



KUPFER UND ZINK IM WIRTSCHAFTSDÜNGER VON SCHWEINE- UND GEFLÜGELMASTBETRIEBEN

Gerhard Zethner
Robert Sattelberger
Andrea Hanus-Ilmar

REPORT
REP-0073

Wien, 2007



Projektleitung

Oliver Gans

Autorinnen/Autoren

Gerhard Zethner, Robert Sattelberger, Andrea Hanus-Illnar

Lektorat

Petra Wiener

Satz/Layout

Monika Krötzl

Sämtliche Analysen wurden im Labor des Umweltbundesamt durchgeführt.

Dieses Projekt wurde vom Umweltbundesamt in Kooperation mit den Bundesländern Burgenland, Kärnten, Niederösterreich, Oberösterreich und Steiermark sowie dem Lebensministerium finanziert. Besonderer Dank gebührt den externen Projektbeiratsmitgliedern, Herrn Prof. Schmerhold vom Institut für Pharmakologie und Toxikologie der Veterinärmedizinischen Universität Wien und Herrn Prof. Winckler vom Institut für Nutztierwissenschaften der Universität für Bodenkultur Wien, die TETSOIL fachlich mitbetreut haben. Den Landwirtinnen und Landwirten, die an diesem Projekt teilgenommen haben, möchten wir für ihre Unterstützung und tatkräftige Mithilfe danken.



Weitere Informationen zu Publikationen des Umweltbundesamt unter: <http://www.umweltbundesamt.at/>

Impressum

Medieninhaber und Herausgeber: Umweltbundesamt GmbH
Spittelauer Lände 5, 1090 Wien/Österreich

Eigenvervielfältigung, *gedruckt auf Recyclingpapier*

© Umweltbundesamt GmbH, Wien, 2007
Alle Rechte vorbehalten
ISBN 3-85457-870-9



INHALT

| | |
|---|----|
| ZUSAMMENFASSUNG | 5 |
| 1 EINLEITUNG UND PROBLEMDARSTELLUNG | 6 |
| 2 EINTRAG, EIGENSCHAFTEN UND VORKOMMEN VON KUPFER UND ZINK | 8 |
| 2.1 Kupfer | 8 |
| 2.2 Zink | 10 |
| 3 PROBENAHE UND ANALYSEMETHODEN | 12 |
| 3.1 Auswahl der Betriebe | 12 |
| 3.2 Probenahme und Probenvorbereitung | 12 |
| 3.3 Bestimmung von Stickstoff nach Kjeldahl | 14 |
| 3.3.1 Schweinegülle..... | 14 |
| 3.3.2 Puten- und Hühnermist..... | 14 |
| 3.4 Bestimmung von Kupfer und Zink | 14 |
| 3.4.1 Schweinegülle..... | 14 |
| 3.4.2 Puten- und Hühnermist..... | 15 |
| 3.5 Nachweis- und Bestimmungsgrenzen | 15 |
| 4 ERGEBNISSE UND DISKUSSION | 16 |
| 4.1 Trockenmasse-, Stickstoff-, Kupfer- und Zink-Gehalte im Wirtschaftsdünger von Schweine- und Geflügelmast-betrieben | 16 |
| 4.1.1 Trockenmassegehalte..... | 17 |
| 4.1.2 Stickstoffgehalte..... | 18 |
| 4.1.3 Kupfergehalte..... | 18 |
| 4.1.4 Zinkgehalte..... | 19 |
| 4.1.5 Vergleich der Ergebnisse mit anderen Wirtschaftsdünger-Untersuchungen..... | 20 |
| 4.2 Cu- und Zn-Einträge in landwirtschaftlich genutzte Böden | 21 |
| 4.2.1 Frachtenberechnung..... | 21 |
| 4.2.2 Trockenmassefrachten..... | 22 |
| 4.2.3 Frischmassefrachten..... | 22 |
| 4.2.4 Kupferfrachten..... | 22 |
| 4.2.5 Zinkfrachten..... | 23 |
| 4.3 Einträge im Bereich der Schweinehaltung – Ergebnisse aus Deutschland | 24 |
| 4.4 Cu- und Zn-Stoffbilanzen der Schweizer Bodenbeobachtung | 25 |
| 5 SCHLUSSFOLGERUNGEN | 26 |
| 6 LITERATUR | 28 |
| 7 ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS | 30 |
| 8 ERGEBNISSE DER EINZELNEN PROBEN | 31 |



ZUSAMMENFASSUNG

Im Rahmen des Projektes „Veterinärantibiotika in Wirtschaftsdünger und Boden“ (SATTELBERGER et al. 2005) hat das Umweltbundesamt Daten über Stickstoffgehalte und die Belastung mit Kupfer (Cu) und Zink (Zn) in Wirtschaftsdünger erhoben. Zunächst wird ein kurzer Überblick über die Problematik gegeben und die Daten über die Stickstoff-, Kupfer- und Zinkgehalte bzw. die Frachten (jährliche Eintragsmenge pro ha Boden und Jahr) der beprobten Schweine- und Geflügelbetriebe präsentiert.

Die Schwermetalle Kupfer (Cu) und Zink (Zn) sind essentielle Spurenelemente in der Ernährung von Mensch und Tier und werden Fertigfuttermischungen, vor allem im Jugendstadium der Tiere, zugesetzt. Sie steigern das Wachstum und haben prophylaktische Effekte bei Darmerkrankungen. Die Schwermetalle werden mit Kot und Harn ausgeschieden und gelangen mit dem Wirtschaftsdünger auf die landwirtschaftlichen Böden.

Die Ergebnisse der Untersuchungen zeigen schwankende Stickstoffgehalte im Mittel 11,4 % Trockenmasse in Schweinemist. Die Zinkgehalte erreichten in Schweinemist im Mittel 819 mg/kg Trockenmasse bzw. 1.615 g/ha in der errechneten Fracht im Putenmist. Die Kupfergehalte erreichten in Putenmist 295,6 mg/kg Trockenmasse bzw. 1.506 g/ha in den errechneten Frachten. Die anhand der Projektergebnisse dargestellte Anreicherung ist als ernst einzustufen. Während Zn-Verbindungen mobil sind, sodass sie vermehrt ausgewaschen werden und eine Belastung für das Grundwasser darstellen, wirken sich hohe Cu-Gehalte im Boden pflanzentoxisch aus.

Neben den Einträgen aus der Tierhaltung können diese beiden Elemente im Boden auch aus anderen Quellen wie Luftdeposition, Kompostanwendung, Klärschlamm und Mineraldüngergaben stammen.

Die vorgefundenen Gehalte an Kupfer und Zink in den Schweinegülleproben und Hühnermistproben liegen im Bereich von anderen Untersuchungsergebnissen aus Österreich, Schweiz und Deutschland. Bedingt durch die Herabsetzung der Grenzwerte für Zn und Cu als Futtermittelzusatz gemäß EU-Futtermittelverordnung (VO (EG) 1334/2003) sollte sich ein tendenzieller Rückgang der Kupfer- und Zinkkonzentrationen im Vergleich zu Untersuchungsergebnissen der Probenahme 2003/04 zeigen.

Die EU-Nitrat Richtlinie (RL 91/676/EWG) schränkt den Einsatz von Wirtschaftsdünger auf 170 kg Stickstoff je ha ein, sodass damit der Schwermetalleintrag indirekt begrenzt wird. Die Zn- und Cu-Einträge in die Böden können aber nur bei noch weiter abnehmenden Schwermetallgehalten und einer Gleichverteilung auf viele Felder in Grenzen gehalten werden.

Zusammenfassend kann aus diesen Ergebnissen abgeleitet werden, dass wiederholt mit hohen Wirtschaftsdüngermengen gedüngte Felder in mittelfristigen Intervallen einer Schwermetalluntersuchung unterzogen werden sollten.

Einsatz von Cu und Zn

Untersuchungsergebnisse



1 EINLEITUNG UND PROBLEMDARSTELLUNG

Die Elemente Kupfer (Cu) und Zink (Zn) gehören zu den Schwermetallen und sind essentielle Spurenelemente in der Ernährung von Mensch und Tier.

In der Nutztierhaltung werden Cu und Zn vor allem in der Ferkelfütterung eingesetzt. Da die verabreichten Cu- und Zn-Mengen überwiegend über die Exkremente wieder ausgeschieden werden, stellen sie durch ihren Einsatz als Wirtschaftsdünger die Hauptquelle für Schwermetalleinträge auf die landwirtschaftlichen Nutzflächen dar (WINDISCH 2002).

Gehalt an Schwermetallen in Futtermittel

Der wissenschaftliche Futtermittel-Ausschuss der EU hat im Jahr 2003 eine Stellungnahme zur Verwendung von Kupfer und Zink in Futtermitteln abgegeben. Er kommt zu dem Schluss, dass die geltenden, in Futtermitteln zugelassenen Höchstgehalte an diesen Spurenelementen in den meisten Fällen höher als für die Wirkung dieser Zusatzstoffe notwendig sind. Als Konsequenz empfahl der Ausschuss eine Senkung der Gehalte, damit sie dem physiologischen Bedarf der Tiere angepasst werden. Die EU-Kommission hat diese Forderungen per EU-Futtermittelverordnung (VO (EG) 1334/2003) vom 25. Juli 2003 umgesetzt.

Kupfer

Grenzwert, Einsatz und Wirkung von Cu

Der Cu-Gehalt von Futtermitteln wird durch die EU-Verordnung für Schweine und Geflügel auf 25 mg/kg Futtermittel (Ausnahme Ferkel bis zu zwölf Wochen: 170 mg/kg) begrenzt.

Cu hat in höheren Dosierungen eine bakterizide und fungizide Wirkung, die auch in Pflanzenschutzmitteln für Wein- und Obstkulturen genutzt wird. Neben Futtermitteln haben Desinfektionsmittel (z. B. kupferhaltige Klauendesinfektion), mineralische Einstreumittel, Güllezusatzstoffe bzw. Trägermaterialien von Fütterungsarzneimitteln einen wesentlichen Anteil am Schwermetalleintrag in Wirtschaftsdünger (SCHULTHEISS et al. 2004).

