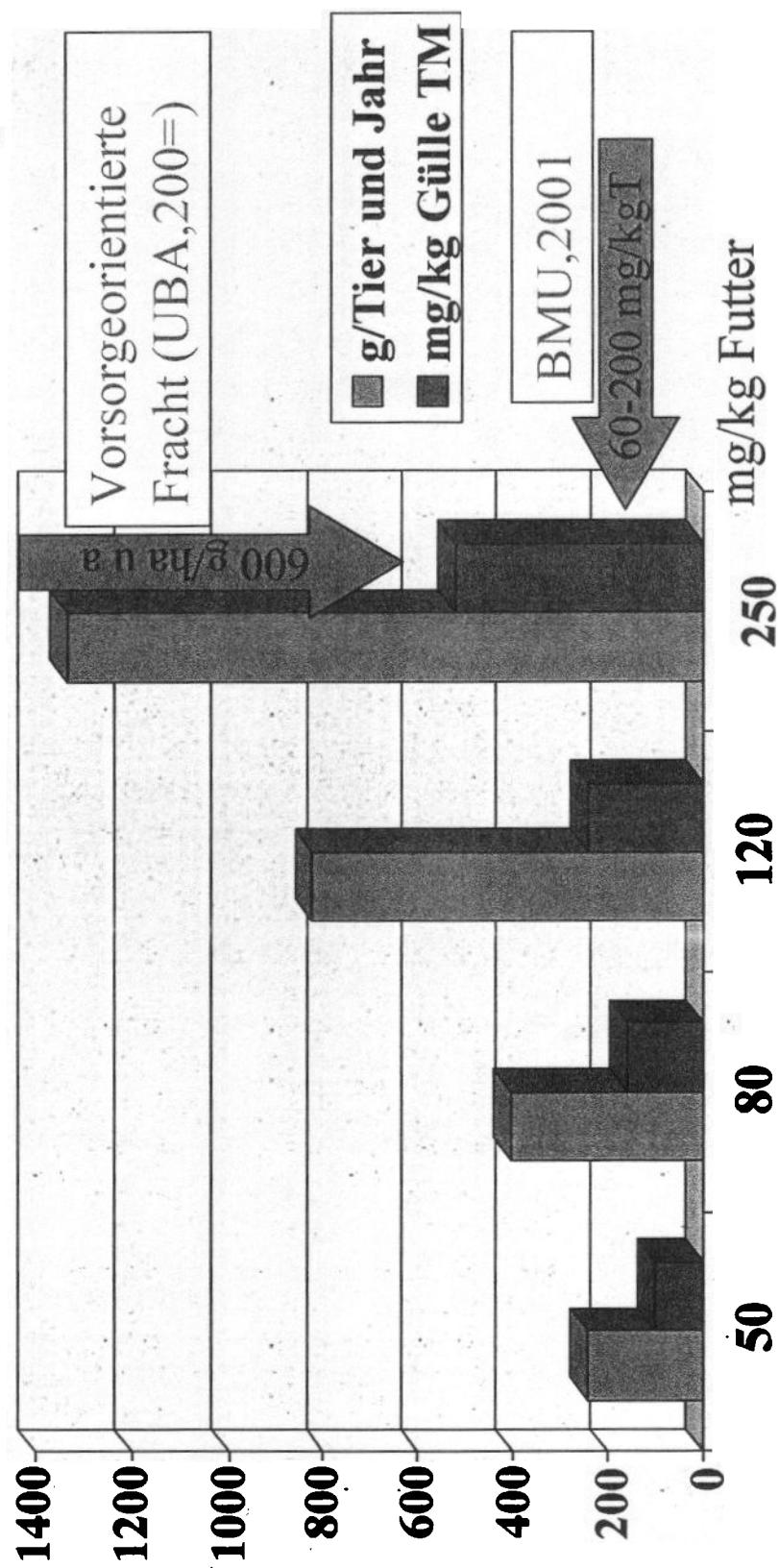
Vorschläge des SCAN zur Reduktion der Cu- und Zn-Gehalte im Alleinfutter sowie derzeitige futtermittelrechtliche Regelung

Element	Tierart/-kategorie	SCAN, 2003 mg/kg	FMVO mg/kg
Zn	Alle	150	250
Cu	Kälber	5 (preruminant)	30 (50)
	Schafe	15	15
	Schweine	175 (bis 10 Wo)	175 (bis 16 Wo)
	Sonstige Schweine	25	35
	Sonstige Tierarten/-kategorien	25	35
			Landesanstalt für Landwirtschaftliche Chemie