Insbesondere in der Ferkelzucht werden Futtermitteln mit höherem Cu-Gehalt eingesetzt, da sie einen leistungsfördernden Effekt aufweisen, der dem Wirkungsmuster antimikrobieller Leistungsförderer ähnlich ist.

Zink

Grenzwert, Einsatz und Wirkung von Zn

Der Zn-Gehalt von Futtermitteln wird durch die EU-Verordnung z. B. für Schweine und Geflügel auf 150 mg/kg Futter begrenzt. Eine Ausnahme bilden die Milchaustauschfuttermittel mit einem erlaubten Zn-Gehalt von 200 mg/kg.

Auch für zinkhaltige Futtermittel ist das Haupteinsatzgebiet die Schweinezucht (Absatzferkel). Sie steigern das Wachstum der Tiere, haben prophylaktische und in höheren Dosierungen (ab 3.000 mg/kg Zn) auch therapeutische Effekte bei Durchfallerkrankungen.

Überdosierungen von Zn beeinträchtigen den Stoffwechsel von Kupfer und können zu Ferkel-Anämien führen.



Stickstoff

Stickstoff (N) liegt im Wirtschaftsdünger in Form von Ammonium, Nitrat und organisch gebunden vor. N ist neben Phosphor und Kalium ein Hauptnährstoff im Dünger und ist daher entscheidend für den Düngewert. Je höher der Gehalt an Nährstoffen ist, desto höher ist der Düngewert des Wirtschaftsdüngers. Diese Hauptnährstoffe stehen je nach Tierart in einem spezifischen Verhältnis. Der Düngewert der Wirtschaftsdünger wird in erster Näherung durch den Stickstoffgehalt repräsentiert.

Die Stickstoffmenge in Wirtschaftsdünger, die zum Düngen auf die landwirtschaftlichen Flächen ausgebracht werden darf, ist durch die EU-Nitratrichtlinie (RL 91/676/EWG) mit 170 kg begrenzt. Damit soll die N-Auswaschungsgefahr minimiert werden. Der N-Gehalt der Wirtschaftsdünger ist abhängig von der Zusammensetzung des Futtermittels, der Tierart und von den durch die Stall- bzw. Lagerungstechnik bedingten Ammoniakverlusten.

Problemdarstellung

Da Schwermetalle in landwirtschaftlichen Böden teilweise eine geringe Mobilität aufweisen und keinem biologischen Abbau unterliegen, besteht die Gefahr einer Akkumulation, also einer Anreicherung dieser Elemente im Boden. In diesem Fall ist der Entzug über die Ernteprodukte geringer als die Zufuhr durch Wirtschaftsdünger, Klärschlamm, Pflanzenschutzmittel und andere Immissions-Quellen. Ist eine Schwermetallakkumulation aufgetreten, kann diese nur mit großem Aufwand rückgängig gemacht werden. Eine Belastung der Nahrungskette bzw. toxische Effekte können in weiterer Folge dazu führen, dass die Flächen irreversibel unbrauchbar für den Anbau von Nahrungs- und Futtermitteln werden.

Hohe Cu-Gehalte im Boden wirken toxisch auf das Pflanzenwachstum. Teilweise wird in der Literatur (z. B. WINDISCH & ROTH 2000) daher das Ausmaß der Cu-Akkumulation im Boden kritischer betrachtet als das von Zink. Weiters besteht beim Einsatz von Wirtschaftsdüngern mit hohen Cu-Gehalten in Biogasanlagen die Gefahr, dass die Methanogenese gehemmt wird.

Zink kann als Leitsubstanz für eine Schwermetallbelastung im Grundwasser verwendet werden. Während elementares Zink im Boden immobil ist, sind die Zn-Verbindungen sehr mobil und auswaschungsgefährdet, sodass eine Grundwassergefährdung möglich ist.

Ziel der Arbeit

In einer nachhaltigen Landwirtschaft sollte langfristig gesichert sein, dass es durch die landwirtschaftliche Bodennutzung und die Wirtschaftsdüngeranwendung zu keiner Anreicherung von Schwermetallen oder anderen Umweltschadstoffen in der Bodenmatrix kommt.

Die vorliegenden Ergebnisse wurden im Rahmen Projektes „Veterinärantibiotika in Wirtschaftsdünger und Boden“ (SATTEMBERGER et al. 2005) des Umweltbundesamt gewonnen und liefern einen nicht repräsentativen Einblick in die Problematik der Cu- und Zn-Gehalte im Wirtschaftsdünger. Darüber hinaus wurden anhand der Stickstoffdaten die Frachten (jährliche Eintragsmenge bezogen auf einen Hektar und Jahr) berechnet und mit der Schwermetall-Frachtenregelung der Düngemittelverordnung 2004 (BGBl. II 100/2004) verglichen. Alle Angaben sind anonymisiert.

Akkumulation von Schwermetallen

Frachten



2 EINTRAG, EIGENSCHAFTEN UND VORKOMMEN VON KUPFER UND ZINK

Haupteintragspfade von Kupfer und Zink in die landwirtschaftlichen Böden sind:

- Wirtschaftdünger aus der Landwirtschaft,
- Nasse und trockene Luftdeposition (Regen, Stäube),
- Aschen aus Biomasseheizanlagen,
- Biogasgülle und Gärrückstände,
- Klärschlamm und Kompost.

Nährstoffkreislauf

Die Wirtschaftsdünger repräsentieren sämtliche Einträge aus der landwirtschaftlichen Tierhaltung (Ausscheidungen der Tiere, Einstreu, zugekaufte und hofeigene Futtermittel, Futtermittelzusatzstoffe, Arzneimittel, Reinigungs- und Desinfektionsmittel, Korrosionsabgänge aus Anlagen und Geräten, Hilfsstoffe, mineralische Einstreumittel).

Tierhaltungsbetriebe mit ausreichender Flächenausstattung zeichnen sich durch großteils geschlossene Nährstoffkreisläufe zwischen „Boden – Futtermittel – Tierhaltung – Wirtschaftsdünger – Düngung – Boden“ aus. Die Intensivtierhaltung basiert auf extern zugeführten Futtermitteln und einer unzureichenden Flächen- und Grundfutterausstattung. Für die Ausbringung von Wirtschaftsdüngern stehen damit nur wenige Flächen zur Verfügung. Durch die Zufuhr Zn- und Cu-haltigen Futtermitteln wird das System auf ein hohes Nährstoff- und gleichzeitig auch Schadstoffniveau gehoben.

Schwermetall- austrag

Der unter Umständen marginale Austrag aus diesem System erfolgt im Wesentlichen durch die pflanzlichen und tierischen Produkte sowie durch die Ab- und Auswaschungsverluste des Bodens; dies sind Auswaschung mit dem Sickerwasser bzw. Austrag mit abfließendem Wasser an der Bodenoberfläche. Pro Jahr kann von einem Austrag durch Auswaschung von ca. 150 g/ha Zink bzw. 50 g/ha Kupfer ausgegangen werden (CRÖSSMANN 1999). Der Austrag durch die Kulturpflanzen wird im Ackerland/Grünland für Zink mit 215/254 g/ha und für Kupfer mit 43/51 g/ha angenommen (KÜHNEN & GOLDBACH 2004). Stehen diesen Austrägen in Summe wesentlich höhere Schwermetalleinträge gegenüber, ist von einer Bodenakkumulation auszugehen.

Zu beachten sind auch Schwermetalleinträge durch Pflanzenschutzmittel – vor allem hohe Cu-Einträge –, die aber nicht Gegenstand dieser Arbeit sind. (Eingesetzt werden Kupfer und Zink als Fungizide vorwiegend im Wein- und Hopfenbau).

2.1 Kupfer

Ordnungszahl: 29
Rel. Atommasse: 63,546
CAS-Nr.: 7440-50-8

Eigenschaften

Kupfer ist ein hellrotes Metall und kommt in der Natur vor allem in Form von ein- oder zweiwertigen Verbindungen vor. Es gehört zu den biologisch essentiellen Spurenelementen und ist Bestandteil zahlreicher Enzyme von Säugern, wie z. B. Cytochrom-C-Oxydase, Tyrosinase und Dopamin- β -Hydroxylase. Eine wichtige Funk-



tion hat Kupfer auch bei der Hämoglobinsynthese, bei der es den Einbau von Eisen in die roten Blutkörperchen reguliert. Auch im Nervensystem und in der Skelettbildung von Säugern hat Kupfer eine essentielle Bedeutung.

Kupfer wirkt in Form seiner Ionen antibakteriell und fungizid, in höheren Dosierungen weist es lebertoxische Eigenschaften auf. Das Kupferangebot in der menschlichen Nahrung liegt bei ca. 1–3 mg/Tag. Der Tagesbedarf liegt ebenfalls in diesem Bereich. Bei der Morbus Wilson-Krankheit des Menschen kommt es aufgrund einer krankhaften Kupferspeicherung in der Leber und im Gehirn zu Sprach- und Koordinationsstörungen, Zittern, Verlust der Konzentrationsfähigkeit und Veränderung des Temperaments.

Wirkung

Schweine und Wiederkäuer können – beeinflusst von der Konzentration anderer Elemente wie Kalzium, Molybdän, Phosphat oder Sulfat – über den Darm relativ viel Kupfer aufnehmen. Je höher der Kalziumgehalt im Futter ist, desto weniger Kupfer wird resorbiert. Nach erfolgter Resorption wird Kupfer an Albumin gebunden und zur Leber transportiert, wo das Kupfer gespeichert wird. Die Ausscheidung erfolgt größtenteils mit der Galle und nur zu kleinen Teilen mit dem Harn und der Milch (CLINIPHARM/CLINITOX 2005).

Höhere Cu-Dosierungen (70–200 mg/kg Futter), insbesondere in der Ferkelfütterung, sollen die Widerstandskraft gegen Durchfallerkrankungen erhöhen und leistungsfördernd wirken.

Hauptwirkort der Cu-Verbindungen (z. B. Kupfersulfat, Kupferoxid) ist der Darm. Die leistungsfördernde Wirkung soll primär auf der Eindämmung unerwünschter Mikroorganismen im Verdauungstrakt beruhen (WINDISCH & ROTH 2000).