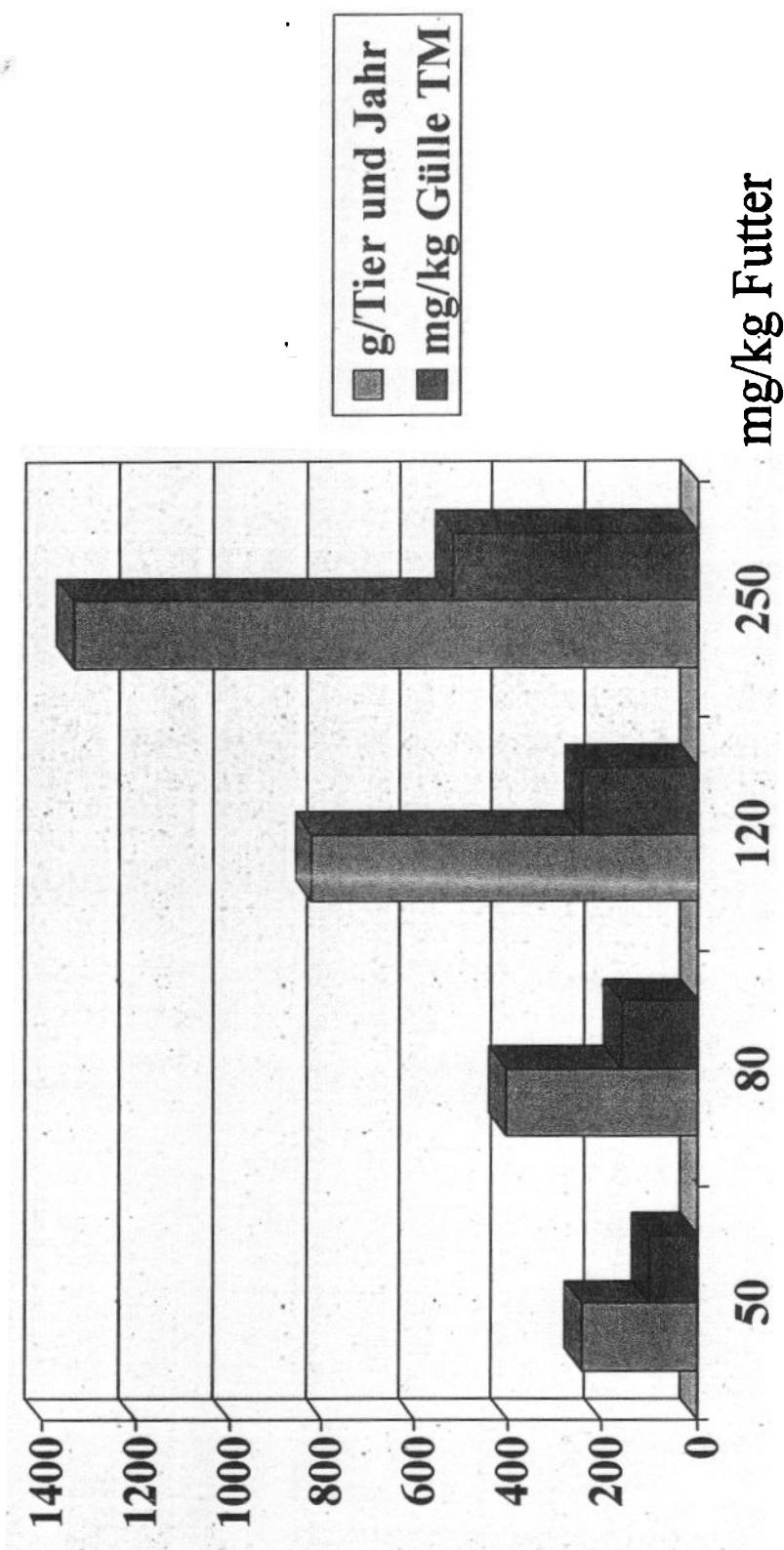
Zink

Anfall in der Gülle bzw. Konzentration in der Gülle



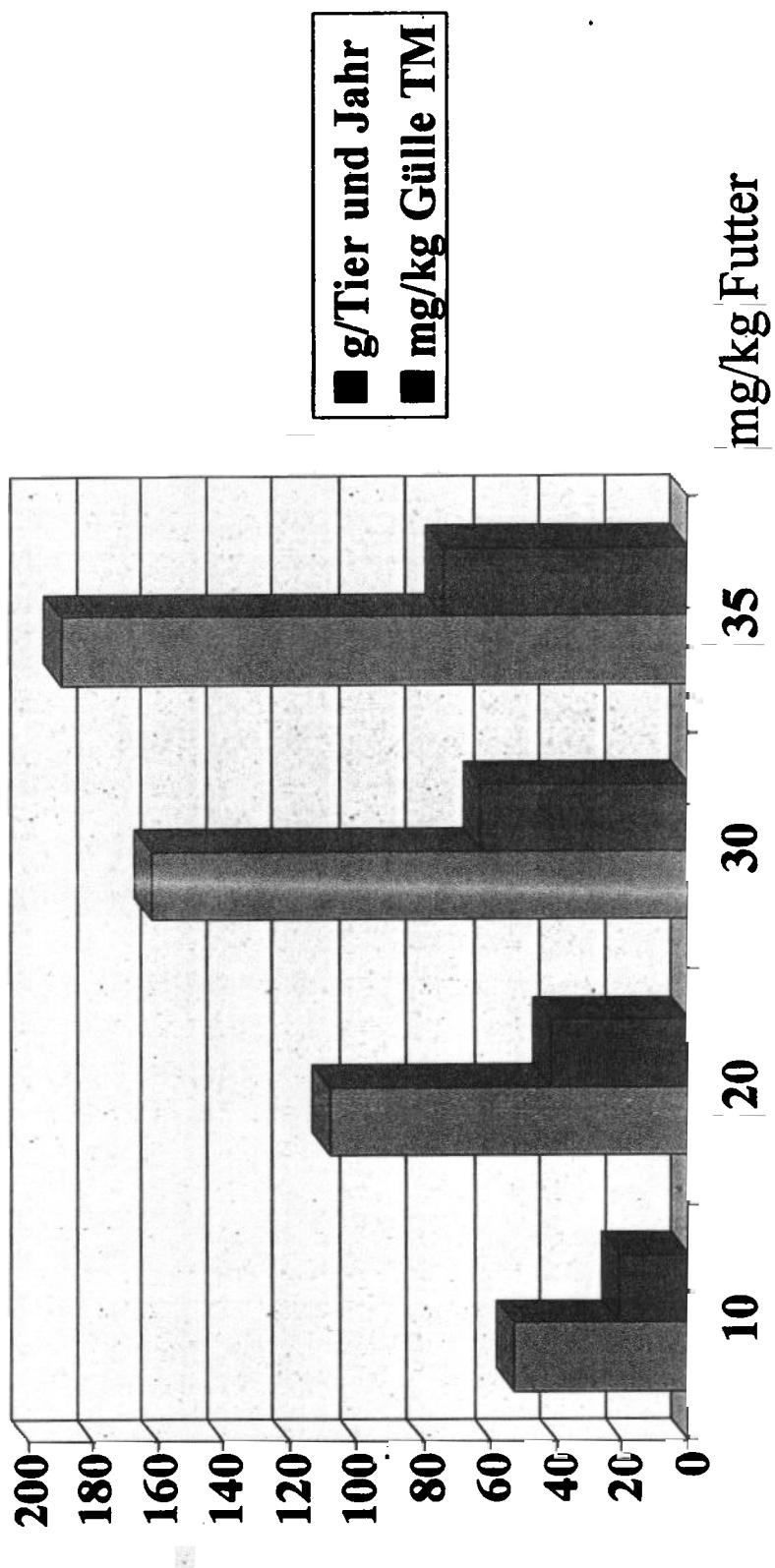
Zink

Anfall in der Gölle bzw. Konzentration in der Gölle

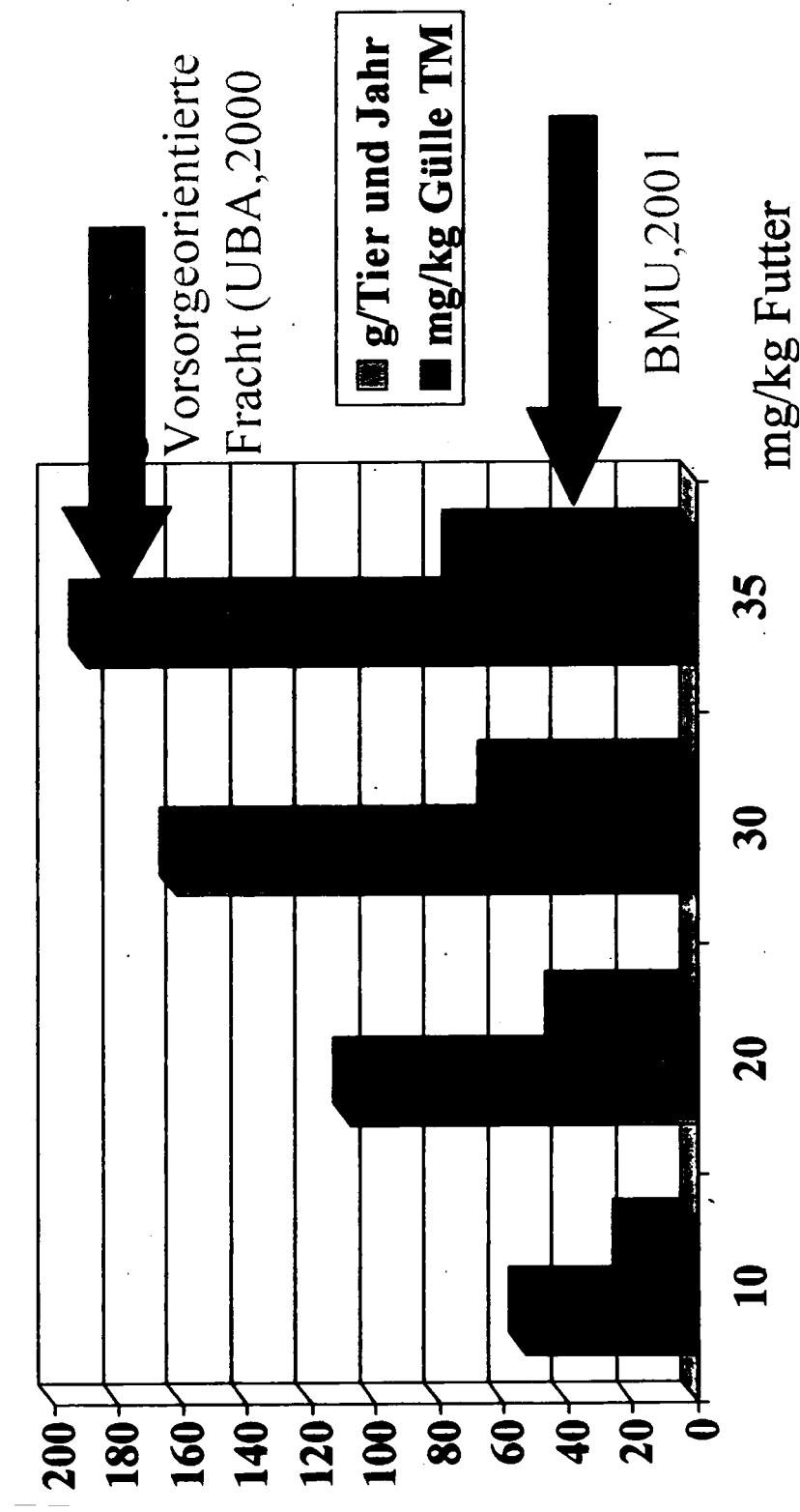


Kupfer

Anfall in der Gülle bzw. Konzentration in der Gülle



Kupfer Anfall in der Gülle bzw. Konzentration in der Gülle

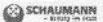


Zukünftig reduzierte Cu- und Zn-Gehalte im Futter – wie sind die Auswirkungen ?

• Aus Sicht der Politik	• Aus Sicht der Landwirte
Reduzierte Ausscheidungen	„Schlechtere“ Futtermittel
„Umweltfreundlichere“ Produktion	Versorgungsmängel besonders beim Ferkel ?
Imageverbesserung für die Landwirtschaft	Zink = gutes Haarkleid weniger Coli-Probleme
	Kupfer = rosige Ferkel optimale Kotkonsistenz

Dr. Pecher UBA 16.5.03

Folie 1



Zukünftig reduzierte Cu- und Zn-Gehalte im Futter – wie sind die Auswirkungen ?

• Aus Sicht eines Futtermittelunternehmens
Wie reagiert das Tier auf das reduzierte Versorgungsniveau?
Gibt es Leistungseinbußen und wie hoch sind diese?
Wie hoch sind die wirtschaftlichen Auswirkungen?
Gibt es wirtschaftliche (verkaufsfähige) Alternativen?
Wie reagiert der Landwirt auf die Umsetzung?

→ Versuchsreihe zur Spurenelementversorgung von Ferkeln

Dr. Pecher UBA 16.5.03

Folie 2



Versuchskapazitäten

SCHAUMANN-Forschungszentrum HÜLSENBERG
Schweinebereich

- 155 Sauen
Ø 24 Tage Säugezeit, Kastenstände mit teils. Auslauf, Flüssigfütterung Spotmix in allen Bereichen.
- 600 Ferkelaufzuchtplätze im Flatdeck
10-20 Tiere/Gruppe, Flüssigfütterung Spotmix ab 2. Aufzuchtwoche.
- 120 Ferkelaufzuchtplätze in 2-er Buchten
Trockenfütterung
- 700 Mastplätze
8 – 10 Schweine pro Bucht, 80 – 120 Plätze pro Abteil, Flüssigfütterung Spotmix
- 40 Mastplätze in 2-er Buchten

Dr. Pecher UBA 16.5.03

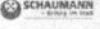
Folie 3

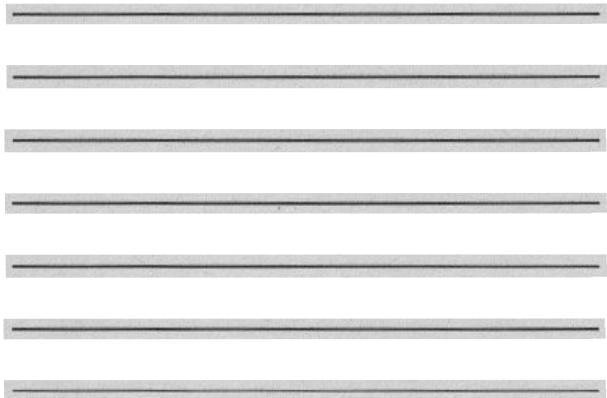


Zusammensetzung der Versuchsmischungen			
	Versuch 1	Versuch 2	
Weizen	% 55,0	50,0	
Gerste	% 14,5	21,0	
Sojaextraktionsschrot	% 23,0	22,0	
Sojaöl	% 2,5	2,0	
Mineralfutter	% 5,0	5,0	

Dr. Pacher UBA 16.5.03

Folie 4

 SCHAUMANN
Futter in Form

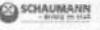


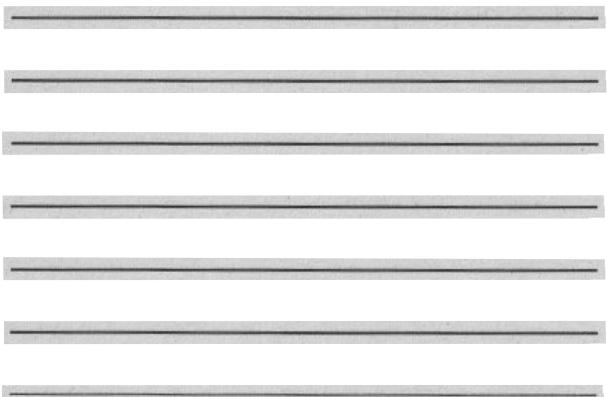
Analysierte Inhaltsstoffe der Versuchsmischungen				
	Versuch 1		Versuch 2	
	Kontrolle	Versuch	Kontrolle	Versuch
Trockensubstanz	% 88,4	88,3	86,8	86,6
Rohprotein	% 18,3	18,3	18,5	18,3
Rohfaser	% 3,8	3,8	3,6	3,7
Rohfett	% 4,3	4,5	3,8	4,0
Stärke	% 42,6	42,0	39,8	41,0
Calcium	% 0,83	0,87	0,89	0,88
Phosphor	% 0,60	0,62	0,62	0,65
Spurenelementgehalte*:				
Zink	mg/kg 140	105	150	92
Kupfer	mg/kg 138	39	133	20

* Inklusive Zulage über ZnO bzw. CuSO₄

Dr. Pacher UBA 16.5.03

Folie 5

 SCHAUMANN
Futter in Form



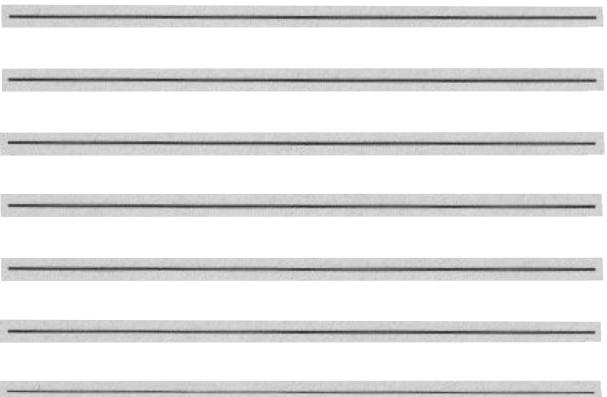
Ergebnis - Versuch 1				
Versuchsdauer 35 Tage, 10 x 2 Ferkel pro Gruppe, Einstallgewicht 8,6 kg				
	Kontrolle	Versuch Gr. I	Versuch Gr. II	
Zinkgehalt im Futter	mg/kg 140	105	102*	
Kupfergehalt im Futter	mg/kg 138	39	40*	
Endgewicht	kg 24,2	22,0	22,2	
Ø Futterverzehr	kg/Tier u. Tag 0,70	0,65	0,65	
Ø Zunahmen	g/Tier u. Tag 446 ^a	383 ^b	388 ^b	
Futteraufwand pro kg Zuwachs	kg 1,57 ^a	1,68 ^b	1,71 ^b	

* Zulage 60 mg Zn und 20 mg Cu in org. Form

Dr. Pacher UBA 16.5.03

Folie 6

 SCHAUMANN
Futter in Form



Ergebnis - Versuch 2				
Versuchsdauer 35 Tage, 10 x 2 Ferkel pro Gruppe, Einstallgewicht 8,9 kg				
	Kontrolle	Versuch	Diff.	
Zinkgehalt im Futter mg/kg	150	92	- 58	
Kupfergehalt im Futter mg/kg	133	20	- 113	
Endgewicht kg	28,9	27,7	- 1,2	
Ø Futterverzehr kg/Tier u. Tag	0,93 ± 0,09	0,90 ± 0,12	- 0,03	
Ø Zunahmen g/Tier u. Tag	571 ± 84	537 ± 64	- 34	
Futteraufwand pro kg Zuwachs kg	1,62 ^a ± 0,05	1,69 ^b ± 0,08	+ 0,07	

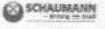
Dr. Pecher UBA 16.5.03
Folie 7

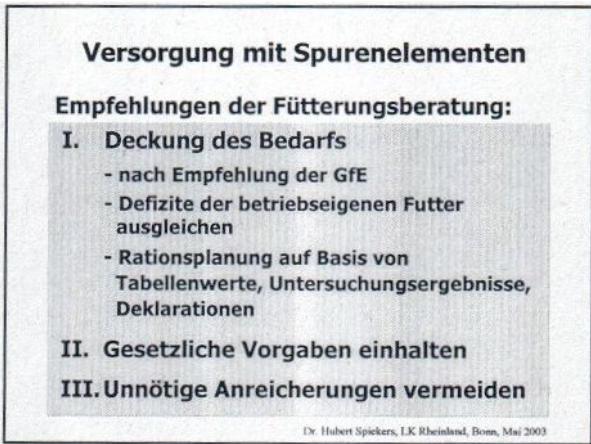
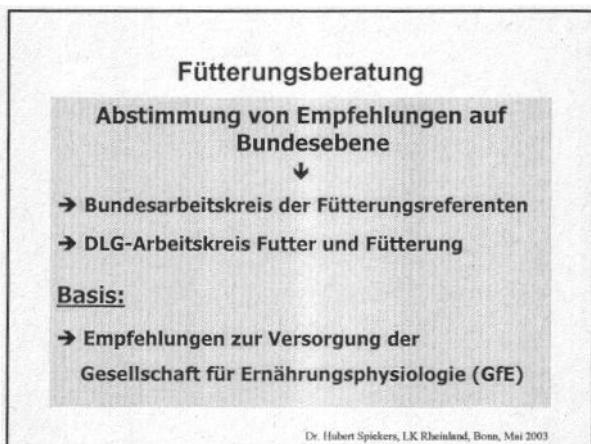
 SCHAUMANN

Wirtschaftliche Auswirkungen der Leistungsdifferenzen –				
Versuch 1				
	Kontrolle	Versuch	Diff.	
Erlös € / Ferkel	54,20	52,00		
Futterkosten € / Ferkel	6,30	5,80		
Überschuss über Futterkosten € / Ferkel	47,90	46,20	- 1,70	
Einkommensunterschied bei einem Betrieb* mit				
100 Sauen		- 3.740 € / Jahr		
300 Sauen		- 11.220 € / Jahr		

* 22 Ferkel pro Sau und Jahr

Dr. Pecher UBA 16.5.03
Folie 8

 SCHAUMANN



VFT-Sonderuntersuchung Spurenelemente - Rinderfutter, 2002				
Ergänzungsfutter für:	Anzahl Proben	Kupfer	Zink mg/kg	Selen
Kälber	11	26 (7 - 33)	120 (78 - 290)	0,32 (0,24 - 0,48)
Bullen	5	15 (11 - 60)	159 (66 - 245)	0,65 (0,21 - 0,81)
Kühe:				
Ausgleichs- kraftfutter	15	28 (6 - 56)	103 (44 - 243)	0,25 (0,1 - 1,3)
Leistungsfutter	87	10 (6 - 30)	89 (40 - 498)	0,36 (0,05 - 1,0)

Dr. Hubert Spiekers, LK Rheinland, Bonn, Mai 2003

VFT-Sonderuntersuchung Spurenelemente - Schweinefutter, 2002				
Futtertyp	Anzahl Proben	Kupfer	Zink mg/kg	Selen
Ferkelfutter	52	130 (14 - 232)	169 (80 - 384)	0,54 (0,23 - 1,58)
Sauenfutter	29	28 (15 - 54)	169 (110 - 244)	0,45 (0,23 - 1,0)
Mastfutter	54	27 (9 - 183)	132 (65 - 283)	0,39 (0,22 - 0,87)

Dr. Hubert Spiekers, LK Rheinland, Bonn, Mai 2003

Minderung der Spurenelementeinträge	
Empfehlungen der Fütterungsberatung:	
➤ Monitoring verstärken	– Grobfutter, Getreide, Mischfutter
➤ Rationsplanung und -kontrolle intensivieren	
➤ Werte des SCAN (2003) als obere Richtschnur ansetzen	
➤ Fütterungsversuche bei Jungtieren anstellen	

Dr. Hubert Spiekers, LK Rheinland, Bonn, Mai 2003

**Expertenworkshop Bundesumweltamt
Berlin 16.5.2003**

**Schwermetalleinträge in
Agrarökosysteme**

**Minderungspotentiale im Bereich der
Fütterung**

Dr. Werner Lüpping, Kiel

Dr. W. Lüpping
Landwirtschaftskammer SH

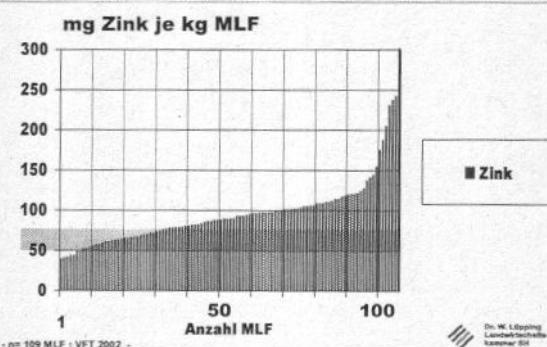
Bedarf und max. Gehalte - Zink -

Gruppe	Ziel	FuMiG		Scan 2003
		mg/kg	mg/kg	
MAT Kälber	20-50	250	150	
Schafe	20-50	250	150	
Rinder	20-50	250	150	
Ferkel	80-100	250	150	
Schweine	50	250	150	
Geflügel	20-70	250	150	
Fische	15-70	250	150	

-Zink wird z.T. in höheren Dosen (~2000 mg) zur Prophylaxe oder Therapie eingesetzt gegen Durchfall bei Ferkeln

Dr. W. Lüpping
Landwirtschaftskammer SH

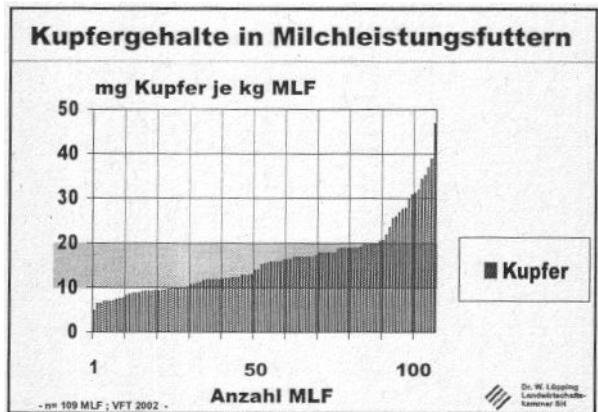
Zinkgehalte in Milchleistungsfuttern



Bedarf und max. Gehalte - Kupfer -			
Gruppe	Ziel	FuMiG	Scan 2003
	mg/kg	mg/kg	mg/kg
MAT Kälber	3-4	30	5
Schafe	5-11	15	15
Rinder	10-20	50	25
Ferkel	4-10	35	25
Schweine	4-10	175 < 16 Wo 175 < 10 Wo	
Geflügel	5-8	35	25
Fische	3-5	35	25

-Scan:
-Höhere Kupfergehalte bei Ferkeln wgn. Wachstumseffekte
-kritisch prüfen, evtl. Plasmid-Resistenz Cu/Antibiotika parallel
-dann auch erhöhte Zinkversorgung erforderlich

Dr. W. Lipping
Landwirtschaftskammer SH

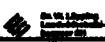


Optimierung der Mineralstoff und Vitaminversorgung 1	
• Versorgung am Bedarf orientieren	
• keine Standardempfehlung 100 g Mineralfutter !	
• Gehalte im wirtschaftseigenen Futter und Einzelkomponenten berücksichtigen	
Analysen ?	-je nach Futtermittel
regionale Werte ?	-ggf. Sicherheitsabschläge
Tabellenwerte?	
• Mischfutter ausgewogen supplementieren	
d.h. Gehaltsempfehlung je kg ohne Zusätze	
Ausgleichsfutter nicht supplementieren	

Dr. W. Lipping
Landwirtschaftskammer SH

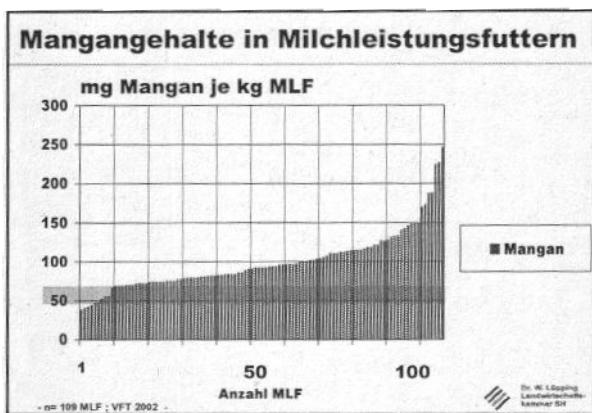
Optimierung der Mineralstoff und Vitaminversorgung 2

- **Mineralfutter bedarfsgerecht optimieren
Gehalte und Relationen !**
 - **Mengenelement- und Spurenelement/
Vitaminversorgung entkoppeln
Mengenelemente ggf. über Einzelkomponenten
Spurenelemente/Vitamine über Mikromineral
Gras/Maisstyp
regionalspezifische Standards**
 - **Mineralfutter einzelbetrieblich optimieren
Bestandsgröße**



Bilanzierung bei Schwermetallen

- **Ziel : Begrenzung des Eintrags in den Boden**
 - betrieblicher Kreislauf Boden-Pflanze-Tier-Exkremeante-Boden ohne Bedeutung
 - **Bilanzierung auf Basis „Hoftor“**
 - Zufuhr:** Futterzukauf
 - Wasserg
 - Arzneimittel incl. Klauenbäder, R&D
 - Stalleinrichtungen incl. Farben
 - Zukauf Einstreu
 - Dünger (mineralisch/wirtschaftliche)**





LANDWIRTSCHAFTSKAMMER
H A N N O V E R

Kupfer- und Zinkgehalte im Schweinemischfutter (LUFA Hameln, 2002)

	Kupfer mg/kg	Zink mg/kg
Ferkelaufzuchtfutter (27 Proben)	152 39-195	211 132-281
Mastschweinefutter (10 Proben)	27,5 21-35	143 100-206
Sauenfutter (10 Proben)	26 19-34	166 111-214

Spurenelementreduzierung in der Schweinemast

Futteranalysen

(LUFA Hameln und Tierärztliche Hochschule, 2001)

		Kontrolle übliche Cu- und Zn-Gehalte		Versuch Cu- und Zn-reduziert	
		Ferkel- aufzucht- futter	Mast- futter	Ferkel- aufzucht- futter	Mast- futter
Kupfer	mg/kg	189	37	29	21
Zink	mg/kg	189	109	106	89
Mangan	mg/kg	129	85	137	82
Eisen	mg/kg	365	255	322	233
Selen	mg/kg	0,61	0,31	0,61	0,33
Rohprotein	%	18,9	17,4	18,3	17,3
Lysin	%	1,11	0,94	1,08	0,94
Phosphor	%	0,54	0,50	0,53	0,50
ME	MJ/kg	13,5	13,2	13,6	13,3

Spurenelementreduzierung in der Schweinemast

Mastleistung und Schlachtkörperbewertung

		Kontrolle Übliche Cu- und Zn-Gehalte	Versuch Cu- und Zn-reduziert
Anzahl Tiere		51	50
Anfangsgewicht	kg	27,4	27,3
Endgewicht	kg	115,8	115,9
Mastleistung bis 40 kg LG:			
Tägliche Zunahme	g	917^a	842^b
Futterverbrauch	kg	2,02	2,06
je kg Zuwachs			
Mastleistung gesamt:			
Tägliche Zunahme	g	891	877
Futterverbrauch	kg	2,78	2,78
je kg Zuwachs			
Schlachtkörpergewicht	kg	89,6	89,7
Muskelfleischanteil	%	57,2	57,8

Spurenelementreduzierung in der Schweinemast

Kotuntersuchungen (mg/kg T)