Cu-Gehalte in Futtermitteln

Gemäß EU-Futtermittelverordnung (VO (EG) 1334/2003) gelten für Alleinfuttermittel folgende Cu-Höchstgehalte:

Schweine:

- Ferkel bis zu 12 Wochen: 170 mg/kg
- Sonstige Schweine: 25 mg/kg

Sonstige Tierarten:

- 25 mg/kg

Der physiologische Cu-Bedarf von Mastschweinen und Geflügel liegt im Bereich von 3–10 mg/kg bzw. 6–8 mg/kg im Futtermittel. Ein höherer Cu-Gehalt in Futtermitteln soll die Widerstandskraft gegen Darmerkrankungen erhöhen und leistungsfördernd wirken.

Cu-Bedarf von Mastschweinen und Geflügel

In wirtschaftseigenen Futtermitteln liegt der Cu-Gehalt im Bereich von 5 mg/kg Trockensubstanz (TS) bei der Maissilage bis 40,1 mg/kg TS bei der Kartoffelschlempe (SCHULTHEISS et al. 2004).

Cu-Gehalt in landwirtschaftlichen Böden

Ergebnisse einer Auswertung aller Bundesländer ohne Wien (BORIS 2005):

Mittlerer Cu-Gehalt in Ackerböden (0–20 cm; n = 1.154): 24 mg/kg Trockenmasse (TM); (Min.: 5 mg/kg TM; Max.: 197 mg/kg TM).



Mittlerer Cu-Gehalt im Grünland (0–10 cm; n = 1.301): 24 mg/kg TM; (Min.: < NG; Max.: 131 mg/kg TM).

Ö-NORM L 1075: Cu-Gehalt in landwirtschaftlichen Böden

Anhand der normativen Gehalte kann eine bereits eingetretene nutzungsabhängige Belastung abgelesen bzw. die Annäherung an unerwünschte Schadstoffkonzentrationen festgestellt werden.

Tabelle 1: Richtwerte und nutzungsabhängige Boden-Richtwerte nach ÖNORM L 1075 für Cu- und Zn-Gehalte in mg/kg TM.

| Element | Richtwert | Acker/ Gartenbau | | Wein- und Obstbau | | Dauergrünland | |
|---------|-----------|----------------------|--------|-------------------|--------|-------------------|--|
| | | pH ≥ 6 ¹⁾ | pH < 6 | pH ≥ 6 | pH < 6 | pH ≥ 6 | |
| Kupfer | 60 | 100 | 150 | 150 | 60 | 100 ²⁾ | |
| Zink | 150 | 300 | 150 | 300 | 150 | 300 | |

¹⁾ Bei pH-Werten unter sechs gelten die Richtwerte

²⁾ Bei der Beweidung mit Schafen gilt der Richtwert

Vergleicht man die angeführte BORIS Bodengehalte mit den Richtwerten aus Tabelle 1 wird klar, dass die Cu- und Zn-Gehalte offensichtlich an einigen Bodenstandorten bereits über dem Richtwert liegen. Eine Auswertung nach dem pH-Wert wurde im Rahmen der Ö-NORM durchgeführt und ist in dieser Norm enthalten. In der Regel handelt es sich bei den Standorten mit hohen Gehalten um historische Weinbaustandorte.

2.2 Zink

Ordnungszahl: 30

Rel. Atommasse: 65,39

CAS-Nr.: 7440-66-6

Zink ist ein essentielles Spurenelement und Bestandteil vieler Enzyme, insbesondere in der Eiweißsynthese. Zink ist weiters Bestandteil des Insulins und wichtig für den Hautstoffwechsel und das Immunsystem. Der Tagesbedarf beim erwachsenen Menschen liegt bei 15 mg.

Die orale Bioverfügbarkeit von Zinksalzen liegt bei Schweinen und Wiederkäuern im Bereich von 10 %. Metallisches Zink wird im sauren Milieu des Magens gelöst. Bei Schweinen erfolgt die Zinkresorption vor allem im Dünndarm. Bei Wiederkäuern wird im Pansen mehr Zink sezerniert als resorbiert. Im Labmagen findet eine deutliche Resorption statt. Im oberen Dünndarm überwiegt die Zinksekretion über Pankreas und Galle, während im unteren Dünndarm Zink wieder resorbiert wird. Kupfer, Eisen, Kalzium und Phosphate wirken der Resorption entgegen, ebenso Phytat (sekundärer Pflanzeninhaltsstoff). Die Ausscheidung erfolgt vorwiegend über Pankreassekret und Galle (CLINIPHARM/CLINITOX 2005).



Exzessive Zinkzufuhr vermindert die Resorption von Kalzium und Kupfer: Dadurch kommt es zu Störungen im Knochenwachstum (Kupfer fördert den Prozess der Knochenbildung). Daneben kann Zink eine hämolytische Anämie auslösen (CLINIPHARM/CLINITOX 2005).

Zinkverbindungen (z. B. Zinkoxid, Zinksulfat) können in der Schweinefütterung gegen Durchfallerkrankungen bei Ferkeln eingesetzt werden. Aufgrund der bakteriziden Wirkung drosselt es im Verdauungstrakt die Vermehrung unerwünschter Mikroorganismen, was auch einen leistungsfördernden Effekt hat. Der leistungsfördernde Effekt von Zinkoxid soll bei etwa 3.000–6.000 mg reinem Zn/kg Futter eintreten (WINDISCH & ROTH 2000).

Werden Zinkverbindungen zu therapeutischen Zwecken eingesetzt, unterliegen sie der tierärztlichen Verschreibungspflicht.

Wirkung

Zn-Gehalt in Futtermitteln

Gemäß der EU-Futtermittelverordnung (VO (EG) 1334/2003) gelten für Alleinfuttermittel folgende Zn-Höchstgehalte:

Milchaustauschfuttermittel:

- 200 mg/kg (insgesamt)

Sonstige Tierarten (inkl. Schweine, Geflügel):

- 150 mg/kg

Der physiologische Zn-Bedarf von Mastschweinen liegt im Bereich von 50–100 mg/kg Futtermittel. Der Zn-Bedarf von Geflügel ist etwas geringer, und liegt bei 30–70 mg/kg Futtermittel.

Zn-Bedarf von Mastschweinen und Geflügel

In wirtschaftseigenen Futtermitteln liegt der Zn-Gehalt im Bereich von 21 mg/kg TM (Gerste-Erbsen-Rationen) bis 48,7 mg/kg TS (Kartoffelschlempe) (SCHULTHEISS et al. 2004).

Zn-Gehalt in landwirtschaftlichen Böden

Ergebnisse einer Auswertung aller Bundesländer ohne Wien (BORIS 2005):

Mittlerer Zn-Gehalt in Ackerböden (0–20 cm; n = 1.154): 79 mg/kg TM; (Min.: 17 mg/kg TM, Max.: 762 mg/kg TM)

Mittlerer Zn-Gehalt im Grünland (0–10 cm; n = 1.301): 97 mg/kg TM; (Min.: 13 mg/kg TM; Max.: 1.140 mg/kg TM)

Vergleicht man die oben angeführten BORIS Bodengehalte mit den in Tabelle 1 enthaltenen Richtwerten ist offensichtlich, dass auch die Zn-Gehalte an einigen Bodenstandorte über dem Richtwert liegen. Eine Auswertung nach dem pH-Wert wurde im Rahmen der Ö-NORM durchgeführt und ist in dieser enthalten. Zumeist handelt es sich bei den hohen Gehalten um Standorte mit häufiger Wirtschaftsdüngeranwendung.

3 PROBENAHE UND ANALYSEMETHODEN

(Siehe auch Kapitel 8 im Bericht “Veterinärantibiotika in Wirtschaftsdünger und Boden“ des Umweltbundesamt, SATTELBERGER et. al. 2005.)

3.1 Auswahl der Betriebe

VertreterInnen der Bundesländer wählten für die Probenahme Betriebe nach folgenden Kriterien, die in der ersten Projektbeiratsitzung beschlossen wurden, aus:

- Mastbetriebe und keine Zuchtbetriebe;
- > 300 Mastschweineplätze oder
- > 5.000 Putenmastplätze oder
- > 10.000 Hühnermastplätze.

Es wurden jeweils drei landwirtschaftliche Betriebe pro mitfinanzierendem Bundesland ausgewählt, in Summe vier Putenmast-, sechs Schweinemast- und fünf Hühnermastbetriebe.

3.2 Probenahme und Probenvorbereitung

Schweinegülle

Für die Probenahme wurden sechs landwirtschaftliche Betriebe mit Schweinemasthaltung aus Kärnten, Niederösterreich, Oberösterreich und der Steiermark ausgewählt. Die Betriebsgrößen liegen zwischen ca. 400 und 1.000 Schweinemastplätzen. Proben wurden in vier Durchgängen, von denen erste im Juni 2003 stattfand, innerhalb eines Jahres genommen.

Die folgenden wurden in einem Rhythmus von 3–4 Monaten durchgeführt (Oktober/November 2003, März 2004, Juni 2004). Die Gülleproben wurden aus dem Güllebecken entnommen, wobei ca. vier Liter in zwei Steilbrustflaschen gesammelt wurden.

Die Gülle im Becken wurde vor der Probeentnahme mechanisch gerührt (Traktorbetrieben), um eine möglichst homogene Probe zu gewährleisten. Die Güllebehälter werden normalerweise jährlich im Frühjahr bzw. halbjährlich (Frühjahr und Herbst) entleert.

Hühnermist

Die Probenahme von Hühnermist erfolgte zeitgleich mit den Probenahmen der Schweinegülle in landwirtschaftlichen Betrieben in Burgenland, Kärnten, Niederösterreich, Oberösterreich und der Steiermark, wobei fünf Hühnerbetriebe ausgewählt wurden. Die ausgewählten Betriebe waren zum Teil Mast- und Legehennenbetriebe mit 30.000 bis 40.000 Stallplätzen.

Mistproben wurden in der Regel am Stallboden bzw. in den Güllegruben genommen.



Putenmist

Zeitgleich zum Putenmist wurden Proben von Schweinegülle in landwirtschaftlichen Betrieben in Burgenland und Kärnten genommen, wobei vier Putenmastbetriebe für die Auswertung ausgewählt wurden. Die Betriebsgrößen bewegen sich zwischen 10.000 und 20.000 Putenmastplätzen.

Die Probenahme der Mistproben erfolgte direkt im Stall, indem der Mist an 20 Stellen rund um die Futterstelle mit wenig Einstreu entnommen wurde. Die Menge an Einstreu in der Probe wurde dadurch gering gehalten. Bei der Putenmast ist das Rein/Raus-Prinzip üblich: Nach jeder Charge wird der Stall gereinigt, desinfiziert und hierauf mit neuen Hühnern bzw. Puten belegt. Ein Großteil der Einstreu wird bereits am Anfang der Mastperiode eingebracht. Daher würde erst am Ende der Mast eine der Ausbringung entsprechende Einstreu-/Kotmischung zur Beprobung zur Verfügung stehen. Durch die Frische der Kotproben kann von stallfallenden Proben gesprochen werden. Die Stickstoffgehalte sind daher wesentlich höher als bei Mistproben an der Lagerstätte, da die Verluste der Stallhaltung und Lagerung bis zu – 45 % nach dem neuen Ländliche Entwicklungsprogramm 2007–2013 betragen können (BMLFUW 2006). Die Analysenergebnisse müssen daher unter dem Blickwinkel interpretiert werden, dass die N-Verluste zu einer Erhöhung der Schwermetallgehalte bezogen auf die abnehmenden Stickstoffgehalte führen. Es würden sich daher rechnerisch noch höhere Frachten je Hektar ergeben.

1. Probenahmedurchgang

Die Probenahme der Gülle bzw. des Puten- und Hühnermistes wurde am 14.04.2003 gestartet. Bis Ende Juni konnten alle ausgewählten Betriebe ein erstes Mal besucht und beprobt werden. Die betreuenden Tierärztinnen und Tierärzte waren, soweit dies möglich war, bei den ersten Probenahmen anwesend.

2. Probenahmedurchgang

Die zweite Probenahmeserie wurde am 27.10.2003 gestartet und bis 18.12.2003 abgeschlossen.

3. Probenahmedurchgang

Bei der dritten Probenahmeserie (10.3.2004–17.3.2004) wurden wie üblich Gülleproben gezogen sowie zusätzlich Proben genommen, bei denen mit einem Greifarm versucht wurde, speziell die Fest- und Schwebstoffe am Grund des Beckens zu nehmen.

4. Probenahmedurchgang

Die vierte Probenahmeserie wurde am 24.06.2004 gestartet und konnte bis 01.07.2004 abgeschlossen werden.



3.3 Bestimmung von Stickstoff nach Kjeldahl

3.3.1 Schweinegülle

Probenvorbereitung

Die Gülleproben wurden nach den Probenahmen und vor der weiteren Behandlung eingefroren, um einen eventuellen Abbau der Zielsubstanzen durch Mikroorganismen zu verhindern bzw. zu minimieren. Für die Bestimmung des Kjeldahl-Stickstoffs wurden die Proben aufgetaut, geschüttelt und ein Aliquot entnommen.

Analyse

Nach Zugabe eines Selenkatalysators erfolgte der Aufschluss der Analysenprobe im stark schwefelsauren Medium bei 350°C. Nach der anschließenden Wasserdampfdestillation erfolgte die Bestimmung des in Borsäure aufgefangenen Ammoniums mittels potentiometrischer Titration mit 0,1 N Schwefelsäure. Als Sensorelektrode wurde eine pH-Elektrode verwendet.

Verfahren nach ÖN L 1082 bzw. EN 13342.

3.3.2 Puten- und Hühnermist

Probenvorbereitung

Beim Puten- und Hühnermist wurden die lyophilisierten und mittels Schneidmühle zerkleinerten Proben analysiert.

Analyse

Nach Zugabe eines Selenkatalysators erfolgte der Aufschluss der Analysenprobe im stark schwefelsauren Medium bei 350°C. Nach der anschließenden Wasserdampfdestillation erfolgte die Bestimmung des in Borsäure aufgefangenen Ammoniums mittels potentiometrischer Titration mit 0,1 N Schwefelsäure. Als Sensorelektrode wurde eine pH-Elektrode verwendet.

Verfahren nach ÖN L 1082 bzw. EN 13342.

3.4 Bestimmung von Kupfer und Zink

3.4.1 Schweinegülle

Probenvorbereitung

Die Proben wurden vor dem Aufschluss aufgetaut und mittels Ultra-Turax homogenisiert. Da bei diesem Prozess Verluste von Ammoniak auftreten, musste dieser Schritt nach der Stickstoffbestimmung erfolgen.



Aufschluss

Der Aufschluss der Schweinegülleproben erfolgte mittels offenem Aufschlussverfahren. Dabei wurden je ca. 25 g Analysenprobe im Teflon-Becher (PTFE) mit Salpetersäure (subboiled, 65 %) und Wasserstoffperoxid (30 %) versetzt und am Sandbad aufgeschlossen.

Analyse

Die Bestimmung von Kupfer und Zink erfolgte mittels ICP-OES gemäß ÖN EN 11885.

3.4.2 Puten- und Hühnermist

Probenvorbereitung

Im Fall nicht ausreichender Zerkleinerung durch die Schneidemühle wurde eine weitere Homogenisierung mittels Mixgerät durchgeführt.

Aufschluss

Der Aufschluss von Puten- und Hühnermist erfolgte mittels mikrowellenunterstütztem Druck-Aufschluss. Dabei wurden ca. 0,3 g Analysenprobe mit Salpetersäure (subboiled, 65 %) und Wasserstoffperoxid (30 %) versetzt und in Quarz-Hochdruckgefäßen aufgeschlossen.

Analyse

Die Bestimmung von Kupfer und Zink erfolgte mittels ICP-OES gemäß ÖN EN 11885.

3.5 Nachweis- und Bestimmungsgrenzen

Die Bestimmungsgrenzen für Kupfer und Zink lagen bei 3,2 mg/kg TM und 1,6 mg/kg TM. Stickstoffgehalte nach Kjeldahl wurde ab 1 g/kg TM bestimmt.

4 ERGEBNISSE UND DISKUSSION

Bei den vorliegenden Ergebnissen handelt es sich um Analysen von Wirtschaftsdünger. Weder wurden die eingangs erwähnten eingesetzten Futtermittel auf deren Cu- und Zn-Gehalte untersucht, noch wurden die konkreten Bodenstandorte untersucht. Die Probenahme wurde auf die Anforderungen des Projektes „Verteilung und Verbleib von Veterinärantibiotika in Wirtschaftsdüngern und im Boden“ (SATTEMBERGER et al. 2005) abgestimmt. Dies ist bei einem Vergleich mit anderen Wirtschaftsdüngeranalysen zu berücksichtigen. Die Analysen von Wirtschaftsdünger bieten einen Einblick in die Zn- und Cu-Gehalte von Wirtschaftsdüngern.

4.1 Trockenmasse-, Stickstoff-, Kupfer- und Zink-Gehalte im Wirtschaftsdünger von Schweine- und Geflügelmastbetrieben

Die Ergebnisse wurden statistisch analysiert (Tabelle 2). Die gefundenen Gehalte wurden den jeweiligen Tierarten zugeordnet bzw. auf Mittelwert (MW), Maximal- und Minimalwert sowie die Standardabweichung (SD) ausgewertet.

Tabelle 2: Vergleich der Trockenmassegehalte in %, der Stickstoff- (N-), Cu- und Zn-Gehalte in mg/kg TM (Mittelwert (MW), Minimal- und Maximalwert) und Standardabweichung (SD), differenziert nach Tierart.

| | Schweine (n = 30) | Hühner (n = 20) | Puten (n = 16) |
|---------------------------------------|------------------------------|----------------------------|---------------------------|
| TM-Gehalte (MW) (%) | 6,55 | 88,9 | 82,8 |
| Minimal | 1,2 | 79,0 | 57,0 |
| Maximal | 28,0 | 93,0 | 92,0 |
| SD | 5,6 | 3,0 | 11,0 |
| N-Gehalte (MW) (mg/kg TM) | 114.100 | 39.600 | 35.188 |
| Minimal | 31.000 | 23.000 | 17.000 |
| Maximal | 260.000 | 110.000 | 58.000 |
| SD | 54.440 | 18.103 | 15.061 |
| Cu-Gehalte (MW) (mg/kg TM) | 186,7 | 45,3 | 295,6 |
| Minimal | 43,0 | 5,7 | 68,0 |
| Maximal | 320,0 | 81,0 | 580,0 |
| SD | 73,7 | 18,0 | 164,4 |
| Zn-Gehalte (MW) (mg/kg TM) | 819,0 | 270,2 | 345,0 |
| Minimal | 220,0 | 32,0 | 140,0 |
| Maximal | 1.300 | 514,0 | 650,0 |
| SD | 244,1 | 121,0 | 118,9 |

Vergleichswerte für Schwermetallgehalte in Wirtschaftsdüngern aus österreichischen und deutschen Studien werden in Tabelle 3 gezeigt. Erkennbar ist, dass vor allem weiter zurückliegende Untersuchungen tendenziell höhere Belastungen ergeben.