	Kontrolle	Versuch
Kupfer	226 (100 %)	132 (58 %)
Zink	714 (100 %)	558 (78 %)
Mangan	577 (100 %)	549 (95 %)

Zufuhr über das Futter (mg/Tier)

	Kontrolle	Versuch
Kupfer	VM: 4,8 (37 %)	0,7
	<u>EM: 8,1 (63 %)</u>	<u>4,5</u>
	12,9 (100 %)	5,2 (40 %)
Zink	VM: 4,8 (17 %)	2,7
	<u>EM: 23,9 (83 %)</u>	<u>18,8</u>
	28,7 (100 %)	21,5 (75 %)

Kupfer- und Zinkgehalte in Schweinegüllen

	n	T %	Kupfer mg/kg T	Zink mg/kg T
Schweine	532	6,0	391	1.378
Ferkel	20	5,9	934	1.920
Sauen	101	3,9	389	2.199
Mastschweine	67	6,5	380	1.020

Proben aus 2002 und 1. Quartal 2003 (LUFA Nord-West)
Zink: Nur wenige Proben

LWK Hannover	FG Fütterung	Meyer	5/03
--------------	--------------	-------	------

**Vorgesehene Grenzwerte für Düngemittel auf Sandboden
(Basis: Vorsorgewerte nach Bodenschutz-VO)**

	Kupfer mg/kg T	Zink mg/kg T
Schweinegülle Grenzwert Ø Gehalt	60 309	400 858
Rindergülle Grenzwert Ø Gehalt		200 270

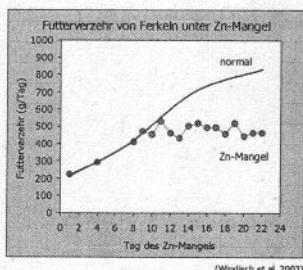
Güllemenge/Ferkel

Anfall /kg Gülle -T

	Kupfer mg	Zink mg	
0,05 m ³ mit 4 % T	340	1370	
0,07 m ³ mit 4 % T	243	979	
0,05 m ³ mit 6 % T		227	913
0,07 m ³ mit 6 % T		162	652

Güllemenge/Mastschwein	Anfall /kg Gülle -T	
	Kupfer mg	Zink mg
0,5 m ³ mit 6% T	125	363
0,75 m ³ mit 6% T	83	242
0,5 m ³ mit 4% T	188	544
0,75 m ³ mit 4% T	125	363

Zink und Kupfer sind essentielle Spurenelemente



(Winkisch et al. 2003)

Zink und Kupfer sind essentielle Spurenelemente

An dieser Stelle kam ein Bild über Zn-Mangelsymptome beim Ferkel
 Aus Gründen des Speicherplatzes wurde das Bild hier herausgenommen

Berechnungsgrundlagen

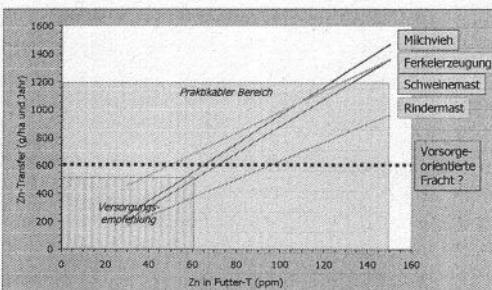
	Zuchtsau (1 Zyklus)	10 Ferkel (bis 30 kg LM)	Mastschwein (30-110 kg)	Milchkuh (7500 kg/l Kalb)	Mastrind (150-650 kg)
Futtermenge (kg T)	420	335	230	5100	2900
Verdaulichkeit der T (%)	82	85	80	77	72
Harn-T (% der Futter-T)	7	7	7	7	7
Menge an Exkrementen (kg T)	106	74	62	1530	1015
Erzeugtes Produkt (kg)	0	300	80	7500	500
Zn-Gehalt im Produkt (ppm)	0	25	25	4	25
Zn-Export über das Produkt (g)	0	7,5	2	31	13
Cu-Gehalt im Produkt (ppm)	0	2	2	0,15	2
Cu-Export über das Produkt (g)	0	0,6	0,16	1,23	1

Anwendung von ZnO bei Ferkeln im Bereich 10 – 20 kg Leibendmasse;
 bei Dosierung von 4 g ZnO/kg und 14 Tage Anwendungsdauer entspricht das ca. 40 g reines Zink für 10 Ferkel

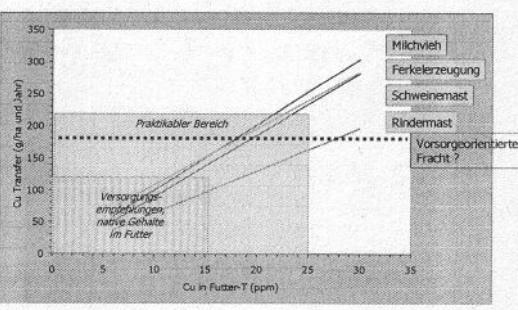
Zn- und Cu-Emission total

	Zuchtsau (1 Zyklus)	10 Ferkel (bis 30 kg LM)	Mastschwein (30-110 kg)	Milchkuh (7500 kg/1 Kalb)	Mastrind (150-650 kg)
Zyklen pro Jahr	2,2	3,0	1,0	0,65	
Stallplätze je ha (ökolog. Tierhaltung)	6	14	2	3,5	

Zn-Transfer auf die landw. Nutzfläche



Cu-Transfer auf die landw. Nutzfläche



Zink und Kupfer sind essentielle Nährstoffe für Tier und Pflanze.

Eine Supplementierung von Zn und Cu über das Mineralfutter ist derzeit unverzichtbar.

Die vorgeschlagenen Obergrenzen der Emissionen könnten die Tierhaltung handlungsunfähig machen.



Bioavailability of Zinc Oxide

The zinc bioavailability for zinc oxide and zinc sulphate show no significant differences in pigs and ruminants.

In poultry however some studies showed equal availability for zinc oxide while other studies showed reduced availability compared to zinc sulphate. The scientific committee concluded the relative zinc availability for zinc oxide compared to zinc sulphate in poultry depended heavily on the processing method, origin, texture and zinc content of the zinc oxide.

The Dutch TNO Institute is validating the effect of various types of zinc oxide on poultry.

Undesirable substances in feed grade Zinc Oxide

Proposal by Emfema

Actual average content

As max. 100 ppm

50 ppm

Pb max. 500 ppm

190 ppm

Hg max. 1 ppm

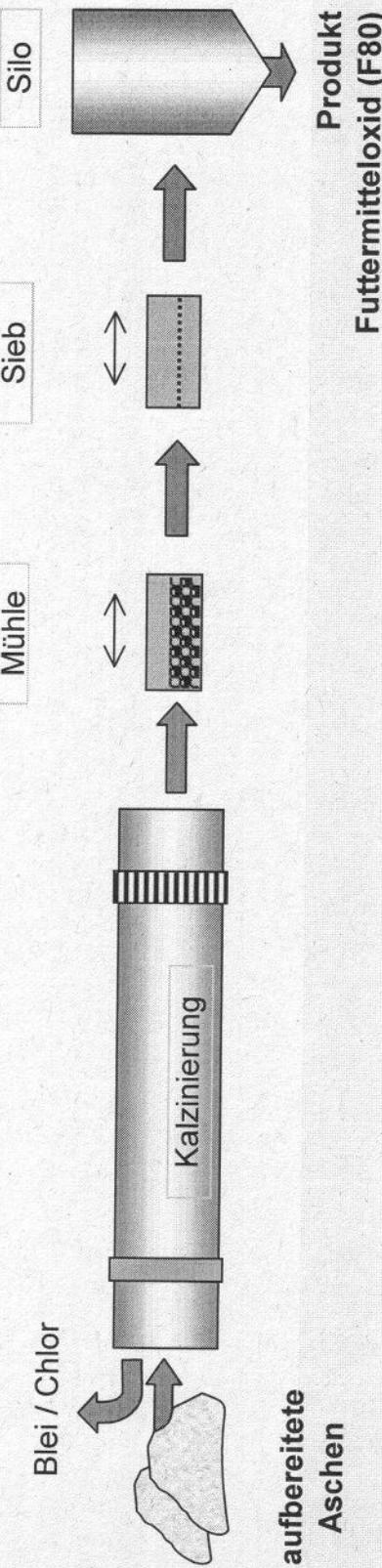
<< 1 ppm

Cd max. 20 ppm

2 ppm



GRILLO ZINKOXID GMBH
Asche-Kalzinierung
Herstellung von Zinkoxid F80



Futtermittelrechtliche Vorschriften über Spurenelemente und unerwünschte Stoffe

UWE PETERSEN

1 Allgemeine Vorschriften im Futtermittelrecht

Zweck des Futtermittelgesetzes (2000) ist es, nach § 1

- die Tierproduktion zu fördern,
- den Schutz des Menschen als Lebensmittelkonsumenten zu gewährleisten,
- den Schutz der Gesundheit der Tiere zu sichern,
- den Schutz vor Täuschung zu sichern und
- die Harmonisierung der futtermittelrechtlichen Regelungen in der EU zu begleiten.

Eine weitere wichtige zentrale Regelung sind die sog. Verbote zur Gefahrenabwehr in § 3. Danach ist es verboten, Futtermittel derart herzustellen oder zu behandeln, dass sie bei bestimmungsgemäßer und sachgerechter Verfütterung geeignet sind, die Qualität der von Nutztieren gewonnenen Erzeugnisse zu beeinträchtigen oder die Gesundheit der Tiere zu schädigen; Gleches gilt für das In-Verkehr-Bringen oder das Verfüttern. Damit ist eindeutig klar, wer verantwortlich ist, nämlich der jeweils Handelnde, sei es der Hersteller, der In-Verkehr-Bringer oder der Verfütterer.

2 Begriffsbestimmungen im Futtermittelrecht

Zum Verständnis der futtermittelrechtlichen Regelungen ist es wichtig, einige Begriffe festzulegen.

2.1 Futtermittel

Der Begriff des Futtermittels hat zentrale Bedeutung. Es sind Stoffe, einzeln (Einzelfuttermittel) oder in Mischungen (Mischfuttermittel), mit oder ohne Zusatzstoffe, die dazu bestimmt sind, in unverändertem, zubereitetem, bearbeitetem oder verarbeitetem Zustand an Tiere verfüttert zu werden; ausgenommen sind Stoffe, die überwiegend dazu bestimmt, sind zu anderen Zwecken als zur Tierernährung verwendet zu werden.

Der Futtermittelbegriff umfasst demzufolge Einzelfuttermittel und Mischfuttermittel. Mischfuttermittel sind weiter untergliedert in Alleinfuttermittel und Ergänzungsfuttermittel. Unter Ergänzungsfuttermittel fallen schließlich z. B. Mineralfuttermittel, Melassefuttermittel oder Eiweißkonzentrate.

Futtermittel sind Stoffe, die zur Ernährung der Tiere bestimmt sind. Sie können aber auch Stoffe enthalten, die sich ungünstig auf die Gesundheit der Tiere oder die Lebensmittelqualität auswirken. Diese Stoffe werden im Futtermittelrecht als „unerwünschte Stoffe“ bezeichnet.

2.2 Unerwünschter Stoff

Die Begriffsbestimmung für unerwünschte Stoffe (nach § 2b Absatz 1 Nr. 2 Futtermittelgesetz) ist konzentriert auf die Gesundheit von Mensch oder Tier und macht damit deutlich, dass das Futtermittelrecht kein Umweltschutzrecht ist:

Unerwünschte Stoffe: Stoffe - außer Tierseuchenerregern -, die in oder auf Futtermitteln enthalten sind und die Gesundheit von Tieren, die Leistung von Nutztieren oder als Rückstände die Qualität der von Nutztieren gewonnenen Erzeugnisse, insbesondere im Hinblick auf ihre Unbedenklichkeit für die menschliche Gesundheit, nachteilig beeinflussen können.