Tabelle 3: Vergleichsergebnisse aus österreichischen und deutschen Untersuchungen von Cu- und Zn-Gehalte in mg/kg TM (Mittelwert (MW), Minimal- und Maximalwert), differenziert nach Tierart.

| Cu-GEHALTE | Schweine | Hühner | Puten |
|---|-----------------|---------------|--------------|
| Aichberger (1995) (MW) (mg/kg TM) | 453 | 87 | |
| Minimal | 103 | 41 | |
| Maximal | 1.620 | 198 | |
| Münd. Mitt. von Humer (2005) (MW) (mg/kg TM) | 264 | | |
| Minimal | 48 | | |
| Maximal | 436 | | |
| Schultheiss et al. (2004) (MW) (mg/kg TM) | 531 | 45,3 | 295,6 |
| Zn-GEHALTE | | | |
| Aichberger (1995) (MW) (mg/kg TM) | 1.270 | 479 | |
| Minimal | 470 | 234 | |
| Maximal | 3.050 | 953 | |
| Münd. Mitt. von Humer (2005) (MW) (mg/kg TM) | 1.242 | | |
| Minimal | 283 | | |
| Maximal | 3.115 | | |
| Schultheiss et al. (2004) (MW) (mg/kg TM) | 1.508 | 430 | 395 |

4.1.1 Trockenmassegehalte

Trotz der Homogenisierung bei den Probenahmen wurden recht unterschiedliche Trockenmassegehalte festgestellt. Zwei Faktoren nehmen wahrscheinlich darauf Einfluss:

- Die zufällig gewählten Zeitpunkte der Probenahme führten zu einem unterschiedlichen Füllstand der Gülle-Lagerräume.
- Es sind Geflügel unterschiedlicher Altersklassen beprobt worden, sodass die unterschiedlichen Anteile an Einstreu und Kot auf die Zusammensetzung der Proben merklichen Einfluss nahmen (Rein/Raus-Prinzip).



Schweinegülle

Die Proben weisen deutlich hohe Schwankungen der TM auf (6,55 % SD 5,6). Insbesondere Proben, die mit dem Greifer gewonnen wurden, stechen mit bis zu 25 % TM heraus.

Hühnermist

Die Proben weisen einen durchwegs hohen TM-Gehalt auf (88,9 % SD 3,0). Die Schwankungen liegen im engen Bereich und werden wahrscheinlich durch unterschiedliche Einstreuanteile beeinflusst.

Putenmist

Die Putenmistproben sind im TM-Gehalt den Hühnermistproben ähnlich, die Schwankungsbreite ist allerdings deutlich größer (82,8 % SD 11,0).

4.1.2 Stickstoffgehalte

Die Stickstoffgehalte werden auf die Trockenmasse bezogen angegeben. Stickstoffhaltige Verbindungen befinden sich sowohl in der festen wie in der flüssigen Phase. Es besteht daher kein unmittelbarer Zusammenhang zwischen Stickstoffgehalt und Trockenmassegehalt.

Schweinegülle

Die Stickstoffgehalte weisen starke Schwankungen auf. Die niedrigsten TM-Gehalte sind tendenziell gepaart mit hohen Stickstoffgehalten und umgekehrt (11,4 % SD 5,4).

Hühnermist

Bei diesen Proben ist ein einheitlicher Trend nicht erkennbar (3,96 % SD 1,8). Eventuell wirkt sich das Alter der Tiere auf die Zusammensetzung der Proben besonders aus.

Putenmist

Die Stickstoffgehalte weisen etwas geringere Schwankungen als die Hühnermistproben auf (3,5 % SD 1,5).

4.1.3 Kupfergehalte

Kupfergehalte stammen aus der Futterbasis der Tiere. Diese Futterbasis kann von externen Fertigfuttermischungen bis hin zu hofeigenen Futterzubereitung reichen. Im Jugendstadium der Tiere ist der Einsatz von fertigen Futtermischungen häufiger gegeben. Der Kupfergehalt des Futters beeinflusst maßgeblich den Wirtschaftsdüngergehalt.



Schweinegülle

Der Kupfergehalt schwankt stark (186,7 mg/kg SD 73,7). Es ist kein Zusammenhang zwischen dem Trockenmassegehalt und den Kupfergehalten feststellbar. Das Alter der Tiere, die Einstallungssituation und die eingesetzten Futtermittel – besonders bei Ferkeln – können einen Einfluss auf den Gehalt haben. Diese Einflussfaktoren wurden nicht untersucht.

Hühnermist

Die Kupfergehalte im Hühnermist weisen hohe Schwankungen auf. Es ist die Tendenz von hohen Kupfergehalten mit niedrigen Trockenmassegehalten bzw. niedrige Trockenmassegehalte mit hohen Kupfergehalten beobachtbar (45,3 mg/kg SD 18,0).

Putenmist

Die beachtlich schwankenden und relativ hohen Kupfergehalte lassen keine Zusammenhänge zu anderen Parametern erkennen (295,6 mg/kg SD 164,4). Das Alter der Tiere könnte eine nicht quantifizierbare Einflussgröße sein.

4.1.4 Zinkgehalte

Die Zinkgehalte stammen sowohl aus hofeigenen Futtermitteln als auch aus Fertigfuttermischungen. Insbesondere in der Jungtieraufzucht wird dem Zinkgehalt des Futters große Bedeutung zugemessen.

Schweinegülle

Die Zinkgehalte weisen eine bemerkenswerte Schwankungsbreite auf (819,0 mg/kg SD 244,1). Ein Zusammenhang zwischen Trockenmasse und dem Zinkgehalt ist nicht erkennbar.

Hühnermist

Die Zinkgehalte weisen geringere Schwankungen auf und einen tendenziellen Zusammenhang zwischen hohen Zinkgehalten und niedrigen Trockenmassegehalten (270,2 mg/kg SD 121,0).

Putenmist

Die Zinkgehalte des Putenmistes schwanken beträchtlich. Es lassen sich keine Zusammenhänge zu anderen Parametern wie TM- und Stickstoffgehalt erkennen.

4.1.5 Vergleich der Ergebnisse mit anderen Wirtschaftsdünger-Untersuchungen

Tabelle 4: Cu- und Zn-Gehalte (Mittelwerte) von Wirtschaftsdüngern aus Deutschland (Quelle: SCHULTHEISS et. al 2004).

| Wirtschaftsdünger | Einheit | Cu | Zn |
|--------------------------|----------|-------|-------|
| Schweinegülle* (n = 65) | mg/kg TM | 531 | 1.508 |
| Ferkelgülle (n = 7) | mg/kg TM | 1.165 | 1.884 |
| Schweinemist (n = 69) | mg/kg TM | 206 | 465 |
| Schweinejauche (n = 3) | mg/kg TM | 119 | 538 |
| Putenmist (n = 34) | mg/kg TM | 150 | 395 |
| Hühnertrockenkot (n = 9) | mg/kg TM | 45 | 430 |

* Mischgülle

Schweinegülle

Die Mittelwerte (MW) der Cu- und Zn-Konzentrationen in Schweinegülle liegen deutlich unter den Werten anderer Untersuchungen von Wirtschaftsdüngern aus Österreich und Deutschland in Tabelle 3 (AICHBERGER 1995; mündl. Mitt. von Humer 2005; SCHULTHEISS ET AL. 2004). Allerdings ist die große Schwankungsbreite der Einzelwerte in dieser Untersuchung beachtlich.

Hühnermist

Vergleicht man die ermittelten Werte mit Hühnertrockenkot-Proben aus Deutschland (SCHULTHEISS et al. 2004) so ist die Cu-Konzentration mit 45 mg/kg TM identisch.

Der Zn-Gehalt von 430 mg/kg TM ist in den deutschen Proben deutlich höher und liegt etwa im Bereich des Maximalwertes der vorliegenden Untersuchung von 514 mg/kg TM.

Putenmist

Auffallend bei den Ergebnissen der Putenmistproben war, dass die Mittelwerte mit 295,6 mg/kg TM relativ hoch lagen, der Maximal-Wert lag bei 580 mg/kg TM. Diese Cu-Konzentrationen waren höher als die in Schweinegülle oder Hühnermist. Die Untersuchungen aus Deutschland (SCHULTHEISS et al. 2004) ergaben deutlich geringere Cu-Konzentrationen (MW: 150 mg/kg TM) im Putenmist. Die gefundenen, hohen Cu-Werte im Putenmist, lassen auf einen verstärkten Einsatz von Cu-Zusatzstoffen in den von den Putenmastbetrieben eingesetzten Futtermitteln schließen.

Die Zn-Gehalte (MW: 345 mg/kg TM) der Putenmistproben sind mit den Ergebnissen aus Deutschland (MW: 395 mg/kg TM) vergleichbar.

Insgesamt können insbesondere die gefundenen Putenmistanalysen nicht in die erwarteten Bereiche eingeordnet werden. Die EU-Futtermittelvorschriften lassen eine Absenkung des Schwermetallgehaltes im Wirtschaftsdünger erwarten, die an den zur Diskussion stehenden Proben aus 2003/2004 noch nicht ablesbar ist. Ältere Untersuchungen weisen noch höhere Gehalte auf, eine deutlichen Entlastung durch die EU-Verordnung 1334/2003 konnte zum Probenahme-Zeitpunkt noch nicht erwartet werden.

4.2 Cu- und Zn-Einträge in landwirtschaftlich genutzte Böden

Die gezogenen Proben, insbesondere die Schweinegülleproben, weisen sehr unterschiedlich hohe Trockenmassegehalte und davon abhängig sehr unterschiedliche Stickstoffgehalte auf. Dies wirkt sich auf die errechneten Frachten von Trockenmasse, Frischmasse, Cu und Zn deutlich aus. Es wird zur Berechnung der Frachten eine Standardgabe von 150 kg Stickstoff je ha und Jahr unterstellt, um so zu vergleichbaren Frachten der untersuchten Betriebe zu kommen.

4.2.1 Frachtenberechnung

Anhand der Annahme einer 150 kg Stickstoffgabe brutto werden die damit verbundenen Frachten für Trockenmasse, Frischmasse, Kupfer und Zink ermittelt. Damit können die Stichproben mit internationalen Untersuchungen verglichen werden. Vorsicht ist bei der Interpretation der Daten angebracht, da mit den Proben zum Teil Wirtschaftsdünger (z. B. Hühnermist ohne Lagerverluste) erfasst wurden, die in dieser Form nicht auf landwirtschaftliche Flächen ausgebracht werden. Man kann davon ausgehen, dass die Einstreu oder Grauwässer (betriebseigene Hausabwässer), die zu den Ausscheidungen hinzukommen, nur unwesentlich andere Nähr- und Schadstofffrachten verursachen. Damit sind die Ergebnisse prinzipiell darauf prüfbar, welche Nähr- und Schadstofffrachten zu erwarten sind.

Tabelle 5: Vergleich der Cu- und Zn-Frachten in Gramm (g) je Hektar (ha) und der Menge an Trocken- und Frischmasse in Tonnen (t) pro ha (Mittel-, Maximal- und Minimalwert) und Standardabweichung (SD), in Abhängigkeit von den Stickstoffgehalten, differenziert nach Tierarten.

| | Schweine | Hühner | Puten |
|----------------------------|-----------------|---------------|--------------|
| TM-Fracht (MW) t/ha | 1,6 | 4,2 | 5,1 |
| Minimal | 0,58 | 1,36 | 2,6 |
| Maximal | 4,8 | 6,5 | 8,8 |
| SD | 0,84 | 1,2 | 2,3 |
| FM-Fracht (MW) t/ha | 31,0 | 4,8 | 6,1 |
| Minimal | 16,2 | 1,5 | 3,2 |
| Maximal | 54,3 | 7,2 | 10,4 |
| SD | 11,1 | 1,4 | 2,3 |
| Cu-Fracht (MW) g/ha | 297 | 186 | 1.506 |
| Minimal | 34 | 8 | 213 |
| Maximal | 581 | 312 | 3.357 |
| SD | 148 | 63 | 1.033 |
| Zn-Fracht (MW) g/ha | 1.306 | 1.099 | 1.615 |
| Minimal | 174 | 44 | 833 |
| Maximal | 2.419 | 1.977 | 2.735 |
| SD | 569 | 400,5 | 561 |

4.2.2 Trockenmassefrachten

Entscheidend ist das schwankende Trockenmasse/Stickstoffverhältnis der Proben, das dazu führt, dass auch die Frachtmengen eine hohe Schwankungsbreite aufweisen.

Schweinegülle

Die Ergebnisse zeigen, dass hohe Trockenmassegehalte hohe Frachtmengen verursachen. Es liegt die Vermutung nahe, dass insbesondere dickflüssige Rückstände (durch Greifer gewonnen) – bei gleicher Ausbringungsmenge – geringere Stickstoffmengen beinhalten als dünnflüssige Güllegaben (1,6 t/ha SD 0,84).

Hühnermist

Es ist kein Zusammenhang zwischen der Trockenmassefracht und den Stickstoffgehalten ableitbar (4,2 t/ha SD 1,2).

Putenmist

Hohe Trockenmassegehalte treten gepaart mit geringeren Stickstoffgehalten auf und bedingen damit hohe Trockenmassefrachten. Statistisch ist dies allerdings nicht gesichert, der Zusammenhang bzw. die Fallzahl sind zu gering (5,1 t/ha SD 2,3).

4.2.3 Frischmassefrachten

Werden die ermittelten Trockenmassefrachten auf die jeweilige Frischmassefracht umgerechnet, treten die Frachten-Schwankungen noch deutlicher hervor.

Schweinegülle

Die Frischmassefrachten schwanken merklich zwischen 16,2 und 54,3 t/ha (31,0 t/ha SD 11,1). Deutlich wird auch, dass die Schweinegülleproben mit niedrigen Trockenmassegehalten hohe Frischmassefrachten verursachen.

Hühnermist

Frachten und Schwankungsbreite sind geringer als bei der Schweinegülle (4,8 t/ha SD 1,4).

Putenmist

Bei einer breiteren Streuung als bei den Hühnermistproben liegen die Frischmassefrachten etwa im selben Bereich der Hühnermistproben (6,1 t/ha SD 2,3).

4.2.4 Kupferfrachten

Schweinegülle

Die Kupferfrachten schwanken beachtlich, und sind in der Tendenz in Gülle mit niedrigem TM-Gehalt geringer, als in dickflüssiger Gülle (297 g/ha SD 148).



Hühnermist

Ein deutlicher Zusammenhang zwischen der Kupferfracht und anderen Parametern (TM-, N-Gehalt) ist nicht erkennbar (186 g/ha SD 63).

Putenmist

Es ist kein Zusammenhang zwischen der Kupferfracht und den anderen Parametern (TM-, N-Gehalt) feststellbar. Das Niveau der Kupferfracht und die Schwankungsbreite sind hoch (1.506 g/ha SD 1.033). Sehr bedenklich stimmt, dass im Hinblick auf die gemessenen stallfallenden Stickstoffgehalte der Stall- und Lagerungsverluste zu einer Reduktion des Stickstoffgehalts führen, sodass damit die Cu-Frachten noch beträchtlich erhöhen werden.

4.2.5 Zinkfrachten

Schweinegülle

Hohe Zinkfrachten treten bei hohen Trockenmassegehalten auf. Die Schwankungsbreite ist, abgesehen vom Extremwert mit 2.419 g/ha, jedoch gering (MW 1.306 g/ha SD 569).

Hühnermist

Die Zinkfrachten weisen geringe Schwankungen auf (MW 1.099 g/ha SD 400,5). Hohe Zinkfrachten stehen mit niedrigeren Trockenmassegehalten in Verbindung.

Putenmist

Die höchste Fracht wurde mit einem Extremwert von 2.735 g/ha beobachtet (MW 1.615 g/ha SD 561). Hohe Zinkfrachten treten bei hohen Trockenmassegehalten auf. Auch dabei ist zu beachten, dass die gemessenen stallfallenden Stickstoffgehalte durch die Stall- und Lagerungsverluste zu einer Reduktion des Stickstoffgehalts führen, sodass sich damit rechnerisch die Zn- und Cu-Frachten deutlich erhöhen.

Tabelle 6: Vergleich der Cu- und Zn-Frachten in Böden, differenziert nach Eintragspfad (Quelle: FRICKE & HÖHL 2000).

| Schwermetallfracht | Cu g/ha und Jahr | Zn g/ha und Jahr |
|--------------------|---------------------|---------------------|
| Wirtschaftsdünger | 406,23 | 1.237,70 |
| Deposition | 160 | 540 |
| Ernterückstände | 12,76 | 104,79 |
| Klärschlamm | 25,42 | 95,64 |
| Mineraldünger | 6,55 | 47,50 |
| Kompost | 3,32 | 14,02 |

Werden die Schwermetallfrachten in der Tabelle 6 zum Vergleich mit den obigen Ergebnissen und die durchschnittliche Stickstoffgabe von 150 kg/ha brutto aus Wirtschaftsdünger herangezogen, können die Ergebnisse der gegenständlichen Untersuchung folgend interpretiert werden:

Überraschend sind die hohen Kupferfrachten des Putenmistes (1.506 g/ha/Jahr), die deutlich über dem deutschen Vergleichswert (vgl. Tabelle 5 & Tabelle 6) mit 406,23 g/ha und Jahr liegen. Bei den Zinkfrachten können in etwa gleiche Größenordnungen festgestellt werden. Vorbehaltlich sei erwähnt, dass sich die hier angeführten Vergleichswerte auf Wirtschaftsdünger – zusammengesetzt aus Rinder-, Schweine- und Geflügelhaltung – beziehen und daher die Frachten deutlich von den gemessenen Proben aus der Schweine-, Hühner- und Putenhaltung abweichen können.

Bedenklich stimmt allerdings, dass die zu einem Tierhalter/einer Tierhalterin gehörenden Felder jährlich mit Wirtschaftsdünger derselben Tierart gedüngt werden. Damit kann für einzelne Standorte eine raschere Akkumulation, Auswaschung und Belastung der Nahrungskette prognostiziert werden. Um dieser Entwicklung rechtzeitig vorbeugen zu können, empfiehlt sich eine vorsorgliche Untersuchung der Böden auf Schwermetalle im periodischen Abstand von fünf bis zehn Jahren. Zumal auch andere Einträge, wie Klärschlamm, Kompost, Mineraldünger, Gärrückstände und Luftdeposition, neben dem Wirtschaftsdünger zusätzliche Einträge verursachen.

4.3 Einträge im Bereich der Schweinehaltung – Ergebnisse aus Deutschland

Bisher wurde bei der Schweinehaltung tradiert, dass der Einsatz von Zink und Kupfer in der Fütterung eine wichtige Komponente darstellt. Anhand der Ergebnisse sind auch bei anderen Tierarten – etwa Geflügel – von einem Einsatz auszugehen. Durch die Absenkung der zulässigen Gehalte in den Futtermitteln und aufgrund geänderter gesetzlicher Bestimmungen ist eine Entlastung der Schwermetallbilanzen der mit Wirtschaftsdünger beaufschlagten Felder zu erwarten. In weiterer Folge werden die analysierten Belastungen internationalen Ergebnissen gegenübergestellt.

Die angenommenen Stickstofffrachten von 150 kg (siehe Kapitel 4.2.1), umgerechnet auf den GVE-Schlüssel nach dem Österreichischen Programm für umweltgerechte Landwirtschaft 2000, sind aus Tabelle 7 ersichtlich.

Tabelle 7: Austräge von Cu und Zn im Bereich der Schweinehaltung (Stall) und Putenhaltung bzw. im gegenständlichen Projekt errechnete Cu- und Zn-Austräge (Österreich).

| Tierhaltung | n | Cu g/GV und Jahr | Zn g/GV und Jahr |
|------------------------------|----|---------------------|---------------------|
| Austrag (Deutschland) | | | |
| Schweinehaltung (Stall) | 5 | 325,6 | 1.015 |
| Putenmist* | | 228 | |
| Austrag (Österreich) | | | |
| | | Projektergebnisse | |
| Schweine | 30 | 110,8 | 487,3 |
| Hühner | 20 | 83,4 | 492,8 |
| Puten | 16 | 602,4 | 646,0 |

Quellen: Schultheiss et al. 2004

* Kühnen & Goldbach 2004



Der errechnete Kupferwert von 110,8 mg/kg TM bei der Schweinhaltung unterschreitet die angeführten Austragsvergleichswerte aus Deutschland ebenso deutlich wie der Zinkwert. Bei der Putenhaltung sind dagegen deutlich höhere Werte erfasst worden, wobei besonders der Kupferwert von 602,4 mg/kg TM – eventuell eine Auswirkung des österreichischen GVE-Schlüssels – hoch erscheint.