2.3 Zusatzstoff

Zusatzstoffe im Sinne des Futtermittelgesetzes (§ 2 a Absatz 1) sind Stoffe, einzeln oder in Form von Zubereitungen, die dazu bestimmt sind, Futtermitteln zugesetzt zu werden, um z. B. den Bedarf der Tiere an bestimmten Nähr- oder Wirkstoffen zu decken oder die tierische Erzeugung zu verbessern etc.:

Zusatzstoffe sind Stoffe, einzeln oder in Form von Zubereitungen, die dazu bestimmt sind, Futtermitteln zugesetzt zu werden, um

1. die Beschaffenheit der Futtermittel oder der tierischen Erzeugnisse zu beeinflussen,
2. den Bedarf der Tiere an bestimmten Nähr- oder Wirkstoffen zu decken oder die tierische Erzeugung zu verbessern, insbesondere durch Einwirkung auf die Magen- und Darmflora oder die Verdaulichkeit der Futtermittel oder durch Verringerung von Belästigungen durch Ausscheidungen der Tiere, oder
3. besondere Ernährungszwecke zu erreichen oder bestimmte zeitweilige ernährungsphysiologische Bedürfnisse der Tiere zu decken.

Für die Ernährung der Tiere sind essentielle Spurenelemente deshalb futtermittelrechtlich Zusatzstoffe.

3. Beiträge futtermittelrechtlicher Regelungen zum Bodenschutz

Der Bodenschutz - oder auch weiter gefasst der Umweltschutz - sind keine primären Schutzziele des Futtermittelrechts. Dies kann das Futtermittelrecht auch nicht leisten. Denn ebenso wie in der Fütterung kommt es bei Umweltwirkungen nicht allein auf die Konzentration des einzelnen Stoffes im Kot, sondern entscheidend auf die Menge und die Verteilung je Fläche oder Zeiteinheit an.

Futtermittelrechtliche Regelungen können allerdings dazu beitragen, den Eintrag bestimmter Stoffe in das System Boden-Pflanze zu mindern. Allerdings ist diese Wirkung in der Regel nur ein „Zusatz“-Nutzen einer futtermittelrechtlichen Maßnahme.

Für den Bodenschutz ist nicht nur die Qualität des Düngers entscheidend, sondern v. a. die Stoffmenge je Hektar. Dabei kann es für den einzelnen Landwirt durchaus sinnvoll sein, für seine spezielle betriebliche Situation auch Fütterungsmaßnahmen einzubeziehen.

In Bezug auf die in Rede stehenden Elemente Zink, Kupfer, Blei, Cadmium, Chrom und Nickel gibt es grundsätzlich folgende futtermittelrechtliche Ansätze zur Reduzierung der Stoffeinträge:

- In Bezug auf Zink und Kupfer die Vorschriften über Zusatzstoffe.
- In Bezug auf Blei und Cadmium die Vorschriften über unerwünschte Stoffe.
- In Bezug auf Chrom ansatzweise das Verbot bestimmter Stoffe.
- Für Nickel gibt es zur Zeit noch keinen wirksamen futtermittelrechtlichen Ansatz. Hier gab es vor einigen Jahren den Versuch, bestimmte Fettabfälle, die Nickelkatalysatoren enthielten, als Futtermittel zu verbieten; dieser Ansatz ist leider bei der Europäischen Kommission nicht weiter verfolgt worden.

4. Futtermittelrechtliche Regelungen für essentielle Spurenelemente

Zur Zeit gibt es für Eisen, Jod, Kobalt, Kupfer, Mangan, Molybdän, Selen und Zink EG-einheitliche Höchstgehalte für den Fall der Ergänzung dieser Elemente in Form von Zusatzstoffen bei Mischfuttermitteln. Bei der Ergänzung der Spurenelemente bis zum festgesetzten Höchstgehalt sind die nativen Gehalte der Futtermittel einzubeziehen; dies geschieht meistens über eine Kalkulation nach Durchschnittswerten. Allerdings sollte das Ergebnis regelmäßig auch analytisch überprüft werden.

Die Höchstgehalte für Spurenelemente sind auf Alleinfuttermittel mit 88 % TS bezogen und gelten grundsätzlich auch für die Tagesration, falls ein Betrieb mit Spurenelementen supplementierte Ergänzungsfuttermittel einsetzt.

Ergänzungsfuttermittel dürfen höhere Gehalte an Spurenelementen haben als für Alleinfuttermittel festgesetzt. In der Kennzeichnung ist dies allerdings anzugeben, verbunden mit einem Hinweis für die sachgerechte Verwendung.

Die Zumischung von Spurenelementverbindungen zu Einzelfuttermitteln ist generell nicht zulässig.

4.1 Kupferverbindungen

Folgende Kupferverbindungen sind in der EG zugelassen:

- ◆ Kupfer-II-acetat, Monohydrat
- ◆ basisches Kupfer-II-carbonat, Monohydrat
- ◆ Kupfer-II-chlorid, Dihydrat
- ◆ Kupfer-II-Methionat
- ◆ Kupfer-II-oxid
- ◆ Kupfer-II-sulfat, Pentahydrat
- ◆ Kupferaminosäurechelat, Hydrat¹
- ◆ Kupfer-Lysinsulfat²
- ◆ Kupfer-II-sulfat, Monohydrat³
- ◆ Kupfer-II-sulfat, Pentahydrat³

Danach sind die Kupferverbindungen sehr spezifisch einschließlich der Hydratform angegeben. Ferner ist bei Kupferaminosäurechelat festgelegt, dass nur 20 mg Cu/kg Alleinfuttermittel mit dieser Verbindung ergänzt werden dürfen. Bei Kupferlysinsulfat beträgt die zulässige Einsatzmenge 50 mg Cu/kg. Schließlich sind Kupfer-II-sulfat-Monohydrat und Kupfer-II-sulfat-Pentahydrat nur über die Denaturierung von Magermilchpulver zulässig.

Die derzeit geltenden und zur Zeit diskutierten Höchstgehalte für Kupfer ergeben sich aus Tabelle 1. Ein Vergleich der rechtswirksamen mit den möglicherweise zukünftigen Höchstgehalten macht deutlich, dass eine drastische Reduzierung der Höchstgehalte zu erwarten ist. Bei der Kälberfütterung steht hierbei insbesondere die Rückführung der Konzentration von Kupfer in der Leber im Vordergrund. Im Übrigen ist die Rückführung der zulässigen Ergänzung auf eine bedarfsgerechte Versorgung und Verzicht auf Sonderwirkungen (insbesondere beim Schwein) durchgängige Zielsetzung.

4.2 Zinkverbindungen

Die derzeitigen und voraussichtlich zukünftigen Vorschriften für Zink sind in Tabelle 2 zusammengestellt. Auch hier wird die drastische Reduzierung durch die zukünftigen Höchstgehalte deutlich. Gemessen am derzeitig pauschalen Höchstgehalt ist nahezu für alle Tierarten eine Halbierung vorgesehen.

¹ max. 20 mg Cu/kg Alleinfutter

² max. 50 mg Cu/kg Alleinfutter

³ aus der Verwendung zur Denaturierung von Magermilchpulver

Aus der Reduzierung der Höchstgehalte kann allerdings nicht unmittelbar auf das Ausmaß der Rückführung der Zusätze geschlossen werden, denn entscheidend ist, welche Gehalte nach derzeitiger Rechtslage praxisüblich sind.

4.3 Stand der Beratungen auf europäischer Ebene

Die Anstöße für die Überarbeitung der Höchstgehalte für Spurenelementzusätze im EG-Recht sind von der deutschen Delegation in Brüssel eingebracht worden. Dabei konnte man sich auf die Arbeiten der Carry-over-Arbeitsgruppe unter der Leitung von Dr. Hecht, Kulmbach, stützen. In der Expertengruppe der Kommission hat dankenswerter Weise Prof. Schenkel mitgearbeitet.

Auf einen Aspekt in der EU-Gesetzgebung soll noch aufmerksam gemacht werden: Bis zum Erlass der sog. Fünften Zusatzstoff-Änderungsrichtlinie (1995) hatten die Mitgliedstaaten die Möglichkeit, alle Spurenelementverbindungen in eine strikte strukturierte Abgaberegelung einzubinden. Deutschland hat davon Gebrauch gemacht. Danach gab es die Kette *anerkannter Zusatzstoffhersteller* → *anerkannter Vormischhersteller* → *anerkannter Mischfutterhersteller*. Der Landwirt hatte im Regelfall keinen (legalen) Zugang zu den Spurelementen.

- Durch die Fünfte Zusatzstoff-Änderungsrichtlinie (1995) und die sog. Anerkennungsrichtlinie (1995) ist diese strikte Regel generell entfallen. Zur Zeit gilt sie nur noch für Kupfer und Selen.
- Im jüngsten Vorschlag der Kommission für eine Neuordnung des Zusatzstoffrechts sollen sogar noch weitere Sicherungsvorschriften bezüglich Herstellung und Verwendung von Zusatzstoffen entfallen.

Hier bestehen begründete Zweifel, dass dieses offene System von der Wirtschaft und von den Behörden beherrschbar ist.

5 Futtermittelrechtliche Regelungen für Blei und Cadmium

Blei und Cadmium sind futtermittelrechtlich als unerwünschte Stoffe geregelt. Die Vorarbeiten für die EG-einheitliche Regelung wurden von Deutschland geleistet. Besonderer Dank und Anerkennung gebührt auch hierfür der Carry-over-Arbeitsgruppe. Die wissenschaftlichen Grundlagen sind in zwei Broschüren in der Schriftenreihe *Angewandte Wissenschaften* des Ministeriums ausführlich dokumentiert.

Ausgangspunkt für die Ableitung der Empfehlungen waren die Vorgaben des Lebensmittelrechts; konkret seinerzeit die sog. ZEBS-Werte für tierische Erzeugnisse. Hiervon ausgehend wurden vertretbare Höchstgehalte für Alleinfuttermittel experimentell abgeleitet. Die Höchstgehalte für die Einzelfuttermittel wiederum berücksichtigten eine anspruchsvolle Sorgfalt bei der Herstellung und den üblichen Anteil in der Tagesration.

Die Höchstgehalte für Blei und Cadmium in Futtermitteln sind in den Tabellen 3 und 4 zusammengestellt.

Zur Zeit ist es noch zulässig, Einzelfuttermittel mit höheren Gehalten an Cadmium oder Blei als futtermittelrechtlich festgesetzt an anerkannte Betriebe zur Verarbeitung abzugeben. Dabei müssen der tatsächliche Blei- oder Cadmiumgehalt sowie der Hinweis „Einzelfuttermittel für anerkannte Hersteller von Mischfuttermitteln; nicht unmittelbar verfüllen, nur zur Verarbeitung bestimmt“ angegeben werden. Bei Phosphorfuttermitteln sind jedoch als absoluter Grenzwert je 1 % Phosphor nur maximal 0,5 mg Cadmium erlaubt. Diese sogenannte Verschneidungsregelung wird Mitte nächsten Jahres auslaufen. Bis dahin sollen alle Höchstgehalte unter Beteiligung des Wissenschaftlichen Ausschusses für Tierernährung der Europäischen Kommission überprüft werden.

Zum Erfolg der futtermittelrechtlichen Regelungen für Blei und Cadmium ist festzustellen:

Bezogen auf das Schutzziel „Lebensmittel“ waren die Höchstgehalte sehr wirksam, denn es gibt laut Ernährungsbericht kaum noch Beanstandungen bei tierischen Erzeugnissen.

Auch im Hinblick auf die Rückführung der zum Teil bis in die 80er-Jahre extrem hohen Emissionen oder Frachten in natürlichen Rohstoffen ist mit Hilfe dieser Höchstgehalte ebenfalls viel geleistet worden.

6 Sonderfall Chrom: Unerwünschter Stoff oder essentielles Element

Für Chrom wurde bereits angedeutet, dass es eine kleine spezielle Regelung gibt, die beinhaltet, dass mit Gerbstoffen behandelte Häute einschließlich deren Abfälle als Futtermittel verboten sind. Vor einigen Jahren gab es einen Antrag auf Zulassung sog. Chrom-Hefen für die Pferdefütterung; dieser Antrag scheint jedoch zur Zeit zu ruhen.