Eine Gesamtbetrachtung der Cu- und Zn-Ströme (System Stall) zeigt, dass in der Schweinehaltung die Schwermetalle Cu und Zn generell größere Austräge als Einträge aufweisen. Dies deutet auf bisher nicht identifizierte Quellen im Stall hin (SCHULTHEISS et al. 2004).

4.4 Cu- und Zn-Stoffbilanzen der Schweizer Bodenbeobachtung

Kupfer

In der Schweiz wurden Stoffbilanzen für Cu und Zn sowie andere Schwermetalle auf 48 landwirtschaftlich genutzten Messparzellen der Nationalen Bodenbeobachtung (NABO) erstellt (KELLER & DESAULES 2004).

Die Cu-Nettofluxe, der Nettoflux eines Stoffes gibt die Differenz aus Ein- und Austrägen eines Stoffes im Boden an, variierten von minus 35,5 bis plus 279 g/ha. Berechnet wird dieser Wert durch Einträge minus Austräge in g/ha und Jahr. Positive Werte bedeuten eine Nettoanreicherung, negative Werte einen Nettoentzug. Bei Betrieben (n = 13) mit einer mittleren Tierdichte von 2,2 GVE/ha (Betriebstyp: Kombinierte Veredelungsbetriebe, welche auf die Rinder- und Schweinemast spezialisiert sind) ergab sich ein Cu-Nettoflux (Median) von plus 82,6 g/ha (49,7–249,3 g/ha) und Jahr. 40–60 % der Cu-Einträge wurden dem Boden über das Erntegut wieder entzogen. Die atmosphärischen Cu-Einträge lagen zwischen 1,7 und 21,5 g/ha und Jahr und trugen in Betrieben mit Viehhaltung weniger als zehn Prozent zu den Gesamteinträgen bei.

Bei Betrieben mit hohem Viehbestand ist möglicherweise mit einer schleichenden Akkumulation von Cu im Oberboden (0–20 cm) von bis zu 1 mg/kg TM Boden in einem Jahrzehnt zu rechnen.

Zink

Beim Betriebstyp „Kombinierte Veredelungsbetriebe“ (n = 13) ergab sich ein Zn-Nettoflux (Median) von plus 499,6 g/ha und Jahr (Min.: 220 g/ha/Jahr; Max.: 1.583,3 g/ha/Jahr). Die Zn-Einträge durch Wirtschaftsdünger lagen im Bereich von 310–1.900 g/ha und Jahr, die durch atmosphärische Deposition bei 80–127 g/ha und Jahr.

Der jährliche Zuwachs der Zn-Konzentration im Oberboden (0–20 cm) wird mit ca. 0,5–1,5 mg/kg TM Boden prognostiziert, allerdings wird damit die höhere Mobilität der Zn-Verbindungen nicht abgebildet bzw. nicht erfasst.



5 SCHLUSSFOLGERUNGEN

Basis der Messergebnisse des Projekts sind Proben, die – abgesehen von der Schweinegülle – in einem „Vorstadium“ des Wirtschaftsdüngers vorlagen. Die Ergebnisse der Hühner- und Putenmistproben sind daher nur bedingt mit anderen Wirtschaftsdüngerproben aus dem Geflügelbereich vergleichbar. Die wesentlichen Nährstoff- und Schadstoffgehalt bestimmenden Bestandteile wurden jedoch erfasst, sodass eine Interpretation möglich ist.

Tendenzieller Rückgang der Gehalte in Futtermitteln

Kupfer und Zink wird Fertigfuttermitteln und hofeigenem Futter zugesetzt bzw. ist in diesen natürlich enthalten. Insbesondere in der Jungtieraufzucht ist ein Zusatz dieser Elemente – wegen der vorbeugenden Wirkung gegen Darmerkrankungen – häufige Praxis. Die Gehalte in den Futtermitteln wurden in den letzten Jahren gesetzlich stärker limitiert, jedoch im Rahmen des Projekts nicht untersucht. Die vorgefundenen Schwermetallkonzentrationen in den Schweinegülle- und Hühnermistproben befinden sich nicht generell im Bereich von anderen Untersuchungsergebnissen aus Österreich und Deutschland. Die Studie ergab einen tendenziellen Rückgang der Gehalte, bedingt durch die Zeitüberschneidung der Probenahmen 2003/2004 mit neuen Futtermittelbestimmungen aber erst in Ansätzen merkbar. Hohe Cu-Gehalte und Cu-Frachten konnten bei den Puten- und Hühnermistproben festgestellt werden.

Frachtbegrenzungen gelten nicht für Wirtschaftsdünger

Für Düngemittel nach dem Düngemittelgesetz sind Frachtbegrenzungen vorgesehen (siehe Tabelle 8). Diese gelten jedoch nicht für den – nicht in Verkehr gebrachten – Wirtschaftsdünger. Angewendet auf die vorliegenden Ergebnisse im Mittel, liegen die Cu-Frachten der Putenmistproben über dem zulässigen Grenzwert (siehe Tabelle 5).

Zn-Frachten

Die vorgefundenen Zn-Frachten aus der Schweine-, Hühner- und Putenhaltung sind aufgrund ihrer hohen Schwankungsbreite und der höheren Mobilität von Zinkverbindungen im Boden kritisch zu betrachten.

Tabelle 8: Schwermetall-Frachtenregelung für Cu und Zn gemäß Anlage 2 der Düngemittelverordnung 2004.*

| Schwermetall | g/ha in einem Zeitraum von zwei Jahren |
|---------------------|---|
| Kupfer** | 700 |
| Zink** | 3.000 |

* *Düngemittel, Bodenhilfsstoffe und Pflanzenhilfsmittel dürfen nur dann in Verkehr gebracht werden, wenn die Schwermetallfrachten aus Tabelle 8 gemäß der in der Kennzeichnung angegebenen maximalen Aufwandmenge auf landwirtschaftliche Nutzflächen nicht überschritten werden.*

** *ausgenommen mineralische Spurennährstoffdünger*

Vorsorgliche Schwermetalluntersuchung

Zusammenfassend kann aus den Ergebnissen abgeleitet werden, dass wiederholt mit hohen Wirtschaftsdüngermengen gedüngte Felder in mittelfristigen Intervallen einer vorsorglichen Schwermetalluntersuchung unterzogen werden sollten. Auf diese Weise kann eine Anreicherung der Schwermetalle Cu und Zn im Boden rechtzeitig erkannt und Maßnahmen dagegen ergriffen werden.

Wirtschaftsdünger wirkt dann optimal, wenn er auf alle Felder des Betriebes gleichmäßig verteilt wird. Durch den richtigen Einsatz des Düngers kommt es zu Nährstoffrückführung, Humusaufbau, erhöhter Wasserkapazität im Boden und bessere



Befahrbarkeit auf allen landwirtschaftlichen Nutzflächen. Darüber hinaus verhinderte gleichmäßige Verteilung eine zu hohe Konzentration an Nähr- und Schadstoffen auf einzelnen Flächen.

Beim Einsatz von betriebsfremden Futtermitteln, Zusatz-, Hilfsstoffen und Einstreumitteln ist der ausgewiesene Gehalt an Kupfer und Zink verstärkt zu beachten, um den betriebsinternen Nährstoffkreislauf nicht durch steigende Schwermetallgehalte im Wirtschaftsdünger zu gefährden.

***Ausgewiesene
Cu- und Zn-Gehalte
beachten***

6 LITERATUR

- AICHBERGER, K. (1995): Die Ergebnisse einer Untersuchung von Wirtschaftsdüngern in Oberösterreich. Schriftenreihe der Abt. Umweltschutz 7/95. Amt der Oberösterreichischen Landesregierung (Hg.), Linz.
- BMLFUW – Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (2006): Österreichisches Programm zur Ländlichen Entwicklung 2007 bis 2013. Programmentwurf, Stand: 13.3.2006.
- BMLFUW - BUNDESMINISTERIUM FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT, UMWELT UND WASSERWIRTSCHAFT (2000): FUTTERMITTELVERORDNUNG 2000 (BGBl. II 93/2000)
- BMLFUW - BUNDESMINISTERIUM FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT, UMWELT UND WASSERWIRTSCHAFT (2004): DÜNGEMITTELVERORDNUNG 2004 (BGBl. II 100/2004)
- BORIS – Bodenrichtwertinformationssystem (2005): Auswertung der Daten der Bodenzustandsinventuren der Bundesländer (ohne Wien) aus BORIS, dem Bodeninformationssystem des Umweltbundesamt, im 4 x 4 km-Raster.
- CLINIPHARM/CLINITOX (2005): Ein computerunterstütztes Informationssystem für die Pharmakotherapie und klinische Toxikologie. <http://www.vetpharm.unizh.ch>;
<http://www.clinitox.ch>
- CRÖSSMANN, G. (1999): Mengenfluß und Bilanz von Zink und Kupfer in der Landwirtschaft. In: BMELF – Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (Hg.) (1999): Kreisläufe erwünschter und unerwünschter Stoffe – ihre Bedeutung in der Nahrungskette. Schriftenreihe A des BMELF, Angewandte Wissenschaft 483. BMELF, Wien. S. 52–66.
- EU-Verordnung - Futtermittelverordnung (VO (EG) 1334/2003)
- EU-Richtlinie - Nitrat Richtlinie (RL 91/676/EWG)
- FRICKE, M. & HÖHL, H.-U. (2000): Schadstoffeintrag in Böden. In: *Müll und Abfall*. Jg. 2000. Heft Nr. 6. Erich Schmidt Verlag, München. S. 350–354.
- HUMER, J. (2005): Referat Bodenwirtschaft und Pflanzenernährung der NÖ-LWK. Persönliche Mitteilung
- KELLER, A. & DESAULES, A. (2004): Stoffbilanzen für Parzellen der Nationalen Bodenbeobachtung. In: *Agrar-Forschung*. Heft Nr. 11 (11-12). LIT Verlag, Münster/Hamburg/Berlin/Wien/London/Zürich. S. 498-503.
- KÜHNEN, V. & GOLDBACH, H. E. (2004): Schwermetallbilanzen verschiedener Betriebstypen: Eintragswege, Flüsse, Minderungspotential. Projekt des Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz Nordrhein Westfalen.
www.usl.uni-bonn.de/pdf/Kurzfassung%20118.pdf
- Ö-NORM L 1075 (1.7.2004): Grundlagen für die Bewertung der Gehalte ausgewählter Elemente in Böden. Fachnormenausschuss 202: Boden als Pflanzenstandort. Österreichisches Normungsinstitut, Wien.
- SATTELBERGER, R.; GANS, O. & MARTINEZ, E. (2005): Veterinärantibiotika in Wirtschaftsdünger und Boden. Umweltbundesamt Berichte, BE-272. Umweltbundesamt, Wien.