7 Schlussbemerkung

Obwohl Boden- und Umweltschutz keine futtermittelrechtlichen Zielsetzungen sind, ist Deutschland mit dem Ziel der Begrenzung der Spurenelementeinträge über Futtermittel in der Europäischen Union initiativ geworden.

Bodenschutz oder Umweltschutz können jedoch nur durch Aufbringungsregelungen, bezogen auf die Fläche, konkret gewährleistet werden. Bei gegebener Aufbringungstoleranz für Stoffe können Tierernährung und Futtermittelrecht dann dazu beitragen, die Anpassung der Tierhaltung an diese Vorgaben zu optimieren. Die von der deutschen Delegation initiierte Absenkung der zulässigen Höchstgrenze für die Spurenelementergänzung von Mischfuttermitteln ist hierfür ein Beispiel.

8 Literatur

FMG, FUTTERMITTELGESETZ (2000): Futtermittelgesetz vom 25. August 2000 (zuletzt geändert durch Artikel 188 der Verordnung vom 29. Oktober 2001. BGBI. I S. 2785). BGBI. I S. 1358

FMV, FUTTERMITTELVERORDNUNG (2000): Futtermittelverordnung vom 23. November 2000 (zuletzt geändert durch Artikel 2 Abs. 1 der Verordnung vom 21. Januar 2002. BGBI. I S.437). BGBI. I S. 1605

MinR Dr. Uwe Petersen, Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft, Referat 318, Postfach 14 02 70, 53107 Bonn

Tab. 1: Derzeitige und diskutierte Höchstgehalte für Kupfer in Alleinfuttermitteln

Futtermittelverordnung		Ständiger Futtermittelausschuss, Vorschlag 2000	
Tierart/Tierkategorie	mg/kg	Tierart/Tierkategorie	mg/kg
Mastschweine		Schweine	
bis 16. Lebenswoche	175	bis 2 Monate	30
ab 17. Lebenswoche	35 ¹⁾	andere	20
Zuchtschweine	35		
Kälber		Kälber	
Milchaustauschfutter	30	Milchaustauschfutter	10 ²⁾
sonstige Alleinfutter	50	sonstige Alleinfutter	15 ²⁾
		andere Rinder	30
Schafe	15	Schafe	15 ³⁾
		Fische	15
andere Tierarten/ Tierkategorien	35	andere Tierarten/ Tierkategorien	20

¹⁾ In Mitgliedstaaten mit weniger als 175 Schweinen/ha LN: 17 Wochen - 6 Monate 100 ppm;
über 6 Monate 35 ppm

²⁾ Kupferchelat und Kupferlysin nicht für Kälber zugelassen

³⁾ bei mehr als 10 ppm Hinweis auf empfindliche Schafrassen vorgesehen

Tab. 2: Zugelassene Zinkverbindungen¹⁾ sowie derzeitige und diskutierte Höchstgehalte

Zugelassene Verbindungen	Futtermittelverordnung	Ständiger Futtermittelausschuss Vorschlag, 2000	
		Dosierung (mg/kg)	
Zinklactat, Trihydrat		Schweine	100
Zinkacetat, Dihydrat		Rinder	
Zinkcarbonat		Kühe	120
Zinkchlorid, Monohydrat	alle Tiere/Tierkategorien	andere	100
Zinkoxid	250	Pferde	80
Zinksulfat, Heptahydrat		Fische	200
Zinksulfat, Monohydrat		Pelztiere	150
Aminosäure-Zinkchelat, Hydrate ²⁾		Heimtiere	200
		andere	120

¹⁾ max. 600 mg Blei/kg

²⁾ max. 80 ppm im Alleinfutter

Tab. 3: Höchstgehalte für Blei in Futtermitteln laut Futtermittelverordnung (mg/kg Futter, 88 % TM)

Einzelfuttermittel mit mehr als 8 % Phosphor	30
Grünfutter einschließlich Weidegras und Rübenblätter, Grünfuttersilage, Heu	40
Hefen	5
andere Einzelfuttermittel	10
Alleinfuttermittel für Kälber, Schaf- und Ziegenlämmer	20
Alleinfuttermittel für laktierende Rinder, laktierende Schafe und laktierende Ziegen	40
andere Alleinfuttermittel für Rinder, Schafe und Ziegen	30
andere Alleinfuttermittel	5
Mineralfuttermittel	30
andere Ergänzungsfuttermittel	10

Tab. 4: Höchstgehalte für Cadmium in Futtermitteln laut Futtermittelverordnung (mg/kg Futter, 88 % TM)

Einzelfuttermittel pflanzlichen Ursprungs	1
Einzelfuttermittel tierischen Ursprungs, ausgenommen Einzelfuttermittel für Heimtiere	1
Einzelfuttermittel mit mehr als 8 v.H. Phosphor	0,5 ¹⁾
Alleinfuttermittel für Rinder, Schafe und Ziegen, ausgenommen Alleinfuttermittel für Kälber, Schaf- und Ziegenlämmer	1
andere Alleinfuttermittel, ausgenommen Alleinfuttermittel für Heimtiere	0,5
Mineralfuttermittel	0,75 ¹⁾
andere Ergänzungsfuttermittel für Rinder, Schafe und Ziegen	0,5

¹⁾ je Prozent Phosphor des Futtermittel

Futtermittelgesetz: Zweckbestimmung

§ 1

Zweck dieses Gesetzes ist es,

1. die tierische Erzeugung so zu fördern,
dass
 - a) die Leistungsfähigkeit der Nutztiere = **Förderung der Tierproduktion**
erhalten und verbessert wird und
 - b) die von Nutztieren gewonnenen = **Schutz der Gesundheit des
Erzeugnisse den an sie gestellten
Menschen
qualitativen Anforderungen,
insbesondere im Hinblick auf ihre
Unbedenklichkeit für die
menschliche Gesundheit,
entsprechen;**
2. sicherzustellen, dass durch Futtermittel = **Schutz der Gesundheit der
die Gesundheit von Tieren nicht
Tiere
beeinträchtigt wird;**
3. vor Täuschung im Verkehr mit = **Schutz vor Täuschung**
Futtermitteln, Zusatzstoffen und
Vormischungen zu schützen;
4. Rechtsakte der Europäischen = **Harmonisierung in der EU**
Gemeinschaft im Bereich des
Futtermittelrechts durchzuführen

Futtermittelgesetz: Verbote zur Gefahrenabwehr

§ 3

Es ist verboten,

- 1. Futtermittel derart herzustellen oder zu behandeln, dass sie bei bestimmungsgemäßer und sachgerechter Verfütterung geeignet sind,**
 - a) die Qualität der von Nutztieren gewonnenen Erzeugnisse, insbesondere im Hinblick auf ihre Unbedenklichkeit für die menschliche Gesundheit, zu beeinträchtigen oder**
 - b) die Gesundheit von Tieren zu schädigen;**
- 2. Futtermittel in den Verkehr zu bringen,**
wenn sie bei bestimmungsgemäßer und sachgerechter Verfütterung geeignet sind,
- 3. Futtermittel zu verfüttern, die geeignet sind,**
.....

Futtermittelgesetz: Begriffsbestimmung Futtermittel

§ 2

(1) Im Sinne dieses Gesetzes sind

1. Futtermittel:

Stoffe, einzeln (Einzelfuttermittel) oder in Mischungen (Mischfuttermittel), mit oder ohne Zusatzstoffe, die dazu bestimmt sind, in unverändertem, zubereitetem, bearbeitetem oder verarbeitetem Zustand an Tiere versuppt zu werden; ausgenommen sind Stoffe, die überwiegend dazu bestimmt sind, zu anderen Zwecken als zur Tierernährung verwendet zu werden;

= **Futtermittel**
• **Einzelfuttermittel**
 darunter **Bioproteine**
• **Mischfuttermittel**

2. Diätfuttermittel

Mischfuttermittel, die dazu bestimmt sind, den besonderen Ernährungsbedarf der Tiere zu decken, bei denen insbesondere Verdauungs-, Resorptions- oder Stoffwechselstörungen vorliegen oder zu erwarten sind.

= **Diätfuttermittel**

**Tabelle 1: Begriffsbestimmung unerwünschte Stoffe
(§ 2b Absatz 1 Nr. 2 Futtermittelgesetz)**

Unerwünschte Stoffe: Stoffe - außer Tierseuchenerregern -, die in oder auf Futtermitteln enthalten sind und die Gesundheit von Tieren, die Leistung von Nutztieren oder als Rückstände die Qualität der von Nutztieren gewonnenen Erzeugnisse, insbesondere im Hinblick auf ihre Unbedenklichkeit für die menschliche Gesundheit, nachteilig beeinflussen können.

**Tabelle 2: Begriffsbestimmung Zusatzstoffe
(§ 2 a Absatz 1 Futtermittelgesetz)**

Zusatzstoffe sind Stoffe, einzeln oder in Form von Zubereitungen, die dazu bestimmt sind, Futtermitteln zugesetzt zu werden, um

- 1. die Beschaffenheit der Futtermittel oder der tierischen Erzeugnisse zu beeinflussen,**
- 2. den Bedarf der Tiere an bestimmten Nähr- oder Wirkstoffen zu decken oder die tierische Erzeugung zu verbessern, insbesondere durch Einwirkung auf die Magen- und Darmflora oder die Verdaulichkeit der Futtermittel oder durch Verringerung von Belästigungen durch Ausscheidungen der Tiere, oder**
- 3. besondere Ernährungszwecke zu erreichen oder bestimmte zeitweilige ernährungsphysiologische Bedürfnisse der Tiere zu decken.**

Tabelle 3: Als Zusatzstoffe zugelassene Kupferverbindungen in der EG (2002)

Kupfer-II-acetat, Monohydrat
Basisches Kupfer-II-carbonat, Monohydrat
Kupfer-II-chlorid, Dihydrat
Kupfer-II-Methionat
Kupfer-II-oxid
Kupfer-II-sulfat, Pentahydrat
Kupferaminosäurechelat, Hydrat¹⁾
Kupfer-Lysinsulfat²⁾
Kupfer-II-sulfat, Monohydrat³⁾
Kupfer-II-sulfat, Pentahydrat³⁾

¹⁾ max. 20 mg Cu/kg Alleinfutter

²⁾ max. 50 mg Cu/kg Alleinfutter

³⁾ aus der Verwendung zur Denaturierung von Magermilchpulver

Tabelle 4: Höchstgehalte für Kupfer in Alleinfuttermitteln

geltendes Recht		Vorschlag Ständiger Futtermittelausschuss (2000)		
Tierart/Tierkategorie	mg/kg	Tierart/Tierkategorie	mg/kg	
Mastschweine		Schweine		
- 16 Wochen	175	- 2 Monate	30	
- 17 Wochen	35 ¹⁾	- andere	20	
Zuchtschweine	35			
Kälber		Kälber		
- Milchaustauschfutter	30	- Milchaustauschfutter	10 ²⁾	
- sonstiges Alleinfutter	50	- sonstige Alleinfutter	15 ²⁾	
		andere Rinder	30	
Schafe	15	Schafe	15 ³⁾	
		Fische	15	
andere Tierarten/Tierkategorien	35	andere	20	
		Tierarten/Tierkategorien		

¹⁾ In Mitgliedsstaaten mit weniger als 175 Scheine/ha LN: 17 Wochen - 6 Monate 100 ppm; über 6 Monate 35 ppm

²⁾ Kupferhalt nd Kupferlysin nicht für Kälber zugelassen

³⁾ bei mehr als 10 ppm Hinweis auf empfindliche Schafrasen vorgesehen

Tabelle 5: Zugelassene Zinkverbindungen¹⁾ und Höchstgehalte

Zugelassene Verbindungen	Dosierung (mg/kg)	
	geltendes Recht	Vorschlag Ständiger Futtermittelausschuss 2000
Zinklactat, Trihydrat		Schweine 100
Zinkacetat, Dihydrat		Rinder 120
Zinkcarbonat	250	- Kühe 100
Zinkchlorid, Monohydrat		- andere 80
Zinkoxid		Pferde 200
Zinksulfat, Heptahydrat		Fische 150
Zinksulfat, Monohydrat		Pelztiere 200
Aminosäure-Zinkchelat, Hydrate ²⁾	120	Heimtiere 120
		andere

1) max. 600 mg Blei/kg

2) max. 80 ppm im Alleinfutter

Tabelle 6: Höchstgehalte für Blei in Futtermitteln (mg/kg Futter - 88 % TM -)

Einzelfuttermittel mit mehr als 8 v.H. Phosphor	30
Grünfutter einschließlich Weidegras und Rübenblätter, Grünfuttersilage, Heu	40
Hefen	5
andere Einzelfuttermittel	10
Alleinfuttermittel für Kälber, Schaf- und Ziegenlämmer	20
Alleinfuttermittel für laktierende Rinder, laktierende Schafe und laktierende Ziegen	40
andere Alleinfuttermittel für Rinder, Schafe und Ziegen	30
andere Alleinfuttermittel	5
Mineralfuttermittel	30
andere Ergänzungsfuttermittel	10

Tabelle 7: Höchstgehalte für Cadmium in Futtermitteln
(mg/kg Futter - 88 % TM -)

Einzelfuttermittel pflanzlichen Ursprungs	1
Einzelfuttermittel tierischen Ursprungs, ausgenommen Einzelfuttermittel für Heimtiere	1
Einzelfuttermittel mit mehr als 8 v.H. Phosphor	0,5¹⁾
Alleinfuttermittel für Rinder, Schafe und Ziegen, ausgenommen Alleinfuttermittel für Kälber, Schaf- und Ziegenlämmer	1
andere Alleinfuttermittel, ausgenommen Alleinfuttermittel für Heimtiere	0,5
Mineralfuttermittel	0,75¹⁾
andere Ergänzungsfuttermittel für Rinder, Schafe und Ziegen	0,5

¹⁾ je Prozent Phosphor des Futtermittel

**Bundesamt für Verbraucherschutz
und Lebensmittelsicherheit**
Abteilung 3
Tierarzneimittel

Diedersdorfer Weg 1
12277 Berlin
Telefax: 01888-412-2364
Telefon: 01888-412-2965
E-Mail: r.kroker@bvl.bund.de

TELEFAX

SOFORT ZU ÜBERREICHEN!!!

An: Umweltbundesamt
Frau Franziska Eichler

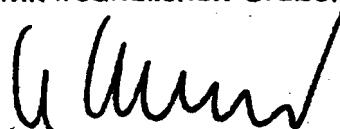
Fax: 030/8903-2106

Von: BVL, Prof. Dr. R. Kroker

Betreff: Sehr geehrte Frau Eichler,

leider musste ich bei meiner Rückkehr aus London heute feststellen,
dass es eine unabwendbare Terminüberschneidung gegeben hat, so
dass ich an der Veranstaltung im UBA leider nicht teilnehmen kann. Ich
übermittle Ihnen aber eine Stellungnahme, die Sie vorlesen können.
Ich hoffe damit, die getroffene Problematik abgedeckt zu haben. Es tut
mir leid, wenn ich Ihnen Unannehmlichkeiten bereite und verbleibe

mit freundlichen Grüßen,



Prof. Dr. R. Kroker

Anlage

Aus Ihrem Bericht „Erfassung von Schwermetallströmen in landwirtschaftlichen Tierproduktionsbetrieben....“ geht bezüglich der Schwermetallproblematik in Tierarzneimitteln klar hervor, dass Einträge in die Umwelt primär über zinkoxidhaltige Vormischungen zur Anwendung als Fütterungsarzneimittel beim Schwein sowie die Verwendung von kupferhaltigen Klauenbädern beim Rind erfolgen können. Sowohl die Anwendung von Zink zur Durchfallprophylaxe als auch von Kupfer in Bädern zur Vorbeugung von Klauenerkrankungen fällt unter den Arzneimittelbegriff nach § 2 Abs. 1 AMG und entsprechende Produkte sind demzufolge zulassungspflichtig. Als Vormischungen mit Zinkoxid sind drei Tierarzneimittel auf dem Markt mit Konzentrationen von 400, 600 und 700 g Zinkoxid als Trägerstoff pro Kilogramm Vormischung. Alle drei Arzneimittel befinden sich noch in der Nachzulassung, d.h. es erfolgt noch eine Überprüfung der Qualität, Wirksamkeit und Unbedenklichkeit. Änderungen der bestehenden Zulassungen können sich durchaus daraus ergeben. Darüber hinaus wurde in Gesprächen mit den pharmazeutischen Unternehmen Eingang erzielt, maximale Mengen von 250 g Zinkoxid/kg vorerst zu akzeptieren. Da Vormischungen durch die Einmischung in Mischfuttermittel verdünnt werden, ist die verabreichte Menge Zinkoxid an das Tier sehr viel niedriger anzusetzen. Wenn Ihrem Bericht zur Folge Zinkoxid aber nicht über zugelassene Arzneimittel, sondern direkt in Konzentrationen von bis zu 3000 mg Zinkoxid/kg eingesetzt werden, so ist das illegal.

In bezug auf die Klauenbäder ist eine Lösung als Tierarzneimittel zugelassen, die u.a. Kupfer-II-sulfat enthält. Die Lösung soll auf die Klauen aufgetragen werden, kann aber auch als Klauenbad verwendet werden. Nach unserer Einschätzung spielt aber die Anwendung des zugelassenen Produkts aus ökonomischen Gründen keine besondere Rolle, sondern die illegalen Anwendungen von anderen Kupfersulfatlösungen als Bäder stehen im Vordergrund.

Als Konsequenz muß davon ausgegangen werden, dass der legale Einsatz der genannten Schwermetalle über zugelassene Arzneimittel geringfügig zu den Belastungen führt. Vielmehr kann eine konsequente Kontrolle des illegalen Einsatzes und Ahndung durch die zuständigen Länderbehörden die Problematik reduzieren.

Thematik aus Sicht der Ökologischen Tierhaltung

Systemorientierter Ansatz mit dem Ziel eines weitgehend in sich geschlossenen Nährstoffkreislaufes und der Minimierung von Einträgen in den Betrieb

Problembereiche (Einträge)

- wirtschaftseigene Futtermittel,
- Zukauffuttermittel (u.a. Kraftfutter, Ergänzungsfutter und Mineralstoffe),
- Einsatz von Mineralstoffmischungen aus der konventionellen Erzeugung,

Problemminimierung durch Vorsorgeprinzip

1. geringer Tierbesatz (max. 2 GVE, im Ø 1,0 GVE/ha),
2. geringerer Einsatz von Kraftfutter beim Rind,
3. Begrenzung des Futtermittelzukaufes
4. Versorgung mit Mineralstoffen und Spurenelementen gemäß Empfehlung der GfE über zertifizierte Futterhersteller,
5. Kein prophylakt. Einsatz von Fütterungsarzneimittel,
6. Verzicht auf den Einsatzes von Cu-haltigen Desinfektionsmitteln.

Minderungspotentiale

Keine validen Daten zur Situation in Ökolog. Tierhaltung. Minimierung des Eintrages lässt jedoch eine deutliche Reduktion in Wirtschaftsdüngern erwarten.



Plädoyer für effiziente Vorsorge- anstelle von aufwendigen ‚End of Pipe‘ Strategien

Schwermetalleinträge aus Wirtschaftsdüngern - Maßnahmen und Minderungspotenziale aus Sicht des ökologischen Landbaus

Bisheriger Erkenntnisstand

Entscheidende Eintragsquellen von Schwermetallen in Wirtschaftsdüngern sind Futtermittel und weitere im Stall verwendete Hilfsmittel (z.B. Arzneimittel, Klauenbäder, best. Einstreumittel)

Schwermetalle in den Futtermittel wie Cu und Zn sind Spurenelemente, die in einer bedarfsgerechten Fütterung (GfE-Normen) essentiell sind. Die Retention ist allerdings gering, so dass ein wesentlicher Teil ausgeschieden wird.

Die Ausscheidungsmengen von Schwermetallen wie Cu und Zn erhöhen sich deutlich, wenn sie über die Bedarfsempfehlungen hinaus als Leistungsförderer eingesetzt werden. Dies ist im ökologischen Landbau nicht zulässig.

Es bestehen bei Stallbilanzen offenbar keine vollständigen Informationen über alle betriebsspezifischen Eintragsquellen. Somit ist von einer standortabhängigen, möglicherweise auch historisch begründeten Hintergrundbelastung auszugehen.

Das Ziel ausgeglicherner Bilanzen für Schwermetalle wird im Sinne eines nachhaltigen Bodenschutzes für uneingeschränkt wichtig erachtet.

Was ist zu tun?

- Grundsätzlich sollte an den Eintragsquellen einer Wirtschaftsdüngerbelastung gemindert werden, da nur dieser Weg effizient und schlüssig ist.
- Grenzwertsetzung in Wirtschaftsdüngern und daraus abgeleitete Verwertungsmaßnahmen bringen nicht die erwünschte Wirkung, da der Kontrollaufwand ineffizient, kostenträchtig und unpraktikabel ist (Probenahme, Analytik, große Streuung, ...). Sinnvoll ist dagegen ein repräsentatives Monitoring und die Festlegung von Zielwerten.
- Eine nicht landwirtschaftliche Verwertung (Entsorgung) von Wirtschaftsdüngern lehnen wir ab. Die damit verbundenen negativen Folgen (Unterbrechung des Kohlenstoffkreislaufes, Energieeinsatz, Substitution durch andere, möglicherweise auch belastete Düngemittel) werden ungleich größer eingeschätzt als etwaige Vorteile. Betroffene ökologisch wirtschaftende Betriebe würde ein Ausbringungsverbot in existenzielle Bedrängnis bringen.
- Das Minderungsverfahren der Wahl begrenzt die bekannten Eintragspfade „am Hoftor“, berücksichtigt die atmosphärischen Einträge und führt so zu ausgeglichenen Betriebsbilanzen bzw. – falls im Betrieb notwendig – langfristig zu einer Minderung der Schwermetallgehalte im Nährstoffkreislauf des Betriebes.
- Die Versorgungsempfehlungen für die Tierernährung sind auch für den Spurenelementbereich einzuhalten, um das Wohlergehen der Tiere sicherzustellen. Sicherheitszuschläge und eine gesetzliche Minderung der zulässigen Höchstgehalte bieten ein Minderungspotenzial, das – auf wissenschaftlicher Grundlage – ausgeschöpft werden muss. Schwierigkeiten machen in diesem Zusammenhang die große Streuung der nativen Gehalte in den landwirtschaftlichen Futtermitteln und standortbedingte Antagonismen in der Verwertung von Spurenelementen.

Theoretisch denkbare Gehaltssenkungen in Mineralfuttermitteln durch Kenntnis standortbezogener Daten und betriebsindividuelle Supplementierung, müssen von Herstellern und Landwirten praktikabel umsetzbar sein.

- Maßnahmen, die zu einer Erhöhung der Spurenelementretention führen, sind auch auf ihre Verordnungskonformität hin zu überprüfen (Phytase, organische Verbindungen). Ggf. müssen gesetzliche Regelungen, wie die VO (EG) 2092/91 zum ökologischen Landbau hier angepasst werden.
- Maßnahmen im Betrieb, die Hygiene und sonstige Umweltbedingungen sowie die Futterverwertung (organische Säuren, Probiotika) verbessern, tragen dazu bei, auf einen leistungsstabilisierenden Einsatz z.B. von Cu und Zn bei Ferkeln, auf Kupferbäder zur Regulierung von Klauenerkrankungen oder auf schwermetallhaltige Eintreumittel zu verzichten. Beratungsmaßnahmen müssen hier ansetzen.