- SCHULTHEISS, U.; DÖHLER, H.; ROTH, U. & ECKEL, H. (2004): Erfassung von Schwermetallströmen in landwirtschaftlichen Tierproduktionsbetrieben und Erarbeitung einer Konzeption zur Verringerung der Schwermetalleinträge durch Wirtschaftsdünger tierischer Herkunft in Agrarökosysteme. Umweltbundesamt Texte 06/04. Umweltbundesamt, Berlin.
- WINDISCH, W. & ROTH, F. X. (2000): Tier- und Umwelteffekte exzessiver Dosierung von Zink und Kupfer in der Schweinefütterung. In: RODEHUTSCORD, M. et al. (Hg.): Schweine und Geflügelernährung. 6. Tagung der Universität Halle-Wittenberg. Fachverlag Köhler, Gießen. S. 84–89.
- WINDISCH, W. (2002): Gebrauch und Missbrauch von Zink und Kupfer in der Schweinefütterung. In: 1. BOKU-Symposium Tierernährung. Tagungsband. Inst. f. Nutztierwissenschaften der Universität für Bodenkultur, Wien. S. 1–6.
- WILCKE, W. & DÖHLER, H. (1995): Schwermetalle in der Landwirtschaft. Quelle, Flüsse, Verbleib. Arbeitspapier 217. KTBL – Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft, Darmstadt.



7 ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

| | |
|-------------|-----------------------------------|
| CAS-Nr..... | Chemical Abstracts Service Number |
| cm | Zentimeter |
| Cu | Kupfer |
| EU | Europäische Union |
| EG | Europäische Gemeinschaft |
| FM..... | Frischmasse |
| g..... | Gramm |
| GVE | Großvieheinheit |
| ha | Hektar |
| kg | Kilogramm |
| Max | Maximum |
| mg | Milligramm |
| Min | Minimum |
| MW..... | Mittelwert |
| n..... | Anzahl der Proben |
| N | Stickstoff |
| ÖN..... | Ö-Norm |
| SD | Standard-Abweichung |
| t..... | Tonnen |
| TM..... | Trockenmasse |
| Zn..... | Zink |



8 ERGEBNISSE DER EINZELNEN PROBEN

Tabelle 9: Einzelergebnisse von N, Cu, Zn (mg/kg TM) und der Trockenmasse (Angabe in Prozent) in den Schweinegülleproben.

| | | | | | | |
|-----------------------------------|----------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Proben-Nr. (Schweinegülle) | | 2201 | 4560 | 1127 | 1128 | 2840 |
| TM | % | 4,4 | 8 | 8,8 | 5 | 2,7 |
| Kjeldahl-N | mg/kg TM | 120.000 | 86.000 | 75.000 | 110.000 | 160.000 |
| Cu | mg/kg TM | 300 | 310 | 260 | 290 | 150 |
| Zn | mg/kg TM | 1.100 | 940 | 810 | 920 | 680 |
| Proben-Nr. (Schweinegülle) | | 2203 | 4563 | 1129 | 1130 | 2841 |
| TM | % | 4 | 1,2 | 15 | 1,4 | 1,6 |
| Kjeldahl-N | mg/kg TM | 110.000 | 230.000 | 51.000 | 260.000 | 190.000 |
| Cu | mg/kg TM | 220 | 250 | 140 | 92 | 43 |
| Zn | mg/kg TM | 950 | 1.100 | 780 | 450 | 220 |
| Proben-Nr. (Schweinegülle) | | 2307 | 4850 | 1131 | 1132 | 2438 |
| TM | % | 3,8 | 3,7 | 6,2 | 8,4 | 5 |
| Kjeldahl-N | mg/kg TM | 82.000 | 100.000 | 87.000 | 71.000 | 94.000 |
| Cu | mg/kg TM | 140 | 150 | 160 | 130 | 140 |
| Zn | mg/kg TM | 800 | 890 | 900 | 810 | 1.000 |
| Proben-Nr. (Schweinegülle) | | 2309 | 4853 | 1133 | 1134 | 2484 |
| TM | % | 5 | 2,8 | 28 | 1,6 | 2,1 |
| Kjeldahl-N | mg/kg TM | 100.000 | 110.000 | 31.000 | 230.000 | 150.000 |
| Cu | mg/kg TM | 320 | 270 | 120 | 140 | 70 |
| Zn | mg/kg TM | 1.200 | 1.300 | 500 | 510 | 370 |
| Proben-Nr. (Schweinegülle) | | 2397 | 4712 | 1135 | 1136 | 2706 |
| TM | % | 6,3 | 5,7 | 17 | 5,5 | 4 |
| Kjeldahl-N | mg/kg TM | 89.000 | 100.000 | 49.000 | 89.000 | 98.000 |
| Cu | mg/kg TM | 190 | 230 | 170 | 170 | 210 |
| Zn | mg/kg TM | 740 | 1.000 | 700 | 670 | 940 |
| Proben-Nr. (Schweinegülle) | | 2465 | 4582 | 1137 | 1138 | 2836 |
| TM | % | 3,9 | 10 | 12 | 5 | 8,4 |
| Kjeldahl-N | mg/kg TM | 140.000 | 78.000 | 73.000 | 150.000 | 110.000 |
| Cu | mg/kg TM | 250 | 220 | 140 | 230 | 96 |
| Zn | mg/kg TM | 990 | 890 | 600 | 960 | 840 |



Tabelle 10.: Einzelergebnisse von N, Cu, Zn (mg/Kg TM) und der Trockenmasse (Angabe in Prozent) im Hühnermist.

| | | | | | |
|--------------------------------|----------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Proben-Nr. (Hühnermist) | | 2204 | 4709 | 1144 | 2705 |
| TM | % | 89 | 88 | 91 | 79 |
| Kjeldahl-N | mg/kg TM | 40.000 | 35.000 | 26.000 | 39.000 |
| Cu | mg/kg TM | 60 | 40 | 20 | 81 |
| Zn | mg/kg TM | 390 | 240 | 120 | 514 |
| Proben-Nr. (Hühnermist) | | 2396 | 4706 | 1143 | 2704 |
| TM | % | 87 | 89 | 90 | 93 |
| Kjeldahl-N | mg/kg TM | 44.000 | 32.000 | 23.000 | 110.000 |
| Cu | mg/kg TM | 65 | 54 | 16 | 5,7 |
| Zn | mg/kg TM | 400 | 240 | 88 | 32 |
| Proben-Nr. (Hühnermist) | | 2466 | 4588 | 1146 | 2838 |
| TM | % | 87 | 89 | 91 | 93 |
| Kjeldahl-N | mg/kg TM | 37.000 | 40.000 | 43.000 | 50.000 |
| Cu | mg/kg TM | 40 | 44 | 52 | 69 |
| Zn | mg/kg TM | 220 | 260 | 300 | 450 |
| Proben-Nr. (Hühnermist) | | 2467 | 4585 | 1147 | 2837 |
| TM | % | 88 | 87 | 89 | 92 |
| Kjeldahl-N | mg/kg TM | 36.000 | 26.000 | 45.000 | 39.000 |
| Cu | mg/kg TM | 40 | 44 | 60 | 46 |
| Zn | mg/kg TM | 190 | 250 | 360 | 310 |
| Proben-Nr. (Hühnermist) | | 2308 | 4847 | 1142 | 2482 |
| TM | % | 88 | 90 | 90 | 88 |
| Kjeldahl-N | mg/kg TM | 34.000 | 23.000 | 33.000 | 37.000 |
| Cu | mg/kg TM | 50 | 32 | 39 | 48 |
| Zn | mg/kg TM | 300 | 160 | 230 | 350 |



Tabelle 11.: Einzelergebnisse von N, Cu, Zn (mg/Kg TM) und der Trockenmasse (Angabe in Prozent) im Putenmist.

| | | | | | |
|-------------------------------|----------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Proben-Nr. (Putenmist) | | 1645 | 80 | 1141 | 2708 |
| TM | % | 91 | 85 | 89 | 92 |
| Kjeldahl-N | mg/kg TM | 21.000 | 17.000 | 27.000 | 19.000 |
| Cu | mg/kg TM | 470 | 150 | 580 | 110 |
| Zn | mg/kg TM | 300 | 140 | 310 | 210 |
| Proben-Nr. (Putenmist) | | 1646 | 5425 | 1140 | 2707 |
| TM | % | 90 | 75 | 80 | 89 |
| Kjeldahl-N | mg/kg TM | 24.000 | 53.000 | 26.000 | 53.000 |
| Cu | mg/kg TM | 110 | 520 | 450 | 200 |
| Zn | mg/kg TM | 230 | 320 | 350 | 380 |
| Proben-Nr. (Putenmist) | | 1647 | 5427 | 1139 | 2709 |
| TM | % | 90 | 69 | 57 | 90 |
| Kjeldahl-N | mg/kg TM | 17.000 | 34.000 | 54.000 | 23.000 |
| Cu | mg/kg TM | 310 | 390 | 330 | 340 |
| Zn | mg/kg TM | 310 | 390 | 300 | 360 |
| Proben-Nr. (Putenmist) | | 2202 | 5426 | 1145 | 2839 |
| TM | % | 87 | 63 | 87 | 91 |
| Kjeldahl-N | mg/kg TM | 43.000 | 58.000 | 48.000 | 46.000 |
| Cu | mg/kg TM | 370 | 260 | 68 | 72 |
| Zn | mg/kg TM | 650 | 520 | 340 | 410 |