Die Rolle des ökologischen Landbaus in dieser Frage

- Der ökologische Landbau bietet durch die weitgehende Integration von Tierhaltung und Pflanzenbau im Betrieb und seine begrenzte Stoffzufuhr von außen einen systemorientierten Lösungsansatz, um Schwermetallanreicherungen zu vermeiden bzw. zurückzuführen. Das Konzept des Ökologischen Landbaus zum Bodenschutz heißt daher strikte standortgebundene Reintegration von Pflanzenbau und Tierhaltung mit dem Ziel ausgeglichener Stoffbilanzen im Betrieb. Es hat auch in dieser Frage Leitbildcharakter.
- Der Einsatz von Spurelementen in Futtermitteln über die Versorgungsempfehlungen (GfE-Normen) hinaus ist im ökologischen Landbau nicht zulässig.
- Ab August 2003 müssen Ökofuttermittel zertifiziert werden (ÄnderungsVO (EG) 223/2003). Damit ist die Grundlage für eine umfassende Qualitätssicherung auch im Hinblick auf einer am Bedarf orientierten Supplementierung von Spurelementen gelegt.
- Der Einsatz von Klauenbädern und anderen Eintragsquellen sollte von der Zielrichtung des ökologischen Landbaus her minimiert werden. Einzelbetrieblich besteht Informations- und Beratungsbedarf. Die Bedeutung von Klauenbädern ist in der ökologischen Milchviehhaltung insgesamt gering.

Dr. Ulrich Schumacher, Bioland e.V., Ressort Landbau, Kaiserstr. 18, 55116 Mainz

Entstehung und Stabilisierung schwermetallhaltiger Kolloide

(LANG, KLITZKE, KAUPENJOHANN)

n von Zn, Cd, Cs in Bodenaggregaten
(SAFRONOV, KAUPENJOHANN)

Kleinräumige Verteilung von Schwermetallbindungsformen in Böden

(ILG, WILCKE, KAUPENJOHANN)

Schwermetalldynamik in Waldökosystemen
(BÜCHEL, LANG, KAUPENJOHANN)

Schwermetallbilanz in der Landwirtschaft
(WILCKE)

Zn

KONZENTRATION

VORRAT

Gestein: 15 - 100 mg kg⁻¹

Boden: 10 - 80 mg kg⁻¹

Bodenlösung: 0,001 - 0,800 mg l⁻¹

Pflanzen: 10 - 100 mg kg⁻¹

45.000 - 360.000 g ha⁻¹*)

1 - 800 g ha⁻¹**)

250 - 900 g ha⁻¹

*) Oberboden 0 - 30 cm; dB = 1,5 g cm⁻³

**) Oberboden 0 - 30 cm; FK = 33 Vol.-%

Cu

KONZENTRATION

VORRAT

Gestein:	4 - 90 mg kg ⁻¹	VORRAT
Boden:	2 - 40 mg kg ⁻¹	9.000 - 180.000 g ha ^{-1*})
Bodenlösung:	0,03 - 0,30 mg l ⁻¹	30 - 300 g ha ^{-1**)}
Optimale Versorgung:	3 - 5 mg kg ⁻¹	13.500 - 22.500 g ha ^{-1*})
Pflanzen:	2 - 20 mg kg ⁻¹	30 - 140 g ha ⁻¹

*) Oberboden 0 - 30 cm; dB = 1,5 g cm⁻³

**) Oberboden 0 - 30 cm; FK = 33 Vol.-%

Zn

EINTRAG

AUSTRAG

Niederschlag:

100 - 800 g ha⁻¹

Pflanzenentzug:

250 - 900 g ha⁻¹

Auswaschung:

10 - 360 g ha⁻¹

Zn-Düngung*): 600 - 1.600 g ha⁻¹ a⁻¹

*) Scheffer und Schachtschabel 2002, S. 338

Cu

EINTRAG

AUSTRAG

Niederschlag: 20 - 200 g ha^{-1}

Pflanzenentzug:

30 - 140 g ha^{-1}

Auswaschung:

10 - 360 g ha^{-1}

Erhaltungsdüngung*): 600 g $\text{ha}^{-1} \text{a}^{-1}$

*) Scheffer und Schachtschabel 2002, S. 335

Zn

Mangel:

Auf Kalkböden,
armen, sehr sauren Böden,
bei hoher Sonneneinstrahlung.

Anreicherung:

Durch Immissionen in urbanen Räumen,
vor Klärschlamm-V durch Klärschlamm
Abwasserverrieselung.

Cu

Mangel:

Auf humsurreichen Podsolien,
auf Hochmooren.

Anreicherung:

Durch Immissionen in urbanen Räumen,
vor Klärschlamm-V durch Klärschlamm,
Abwasserverrieselung,

Cu-haltige PSM (bis 40.000 g Cu $\text{ha}^{-1} \text{a}^{-1}$),

große Mengen an Schweinegülle.

Schutz von Böden vor Schwermetallbelastung

Grundpositionen

- 1 Grundlage für die Beurteilung einer Boden-gefährdung durch Schwermetalleintrag ist aus der Sicht des Bodenschutzes die Schwermetallfracht. Es müssen dabei sämtliche Eintragspfade berücksichtigt werden.

Dabei spielt die Art der Quelle (atmosphärische Deposition, Mineraldünger, Wirtschaftsdünger, Klärschlamm, Bioabfallkompost, Pflanzenschutzmittel, andere Aufträge) - zumindest auf lange Sicht - keine Rolle.

Die Gehalte an organischer Substanz in Böden werden im Wesentlichen durch Bodeneigenschaften, Klima und Bewirtschaftung bestimmt. Sie können durch einmalige Zufuhr von organischer Substanz nicht dauerhaft erhöht werden. Daher sollte für die Berechnung von Verdünnungseffekten nur die langfristig im Boden verbleibende mineralische Substanz berücksichtigt werden. Dies ist in erster Näherung der Aschegehalt.

- 2 Spurennährälemente und die übrigen Schwermetalle sollten differenziert behandelt werden.

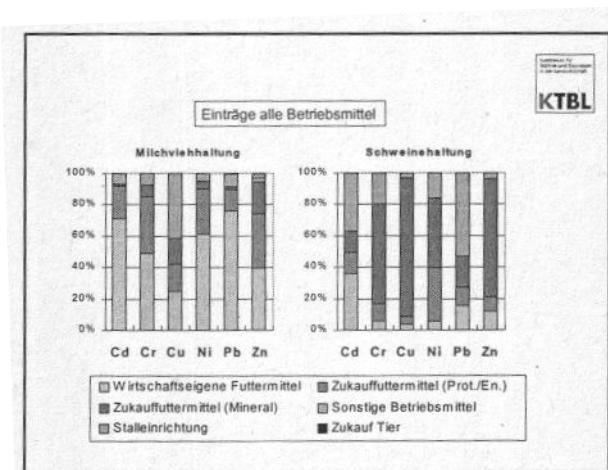
Spurennährälemente müssen den Pflanzen in ausreichender Menge zur Verfügung stehen, um Ernährungsstörungen zu vermeiden. Im Rahmen einer Gesamtbilanz müssen die Spurenelementflüsse daher nach dem Substitutionsprinzip berücksichtigt werden.

Für die übrige Schwermetalle, insbesondere die schon in geringer Konzentration toxisch wirkenden sollten die Einträge möglichst gering gehalten werden (Minimierungsprinzip)

Herr Döhle, KTBBL



-
-
-
-
-
-
-
-
-
-



-
-
-
-
-
-
-
-
-
-

**Verzicht auf Kupfervitriol
Milchviehhaltung**
KTBBL

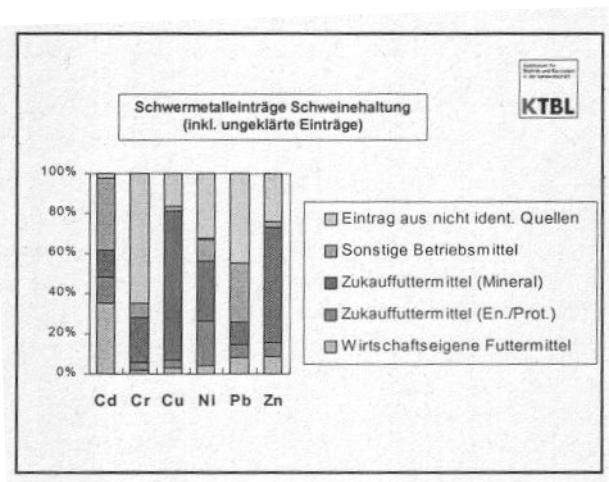
Stoffstrom	Cu IST	Cu RED [g GV ⁻¹ a ⁻¹]	Zn IST	Zn RED
Wirtschaftseigene Futtermittel	35	35	158	158
Zukauffuttermittel	74	74	470	470
Sonstige Betriebsmittel	242	2,0	18,2	18,1
Reduzierung um [%]		99	1	1
Zukauf Tier	0,45	0,45	6,1	6,1
Summe Eintrag	351	111	652	652
Reduzierung um [%]		68	0	0

-
-
-
-
-
-
-
-
-
-

Reduzierung Cu- und Zn-Supplementierung
Ferkelerzeugung/Schweinemastbetrieb

KTBL

Stoffstrom	Cu IST	Cu RED	Zn IST	Zn RED
	[g GV ⁻¹ a ⁻¹]			
Wirtschaftseigene Futtermittel	9,3	9,3	94	94
Zukauffuttermittel (En./Prot.)	12	12	75	75
Zukauffuttermittel (Mineral)	222	104	600	432
Reduzierung um [%]		53		28
Sonstige Betriebsmittel	7,1	7,1	31	31
Zukauf Tier	0,1	0,1	1,1	1,1
Eintrag Gesamt	251	133	801	633
Reduzierung um [%]		47		21



Reduzierung Cu- und Zn-Supplementierung
Ferkelerzeugung/Schweinemastbetrieb

KTBL

Stoffstrom	Cu IST	Cu RED	Zn IST	Zn RED
	[g GV ⁻¹ a ⁻¹]			
Gesamteintrag aus erfassten Quellen	251	133	801	633
Eintrag aus nicht identifizierbaren Quellen	49	49	253	253
Eintrag Gesamt	300	182	1054	886
Reduzierung um [%]		39		16

Bewertung von Minderungsmöglichkeiten (1)

KTBL

Maßnahme	Poten- ziel	Praxis- reife	polit. Durchsetz- barkeit	Zielgenauigkeit Nebeneffekte	Kontroll- aufwand
Herabsetzung der Spurenelementsupplementierung					
Ferkelaufzucht	+	+	+	+	+
Mastschweine	+	+	+	+	+
Geflügel	+	+	+	+	+
Rinder-/Milchviehhaltung	o	+		+	+
Cu/ZnSO ₄ - Klaudensedimentation					
Rinder-/Milchviehhaltung					
a) verbesserte Anwendung	+	+	+	+	+
b) Ersatz	+	-	+	+	+
Verzicht auf Cu- und Zn-haltige Trägersubstanzen in Fütterungsarzneimitteln	+	n. e.	-	+	+

Bewertung von Minderungsmöglichkeiten (2)

KTBL

Maßnahme	Poten- ziel	Praxis- reife	polit. Durchsetz- barkeit	Zielgenauigkeit Nebeneffekte	Kontroll- aufwand
Erhöhung Bieverfügbarkeit nativer SE-gehalte: Phytase					
Ferkelaufzucht/Mastschweine	-	+	+	-	n. r.
Geflügel	-	+	+	-	n. r.
Auswahl von Cu- und Zn-Verbindungen angepasst an Fütterungssituation	-	- ^{a)}	-	-	+
organische Säuren zur Leistungssteigerung - Ferkelaufzucht	-	+	-	+	n. r.
Einsatz gering verunreinigter Spurenelementverbindungen (Herkunft, Herstellungsprozess)	-	-	+	+	-
Stalls- und Fütterungseinrichtung	-				
a) Korrosionsschutz	-	+	+	+	-
b) Verwendung gering schwermetallhaltiger Materialien (Farben, Lacke, Beton etc.)	-	n. e.	+	+	-
